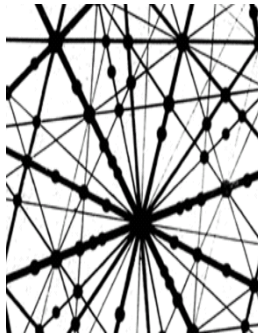


***Конференция посвящается
100-летию со дня рождения
выдающегося ученого, педагога и
организатора науки академика
Сергея Николаевича Вернова
(11.07.1910 г. – 26.09.1982 г.)***

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА**

***ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
XL международной конференции
ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ***

(Москва 25 мая – 27 мая 2010 г.)



Москва 2010

УДК 539.1.01.08

ББК 22.37.

T29

Под общей редакцией проф. А.Ф. Тулинова

Редколлегия: В.С. Куликаускас, Г.П. Похил., Е.С. Машкова, В.С. Черныш, Ю.А. Ермаков

- T29 Тезисы докладов XL международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами / Под ред. проф. А.Ф. Тулинова. – М.: Университетская книга, 2010. – 226 с.
- Сборник содержит тезисы докладов, отобранные оргкомитетом для представления на конференции.

Секция I**ФИЗИКА ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ**25 мая, вторник, 10³⁰ – 12⁰⁰1 утреннее заседаниеПредседатель А.Ф. ТулиновВступительное слово – профессор **А.Ф. Тулинов**

1. **М.И. Панасюк.** Радиация в космосе. Наследие С.Н.Вернова 25
2. **В.В. Балашов.** Эффект Огорокова: особенности текущих экспериментальных и теоретических исследований, перспективы практического использования 26

12⁰⁰ – 12³⁰ обсуждение стендовых докладов25 мая, вторник, 12³⁰ – 14⁰⁰II утреннее заседаниеПредседатель Г.П. Похил

1. **А.С. Гоголев, Ю.А. Попов, А.Р. Вагнер, А.П. Потылицын.** Дифракция рентгеновского излучения под влиянием объемных акустических волн (15 мин) 27
2. **В.С. Малышевский, А.В. Казаков.** Эффект поверхностного каналирования нейтральных атомов (15 мин) 28
3. **В.А. Александров, И.В. Лысова, А.С. Сабиров, Г.М. Филиппов.** Возбуждение и ионизация атома водорода в нанотрубке (15 мин) 29
4. **А.И. Акишин.** Влияние электризованной пыли на лунные и марсианские космические аппараты (15 мин) 30

14⁰⁰ – 15⁰⁰ перерыв на обед

Стеновые доклады

1. **О.А. Горбунова, П.Н. Жукова, А.Г. Мкртчян, А.Р. Мкртчян, Н.Н. Насонов.** Дифракция рентгеновских лучей в кристалле, возбужденном акустической волной 31
2. **О.А. Подсвиров.** Дифракция электронного волнового пакета на кристалле с дефектом упаковки 32
3. **Н.Ф. Шульга, В.И. Трутень, И.В. Кириллин.** Механизмы поворота пучков заряженных частиц большой энергии изогнутыми кристаллами 33
4. **В.И. Высоцкий, М.В. Высоцкий.** Аномалии процесса ориентационного взаимодействия медленных нейтронов с ядрами и проблема нейтронных молекул 34
5. **В.И. Высоцкий, А.А. Корнилова, Н.Н. Сысоев, В.И. Томак.** Автомодельный механизм генерации квазикогерентного рентгеновского излучения при управляемой кавитации быстрой струи воды в канале 35
6. **Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, Г.П. Головач.** Каналирование частиц в заряженных плоскостях и осях кристаллов со структурой цинковой обманки 36
7. **Н.В. Максютя.** Анализ процесса каналирования заряженных частиц в кристаллах с помощью полино- 37
8. **Г.П. Похил, В.В. Чердынцев.** Влияние особенностей перераспределения потока частиц в осевом и плоскостном каналах на перезарядку 38
9. **А.И. Мирончик, Г.П. Похил.** Модель двойного управления пучком ионов при наклоненном плоском капилляре 39
10. **В.Л. Левшунова, Г.П. Похил, Д.И. Тетельбаум.** О механизме генерации волн создающих эффект даль- 40
11. **Т.Ю. Коломиец, В.Л. Левшунова, А.И. Мирончик, Г.П. Похил, Д.И. Тетельбаум.** Влияние эффекта дальнего действия на диффузию примеси в кремнии 41
12. **Н.В. Новиков.** Влияние структуры быстрого однозарядного иона на сечение захвата электрона 42

13. **Н.Н. Михеев, М.А. Степович, Е.В. Широкова.** 43
Тормозная способность ${}^4\text{Be}$, ${}^6\text{C}$, ${}^{13}\text{Al}$ и ${}^{14}\text{Si}$ для пучка моноэнергетических протонов с энергией от 1 КэВ до 10 МэВ
14. **Н.Н. Михеев, В.В. Сафронов.** 44
Страгглинг потерь энергии пучка заряженных частиц при многократном рассеянии
15. **Ю.А. Белкова, Я.А. Теплова.** 45
Нарушение правила аддитивности для потерь энергии ионов в углеводородах
16. **И.С. Дмитриев, Я.А. Теплова.** 46
Об особенностях в сечениях захвата электронов ионами фосфора
17. **И. Е. Тыщенко, В. П. Попов.** 47
Аккумуляция зарядов под действием ионизирующего излучения в структурах кремний-на-изоляторе с азотированным SiO_2
18. **В.С. Малышевский, А.А. Першин, Г.В. Фомин.** 48
О нерадикационном захвате электронов каналированными ионами
19. **П.В. Серба, Ю.Ф. Блинов.** 49
Релаксация заряда при столкновении атомных частиц
20. **А. А. Бабаев, Ю. Л. Пивоваров.** 50
Квадратичный эффект Штарка при плоскостном каналировании He-
21. **А.С. Саби́ров.** 51
Возбуждение поляризационных полей движущимися зарядами в сфероидальном проводнике
22. **В.А. Александров, И.В. Лысова, А.С. Саби́ров, А.М. Самсонов, А.В. Степанов, Г.М. Филиппов.** 52
Моделирование каналирования атомных частиц в углеродных нанотрубках
23. **В.А. Александров, А.С. Саби́ров, Г.М. Филиппов.** 53
Нерегулярные явления в системах квантовых ям при наличии туннельных процессов
24. **В.К. Егоров, Е.В. Егоров, С.А. Петров, В.Г. Шаронов.** 54
Осевое каналирование ионов в структуре алмаза
25. **Н.Ф. Шульга, В.А. Черкасский, А.В. Козлов.** 55
Спектральный метод в теории явления каналирования
26. **Ю.П. Кунашенко, Ю.Л. Пивоваров.** 56
Швингеровское рассеяние быстрых нейтронов в кристаллах

27. **A. Ananyeva, H. Weick, F. Attallah, S. Eliseev, H. Geissel, M. Hausmann, M. Hellström, E. Kaza, Yu. Litvinov, M. Maier, M. Matos, N. Nankov, T. Othsubo, Yu. Pivovarov, C. Scheidenberger, V. Shishkin, M. Winkler, Z. Zhou.** Angular scattering of nickel ions in matter at 300 MeV/nucleon 57
28. **Ю.П. Кунашенко.** Образование e^+e^- пар релятивистском ядром в кристалле 58
29. **Г.В. Ковалев.** Пределы объемного отражения и преломления релятивистских частиц в однородно изогнутом кристалле 59
30. **Л.А. Жиликов, А.А. Пронкин.** Численный компьютерный расчет распределения одноименных точечных зарядов на диэлектрической поверхности. 60
31. **В.П. Афанасьев, Д.С. Ефременко, А.В. Лубенченко.** Восстановление сечений неупругого рассеяния заряженных частиц в твердом теле из спектров REELS и ISS 61
32. **В.К. Гудым, Е.В. Андреева.** Взаимодействие электрически нейтральных атомов и молекул с электронами 62
33. **В.П. Кошечев, Д.А. Моргун, Т.А. Панина, Ю.Н. Штанов.** Влияние квантовых флуктуаций на стохастическую динамику эффекта каналирования релятивистских электронов и позитронов 63
34. **В.П. Кошечев, Д.А. Моргун, Ю.Н. Штанов.** Новое решение кинетического уравнения Ландау для потерь энергии быстрых частиц в кристаллах 64
35. **Д.А. Моргун, В.П. Кошечев, Ю.Н. Штанов.** Численное решение стохастических дифференциальных уравнений движения частиц в плоскостных каналах кристалла 65
36. **Р.И. Богданов, М.Р. Богданов.** Распределение энтропии в слабо-диссипативной КАМ 66
37. **А.Г. Кадменский.** Специальное когерентное рассеяние нерелятивистских частиц в кристаллах 67
38. **А.Я. Силенко.** Эффект появления векторной поляризации у тензорно поляризованного пучка ядер при каналировании и измерение квадрупольных моментов короткоживущих ядер 68

Секция II**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ТВЁРДОМ
ТЕЛЕ****25 мая, вторник, 15⁰⁰ – 16³⁰****I вечернее заседание****Председатель Н.Ф. Шульга**

1. **А.И. Бенедиктович, А.В. Леонов, А.С. Лобко, И.Д. Феранчук.** Индуцированная параметрическая пучковая неустойчивость в условиях скользящей геометрии (15 мин) 71
2. **А.С. Гоголев, В.Н. Забаев, А.П. Потылицын, С.В. Разин, Н.А. Тимченко, С.Р. Углов.** Генерация вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена электронами с энергией 5,7 МэВ в тонких мишенях (15 мин) 72
3. **К.Б. Коротченко, Ю.П. Кунашенко, Ю.Л. Пивоваров, Т.А. Тухфатуллин.** Вторичная электронная эмиссия из Si, индуцированная каналированными электронами (15 мин) 73
4. **Н.Ф. Шульга, В.В. Сыщенко.** Переходное излучение «полуголого» электрона (15 мин) 74

16³⁰ – 17⁰⁰ обсуждение стендовых докладов**25 мая, вторник, 17⁰⁰ – 18⁴⁵****II вечернее заседание****Председатель Н.Н. Насонов**

1. **В.В. Сыщенко, Н.Ф. Шульга.** Излучение на полубесконечной пластинке и эффект Смита-Парселла в рентгеновской области (15 мин) 75
2. **С.Р. Углов, В.В. Каплин, И.К. Васьковский, В.Л. Николаев, М.А. Пайструп, Ч.К. Гэри.** Наблюдение ультрамягкого рентгеновского излучения, генерируемого в тонкой *Be* фольге и многослойном *W/B₄C* зеркале рециркулирующим пучком бетатрона (15 мин) 76

3. **М.В. Высоцкий, В. И. Высоцкий.** Аномальные особенности и анизотропия эффекта Доплера при движении в поперечно-неоднородных полях и при каналировании (15 мин) 77
4. **М.В. Шевелёв, А.П. Потылицын, Г.А. Науменко, Г.Л. Сухих, Ю.А. Попов.** Исследование когерентного излучения Вавилова-Черенкова в миллиметровом диапазоне длин волн генерируемое в мишенях из тефлона и парафина (15 мин) 78
5. **С.П. Фомин, Н.Ф. Шульга.** Излучение релятивистского электрона с «неравновесным» собственным полем (15 мин) 79
6. **Г.М. Филиппов.** Вихревые и потенциальные поля в ограниченных диэлектриках (15 мин) 80

Стендовые доклады

1. **С.В. Блажевич, А.В. Носков.** О соотношении выходов при вблизи направления Брэгга и при вдоль скорости релятивистского электрона в геометрии рассеяния Брэгга 81
2. **С.В. Блажевич, А.В. Носков.** Асимметрия отражения волн в кинематическом и динамическом подходах теории параметрического рентгеновского излучения релятивистского электрона в кристалле 82
3. **С.В. Блажевич, А.В. Носков.** Экспериментальное проявление эффекта Бормана в параметрическом рентгеновском излучении релятивистских электронов 83
4. **В.А. Басков, В.В. Ким, В.И. Сергиенко, В.А. Хабло.** Электромагнитные ливни от электронов с энергией $E_e=26$ ГэВ в ориентированных кристаллах 84
5. **А.С. Фомин, Н.Ф. Шульга.** Угловое распределение и поляризация излучения ультрарелятивистского электрона в тонком кристалле 85
6. **Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Ю.В. Жандармов, Жанг Тки Зьонг, С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин.** Влияние мозаичности кристаллов на наблюдаемые характеристики рентгеновского излучения под малым углом к скорости частиц 86

7. **Ю.Н. Адищев, А.Р. Вагнер, А.С. Гоголев, А.П. Потылицын, Г.Л. Чахлов.** Источник рентгеновского излучения на базе 18 МэВ бетатрона 87
8. **В.Р. Альтапова, О.В. Богданов, А.А. Евдокимов, Ю.Л. Пивоваров.** Черенковское излучение релятивистских тяжелых ионов с учетом торможения в радиаторе 88
9. **Н.Ф. Шульга В.И. Трутень, В.В. Бойко.** О рассеянии и когерентном излучении релятивистских электронов и позитронов в изогнутых кристаллах 89
10. **Д. Н. Тютюнник, Н. Ф. Шульга.** О рассеянии и излучении при столкновении релятивистских частиц с кристаллами и сгустками релятивистских частиц 90
11. **А.С. Лобко, В.В. Скадоров.** Параметрическое рентгеновское излучение, генерируемое в деформированном кристалле 91
12. **А.В. Степанов.** Выход черенковского излучения через торец цилиндрического диэлектрика 92
13. **В.В. Каплин, С.Р. Углов.** Генерация быстрыми электронами острофокусного рентгеновского излучения в неоднородных слоистых структурах 93
14. **Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Жанг Тки Зыонг, Ю.В. Жандармов, С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин.** Расчет отражающей способности мозаичных кристаллов класса В методом Монте-Карло 94
15. **В.К. Гришин.** Пиковая структура поляризационного тормозного излучения на связанных атомных электронах 95
16. **П.Н. Жукова, А.Г. Мкртчян, А.Р. Мкртчян, М.С. Ладных, Н.Н. Насонов.** О параметрическом рентгеновском излучении релятивистских электронов в кристалле с периодически деформированной решеткой 96
17. **В.И. Алексеев, П.Н. Жукова, Э. Иррибарра, А.С. Кубанкин, М.С. Ладных, Н.Н. Насонов, Р.М. Нажмудинов, В.И. Сергиенко, А.В. Субботин.** Экспериментальное исследование распределения микроблоков мозаичного кристалла по углам ориентации на основе рассеяния широкополосного 97

- рентгеновского излучения
18. **К.А. Вохмянина, П.Н. Жукова, Н.Н. Насонов.** О методе Дебая-Шеррера диагностики поликристаллических и наноструктурированных сред 98
 19. **Н.В. Максютa, В.И. Высоцкий, Г.П. Головач.** Частотно-угловые характеристики квазихарактеристического излучения при плоскостном каналировании релятивистских электронов в кристаллах 99
 20. **В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский, Н.Ф. Шульга.** Некогерентное излучение быстрых электронов в кристаллическом ондуляторе 100
 21. **А.А. Ананьева, О.В. Богданов, Ю.Л. Пивоваров.** Спектры излучения и радиационные потери энергии релятивистских электронов и позитронов при аксиальном каналировании в кристаллах 101
 22. **С.Е. Степанов.** Определение состава материала по спектрам электромагнитного излучения, индуцируемого электронной бомбардировкой поверхности 102
 23. **А.В. Щагин.** Рентгеновское излучение при производстве КТИ и позитронов релятивистскими электронами в монокристалле 103
 24. **А.В. Щагин.** Возможность измерения размеров нанокристаллов с помощью параметрического рентгеновского излучения 104
 25. **В.И. Нагайченко, В.С. Мирошник, А.М. Егоров, А.В. Щагин.** Рентгеновское излучение при изменении температуры поляризованной керамики в вакууме 105
 26. **К.Б. Коротченко, Т.А. Тухфатуллин, Ю.Л. Пивоваров, Е.И. Фикс.** Алгоритм расчетов осевого каналирования электронов и угловых распределений DCR для кристаллов Si и LiF 106
 27. **К.Б. Коротченко, Ю.Л. Пивоваров.** Угловые распределения направлений линейной поляризации DCR 107

Секция III**РАССЕЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ**26 мая, среда, 10⁰⁰ - 11³⁰I утреннее заседаниеПредседатель А.И. Титов

1. **Г.В. Корнич, Г. Бетц, Вал.Г. Корнич.** Синергизм распыления поверхностных кластеров атомными димерами (15 мин) 111
2. **В.И. Шульга.** Сегрегация атомов мышьяка при распылении арсенида галлия ионами цезия (15мин) 112
3. **В.С. Авилкина, Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Ю.С. Виргильев, В.С. Куликаускас, Е.С. Машкова** Применение ионных пучков для исследования углерод-керамического композита (15 мин) 113
4. **А.В. Бакаев, Е.Е. Журкин.** Моделирование легирования и первичного радиационного повреждения поверхности (111) SiC при бомбардировке атомарными и кластерными ионами C_N и Si_N (N=1÷60) методом классической молекулярной динамики (15 мин) 114
5. **Ю. Кудрявцев, М. Авенданьо, Г. Рамирес, Р. Азомо-за.** Ионное распыление много-компонентных мишеней (15 мин) 115
6. **Н.В. Волков** Угловая зависимость распыления образцов Al, Ti, Fe, Cu и Mo при облучении пучками ионов He⁺ и Ar⁺ с широким энергетическим спектром (15 мин) 116

11³⁰ – 12¹⁵ обсуждение стендовых докладов26 мая, среда, 12¹⁵ – 14⁰⁰II утреннее заседаниеПредседатель В.С. Черныш

1. **В.П. Афанасьев, А.А. Батраков, А.В. Лубенченко** Послойный анализ изотопов водорода на основе спектроскопии отраженных электронов (15 мин) 117

- | | | |
|----|--|-----|
| 2. | А.И. Титов, А.Ю. Азаров, С.О. Кучеев, П.А. Карасёв Взаимное влияние образования дефектов в объёме и у поверхности GaN, облучаемого ионами | 118 |
| | А.И. Титов, П.А. Карасёв, А.Ю. Азаров, А.Ю. Катаев. Модель поведения объемного максимума дефектов в GaN при облучении ускоренными ионами (Объединенный доклад 20 мин) | 119 |
| 3. | И.И. Амиров, Е.С. Горлачев, С.П. Зимин. Ионное распыление эпитаксиальных пленок PbTe, PbSe в плазме инертных газов (15 мин) | 120 |
| 4. | В.И. Бачурин, О.Н. Колесников, В.В. Наумов, С.Г. Симакин, М.А. Шипилин. Исследование нанокристаллов в органических средах с помощью ВИМС и РЭМ (15 мин) | 121 |
| 5. | Н.А. Панькин, Н.А. Смоланов. Молекулярно-динамическое моделирование ионной бомбардировки нанокластеров титана Ti ₁₃ : случай центрального удара (15 мин) | 122 |

14⁰⁰ – 15⁰⁰ перерыв на обед

Стендовые доклады

- | | | |
|----|--|-----|
| 1. | А.А. Ермоленко, Г.В. Корнич. Молекулярно-динамическое моделирование процессов массопереноса при взаимодействии низкоэнергетических кластеров металлов с поверхностью Cu(100) | 123 |
| 2. | О.А. Подсвилов, К.В. Карабешкин, А.Я. Виноградов, Н.Н. Карасёв, А.С. Смирнов, П.А. Карасёв, А.И. Титов. Влияние условий осаждения и ионного облучения на напряжения в DLC пленках | 124 |
| 3. | Б.Е. Умирзаков, А.К. Ташатов, В.Х. Холмухамедова, А. Мухибов. Оптимальные режимы получения нанопленок Mn ₂ Si ₃ /Si (111) методом высоковакуумной термодиффузии | 125 |
| 4. | В.П. Афанасьев, И.А. Костановский. Методика определения морфологии оксидного слоя на поверхности алюминия на основе спектроскопии упругоотраженных электронов с угловым разрешением | 126 |

5. **В.С. Авилкина, Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Ю.С. Виргильев, В.С. Куликаускас, Е.С. Машкова, Е.А. Питиримова.** Температурные эффекты в ионно-электронной эмиссии квазикристалла графита 127
6. **Е.А.Питиримова, С.И.Анисимов.** Влияние имплантации ионами инертных газов на структуру пленок SnO_2 128
7. **А. И. Толмачёв.** Расчет зависимости коэффициента самораспыления от угла падения ионов на мишень 129
8. **В.В. Манухин, А.А. Барат.** Методика аналитического описания распыления слоистых структур легкими ионами 130
9. **В.С. Авилкина, Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Ю.С. Виргильев, Е.С. Машкова.** Радиационно-индуцированные изменения углерод-углеродных волоконных материалов 131
10. **М.Т. Нормурадов, Д.А.Ташмухамедова, Ю.Д. Халиков, Х.Т. Йулдашев.** Спектры ХПЭЭ для Si с нанокристаллами CoSi_2 132
11. **А.А. Дмитриевский, Н.Ю. Ефремова, А.В. Шуклинов, В.В. Коренков, П.А. Косырев, А.Р. Ловцов.** Рельеф поверхности и морфология фазового состава монокристаллов кремния, подверженных различным комбинациям низкоинтенсивного бета-облучения и механической обработки 133
12. **Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, Б.Б. Мавлянов, Г.Ш. Султанов.** Формирование нанокристаллов и нанопленок металлов на поверхности флюоритов при бомбардировке ионами Ag^+ 134
13. **Н.Ю. Туляков, В.Н. Самойлов.** Изменение эмиссии атомов с грани (111) Ni при магнитном фазовом переходе: расчеты в рамках трехмерной модели 135
14. **З.А. Исаханов, М.К. Рузibaева, Х. Кушшаев.** Энергетическое распределение ионов металлов и инертных газов, прошедших через монокристаллические пленки меди 136
15. **А.О. Козаков.** Поверхностно-ионизационная масс-спектрометрия трициклических антидепрессантов 137

16. **П.И. Диденко, А.А. Ефремов, Ю.А. Кудрявцев.** 138
Проявление матричных эффектов в энергоспектрах вторичных ионов изотопов титана

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ

26 мая, среда, 15⁰⁰ – 16³⁰

1 вечернее заседание

Председатель В.С. Куликаускас

1. **Л.И. Бурова, А.В. Бледнов, О.В. Бойцова, А.М. Макаревич, А.С. Манкевич, А.С. Маркелов, В.С. Куликаускас, В.В. Затёкин.** 141
Применение метода резерфордовского обратного рассеяния для исследования состава и структуры тонких слоев оксидов и фторидов металлов
2. **А.А. Андреев, Б.А. Бедулин, Ю.А. Ермаков, А.С. Патракеев, Н.Г. Чеченин, П.Н. Черных, В.С. Черныш, А.А. Шемухин.** 142
Ускорительный комплекс на энергии ионов до 500 КэВ (15 мин)
3. **Г.А. Вершинин, Ю.П. Шаркеев, Т.С. Грекова, И.А. Божко, И.А. Курзина.** 143
Формирование концентрационных профилей имплантируемых ионов в титане и никеле в зависимости от структуры образцов и режимов облучения (15 мин)
4. **В.М. Король, В.П. Астахов, С.А. Веденяпин, А.В. Заставной.** 144
Формирование профиля доноров в кремнии при совместной имплантации ионов фосфора и натрия (15 мин)
5. **В.М. Анищик, С.И. Жукова, В.А. Скуратов.** 145
Эффект малых повреждающих доз в сплаве АК4, облученном высокоэнергетическими ионами ксенона (15 мин)

16³⁰ – 17¹⁵ - Обсуждение стендовых докладов.

26 мая, среда, 17¹⁵ – 18⁴⁵II вечернее заседаниеПредседатель А.М. Борисов

1. **И.И. Ташлыкова-Бушкевич, В.С. Куликаускас, С.М. Барайшук, М.А. Солнцев, Т. Шикагава, Г. Ито, В.Г. Шепелевич.** 146
Исследование изменения микроструктуры быстрозатвердевшего алюминия при легировании хромом с помощью метода резерфордского обратного рассеяния
- И.И. Ташлыкова-Бушкевич, В.С. Куликаускас.** 147
Исследование содержания водорода в быстрозатвердевшем сплаве Al-Fe методом ядер отдачи (Объединенный доклад 15мин)
2. **Г.А. Распопова, В.Л. Арбузов.** 148
Влияние хрома на захват имплантированного дейтерия в сплавах Fe-Cr
- Г.А. Распопова, В.Л. Арбузов.** 149
Особенности захвата имплантированного дейтерия монокристаллическим титаном (Объединенный доклад 15мин)
3. **В.Б. Выходец, Т.Е. Куренных, В.П. Горелов, В.Б. Балакирева, В.И. Цидильковский.** 150
Исследование изотопного H/D эффекта при растворении водяного пара в протонпроводящем оксиде $BaZr_{0.9}Y_{0.1}O_{3-\delta}$ с помощью ядерного микроанализа (15мин)
4. **К.Л. Енишерлова, В.С. Куликаускас, А.В. Лютцау, Т.Ф. Русак, В.В. Затёкин, В.Г. Горячев.** 151
Влияние γ -облучения на структурное совершенство слоев кремния в структурах КНС
5. **В.П. Попов, Ю.Н. Пальянов, И.Н. Куприянов, В.В. Затёкин, В.С. Куликаускас, Г.П. Похил.** 152
Легированные слои, сформированные в монокристаллах алмаза бомбардировкой ионами водорода и отжигом при высоких давлениях и температуре (15мин)

Стендовые доклады

1. **Л.С. Данелян, В.В. Затёкин, А.Н. Мансурова, С.Н. Коршунов, В.С. Куликаускас.** 153
Характеристики поверхности сплавов V-Ga при облучении ионами Ar^+ и N^+ (15 мин)

2. **Б.И. Хрипунов, Л.С. Данелян, В.Г. Востриков, В.В. Затёкин, В.С. Койдан, В.С. Куликаускас, С.Т. Латушкин, В.Б. Петров, А.И. Рязанов, В.Н. Унежев.** Накопление дейтерия в радиационно поврежденном вольфраме при облучении стационарной плазмой (15мин) 154
3. **И.И. Амиров, Н.А. Алов.** Влияние ионной бомбардировки на состав пленки образующейся на поверхности Si во фторуглеродной плазме 155
4. **С.С. Зырянов, А.В. Кружалов, Ф.Г. Нешов, О.В. Рябухин.** Моделирование и исследование коррозии сплава Zr-Nb_{2,5%} в иодной среде при облучении протонами 156
5. **К.Б. Вернигоров, А.Ю. Алентьев, А.М. Музафаров, Л.С. Новиков, В.Н. Черник.** Эрозия полиимида, модифицированного аморфным силиказолом, в потоке кислородной плазмы 157
6. **В.В.Болотов, В.С. Ковивчак, А.А. Корепанов Е.В. Князев, С.Н. Несов, В.Е. Росликов, Ю.А. Стенькин, П.М. Корусенко, Р.В. Шелягин, Т.А. Гаврилова.** Формирование нанокompозита por-Si/SnO_x при воздействии мощных ионных пучков наносекундной длительности 158
7. **Н.В. Волков.** Модифицирование тонких оксидных пленок Be, Si, Al, Ti, Zr, W при облучении пучками ионов He^+ и Ar^+ с широким энергетическим спектром 159
8. **Л.К. Израилева, Э.Н. Руманов.** О роли взаимодействия имплантированных атомов с протяженными дефектами 160
9. **В.Б. Выходец, Т.Е. Куренных, А.Я. Фишман.** Исследование изотопного обмена газообразного кислорода с границей нанозерна в оксиде $\text{LaMnO}_{3-\delta}$ с помощью ядерного микроанализа 161
10. **В.Б. Выходец, Т.Е. Куренных.** Исследование диффузии углерода ^{13}C в оксидах циркония с помощью методик ионной имплантации, ядерного микроанализа и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии 162
11. **В.В. Углов, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий, А.А.Мишук, М.В. Карабовский.** Влияние обработки компрессионно-плазменными потоками на 163

- структурно-фазовые изменения в твёрдом сплаве
12. **В.В. Углов, М.В. Асташинская, А.К. Кулешов, М.П. Самцов, И. Поло, П.Б. Барна.** Структура тонкоплёночных никель-углеродных нанокompозитов, сформированных методом микроволнового плазмосиленного химического вакуумного осаждения 164
 13. **Н.Н. Черенда, В.В. Углов, Н.В. Бибик, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий.** Модификация структуры и механических свойств быстрорежущей стали Р18 при комбинированном плазменном и термическом воздействии 165
 14. **Л.В. Жилко, Д.П. Русальский, В.В. Углов.** Термостабильность нитридных покрытий, подвергшихся химико-термической обработке 166
 15. **В.В. Углов, С.В. Злоцкий, Г. Абади, О.В. Рева.** Коррозионная стойкость нитридных систем, сформированных методом конденсации с ионной бомбардировкой и реактивным магнетронным распылением 167
 16. **Н.Н. Черенда, В.В. Углов, В.Ф. Квасницкий, В.В. Квасницкий, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий.** Структурно-фазовые изменения в сплаве никеля, легированном компрессионными плазменными потоками 168
 17. **Н.Т. Квасов, А.В. Пунько, И.Л. Дорошевич, Ю.А. Петухов, В.В. Углов, М.С. Чибирай, В.М. Асташинский.** Спектры колебаний примесных атомов в кристаллах, легированных в компрессионной плазме 169
 18. **Н.Т. Квасов, А.В. Пунько, И.Л. Дорошевич, Ю.А. Петухов, В.В. Углов, М.С. Чибирай, В.М. Асташинский.** Динамика мелкодисперсных включений, массоперенос и формирование новых фаз в компрессионной плазме 170
 19. **В.В. Углов, Н.Т. Квасов, Ю.А. Петухов, Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов, А.Д. Тересов.** Структура и фазовый состав системы «хром-кремний», модифицированной сильноточными электронными пучками 171
 20. **В.В. Углов, Н.Н. Коваль, А.К. Кулешов, Ю.Ф. Иванов, Е.А. Солдатенко.** Структурные изменения в поверхностных слоях твердого сплава при облучении сильноточными электронными пучками и ком-

прессионными плазменными потоками.

21. **В.В. Углов, Н.С. Тарасюк.** Особенности процесса массопереноса в поверхности стали легированной посредством плазменных потоков 173
22. **В.В. Углов, Н.Н. Черенда, В.И. Шиманский, Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов, А.Д. Тересов.** Влияние энергии и длительности импульса электронных пучков на структурно-фазовое состояние системы «молибден/титан» 174

27 мая, четверг, 10⁰⁰ – 11³⁰

I утреннее заседание

Председатель **В.В. Углов**

1. **В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, К.А. Михайлов.** Формирование периодической структуры на поверхности магния при воздействии мощного ионного пучка наносекундной длительности 175
- В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, Р.Б. Бурлаков, Н.А. Давлеткильдеев.** Диспергирование тонкой металлической пленки на углеродном покрытии под действием мощного ионного пучка 176
- Т.В. Панова, В.С. Ковивчак, В.И. Блинов, К.О.Шарифулин.** Исследование процессов образования дисперсных частиц при облучении мощным ионным пучком металлов с покрытиями (Объединенный доклад -20 мин) 177
2. **О.Г. Бобровиц, О.Г. Верес, А.В. Касперович, И.С. Ташлыков.** Элементный и фазовый анализ поверхности эластомера, модифицированного ионно-ассистированным нанесением Zr покрытий 178
- О.М. Михалкович, А.И. Туровец, И.С. Ташлыков, Ю.А. Ермаков, В.С. Черныш.** Влияние облучения кремния ионами xe^+ на повреждение его структуры, топографию и смачиваемость нанесенных на него Ti и Co покрытий 179
- И.С. Ташлыков, В.В. Тульев, С.М. Барайшук.** Изучение поверхности структур металл/кремний, приготовленных ионно-ассистированным 180

- нанесением покрытий (Объедин. доклад – 20 мин)
3. **В.В. Козловский, А.Э. Васильев, А.М. Иванов, А.А. Лебедев, Н.Б. Строкан.** Сравнительный анализ радиационного дефектообразования в p-Si И n-SiC при облучении протонами МэВ-ных энергий (15 мин) 181
 4. **Г.В. Лысова, Г.А. Биржевой, А.М. Дворяшин.** Поверхностная сегрегация и радиационное упрочнение в стали 16Х12МВСФБР после облучения ионами Ni^{++} И He^+ (15 мин) 182
 5. **Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, В.В. Пилько, В.В. Пилько.** Контроль качества структур кремний-на-изоляторе методом резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия (15 мин) 183

11³⁰ – 12¹⁵ – Обсуждение стендовых докладов.

27 мая, четверг, 12¹⁵ – 13³⁵

II утреннее заседание

Председатель И.С. Ташлыков

1. **О.В. Беспалова, А.М. Борисов, В.Г. Востриков, С.В. Иванова, Е.А. Романовский, М.В. Серков, Н.В. Ткаченко.** Спектрометрия ЯОР протонов для исследования поверхностного слоя циркониевых сплавов 184
- А.М. Борисов, В.Г. Востриков, Е.В. Князев, Б.Л. Крит, Е.А. Романовский, А.В. Семашко, М.В. Серков, И.В. Суминов, Н.В. Ткаченко, А.В. Эпельфельд.** Исследование композиционного керамического слоя при микродуговом оксидировании методом спектрометрии ЯОР протонов 185
- А.М. Борисов, В.Г. Востриков, И.А. Горшков, С.М. Кузьмин, В.С.Куликаускас, В.И. Парфенюк, Е.А. Романовский, М.В. Серков, С.В. Силкин.** Исследование продуктов плазмохимического синтеза наноразмерного нитрида бора ионно-пучковыми методами обратного рассеяния (Объединенный доклад -15 мин) 186

2. **В. В. Углов, В.А. Скуратов, А.В. Шашок, М.А. Данилюк.** Внутренние напряжения в тонкопленочных покрытиях нитрида циркония, облученных ионами ксенона 187
М.М. Барковская, В.В. Углов, В.В. Ходасевич. 188
 Состав и коррозионная стойкость покрытий на основе нитридов титана и хрома
- В.В. Углов, С.В. Злоцкий.** Твердость ионно-плазменных покрытий, сформированных при переменной плотности плазменных потоков (Объединенный доклад – 20 мин) 189
3. **Н.В. Алов, Д.М. Куцко.** Ионно-лучевое восстановление поверхности высшего оксида тантала (15 мин) 190
4. **А.Г. Кадменский, Н.Г. Чеченин.** Моделирование единичных сбоев в кристаллах электроники космических аппаратов (15 мин) 191

Стендовые доклады

1. **В.К. Егоров, Е.В. Егоров, Л.Л. Кашкаров, Н.Г. Полухина.** Ионопучковые и рентгеновские исследования природных оливинов ($Mg_{1-x}Fe_xSiO_4$) 192
2. **Е.В. Саврук, А.С. Климов.** Оптические свойства поверхности Al_2O_3 , обработанной низкоэнергетическим электронным пучком в кислородосодержащей среде 193
3. **В.Ф. Воробьев, М.Н. Шипко, М.А. Степович.** Использование тлеющего разряда для повышения износо- и коррозионностойкости сталей 194
4. **В.И. Кристя, В.В. Прасицкий, А.В. Тай.** Влияние разрядного режима на температуру электродов дуговых осветительных ламп 195
5. **В.И. Кристя, М.И. Супельняк.** Влияние размеров электрода на температуру его поверхности в катодном пятне нормального тлеющего разряда 196

6.	А.С. Помельникова, М.Н. Шипко, М.А. Степович. Особенности структурных превращений, происходящих при образовании кристаллической структуры боридов в сталях	197
7.	Н.В. Волков, И.В. Олейников, Е.А. Ананьева. Оптические свойства в ИК-диапазоне ионно-модифицированной металлической поверхности	198
8.	В.М. Анищик, Н.Г. Валько, Н.И. Поляк. Модификация механических свойств гальванических покрытий Co-Ni рентгеновским излучением	199
9.	В.М. Анищик, Н.Г. Валько, Н.И. Поляк, И.И. Алесчик. Структура и свойства гальванических покрытий Zn-Ni, сформированных при воздействии рентгеновского излучения	200
10.	А.С. Артёмов, В.С. Куликаускас, И.Г. Рузавин, С.Б. Фарафонов, П.Н. Черных. Изучение совершенства поверхности полупроводниковых кристаллов после микро и нанополирования методом обратного резерфордского рассеяния (ROP) ионов	201
11.	В.В. Андреев, М.С. Васютин, А.М. Михальков. Регистрация излучения сенсорами на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник	202
12.	А.А. Столяров, Д.В. Андреев, Д.С. Васютин. Исследование процессов радиационной ионизации в структурах металл-диэлектрик-полупроводник	203
13.	И.И. Пронин, М.В. Гомоюнова, Г.С. Гребенюк. Формирование и исследование сверхтонких магнитных слоев кобальта на кремнии	204
14.	А.В. Кабышев, Ф.В. Конусов, Г.Е. Ремнев. Оптические свойства пленок GaAs, осажденных импульсной ионной абляцией	205
	АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	207

Секция I.

ФИЗИКА ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

РАДИАЦИЯ В КОСМОСЕ. НАСЛЕДИЕ С.Н.ВЕРНОВА

М.И.Панасюк

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Исследование радиации в космосе началось в 1957 г. На Втором советском искусственном спутнике Земли была установлена первая в мире научная аппаратура для изучения космических лучей за пределами атмосферы Земли. Этот эксперимент, выполненный под руководством С.Н. Вернова, был пионерским среди первых, давших начало новой науке – космической физике – науке о природе плазмы, энергичных частиц и электромагнитных полей в космосе. В докладе дан краткий обзор современного состояния исследований радиации в космическом пространстве: в магнитосферах планет и в межпланетном пространстве. Приводятся сведения о космических лучах - ядрах и элементарных частицах - наиболее энергичной компоненты космической радиации. Анализируются эффекты воздействия космической радиации на материалы, электронику космических аппаратов, а также на биологические структуры.

ЭФФЕКТ ОКОРОКОВА: ОСОБЕННОСТИ ТЕКУЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ; ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В.В. Балашов
НИИЯФ МГУ

Открытие явления резонансного когерентного возбуждения ионов при прохождении через кристаллы (РКВ) было обосновано теоретически 45 лет тому назад В.В.Окороковым; им же были выполнены первые РКВ-измерения [1]. Решающий вклад в обнаружение эффекта Окорокова внесли эксперименты Ш.Датца с пучками многозарядных ионов, выполненные в конце 70-х годов [2]. Они возбудили широкий интерес к природе рассматриваемого явления и дали мощный толчок его теоретическим разработкам. Сегодняшние представления о механизме и разнообразных проявлениях эффекта Окорокова вытекают, прежде всего, из экспериментов, выполняемых коллаборацией университетов и научно-исследовательских институтов Токио ([3] и ссылки на другие публикации этой коллаборации в указанной работе). Им отвечают теоретические исследования в НИИЯФ МГУ, которые, начиная с конца 90-х годов, позволили создать единый метод описания всего полного набора характеристик процесса РКВ, дать на его основе адекватную теоретическую трактовку результатов измерений в Токио и прогнозировать неизвестные ранее проявления эффекта Окорокова [4,5]. Единство теории и эксперимента в современных подходах к проблемам РКВ служит предпосылкой для выработки конкретных предложений по применению эффекта Окорокова в научных исследованиях и смежных областях техники.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. V.V.Okorokov, JETP Lett. 2 (1965) 111; Yad. Phys. 2 (1965) 1009.
2. S.Datz et al. Phys.Rev.Lett., 40 (1978) 843.
3. Y. Nakano, C. Kondo, A. Hatakeyama, Y. Nakai, T. Azuma, K. Komaki, Y. Yamazaki, E. Takada, and T. Murakami, Phys. Rev. Lett. 102, 085502 (2009).
4. V.V.Balashov, A.A.Sokolik, A.V.Stysin, JETP 108 (2009) 1010.
5. V.V.Balashov, V.K.Dolinov, A.A.Sokolik, JETP Letters 89 (2009) 399.

ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

А.С.Гоголев, Ю.А. Попов, А.Р. Вагнер, А.П. Потылицын
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время все большее внимание уделяется малогабаритным источникам монохроматического рентгеновского излучения, например, на основе монохроматизации белого спектра тормозного излучения или комптоновского рассеяния. В первом случае сталкиваются с проблемой больших потерь при монохроматизации, во втором случае установки обладают низкой частотой.

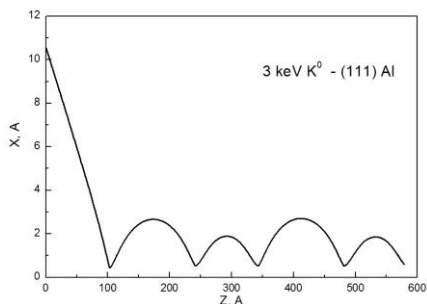
В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния ультразвукового воздействия на процесс когерентного рассеяния рентгеновского излучения. В кристалле кварца возбуждались акустические стоячие волны, на частоте $f = 5,46$ МГц, соответствующая первой моде, в симметричной геометрии Лауэ зарегистрировано увеличение интенсивности дифрагированного пучка L_{β} -линии вольфрама в 16 раз. Амплитуда напряжения переменного электрического поля, создающее акустическое возмущение, была равна 40 В. Исследована связь между параметрами внешнего воздействия и интенсивностью дифрагированного пучка.

ЭФФЕКТ ПОВЕРХНОСТНОГО КАНАЛИРОВАНИЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ

В.С. Малышевский, А.В. Казаков

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

При изучении процессов, требующих малых прицельных параметров, при которых происходит значительное взаимное проникновение электронных оболочек сталкивающихся частиц, обычно пренебрегают дальнедействующими силами притяжения. Для правильного описания столкновений с большими прицельными параметрами необходим учет дальнедействующей части потенциала, которая в частности, зависит от поляризуемости сталкивающихся частиц. Именно такая ситуация возникает при скользящих падениях ускоренных нейтральных атомов на поверхность кристалла. При малых углах подлета частиц к поверхности кристалла важную роль начинают играть большие прицельные параметры в формировании углового распределения рассеянных частиц. Вследствие эффекта поляризации падающих атомов потенциал их взаимодействия с поверхностью кристалла будет иметь минимум, и падающий атом, потеряв энергию при столкновении с поверхностью кристалла, может попасть в поверхностное связанное состояние в потенциальной яме. Находясь в таком состоянии атом, будет двигаться вдоль плоскости, совершая не-



большие осцилляции в поперечном направлении (см. рис.). Поскольку поляризуемость атомов металлов намного превосходит поляризуемость атомов инертных газов, то естественно ожидать именно для них существенного поляризационного эффекта (например, поляризуемости атомов гелия и аргона равны, соответственно, 1,39 и 11,1 а.е., а натрия и калия 157 и 250 а.е.). Отметим, что аналогичное явление рассматривалось в работе [1], в которой однако эффект был обусловлен поляризацией поверхности мишени пролетающей точечной заряженной частицей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ohtsuki Y.H., Koydma K., Yamamura Y.//Phys.Rev. 1979, V. B20, P.5044.

ВОЗБУЖДЕНИЕ И ИОНИЗАЦИЯ АТОМА ВОДОРОДА В НАНОТРУБКЕ

В.А. Александров¹⁾, И.В. Лысова²⁾, А.С. Сабиров¹⁾,
Г.М. Филиппов³⁾

¹⁾Чувашский госуниверситет, г. Чебоксары, Россия

²⁾Чувашский госпедуниверситет, г. Чебоксары, Россия

³⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) МГОУ,
г. Чебоксары, Россия

Рассматриваются процессы в атоме водорода, движущемся с определенной скоростью v вдоль оси углеродной нанотрубки (УНТ). Ввиду дискретности расположения атомов углерода, нанотрубка оказывает на движущийся атом периодическое возмущающее воздействие. Производится расчет изменения состояния атома как посредством использования теории возмущений, так и при помощи численного решения нестационарного уравнения Шрёдингера. Основные расчеты проводятся для каналирования в УНТ типа arm-chair, при азимутальном усреднении потенциалов атомных колец, ориентированных перпендикулярно оси УНТ. Период расположения колец определяется размером углеродной связи при sp^2 -гибридизации и равен $d = a\sqrt{3}/2$, где $a = 0.143$ нм – длина связи. При заданном значении скорости частота переменного поля, действующего на атом водорода, равна $n = v/d$. Резонансное возбуждение атома с переходом из основного состояния в первое возбужденное возникает на частоте, приблизительно равной $2.5 \cdot 10^{15}$ Гц, что достигается при энергии порядка 500 эВ. В этом случае в качестве упрощающего предположения как распределение электронов атомов углерода, так и положение этих атомов считаются неизменными в течение всего времени каналирования. Аналогичный эффект, наблюдающийся при каналировании атомов в монокристаллах, был предсказан В.В. О कोरोковым. Движение в нанотрубках выгодно отличается от движения в каналах монокристаллов тем, что не вносит слишком больших искажений в состояние атома и не приводит к повышенным значениям штарковского уширения уровней.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЗОВАННОЙ ПЫЛИ НА ЛУННЫЕ И МАРСИАНСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

А.И. Акишин
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Возникновение магнитосферного шторма около Земли может сопровождаться радиационной электризацией космических аппаратов (КА) на геостационарной орбите Земли и на поверхности Луны /1/. Электроразрядные процессы на поверхности Луны могут снижать работоспособность лунных систем. На освещенной стороне Луны при пересечении с магнитосферной плазмой Земли образуется положительный потенциал 5-10В. На ночной стороне Луны электрический отрицательный потенциал достигает 4кВ. На лунном терминаторе усиливается перемещение заряженной пыли. Адгезия пыли на аппаратах образует различные электрические потенциалы, вызывая угрозу инициирования электрических разрядов.

На поверхности Марса образуются электрические торнадо с диаметром до 500м при высоте ~9км /2,3/. Зарядка движущихся пылинок в торнадо, вызывается трибоэлектрическим эффектом при электрических полях внутри торнадо до 80кВ/м /3,4/. Мелкие пылинки с зарядом до 10^6 электронов вертикальным потоком воздуха выносятся вверх, а крупные с положительным зарядом остаются внизу. Возникают высокое напряжение в торнадо, радиопомехи и опасность для марсианских экспедиций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stubbs T.J., Farrell W.M., Halekas J.S. et.al. .The Lunar Dust-Plasma Environment. NASA, Berkeley, Lunar X-ray Observatory (LXO)/Magnetosheath Explorer (MagEX) meeting, Hilton Garden Inn, October 25, 2007.
2. Акишин А.И., Баранов В.К., Каракулев Д.А. и др.// Оптико-механическая промышленность, 1980, №6, с.10.
3. NASA-Phantoms from the Sand: Tracking Dust Devils Across Earth and Mars. <http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/2005-dust-devil.html>
4. Акишин А.И., Докторов Ю.А. // Известия. АН СССР сер. Физ., 1962, т. XXVI, вып. 11, с. 1435.

ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В КРИСТАЛЛЕ, ВОЗБУЖДЕННОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНОЙ

О.А. Горбунова¹⁾, П.Н. Жукова¹⁾, А.Г. Мкртчян²⁾, А.Р. Мкртчян²⁾, Н.Н. Насонов¹⁾

¹⁾Лаборатория радиационной физики, Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия.

²⁾Институт прикладных проблем физики НАН Армении, г. Ереван, Республика Армения.

Рассмотрена дифракция немонахроматических расходящихся рентгеновских пучков на периодически деформированной акустической волной кристаллической решетке. Анализ проведен в рамках кинематического приближения теории дифракции. На основе развитого простого формализма дано объяснение наблюдавшегося недавно эффекта резкого уширения кривой дифракционного отражения при возбуждении в кристалле акустической волны. Выявлены оптимальные условия проявления обсуждаемого эффекта. Показано существенное влияние ширины спектра первичного пучка на угловые характеристики рассеянного излучения. Установлен эффект сдвига в ориентационной зависимости выхода рассеянного излучения, обусловленный несовпадением брэгговской частоты с центральной частотой линии первичного пучка. Обсуждено возможное объяснение на основе указанного эффекта наблюдавшегося экспериментально усиления выхода отраженного излучения при возбуждении в кристалле акустической волны.

ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛНОВОГО ПАКЕТА НА КРИСТАЛЛЕ С ДЕФЕКТОМ УПАКОВКИ

О.А. Подсвиров

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия

Обычное приближение электрона, как неограниченного в пространстве и во времени волнового процесса радикально упрощает описание его взаимодействия с кристаллом. Однако не факт, что такое приближение не отсекает ряда существенных особенностей и не приводит иногда к ложной интерпретации наблюдаемых явлений или невозможности их объяснения. Более адекватное рассмотрение электрона как ограниченного волнового пакета, движущегося в кристалле, представленное в /1/, позволило, в частности, описать затухание толщинных полос от клинообразного кристалла без привлечения аномального поглощения электронов. Кроме того, были объяснены и обнаруженные экспериментально /2/ отличия от предсказаний динамической теории дифракции. Одним из основных достижений этой теории является аналитическое описание изображения дефекта упаковки в тонком кристалле, наблюдаемое в электронной микроскопии /3/. Однако, такие же расчеты изображения в более толстых кристаллах, использующие эффекты аномальной абсорбции, отличаются от экспериментально наблюдаемых. Настоящая работа посвящена решению этой же задачи – расчету контраста от дефекта упаковки, но в рамках концепции движущегося волнового пакета электрона и без привлечения эффектов поглощения. Электронный пакет расщепляется на интерферирующие между собой блоховские субпакеты как при входе в кристалл, так и при пересечении входной и выходной границ дефекта упаковки. Получено более адекватное соответствие результатов расчета и эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подсвиров О.А. //Известия РАН. сер. физ., 2007, Т.71, №10, с.1471.
2. Ueda R., Nonoyama M. //Jap. J. Appl. Phys., 1965, v.4, p.498.
3. Хирш П., Хови А., Николсон Р., и др. Электронная микроскопия тонких кристаллов. М.: Мир, 1968, 575 с.

МЕХАНИЗМЫ ПОВОРОТА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИИ ИЗОГНУТЫМИ КРИСТАЛЛАМИ

Н.Ф.Шульга¹⁾, В.И.Трутьень¹⁾, И.В.Кириллин²⁾

¹⁾ИННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина

²⁾Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина,
г. Харьков, Украина

В работе проведен анализ механизмов поворота пучков заряженных частиц большой энергии изогнутыми кристаллами. С единой позиции рассмотрены механизмы поворота, связанные с явлением плоскостного каналирования частиц в изогнутом кристалле, с рассеянием надбарьерных частиц на изогнутых плоскостях атомов кристаллов (эффект объемного отражения [1]) и с многократным рассеянием частиц на изогнутых цепочках атомов кристалла (стохастический механизм [2]). Представлены результаты моделирования, позволяющие проследить переходы между указанными механизмами поворота пучков. Показано, что стохастический механизм является весьма эффективным для поворота не только положительно, но и отрицательно заряженных частиц. Проводится анализ экспериментов ЦЕРН 2008 и 2009 годов по обнаружению стохастического механизма поворота пучков положительно и отрицательно заряженных частиц изогнутым кристаллом [3,4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Taratin A.M. and Vorobiev S.A. // Phys.Lett. 1987, **A 119**, p. 425.
2. Гриненко А.А., Шульга Н.Ф. // Письма в ЖЭТФ, 1991, **54**, с.520
3. Skandale W., Vomiero A. et al. // Phys. Rev Lett. 2008, v. 101, 164801.
4. Skandale W., Vomiero A. et al. // Phys. Lett. 2009, v. B680, p. 301.

АНОМАЛИИ ПРОЦЕССА ОРИЕНТАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ И ПРОБЛЕМА НЕЙТРОННЫХ МОЛЕКУЛ

В.И. Высоцкий, М.В. Высоцкий

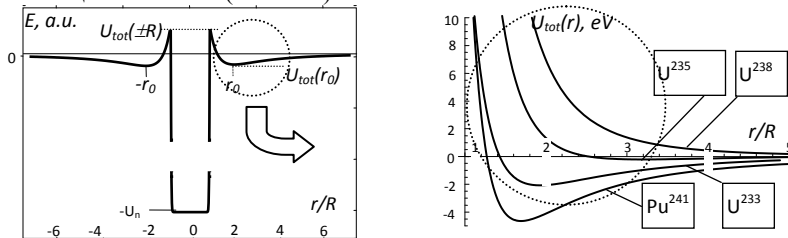
Киевский университет имени Т. Шевченко, Украина

На основе уравнения Дирака исследованы особенности нелинейного электромагнитного взаимодействия при $r \geq R$ медленных нейтронов с ядрами. Впервые показано, что это взаимодействие характеризуется наличием узкого потенциального барьера

$$U_{tot}(r \geq R) \approx \left\{ \frac{\mu_a^2 Z^2 e^2}{2m_n c^2 r^4} \pm 2 \frac{\mu_a \mu_{nucl}}{r^3} \right\},$$

расположенного за пределами ядра. Высота барьера для четно-четных ядер (U^{238}) превышает $U_{tot}(R) = 110$ эВ, а для четно-нечетных (U^{235} , U^{233} , Pu^{241}) лежит в интервале $U_{tot}(R) = 40 \dots 200$ эВ и зависит от Z , A и магнитного момента ядра μ_{nucl} . Формирование барьера связано с пондеромоторным взаимодействием аномального момента нейтрона μ_a с электрическим полем ядра. Коэффициент прозрачности барьера для тепловых нейтронов $D(E) \approx 0.8 - 0.95$. Для холодных нейтронов прозрачность барьера и сечение реакций захвата и деления резко снижаются, а при $E \rightarrow 0$ имеем $D(E) \sim E \rightarrow 0$, $\sigma_{f(tot)} = D(E)\sigma_{f0} \sim \sqrt{E} \rightarrow 0$.

Показано, что комбинация магнитного и пондеромоторного взаимодействия нейтрона и ядра приводит к формированию за пределами четно-нечетных ядер (в области $r \approx (2 \dots 4)R$) симметрично расположенных потенциальных ям (см. Рис.)



для нейтронов. Наличие этих ям приводит к возможности формирования короткоживущих или виртуальных ядерно-нейтронных молекул относительно большого размера.

АВТОМОДЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ КВАЗИКОГЕРЕНТНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЯЕМОЙ КАВИТАЦИИ БЫСТРОЙ СТРУИ ВОДЫ В КАНАЛЕ

В.И. Высоцкий¹⁾, А.А. Корнилова²⁾, Н.Н. Сысоев²⁾, В.И. Томак³⁾

¹⁾Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина

²⁾МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

³⁾НИИ энергетического машиностроения при МГТУ (МВТУ)
им.Н.Э.Баумана, Москва

В работах /1,2/ обсуждались результаты исследований процесса генерации рентгеновского излучения, связанного с кавитацией быстрой струи воды в диэлектрических или металлических каналах. Генерация излучения связана с воздействием на поверхность стенок канала акустических ударных волн, образуемых в струе воды при кавитации.

В данном докладе рассмотрен автомодельный механизм синхронизации случайных ударных волн, образуемых в процессе случайной многопузырьковой кавитации в струе воды. Показано, что этот механизм связан с положительной акустической обратной связью между зоной формирования начала кавитационного процесса в быстрой струе воды внутри канала и удаленной зоной действия ударных волн, вызванных завершающей стадией кавитации. Механизм аналогичен процессу генерации периодических импульсов из начального шума в автогенераторе Ван-дер-Поля и обеспечивает синхронизованную кавитацию и генерацию пакетов ударных импульсов на внешней поверхности стенок канала. Итогом действия этих ударных импульсов является фазированное возбуждение атомов на поверхности и последующая генерация импульсов рентгеновского излучения. Энергия излучения зависит от характеристик этих атомов, а направление распространения определяется фазовыми условиями и формой поверхности.

В докладе представлены спектры излучения при разных режимах кавитации струи и разных конфигурациях стенок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнилова А.А., Высоцкий В.И., Сысоев Н.Н., Десятов А.В. // Поверхность, 2009, №4, с. 17-26.
2. Корнилова А.А., Высоцкий В.И., Сысоев Н.Н., Литвин Н.К., Томак В.И., Барзов А.А.//Вестник МГУ (физика), 2010, №1, с.46

КАНАЛИРОВАНИЕ ЧАСТИЦ В ЗАРЯЖЕННЫХ ПЛОСКОСТЯХ И ОСЯХ КРИСТАЛЛОВ СО СТРУКТУРОЙ ЦИНКОВОЙ ОБМАНКИ

Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, Г.П. Головач
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина

В кристаллах со структурой цинковой обманки существуют две периодически расположенные системы плоскостей (111) с периодом $a_x = a/\sqrt{3}$ (a – постоянная решетки), сдвинутых на расстояние $a_x/4$. Одна система заряжена положительно, другая – отрицательно. Заметим, что эта ситуация аналогична случаю каналирования в заряженных плоскостях ионных кристаллов со структурами типа NaCl и CsCl. Очевидно, что корректный расчет плоскостных потенциалов в заряженных плоскостях (111) в кристаллах со структурой цинковой обманки требует учета этого дополнительного периодического потенциала, возникающего за счет электростатических составляющих. На одном периоде a_x такой потенциал имеет вид

$$W(x) = 2\pi e^2 \alpha n \{ (x - a_x/8)(\theta(x) - \theta(x - a_x/4)) + \\ (\theta(x - a_x/4) - \theta(x - a_x))((5a_x/8 - x)/3) \},$$

где α – степень ионности атомов, n – плотность атомов в плоскостях (111), $\theta(x)$ – функция Хевисайда. В результате получаем неунимодальные плоскостные потенциалы взаимодействия для каналируемых частиц, точные решения уравнения Шредингера, которые рассматриваются в [1]. В итоге можно в аналитической форме рассчитать спектр КХИ. Интерес представляет также каналирование вдоль заряженных осей [110] в этих кристаллах. В этом случае возникают достаточно широкие гексаподобные цилиндрические каналы для эффективного каналирования положительно заряженных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий В.И., Кузьмин Р.Н., Максютя Н.В. // Поверхность, 1997, № 2, С. 107 – 110.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КАНАЛИРОВАНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛАХ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИНОМОВ ДЖОНСА

Н.В. Максютя

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина

Процесс каналирования заряженных частиц связан с взаимодействием локализованных заряженных объектов (частиц) с нелокализованными одномерными (осями) и двумерными (плоскостями) системами атомов. Это позволяет формализовать ориентационное движение частиц с помощью применения теории узлов. В случае положительно заряженной частицы ее взаимодействие с цепочкой атомов кристалла можно сопоставить с несвязной суммой двух струн: одна струна $K_{\uparrow}$ – это ориентированная вдоль направления движения линия, а другая струна K_{+} сопоставляется с каким-то узлом, описывающим положительно заряженную частицу. Как следует из теории узлов, полином Джонса такой несвязной суммы равняется $V(K_{\uparrow})V(K_{+})(-q^{1/2} - q^{-1/2})$, где полином Джонса $-q^{1/2} - q^{-1/2}$ описывает несвязную сумму двух тривиальных узлов и его можно считать характеристикой электростатического отталкивания положительно заряженных частиц, как с положительной, так и с отрицательной спиральностями. В случае же отрицательно заряженной частицы ее каналированное движение можно формально сопоставить с зацеплением струн $K_{\uparrow}$ и K_{-} . В этом случае полином Джонса, как показывает расчет, равняется $V(K_{\uparrow})V(K_{-})(-q^{\pm 1/2} - q^{\pm 5/2})$, где множители $-q^{\pm 1/2} - q^{\pm 5/2}$, представляющие собой полиномы Джонса зацеплений Хопфа соответственно с коэффициентами зацеплений ± 2 , являются характеристиками электростатического притяжения отрицательно заряженных частиц соответственно с положительной и отрицательной спиральностями. В работе рассматривается также возможность возникновения и связанных сумм подобных струн, которые реализуются при высоких энергиях.

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ЧАСТИЦ В ОСЕВОМ И ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛАХ НА ПЕРЕЗАРЯДКУ

Г.П. Похил, В.В. Чердынцев
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В работе /1/ был обнаружен эффект сильного перераспределения потока ионов, прошедших через тонкий монокристалл при изотропном распределении начального потока падающих частиц, который объясняется перезарядкой. В наших работах /2,3/ дана наглядная интерпретация этого явления

Экспериментально было обнаружено отличие поведения границы перехода от нагрева к охлаждению с ростом энергии ионов для плоскостного и осевого каналирования. До сих пор в нашей модели суждение о том, превышает ли равновесный заряд у стенки канала средний заряд при неориентированном движении иона, делалось на основе анализа поведения потока частиц в центре канала и отличие плоскостного и осевого каналирования не учитывалось. В настоящей работе проведен анализ особенностей распределения потока частиц в осевом и плоскостном каналах. При учете различия зависания ионов у стенки осевого и плоскостного каналов показано, что при увеличении энергии ионов переход от нагрева к охлаждению в случае осевого каналирования происходит при меньших скоростях ионов, что согласуется с экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen U., et al., NIM 193(2002) 118.
2. Похил Г.П., Чердынцев В.В., // Поверхность №3, с.1-4 (2007)
3. Похил Г.П., Чердынцев В.В. // Поверхность №3, с.74-77 (2008)

МОДЕЛЬ ДВОЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУЧКОМ ИОНОВ ПРИ НАКЛОНЕННОМ ПЛОСКОМ КАПИЛЛЯРЕ

А.И. Мирончик, Г.П. Похил
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Ранее для объяснения эффекта двойного управления пучком с помощью плоского капилляра рассматривалась модель, в которой полагалось, что обе стенки капилляра заряжаются одинаково. В настоящей работе предлагается более реалистичная модель, в которой учтено, что в эксперименте капилляр наклонен, т.е. ионы могут соударяться только с нижней пластиной, которая покрыта снизу заземленным экраном. Распределение заряда на нижней стенке капилляра предполагалось такое же, как в работе [1]. Учтено наличие отраженного заряда в заземленном экране. Суммарное силовое поле, в котором движется ион, образуется зарядом нижней пластины, отражением этого заряда в заземленном экране нижней пластины и полем центробежных сил, которые появляются, благодаря наклону капилляра, что заставляет ионы двигаться по дуге. Таким образом, без встречного поля верхней пластины создается потенциальная яма, удерживающая ионы в поперечном направлении.

Также проведено моделирование процесса образования зарядового распределения на нижней пластине при условии, что на полосу, соответствующую треку ионов, падают заряды, и проводимость этой полосы на порядки выше проводимости другой части поверхности изолятора. Полученное в такой модели распределение заряда подобно, использованному в работе [1].

Можно однозначно утверждать, что двойное управление пучком с помощью плоского диэлектрического капилляра объясняется образованием зарядового распределения с высокими брусстерами вдоль трека ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Похил Г.П., Вохмянина К.А., Жиликов Л.А., Ikeda T., Kanai Y., Iwai Y., Kojima T.M., Yamazaki Y. //Известия РАН, серия физическая, 2008, т.72, №5, стр. 674-679

О МЕХАНИЗМЕ ГЕНЕРАЦИИ ВОЛН, СОЗДАЮЩИХ ЭФФЕКТ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ

В.Л. Левшунова¹⁾, Г.П. Похил²⁾, Д.И. Тетельбаум¹⁾

¹⁾НИФТИ, Нижний Новгород, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Эффект дального действия объясняется, если представить, что на поверхности образца генерируются волны либо акустические, либо переключения, которые распространяются вглубь материала. Проблема состоит в том, что эффект дального действия имеет место при самых различных видах воздействия на поверхность образца. Световое воздействие, слабый поток тепла, химическое воздействие и даже поток тепла из образца приводят к эффекту дального действия, но они очень слабые, и трудно представить себе механизм генерации волны. Подчеркнем, что существенным свойством эффекта дального действия является необходимость наличия окисного слоя на поверхности материала.

В настоящей работе сделана попытка понять механизм генерации волн, как следствие взаимодействия фононов с электронами. Во всех случаях наблюдения эффекта дального действия есть поток тепловой энергии через границу. Если потока тепла нет, то покоящийся, связанный с дефектом, электрон, в отличие от движущегося, не может получить от фононов импульс и энергию. При наличии потока тепла процесс передачи энергии и импульса ансамблем фононов электрону разрешен. Поэтому наличие потока тепла (даже малого потока) приводит к изменению зарядов ловушек, которые в большом количестве имеются вблизи границы окисел-кремний. Выбитые электроны образуют отрицательно заряженный слой вблизи поверхности, а ловушки, лишенные электронов, образуют положительно заряженный слой вблизи границы окисел-кремний. Поле в слое изолятора возрастает до возникновения пробоя в наиболее электрически слабом месте. Т.к. окисел является пьезоматериалом, сброс заряда приводит к возникновению резкого скачка механического напряжения, что и становится стартом либо акустической волны, либо волны переключения.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ НА ДИФфуЗИЮ ПРИМЕСИ В КРЕМНИИ

Т.Ю. Коломиец¹⁾, В.Л. Левшунова²⁾, А.И. Мирончик¹⁾,

Г.П. Похил¹⁾, Д.И. Тетельбаум²⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾НИФИ ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия

В настоящей работе проведено исследование методом РОР образцов кремния, облученных аргоном. Образцы кремния марки КДБ-1, облученные Ar с энергией 40 кэВ и дозой 10^{16} см^{-2} , были предварительно исследованы на микротвердость, которая с обратной стороны возросла на ~20%. Облучение было сделано на половине образца, т.е. на каждом образце была облученная и необлученная зоны.

Обнаружен интересный эффект изменения состава мишени. В частности, на обратной стороне образца под облученной поверхностью детектировано железо, тогда как на стороне облучения железо не обнаружено. На облученной стороне есть никель, а на обратной стороне его нет. Эти примеси находятся не только на поверхности, но и проникают в глубину кристалла. Количество примесей коррелирует с величиной пика от аргона, внедренного при облучении, т.е. примеси больше в облученной зоне образца. Аргон присутствует и на обратной стороне (под облученной частью поверхности).

Этот результат является новым свидетельством эффекта дальнего действия, т.к. обычной радиационно стимулированной диффузией нельзя объяснить проникновение железа на глубину порядка 300 мкм. Причем железо «выдавливается» к необлученной стороне образца. Это свидетельствует о сильно возбужденном состоянии кристалла, вызывающем аномально быстрый перенос и сегрегацию примеси с облученной стороны образца на обратную сторону. Ранее аномальный перенос бора и фосфора, имплантированных в металлические фольги (Cu-Ni), был обнаружен в работе [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Баянкин В.Я., Гусева М.И., Тетельбаум Д.И., Гильмутдинов Ф.З. Поверхность. 2005. Вып.5. С.77

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ БЫСТРОГО ОДНОЗАРЯДНОГО ИОНА НА СЕЧЕНИЕ ЗАХВАТА ЭЛЕКТРОНА

Н.В. Новиков
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Почти все расчеты сечения захвата электрона быстрыми ионами

$$X^{q+}(Z) + A(Z_t) \rightarrow X^{(q-1)+}(Z) + A^+(Z_t), (1)$$

где q - заряд налетающего иона, Z - его атомный номер, Z_t - заряд ядра атома мишени $A(Z_t)$, были выполнены для ядер $q=Z$. Это связано с необходимостью описания возбужденных состояний рассеянного иона $X^{(q-1)+}(Z)$, а аналитических волновых функций возбужденных состояний ионов с двумя и более электронами нет.

Целью этой работы является оценка сечения захвата электрона $\sigma_{10}(Z, Z_t)$ быстрыми ионами на основе первого борновского приближения /1/ обобщенного на случай произвольных Z и Z_t .

В расчетах учитывается, что для однозарядных ионов ($q=1$) взаимодействием тяжелых частиц в конечном состоянии (1) можно пренебречь. Возбужденные состояния атомов ($Z \leq 18$) описываются волновыми функциями Хартри - Фока /2/, аппроксимированными комбинацией слэтеровских орбиталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. McDaniell M.R.C., Coleman J.P. Introduction to theory of ion-atom collisions. North-Holland Publ. Com, Amsterdam 1970.
2. Froese Fischer C. // Comp. Phys. Comm. 1987. V.43. P.355

ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ${}^4\text{Be}$, ${}^6\text{C}$, ${}^{13}\text{Al}$ И ${}^{14}\text{Si}$ ДЛЯ ПУЧКА МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ ОТ 1 КЭВ ДО 10 МЭВ

Н.Н. Михеев¹⁾, М.А. Степович²⁾, Е.В. Широкова²⁾

¹⁾Научно-исследовательский центр “Космическое материаловедение” Института кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН, г. Калуга, Россия

²⁾Калужский государственный педагогический университет им. К. Э. Циолковского, г. Калуга, Россия

Для протонов величина максимальной однократной потери энергии при неупругом взаимодействии с атомными электронами много меньше их энергии и поэтому асимметрия регистрируемых и рассчитываемых /1/ энергетических распределений мала. Соответственно, при транспорте пучка протонов в веществе средние потери энергии практически равны наиболее вероятным потерям энергии. В данной работе представлены результаты расчёта тормозной способности (S) ряда элементов 2-3 периодов системы элементов Д.И. Менделеева, выполненные с использованием аналитических зависимостей для наиболее вероятных потерь энергии протонами работы /2/. Проводится сопоставление расчётов с обобщёнными экспериментальными результатами измерений величины S /3/, а также с результатами теоретических оценок S /4,5/.

Показаны возможности использования и эффективность применения статистического подхода при описании процессов многократного рассеяния заряженных частиц средних и низких энергий в веществе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев Н.Н., Степович М.А., Юдина С.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2009, № 3, с.53.
2. Михеев Н.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010, № 4, с.59.
3. Andersen H.H., Ziegler J.F. Hydrogen: Stopping Power and Ranges in All Elements, New York: Pergamon, 1977.
4. Kaneko T. // Phys. Stat. Sol. (b), 1989, v. 156, No. 1, p. 49.
5. Ashley J.C. // J. Appl. Phys., 1991, v. 69, No. 2, p. 674

СТРАГГЛИНГ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ МНОГОКРАТНОМ РАССЕЯНИИ

Н.Н. Михеев, В.В. Сафронов

Научно-исследовательский центр “Космическое материаловедение”
Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, г. Калуга, Россия

При моделировании процессов многократного неупругого взаимодействия пучка заряженных частиц с веществом исключительно важным является правильное проведение учёта разброса энергетических потерь /1/. Ранее для функции распределения потерь энергии работы /2/ страгглинг потерь энергии пучка, прошедшего слой вещества заданной толщины, был определён как произведение двух характерных величин: наиболее вероятной суммарной потери и максимальной однократной потери энергии, - независимо от природы частиц. В данной работе в рамках двухканальной модели рассеяния /2,3/, которая учитывает пространственное распределение атомных электронов вещества, рассматриваются вопросы описания энергетических спектров электронов, протонов и α – частиц средних энергий при их транспорте в плёночных мишенях различной толщины. Проводится сопоставление модельных расчётов энергетических распределений с экспериментальными спектрами работ /4,5/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аккерман А.Ф. Моделирование траекторий заряженных частиц в веществе, М.: Энергоатомиздат, 1991, 200 с.
2. Михеев Н.Н., Степович М.А., Юдина С.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2009, № 3, С.53.
3. Mikheev N.N., Stepovich M.A. // Mater. Sci. Eng. B, 1995, vol. 1–4, p. 11.
4. Appleton B., Erginsoy C., Gibson W. M. // Phys. Rev. 1967, vol. 161, No. 1, p. 330.
5. Tschalar C., Maccabee H.D. // Phys. Rev. B, 1970, vol. 1, No. 7, p. 2863.

НАРУШЕНИЕ ПРАВИЛА АДДИТИВНОСТИ ДЛЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ИОНОВ В УГЛЕВОДОРОДАХ

Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

На основании экспериментальных данных /1,2/ показано, что при малых энергиях правило аддитивности нарушается для потерь энергии ионов в углеводородных соединениях в соответствии с результатами /2/ для альфа-частиц, причем отклонение от аддитивности возрастает с увеличением заряда ядра иона Z . Этот эффект существенно уменьшается при увеличении энергии ионов до 0.2 МэВ/нуклон.

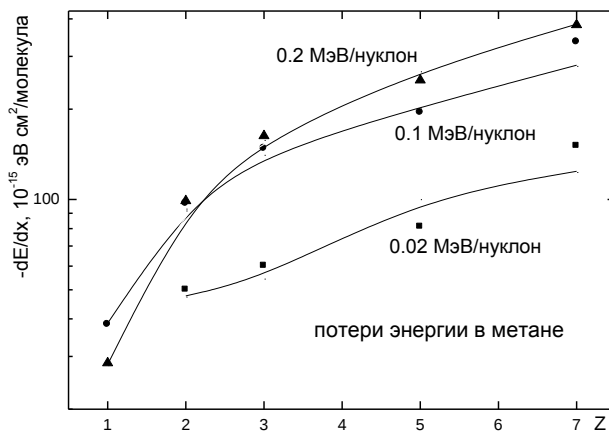


Рис. 1. Потери энергии ионов в метане в зависимости от заряда ядра ионов для различных значений энергии (указаны на рисунке). Значки – экспериментальные данные, сплошные кривые рассчитаны по правилу Брэгга на основе данных программы SRIM-2006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкова Ю.А., Теплова Я.А. // Поверхность. 2010. №3. В печати.
2. Bourland P.D., Chu W.K., Powers D. // Phys.Rev.B. 1971. V.3. P.3625.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ В СЕЧЕНИЯХ ЗАХВАТА ЭЛЕКТРОНОВ ИОНАМИ ФОСФОРА

И.С. Дмитриев, Я.А. Теплова
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

При скорости столкновения $V=2,7 \times 10^8$ см/сек были измерены сечения захвата одного ($m=1$), двух ($m=2$) и трех ($m=3$) электронов $\sigma_{i,i-m}$ ионами фосфора P^{i+} и аргона Ar^{i+} $i=3-7$, которые образовывались после ускорения в циклотроне в результате пропускания пучка через твердую тонкую мишень. Погрешность полученных сечений составляет 15, 20 и 30% для $m=1$, $m=2$ и $m=3$ соответственно.

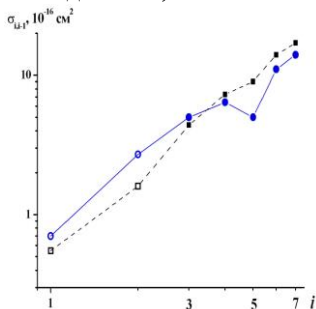


Рис.1. Сечение $\sigma_{i,i-1}$ для ионов фосфора P^{i+} (●) и аргона Ar^{i+} (■) в гелии при скорости $V = 2,7 \times 10^8$ см/сек в зависимости от заряда ионов i . Данные для P^{i+} (○) и Ar^{i+} (□) $i \leq 2$ из [1]

Анализ экспериментальных данных показал (Рис.1), что сечение захвата одного электрона ионами фосфора $\sigma_{5,4}$ ниже, чем следует из монотонной зависимости $\sigma_{i,i-1}$ от i , установленной ранее. Объяснить это можно тем, что электрон захватывается преимущественно в основное состояние неоноподобного иона P^{5+} . Аналогичное явление было отмечено для гелиеподобных ионов N^{5+} [2] и ионов с заполненными М-оболочкой (Br^{7+}) и 4d-подоболочкой (I^{7+}) [3]. Для ионов Ar^{i+} с незаполненной валентной оболочкой уменьшения $\sigma_{i,i-1}$ не наблюдается (Рис.1). Такой эффект может быть использован для обнаружения ионов в метастабильных состояниях.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Dmitriev I.S. et al// At. Data Nucl. Data Tables, 2010, V.96, P.85.
2. Nikolaev V.S. et al // J.Phys. B, 1975, V.8, P.L58.
3. Betz H.D. // Rev.Mod.Phys. 1972, V.44, P.465.

АККУМУЛЯЦИЯ ЗАРЯДОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СТРУКТУРАХ КРЕМНИЙ-НА-ИЗОЛЯТОРЕ С АЗОТИРОВАННЫМ SiO_2

И. Е. Тыщенко, В. П. Попов

Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН,
г. Новосибирск, Россия

С целью генерации ловушек отрицательного заряда, компенсирующих положительный заряд в SiO_2 , в данной работе было исследовано влияние азота в захороненном слое диоксида кремния на процесс накопления зарядов в КНИ структуре как функции дозы и энергии ионов N^+ .

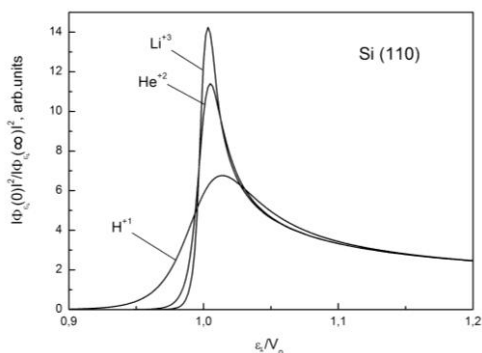
КНИ структуры были сформированы методом водородного переноса в условиях низкотемпературного вакуумного срачивания. Имплантация ионов N^+ с энергией 20-40 кэВ дозами $(1-6) \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ проводилась в пленки SiO_2 толщиной 320 нм. Ионы H^+ с энергией 130 кэВ дозой $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ имплантировались в пластины Si и затем переносились на имплантированную азотом пленку SiO_2 при температуре 200°C в вакуумной камере с давлением 10^2 Па . Заключительный отжиг проводился при температуре 1000°C . Накопление зарядов в КНИ структуре и плотность поверхностных состояний на границах Si/ SiO_2 исследовались путем измерения вольт-фарадных (C-V) характеристик и зависимости емкостной проводимости от напряжения (G-V) в диапазоне частот 10^2 - 10^6 Гц . Доза облучения γ -квантами МДП КНИ структур варьировалась от 10^4 до 10^7 рад (Si) .

Установлена плотность фиксированного заряда в захороненном диэлектрике КНИ структуры в зависимости от дозы и энергии ионов N^+ . Показано, что внедрение ионов N^+ с энергией 40 кэВ дозами ниже $3 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ сопровождается генерацией дополнительных ловушек положительного заряда в слое захороненного SiO_2 . Увеличение концентрации азота как за счет увеличения дозы ионов азота, так и за счет снижения энергии ионов приводит к снижению плотности фиксированного положительного заряда ниже первоначального уровня как вблизи термической границы SiO_2/Si , так и вблизи границы срачивания.

О НЕРАДИАЦИОННОМ ЗАХВАТЕ ЭЛЕКТРОНОВ КАНАЛИРОВАННЫМИ ИОНАМИ

В.С. Малышевский, А.А. Першин, Г.В. Фомин
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

На основе стационарной многоканальной теории рассеяния можно обобщить приближение Оппенгеймера-Бринкмана-Крамерса для процессов нерadiационного одноэлектронного захвата при движении ионов высокой энергии во внешних полях. В частности, при движении иона во



внешнем поле, образуемом атомными цепочками или плоскостями кристалла возникает ориентационная зависимость вероятности захвата. А именно, при углах влета иона в кристалл порядка критического угла канализирования вероятность захвата может значительно превосходить вероятность захвата при неориентиро-

ванном движении. При значениях поперечной энергии близкой к высоте потенциального барьера, возникает эффект «зависания», т.е. ион проводит вблизи плоскости достаточно долгое время, что приводит к увеличению вероятности близких столкновений и, как следствие, вероятности захвата (см. рис.). Обнаруженные особенности поведения вероятности нерadiационного захвата электронов ионами будут отражаться на ориентационной зависимости в зарядовых распределениях канализированных ионов, прошедших кристалл. Так, следует ожидать, что эффект «зависания» приведет к увеличению доли ионов с меньшими зарядами при критических углах падения на кристалл. Подобные ориентационные особенности в зарядовых распределениях многозарядных ионов наблюдались недавно в работе [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Testa E., Abufager P.N., Bosch F., et al. Phys.Rev. **A76**, 062901 (2007).

РЕЛАКСАЦИЯ ЗАРЯДА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ АТОМНЫХ ЧАСТИЦ

П.В. Серба , Ю.Ф. Блинов

Технологический институт Южного Федерального университета,
Таганрог, Россия

При прохождении многозарядных ионов через кристаллы вследствие процессов перезарядки ионизируются атомы остова решетки. Изменение электронного состояния атома как правило приводит к увеличению равновесного межатомного расстояния. В этом случае в кристалле возникают внутренние механические напряжения. В зависимости от процессов движения атомов и изменения их электронного состояния возможно несколько путей протекания релаксации внутренних напряжений и зарядового состояния. Прежде всего наличие внутренних механических напряжений приводит к возникновению пор в кристалле. В проводящих материалах вследствие перехода электронов на свободные уровни атомов возможна релаксация заряда в виде излучения кванта света или возникновения упругих волн в кристалле.

Равновесные расстояния и силы межатомного взаимодействия были рассчитаны с использованием квантово-химических методов. Движение атомов в кристалле изучалось молекулярно-динамическими методами. Релаксация заряда описывалась с использованием уравнения непрерывности.

КВАДРАТИЧНЫЙ ЭФФЕКТ ШТАРКА ПРИ ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛИРОВАНИИ НЕ-ПОДОБНЫХ ИОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

А. А. Бабаев¹⁾, Ю. Л. Пивоваров²⁾

¹⁾НИИ ЯФ, Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

²⁾ЕНМФ, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

При плоскостном каналировании ион движется в электрическом поле кристалла в канале, образованном двумя соседними плоскостями. При этом в системе покоя иона на его орбитальные электроны действует электрическое поле, величина которого зависит от положения иона в канале. Это поле влияет на положение электронных уровней энергии иона, приводя к траекторно-зависящему эффекту Штарка, который в случае Н-подобных ионов является линейным /1,2/.

Система электронных уровней энергии иона характеризуется тонкой структурой, обусловленной спин-орбитальным взаимодействием. Эффект Штарка, возникающий при плоскостном каналировании иона, приводит к дополнительному смещению и расщеплению уровней энергии. В настоящей работе мы представляем теоретическое исследование траекторно-зависящего эффекта Штарка электронных уровней энергии релятивистских каналированных Не-подобных ионов. Для таких (и более сложных) ионов эффект Штарка в однородном поле пропорционален квадрату напряженности поля /3/.

Существование эффекта Штарка приводит к различной энергии перехода между электронными уровнями при разных расстояниях иона до центра канала, что сказывается на возбуждении иона и излучении, возникающем при обратном переходе в основное состояние, динамике зарядовых состояний иона (см. /1,2/ и ссылки в этих работах).

В представленной работе особенности эффекта Штарка Не-подобных ионов исследованы на примере релятивистских 400 МэВ/нуклон ионов Fe^{24+} при их плоскостном каналировании в кристалле Si, в соответствии с условиями эксперимента /4/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Babaev A.A., Pivovarov Yu.L. // J. Phys. **В**, 2008, 41, 195001.
2. Бабаев А.А., Пивоваров Ю.Л. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2009, 3, 1.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория (Серия: “Теоретическая физика”, том III). - М.: Наука. 1974. - 752 с.
4. Kondo C., Takabayashi Y. // NIM **В**, 2005, 230, 1-4, 85.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ДВИЖУЩИМИСЯ ЗАРЯДАМИ В СФЕРОИДАЛЬНОМ ПРОВОДНИКЕ

А.С. Сабиров

Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова,
г. Чебоксары, Россия

Коллективные электронные возбуждения в проводящих структурах наномасштаба играют важную роль при воздействии на них внешних электромагнитных полей. Кроме того спектр собственных возбуждений в таких структурах оказывается чувствительным к их форме и размеру. В работе /1/ был получен вид элементарных электромагнитных возбуждений, возникающих в проводнике сфероидальной формы, и найден закон их дисперсии. Была проведена процедура квантования этих возбуждений и построен их гамильтониан.

В данной работе исследуется процесс взаимодействия внешней заряженной частицы с проводником сфероидальной формы. В частности, рассчитываются энергетические потери на возбуждение поверхностных плазмонов при пролете частицы рядом с проводящим сфероидом. Результаты сравниваются, с уже известными /2/, для двух предельных случаев сферы и цилиндра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сабиров А.С. // Известия РАН. Серия физическая, 2010, т.74, № 2, с. 199-202.
2. Александров В.А., Сабиров А.С., Филиппов Г.М. // Известия РАН. Серия физическая, 2008, т.72, № 7, с. 938-943.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛИРОВАНИЯ АТОМНЫХ ЧАСТИЦ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

В.А. Александров¹⁾, И.В. Лысова²⁾, А.С. Сабиров¹⁾, А.М. Самсонов²⁾,
А.В. Степанов²⁾, Г.М. Филиппов³⁾

¹⁾Чувашский госуниверситет, г. Чебоксары, Россия

²⁾Чувашский госпедуниверситет, г. Чебоксары, Россия

³⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) МГОУ,
г. Чебоксары, Россия

Одним из важнейших методов исследования наноматериалов является построение их компьютерных моделей (см., например, /1/). В данной работе исследуются некоторые аспекты каналирования атомарных и молекулярных структур в углеродных нанотрубках (УНТ). Для описания взаимодействия частицы с атомами УНТ и самих атомов УНТ друг с другом использовались известные модельные потенциалы, как одночастичные, так и многочастичные, широко применяющиеся в такого рода расчетах. При этом во всех случаях учитывались потери энергии каналирующих частиц на электронной подсистеме нанотрубки. Методами классической молекулярной динамики исследовалось каналирование молекулярного иона водорода, молекулы водорода и атома аргона в УНТ разной хиральности. Изучалась степень влияния изогнутости нанотрубки на данный процесс. Также численными методами моделировалась динамика движения фуллерена в нанотрубке с закрытым концом, предварительно заполненной водородом. Был достигнут эффект сжатия водорода до весьма высоких давлений, порядка нескольких ГПа. Результатом моделирования явилось подтверждение ранее высказывавшейся возможности (Осипьян Ю.А.) заполнения углеродных нанотрубок водородом в значительно большей степени, чем это достижимо с помощью стандартных физико-химических методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ибрагимов И.М., Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. Основы компьютерного моделирования наносистем, С-Пб., изд-во "Лань", 2010, 376 с.

НЕРЕГУЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ КВАНТОВЫХ
ЯМ ПРИ НАЛИЧИИ ТУННЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВВ.А. Александров¹⁾, А.С. Сабилов¹⁾, Г.М. Филиппов²⁾¹⁾Чувашский госуниверситет, г. Чебоксары, Россия²⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) МГОУ,
г. Чебоксары, Россия

Туннельные процессы имеют определяющее значение в работе таких электронных приборов, как туннельные диоды, полевые транзисторы, МОП-структуры. При движении атома вблизи поверхности твердого тела учет туннельных переходов необходим для понимания явлений ионизации и нейтрализации атома. В микроэлектронных и наноэлектронных соединениях типа последовательностей квантовых точек, квантовых проводников и квантовых ям туннельные явления могут участвовать в переносе заряда, в резонансных явлениях типа эффекта Окорокова, в образовании атомных систем с инверсной заселенностью. Иногда (см., например, [1,2]) учет туннельных переходов представляет собой практически единственную возможность объяснения наблюдаемых явлений в физике атомных столкновений. В данной работе туннельный эффект рассматривается при решении двух задач: а) туннелирование при сближении и последующем удалении двух кулоновских ям, одна из которых первоначально заполнена электроном; б) расчет перезарядки протона при подлете к металлической поверхности с последующим отражением от нее. Решение двух этих задач позволит более основательно понять физику сложных явлений, происходящих в устройствах современной электроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев В.И., Филиппов Г.М. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2006, №4 с. 47-50.
2. Александров В.А., Лысова И.В., Савельев В.И., Сабилов А.С., Филиппов Г.М. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2009, №4 С. 64-67.

ОСЕВОЕ КАНАЛИРОВАНИЕ ИОНОВ В СТРУКТУРЕ АЛМАЗА

В.К. Егоров¹⁾, Е.В. Егоров¹⁾, С.А. Петров²⁾, В.Г. Шаронов²⁾

¹⁾ИПТМ РАН, Черноголовка, 142432 Россия

²⁾НИИ ПФМ, Минск, 220072 Белоруссия

Исторически взгляд на алмаз формировался под влиянием двух его очевидно уникальных свойств – фантастической твердости и большого значения коэффициента преломления в области оптического излучения. Первое свойство служило основанием для создания сверхтвердого инструмента, второе – для изготовления бриллиантов. В последнее время к алмазной структуре стала проявлять повышенный интерес электронная промышленность в связи с рекордно высокой теплопроводностью алмаза и значительной шириной его запрещенной зоны [1]. В то же время одним из сдерживающим факторов широкого высокотехнологического применения алмазов является недостаточный уровень совершенства структуры как синтетических, так и природных кристаллов и качество полировки поверхности. В данной работе проведено изучение совершенства кристаллической структуры образцов синтетических алмазов, приготовленных методом температурного градиента при повышенном давлении путем перекристаллизации на алмазную затравку углерода, расплавленного в металлической фазе. Исследованы две монокристаллические пластины с ориентацией (100) размером $5 \times 3 \times 1$ мм³ и $5 \times 5 \times 1$ мм³ методами каналирования ионов и рентгеновской дифракции. Кроме того, был оценен уровень поверхностной шероховатости изучаемых пластин и определено объемное содержание примесных элементов в структуре.

Исследования показали, что пластины действительно имеют структуру алмаза с атомной плотностью $1.76 \cdot 10^{23}$ ат/см³ ($\rho = 3.52$ г/см³). Концентрация азота в структуре составила $2 \cdot 10^{19}$ ат/см³, а шероховатость ориентированной полированной поверхности оказалась близкой к 10 нм.

Изучение степени совершенства структуры обеих пластин показало, что их кристаллическая решетка близка к идеальной. Этот вывод следует из данных по каналированию ионов He⁺ в структуре ($\chi_{\text{exp}}^{(100)} \cong \chi_{\text{teor}}^{(100)} \cong 0.093$) и равенства полуширины перпендикулярных сечений узла обратной решетки (100). Качество исследованных пластин представляется вполне достаточным для планарного эпитаксиального выращивания элементов интегральной СВЧ электроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Природные алмазы России / под ред. В.Б. Кваскова. М.: Полярон. 1997. 304 с.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД В ТЕОРИИ ЯВЛЕНИЯ КАНАЛИРОВАНИЯ

Н.Ф. Шульга¹⁾, В.А. Черкасский¹⁾, А.В. Козлов²⁾

¹⁾ИТФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина

²⁾Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина,
г. Харьков, Украина

Спектральный метод широко используется в оптике для определения резонансных частот в волноводах и оптоволоконных жилах [1]. В работах [2,3] этот метод был применен для определения собственных значений оператора Гамильтона в уравнении Шредингера. В настоящей работе исследуется возможность использования спектрального метода для задач, связанных с явлением каналирования быстрых заряженных частиц в кристаллах. Показано, что на основе этого метода возможно вычислить положение уровней при плоскостном каналировании частиц в кристалле. Рассмотрена также задача о проникновении волнового пакета через потенциальный барьер, образованный непрерывным потенциалом кристаллической плоскости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Feit M. D. and Fleck J.A. // Appl.Opt. 1980, v. 19, p. 1154.
2. Feit M. D., Fleck J.A., Steiger A. // J. of comp. phys. 1982, v. 47, p. 412.
3. Болотин Ю.Л., Черкасский В.А. // Сборник научных трудов «Проблемы современной науки», 2008, Харьков: ННЦ ХФТИ, с. 133.

ШВИНГЕРОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

Ю.П. Кунашенко^{1,2)}, Ю.Л. Пивоваров¹⁾

¹⁾Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²⁾ Томский государственный педагогический университет,
г. Томск, Россия

При прохождении быстрых заряженных частиц через ориентированные кристаллы возникают когерентные эффекты [1]. Как было показано Швингером [2], благодаря наличию спина, нейтрон может рассеиваться в электрическом поле атома. Можно ожидать возникновение когерентного эффекта и для швингеровского рассеяния нейтронов в кристалле [3-5]. Детальная теория этого явления развита в работе [6]. В представленном докладе проведены детальные расчеты когерентного швингеровского рассеяния быстрых нейтронов в кристалле вольфрама и германия, для определения наиболее оптимальных условий экспериментального исследования. Работа частично поддержана грантом Федерального агентства по науке и инновациям России контракт № 02.740.11.0238

ЛИТЕРАТУРА

1. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. - Ереван, изд-во АН Арм.ССР, 1969. -458с.
2. Schwinger J. // Phys. Rev. 1948, 73, 407.
3. Дюмин А.С., Коренбит И.Я., Рубан В.А., Токарев Б.Б. // Письма в ЖЭТФ, 1980, т.31, с. 413;
4. Барышевский В.Г., Зайцева А.М. // Изв. ВУЗов. Физика, 1985, в.3., с. 103
5. Дюмин А.С., Рубан В.А., Токарев Б.Б., Власов М.Ф. // Письма в ЖЭТФ 1985, т.42, с. 61.
6. Kunashenko YU.P., Pivovarov Yu.L. in book "Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena - Channeling 2008", Proceedings of the 51st Workshop of the INFN Eloisatron Project, World Scientific, 2010, 794.

ANGULAR SCATTERING OF NICKEL IONS IN MATTER AT 300 MeV/NUCLEON

A. Ananyeva^{1),2)}, H. Weick²⁾, F. Attallah²⁾, S. Eliseev^{2),3)}, H. Geissel^{2),7)},
M. Hausmann²⁾, M. Hellström^{2),4)}, E. Kaza^{2),5)}, Yu. Litvinov^{2),3)}, M. Maier²⁾,
M. Matos^{2),6)}, N. Nankov⁷⁾, T. Othsubo^{2,8)}, Yu. Pivovarov¹⁾, C. Scheiden-
berger^{2),7)}, V. Shishkin²⁾, M. Winkler²⁾, Z. Zhou⁷⁾

¹⁾Tomsk Polytechnic University,

²⁾GSI - Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Germany,

³⁾MPIK Heidelberg, Germany,

⁴⁾University Lund, Sweden,

⁵⁾University of Greifswald,

⁶⁾Louisiana State University, USA ,

⁷⁾University of Giessen,

⁸⁾University of Niigata, Japan

Layers of matter can be introduced into beamlines as strippers, targets and or for the special purpose of fragment separators as energy degraders to achieve a precise Z dependent energy-loss and thus to achieve separation of ions of different elements. In this context the study of angular scattering of heavy relativistic ions is important and experiments have been performed earlier /1-2/. New planned fragment separators as for example the Super-FRS /3/ at the FAIR facility should apply even more such energy degraders and optimization of the material especially regarding the angular scattering is necessary.

In this contribution the variance of the scattering angle of 300 MeV/nucleon nickel ions in different target materials is presented. The experimental data were derived from measurements with two different multiwire proportional chambers (MWPCs) in the FRS at GSI. The comparison of experimental data with calculations using the popular computer codes ATIMA, SRIM'09, CASP4 is performed.

REFERENCES

1. C. Scheidenberger et al., Nucl.Instr. and Meth B 142 (1998) 441
2. R. Anne et al., Nucl.Instr. and Meth. B 34 (2003) 295
3. H. Geissel et al., Nucl.Instr. and Meth. B 204 (2003) 71

ОБРАЗОВАНИЕ e^+e^- ПАР РЕЛЯТИВИСТСКОМ ЯДРОМ В КРИСТАЛЛЕЮ.П. Кунашенко^{1,2)}¹⁾Томский политехнический университет, г. Томск, Россия²⁾Томский государственный педагогический университет,
г. Томск, Россия

При пролете релятивистских ядер через кристаллы они могут сталкиваться с электронами кристалла. В этом случае кроме обычного упругого и неупругого рассеяния возможен процесс, в котором электрон захватывается в связанное состояние с ядром-снарядом. В результате этого электрон должен испустить гамма-квант. В более высоком порядке по константе взаимодействия α вместо фотона будет испускаться e^+e^- пара [1].

В представленном докладе найдено полное сечение процесса захвата электрона в связанное состояние с ядром-снарядом с испусканием e^+e^- пары. Исследована зависимость сечения процесса от энергии ядра.

Работа частично поддержана грантом Федерального агентства по науке и инновациям России контракт № 02.740.11.0238

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика, Москва, Наука, 1980, 704.

ПРЕДЕЛЫ ОБЪЕМНОГО ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ОДНОРОДНО ИЗОГНУТОМ КРИСТАЛЛЕ

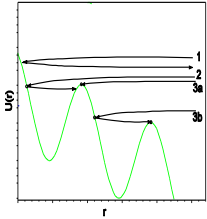
Г.В. Ковалев

School of Mathematics, University of Minnesota, Minneapolis, MN
55455, USA

Рассматривается классическое рассеяние релятивистских частиц в однородно изогнутом кристалле с простой моделью диссипационного процесса торможения, пропорционального скорости частицы. Из уравнений движения в плоскости изгиба

$$\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 = \frac{c^2}{\mathcal{E}_{kin}} [eE(r) - k\dot{r}], \quad 2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta} = \frac{c^2}{\mathcal{E}_{kin}} k r \dot{\theta} \quad (1)$$

с начальной энергией $\mathcal{E}_{kin}$ и коэффициентом диссипации k , получено приближенное выражение для функции отклонения $\chi(b)$, учитывающее энергетические потери, а так же точное выражение для зависящего от времени углового момента частиц,



$$\sqrt{(\mathcal{E}_{kin}/c^2)} r^2 \dot{\theta} = L_0 e^{-kt c^2 / \mathcal{E}_{kin}}, \quad (2)$$

изменение которого фактически приводит к несохранению поперечной энергии и объемному захвату в режим каналирования. Согласно (2), поперечные энергии всех частиц убывают при приближении к барьеру.

Показано что, диссипационный процесс не может уничтожить отрицательные по знаку логарифмическую или корневую сингулярности в функции отклонения $\chi(b)$ [1], связанные с попаданием частиц на вершину потенциального барьера, что в свою очередь, вызывает явление спирального рассеяния и, наоборот, способствует эффекту преломления и захвату в каналирование. На Рис. показаны поперечные энергии частиц для трех характерных случаев, которые присутствуют в экспериментах LHC [2].

Делаются оценки зон объемного отражения и преломления для радиусов изгиба кристалла в широком диапазоне от $R < R_c$ до $R \gg R_c$, где R_c – критический радиус изгиба.

REFERENCES

1. Ковалев Г.В. Письма в ЖЭТФ, 89, 311, 2009.
2. Scandale W. et al. PRL 101, 234801 (2008).

ЧИСЛЕННЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОИМЕННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Л.А. Жилияков¹⁾, А.А. Пронкин²⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ,

²⁾ОИВТ РАН

В исследованиях скользящего взаимодействия пучков ускоренных заряженных частиц с диэлектрической поверхностью /1/ отмечено явление самоорганизующейся изоляции пучков от стенки. Для объяснения природы силы отталкивания, действующей со стороны диэлектрической поверхности на частицы пучка, в работе /2/ было предложено рассматривать совокупность точечных зарядов на поверхности как плоский кулоновский кристалл, в узлах которого локализованы заряды.

В настоящей работе проведен численный расчет распределения одноименных точечных зарядов на поверхности диэлектрика с целью определения условий, когда точечные заряды на поверхности образуют упорядоченную структуру. В работе представлены результаты расчета распределения одноименных точечных зарядов на равномерно заряженной диэлектрической плоскости при различных значениях поверхностной плотности заряда и температуре поверхности. Показано, что при поверхностной плотности заряда от $2 \cdot 10^{-6}$ до $7 \cdot 10^{-5}$ Кл/м² и температуре 300 – 800 К для среднего отклонения точечного заряда от положения равновесия выполняется критерий Линдемана и совокупность точечных зарядов на диэлектрической поверхности может рассматриваться как 2D кулоновский кристалл.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 09-08-00444-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stolterfoht N., Bremer J.-H., Hoffmann V. et al. // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 88. P. 133201.
2. Вохмянина К.А., Жилияков Л.А., Похил Г.П. и др. // Известия РАН. Серия физическая. 2006. Т. 70. №6. С. 828.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЕЧЕНИЙ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ ИЗ СПЕКТРОВ REELS и ISS

В.П. Афанасьев, Д.С. Ефременко, А.В. Лубенченко
Московский Энергетический институт, Москва, Россия

Проблемой при расчетах энергетических спектров атомных частиц, взаимодействующих с твердыми телами, является весьма неполный набор данных по сечениям неупругих потерь энергии. Перспективным способом исследования неупругих рассеяний для электронов является восстановление сечений из спектров характеристических потерь энергии (REELS). Однако при восстановлении возникают две проблемы: 1) измеряемый сигнал (энергетический спектр) представляет собой сигнал многократного рассеяния; 2) закон неупругих потерь не однороден по глубине мишени. В работе представлен метод, успешно решающий обе проблемы $1/\lambda$, на основе численного восстановления сечений из спектров и их аппроксимации аналитическими функциями методом фитинга. С его помощью были получены сечения неупругого рассеяния ниобия и алюминия для энергий 5-40 кэВ.

Процесс расчета потерь энергии ионов осложняется его возможностью пребывать в различных зарядовых состояниях. Обсуждается возможность использования развитой методики для интерпретации ISS спектров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В. П., Ефременко Д. С., Лубенченко А. В., Вос М., Вент М. Р. // Известия РАН. Серия физическая, 2010, том 74, № 2, с. 239

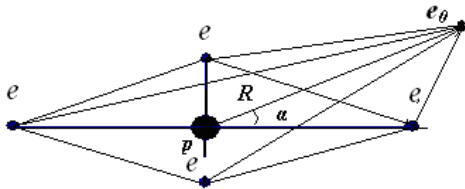
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ С ЭЛЕКТРОНАМИ

В.К. Гудым¹⁾, Е.В. Андреева²⁾

¹⁾Национальное Космическое агентство Украины, Киев, Украина

²⁾Институт Физики полупроводников НАНУ, Киев, Украина

Показано, что вокруг электрически нейтральных систем также существуют электрические поля. В этом легко убедиться, если по модели, показанной на рисунке, составить выражение для определения энергии взаимодействия атома бериллия с пробным зарядом



Модель взаимодействия нейтрального атома бериллия с пробным зарядом e

$$E = -\frac{8e^2}{r_1} + \frac{2\Gamma}{r_1^2} - \frac{8e^2}{r_2} + \frac{2\Gamma}{r_2^2} + \frac{4e^2}{R_1} + \frac{e^2}{2r_1} + \frac{e^2}{2r_2} + \frac{4A}{R_1^2} + \frac{A}{(2r_1)^2} + \frac{A}{(2r_2)^2} - \frac{4e^2}{R} + \frac{\Gamma}{R^2} + e^2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) + A \left(\frac{1}{(r_1)^2} + \frac{1}{(r_2)^2} + \frac{1}{(r_3)^2} + \frac{1}{(r_4)^2} \right)$$

Данная методика позволяет определять в каждой точке пространства численное значение энергии взаимодействия атомной системы с пробным зарядом. По этой методике были изучены около атомные пространства первых десяти элементов таблицы Менделеева. Наличие этих полей позволяет объяснить притяжение и отталкивание электрически нейтральных тел на малых расстояниях и взаимное притяжение их на больших расстояниях.

Так впервые удалось строго доказать, что гравитационное и электростатическое взаимодействия имеют одну и ту же природу. Электрическое взаимодействие - это взаимодействие электрических зарядов на ближних расстояниях, а гравитационное взаимодействие - это взаимодействие электрических зарядов на больших расстояниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудым В.К., Андреева Е.В. // Поверхность, 2008, №10, с.86-92
2. Gudym V.K., Andreeva E.V. // Concepts of Physics, 2008, Vol.V, No. 3, pp. 435-454

ВЛИЯНИЕ КВАНТОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ НА СТОХАСТИЧЕСКУЮ ДИНАМИКУ ЭФФЕКТА КАНАЛИРОВАНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ

В.П. Кошечев, Д.А. Моргун, Т.А. Панина, Ю.Н. Штанов
Сургутский Государственный Университет, г. Сургут, Россия

В обзоре /1/ была, в частности, отмечена недостаточная изученность эффекта каналирования релятивистских электронов и позитронов. В /2/ был предложен новый способ учета влияния квантовых флуктуаций на стохастическую динамику эффекта каналирования быстрых заряженных частиц в кристаллах.

В настоящем докладе представлены результаты расчета функции деканалирования с учетом и без учета квантовомеханических поправок к классическому способу описания эффекта каналирования. Все результаты получены с помощью программного комплекса TROPICS /3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Richard A. Carrigan, Jr. // Fermilab, 2009, FERMILAB-CONF-09-618-AD, 2009, 15pp.
2. Кошечев В. П., Моргун Д. А., Панина Т. А. // Известия РАН. – Серия Физическая, ноябрь 2009, Том 73, № 11, с.1586-1590.
3. Моргун Д.А., Кошечев В.П., Штанов Ю.Н. // Тезисы докладов XL международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. – М.: Изд.-во УНЦ ДО, 2010.

НОВОЕ РЕШЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ЛАНДАУ ДЛЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛАХ

В.П. Кощев, Д.А. Моргун, Ю.Н. Штанов
Сургутский Госуниверситет, г. Сургут, Россия

Хорошо известно (см., например, /1/ и цитируемую там литературу), что потери энергии быстрых частиц в тонких мишенях не описываются функцией распределения Ландау. В /1/ рассмотрены иные подходы к решению этой проблемы. Тем не менее, эти подходы не описывают случай эффекта каналирования быстрых заряженных частиц в тонких кристаллах. Эта задача будет решена в настоящей работе.

Нами было получено новое решение кинетического уравнения Ландау:

$$F(\Delta) = \frac{1}{e^{\mu} - 1} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu^n}{n!} \frac{e^{-(\Delta - n\overline{\Delta}_e)^2 / 2n\overline{\Delta}_e^2}}{\sqrt{2\pi n\overline{\Delta}_e^2}}, \quad (1)$$

где $F(\Delta) = F(\Delta, t)$ - плотность вероятности того, что в момент времени t частица потеряла энергию Δ . Если решалась обратная задача, то величины $\overline{\Delta}_e^2$, $\overline{\Delta}_e$ и μ определялись из эксперимента.

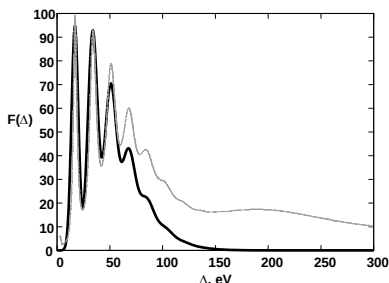


Рис.1 Распределения потерь энергии для протонов с энергией 2ГэВ в Si толщиной 1 мкм (пунктирная линия) /1/, и результат фитирования по формуле (1) (сплошная линия).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bichsel H. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., A 562, 2006, pp.154–197.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В ПЛОСКОСТНЫХ КАНАЛАХ КРИСТАЛЛА

Д.А. Моргун, В.П. Кощев, Ю.Н. Штанов

¹⁾Сургутский госуниверситет, г. Сургут, Россия

На базе физических моделей /1-2/ создан программный комплекс TROPICS (“Trajectory Of Particle In a Crystal” Simulator). В основу комплекса положены апробированные ранее в работах /3/ и /4/ методы моделирования в фазовом пространстве поперечных координат и скоростей, и в пространстве поперечной энергии. Комплекс позволяет исследовать движение заряженных частиц, как положительных, так и отрицательных, в плоскостных каналах прямых и изогнутых кристаллов. При моделировании учитывается многократное рассеяние частиц на атомах кристалла, начальная расходимость пучка; есть возможность выбора различных потенциалов отдельного атома.

В настоящем докладе приводится формулировка численных методов решения систем стохастических дифференциальных уравнений, описывающих движение каналированной частицы, блок-схемы алгоритмов и результаты тестирования комплекса TROPICS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кощев В.П., Моргун Д.А. // Изв. вузов. Физика, 1997, № 9, с. 9.
2. Кощев В.П. // ПЖТФ, 2001, Т.27, вып.18, с. 61.
3. Кощев В.П., Сафин Н.В., Моргун Д.А. //ПЖТФ, 2007. Т.33, вып.15, с.62.
4. Кощев В.П., Холодов А.К., Моргун Д.А. // Ядерная физика, 2009. Т.72, № 4, с.755.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНТРОПИИ В СЛАБО-ДИССИПАТИВНОЙ КАМ

Р.И. Богданов¹⁾, М.Р. Богданов²⁾

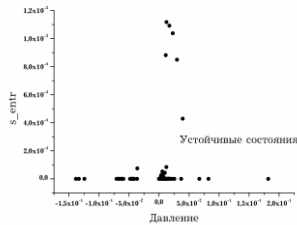
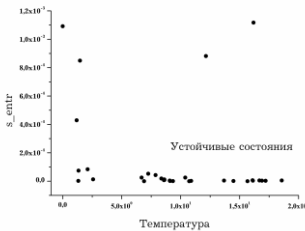
¹⁾НИИЯФ МГУ

²⁾МГУИЭ

Свободное движение пробной частицы (прямолинейное с нулевым ускорением) в течение постоянного шага по времени с последующим мгновенным изменением импульса возникает в ряде приложений. Его описание в безразмерном виде дает простейшая модель

$$\left. \begin{aligned} X_{n+1} &= X_n + Y_{n+1} \\ Y_{n+1} &= Y_n + kX_n(X_n - 1) + (\varepsilon + \mu X_n)Y_n \end{aligned} \right\},$$

где ε, μ являются малыми величинами (см. [1]). В указанной динамической системе площадь области захвата $S(n)$ асимптотически (не) устойчивой периодической орбиты, где n ее период, определяет для соответствующего квазиравновесного состояния статистический вес, температуру, давление и т.д. Распределение энтропии имеет вид $-S(n)\ln S(n)$ и в зависимости от температуры и давления приведена на рисунке.



ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Р.И. Фазовые портреты динамических систем на плоскости и их инварианты. – М.: Вузовская книга, 2008, 428 с.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ НЕРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛАХ

А.Г. Кадменский

ФГУП ЦНИИмаш, Королев Моск. обл., Россия

Представлена концепция когерентного рассеяния (КР) нерелятивистских тяжелых заряженных частиц в кристалле многими атомами атомных цепочек (АЦ) с передачей решетке импульса, равного нулю. В этой концепции использовано классическое рассмотрение Линдхарда (эффективный непрерывный потенциал АЦ, действующий в поперечной плоскости, и сохраняющуюся энергию поперечного движения) и продолжает его при рассмотрении КР на АЦ вдоль азимутального угла (без изменения поперечной энергии), а также некогерентного рассеяния (НР) (с изменением поперечной и полной энергии). Результаты справедливы во всем диапазоне поперечных энергий от многоатомного КР до атомного и кратного рассеяния и используют усреднение по тепловым колебаниям решетки, учитывающее скоррелированность одновременных поперечных тепловых смещений из узлов решетки атомов – близких соседей по АЦ. Аналитически описана траектория частицы в поле АЦ и проведено усреднение по ней процессов НР с получением соответствующих дисперсий как функций поперечной и полной энергий, а также прицельного параметра l . Компьютерное моделирование в кристалле как решетке АЦ (МэВ-ные протоны в толстых кристаллах Au, Ge, Si) показало, что при консервативном движении частиц в поперечной плоскости реализуются различные моды стохастической динамики, что открывает новый класс классических когерентных явлений, в частности, в виде нелинейных резонансов. Распределения l при этом далеки от однородного, необходимого для применимости модели статистического равновесия Линдхарда. НР для полярных углов θ , лежащих в обширной области ($\theta \geq k\psi_1$, $1 < k < 5$) за пределами угла Линдхарда ψ_1 , приводит к темпам рассеяния и торможения, существенно превышающим нормальные, и вызывает переходы между модами (диффузию Арнольда), а также объемный переход частиц из случайного движения в моды каналирования. При рассмотрении неориентированного пучка толстый кристалл проявляет себя как фильтр, отбирающий и накапливающий частицы в устойчивых модах динамики, что важно для приложений в передовых пучковых технологиях модификации кристаллов.

ЭФФЕКТ ПОЯВЛЕНИЯ ВЕКТОРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ У ТЕНЗОРНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО ПУЧКА ЯДЕР ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ И ИЗМЕРЕНИЕ КВАДРУПОЛЬНЫХ МОМЕНТОВ КОРОТКОЖИВУЩИХ ЯДЕР

А.Я. Силенко
ИЯП БГУ, Минск, Беларусь

Оптические методы измерения ядерных моментов могут использоваться для короткоживущих ядер с временем жизни не менее 10^{-6} с /1/. В работе /2/ для определения квадрупольного момента короткоживущего ($\tau=0.8 \times 10^{-10}$ с) Ω^- -гиперона было предложено использовать эффект осцилляций спина при каналировании пучка Ω^- -гиперонов в кристалле. В настоящей работе показано, что при плоскостном каналировании пучка ядер с начальной тензорной поляризацией имеет место эффект появления векторной поляризации. Оба эффекта обусловлены взаимным преобразованием векторной и тензорной поляризации, впервые описанным в /3-4/. Эффект, подобный исследуемому в настоящей работе, имеет место для пучков ядер в накопительных кольцах и обусловлен тензорными электрической и магнитной поляризуемостями /5/. При каналировании ядер тензорные поляризуемости также вносят вклад в преобразование тензорной поляризации в векторную, но этот вклад обычно весьма мал.

Если начальный пучок имеет тензорную поляризацию под углом к нормали системы плоскостей кристалла, то вектор поляризации выходящего пучка лежит в плоскости, перпендикулярной этой нормали. Эффект может быть использован для определения квадрупольных моментов ядер с малым временем жизни вплоть до $\sim 10^{-10}$ с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гангрский Ю.П. // Сопос. образов. журн. 2000. Т. 6. №8. С. 93.
2. Baryshevsky V.G. and Shechtman A.G. // Nucl. Instr. Meth. 1993. V. B83. P. 250.
3. Baryshevsky V.G. // Phys. Lett. 1992. V. A171. P. 431.
4. Baryshevsky V.G. // J. Phys. 1993. V. G19. P. 273.
5. Silenko A.J. // Phys. Rev. 2008. V. C77. P. 021001.

Секция II

**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ТВЁРДОМ
ТЕЛЕ**

ИНДУЦИРОВАННАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ПУЧКОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ В УСЛОВИЯХ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ГЕОМЕТРИИ

А.И. Бенедиктович¹⁾, А.В. Леонов¹⁾, А.С. Лобко²⁾, И.Д. Феранчук¹⁾

¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾ИЯП БГУ, Минск, Беларусь

В работе проведено теоретическое исследование условий возникновения параметрической пучковой неустойчивости /1/ в условиях, когда пучок электронов движется вблизи поверхности кристалла и облучается встречным лазерным пучком. В таких условиях возможна поверхностная дифракция обратно рассеянных комптоновских фотонов без их поглощения в кристалле, а также использование рентгеновского брэгговского резонатора для формирования режима обратной связи в рассматриваемой системе.

Показано, что использование указанной геометрии позволит существенно снизить пороговые значения плотности пучка электронов, необходимой для генерации когерентного параметрического рентгеновского излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baryshevsky V.G., Feranchuk I.D., Ulyanenko A.P. Parametric X-ray Radiation in Crystals: Theory, Experiment and Applications, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2005, 176 p.

ГЕНЕРАЦИЯ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТА И МЯГКОГО РЕНТГЕНА ЭЛЕКТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 5,7 МэВ В ТОНКИХ МИШЕНЯХ

А.С. Гоголев, В.Н. Забаев, А.П. Потылицын, С.В. Разин, Н.А. Тимченко,
С.Р. Углов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Источники вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) и мягкого рентгеновского (МР) излучения сосредоточены на синхротронах. Число имеющихся в мире синхротронных каналов не позволяет удовлетворить все потребности медицины, биологии и т.п. В данной работе предлагается лабораторный источник ВУФ и МР на основе механизма переходного излучения электронов (ПИ). Теория ПИ [1] позволяет с хорошей точностью определить спектрально-угловые свойства ПИ, что даст возможность проводить абсолютную калибровку подобных источников.

На пучке электронов микротрона с энергией 5,7 МэВ в вакуумной камере устанавливались мишени из различных материалов, представляющие собой тонкие полированные пластины толщиной 10 - 200 мкм, которые можно закреплять на поворачивающемся вокруг вертикальной оси штоке. В исследуемой области энергий ($E < 1$ кэВ) доминирующий вклад в полный поток электромагнитного излучения, генерируемого электронами, даёт механизм переходного излучения (ПИ). В качестве детектора использовался вакуумный электронный умножитель ВЭУ-6, работающий в токовом режиме, установленный под углом 60° к направлению пучка электронов. Спектральная чувствительность ВЭУ-6 ограничивается областью $\Delta E \sim (10 - 1000)$ эВ. Эксперимент заключался в измерении зависимости выхода фотонов от угла поворота мишени относительно падающего пучка электронов. В полученных ориентационных зависимостях проявляются яркие двумодальные максимумы, соответствующие углу зеркального отражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пафомов В.Е. //Труды физ. инст. АН СССР, 1969, Т. XLIV, 28.

ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ ИЗ Si, ИНДУЦИРОВАННАЯ КАНАЛИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

К.Б. Коротченко¹⁾, Ю.П. Кунашенко^{1),2)},
Ю.Л. Пивоваров¹⁾, Т.А. Тухфатуллин¹⁾

¹⁾Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

²⁾Томский государственный педагогический университет,
г. Томск, Россия

Вторичная электронная эмиссия при каналировании (channeling secondary electron emission, CSEE) – эффект подобный Оже-эффекту, была предсказана /1/ и там же сделана качественная оценка сечения CSEE. Процесс сопровождается ионизацией атомов кристаллической решетки при поглощении виртуальных фотонов, испускаемых каналированными электронами за счет переходов между квантованными уровнями поперечного движения в кристалле.

В данной работе, исходя из диаграммы второго порядка, получены точные аналитические выражения для матричного элемента CSEE. По этим матричным элементам проведен численный расчет процесса для электронов, каналированных в Si. Волновые функции каналированных электронов получены численно (см. /2/). В качестве волновых функций электронов атома Si использованы RHF атомные волновые функции /3/.

Обсуждаются требования к постановке соответствующих экспериментов по поиску и обнаружению эффекта CSEE.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nitta H., Ohtsuki Y.H. // Phys. Rev. B, 1989, v. 39, p. 2051.
2. Bogdanov O.V., Korotchenko K.B., Pivovarov Yu.L., Tukhfatullin T.A. // NIMB, 2008, v. 266, p. 3858
3. McLean A.D., McLean R.S., Atomic Data And Nuclear Data Tables, 1981, v.26, p.197-381.

ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ «ПОЛУГОЛОГО» ЭЛЕКТРОНА

Н.Ф. Шульга¹⁾, В.В. Сыщенко²⁾

¹⁾Институт теоретической физики им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ,
г. Харьков, Украина

²⁾Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

При описании процессов тормозного /1/ и дифракционного /2/ излучения часто используется понятие «полуголого» электрона /3/ для описания ситуации, когда поле излученной волны длительное время интерферирует с кулоновским полем ультрарелятивистского электрона. В предлагаемом докладе обсуждается возможность наблюдения этой интерференции путем регистрации переходного излучения такого электрона на идеально проводящей мишени (рис. 1).

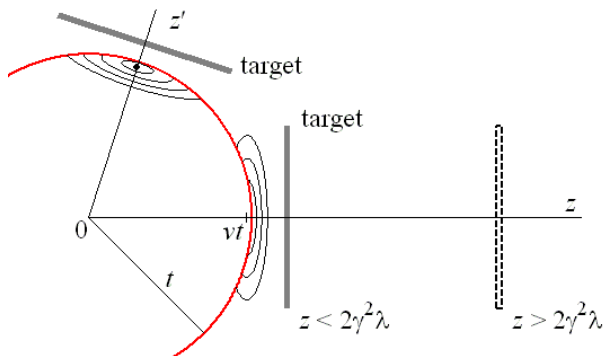


Рис. 1. Эквипотенциальные поверхности поля, возникающего при резком изменении направления скорости электрона, и возможные положения мишеней для генерации переходного излучения ($2\gamma^2\lambda$ - длина формирования излучения, γ - Лоренц-фактор электрона, λ - длина излученной волны). Сферическая поверхность радиуса t ограничивает область, в которой успел распространиться сигнал об изменении направления скорости электрона.

Работа частично поддержана внутриуниверситетским грантом БелГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shul'ga N.F. Fomin S.P. // Phys. Lett. A. 1986. V. 114. P. 148.
2. Науменко Г.А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2009. Т. 90, вып. 2. С. 105.
3. Фейнберг Е.Л. // УФН. 1980. Т. 132, вып. 2. С. 255.

ИЗЛУЧЕНИЕ НА ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНКЕ И ЭФФЕКТ СМИТА-ПАРСЕЛЛА В РЕНТГЕНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Сыщенко¹⁾, Н.Ф. Шульга²⁾

¹⁾Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

²⁾Институт теоретической физики им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина

Излучение Смита-Парселла /1/ возникает при движении электрона над периодической решеткой. В предлагаемом докладе на основе эйконального приближения в теории переходного излучения /2/ дается единое описание излучения, возникающего при движении заряженной частицы над стопкой и сквозь стопку полубесконечных диэлектрических пластин, справедливое в области частот, намного превышающих плазменную частоту материала пластин.

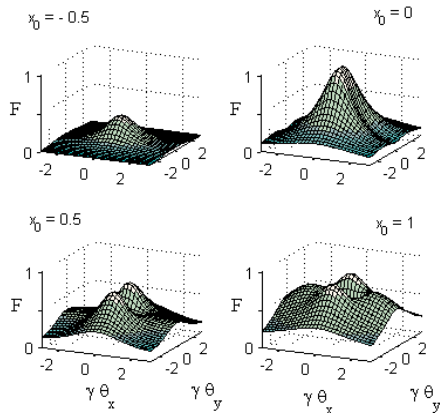


Рис. 1. Угловое распределение излучения при различных расстояниях x_0 между траекторией частицы и краем пластины (в единицах $c\hbar/\omega_p$, где γ - Лоренц-фактор частицы, ω_p - плазменная частота материала пластины; положительные значения соответствуют движению сквозь пластинку).

Работа частично поддержана внутриуниверситетским грантом БелГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith S.J., Purcell E.M. // Phys. Rev. 1953. V. 92. P. 1069.
2. Сыщенко В.В., Шульга Н.Ф. // Поверхность. 2007. № 4. С. 49.

НАБЛЮДЕНИЕ УЛЬТРАМЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ТОНКОЙ Ve ФОЛЬГЕ И МНОГОСЛОЙНОМ W/B_4C ЗЕРКАЛЕ РЕЦИРКУЛИРУЮЩИМ ПУЧКОМ БЕТАТРОНА

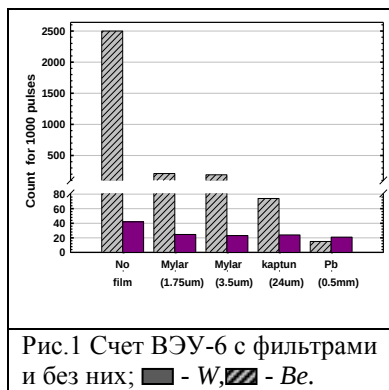
С.Р. Углов¹⁾, В.В. Каплин¹⁾, И.К. Васьковский²⁾, В.Л. Николаев²⁾,
М.А. Пайструп³⁾, Ч.К. Гэри³⁾

¹⁾ НИИ Ядерной Физики ТПУ, г. Томск, Россия

²⁾ НИИ Интроскопии ТПУ, г. Томск, Россия

³⁾ Adelphi Technology Inc., San Carlos, USA

Измерен выход ультрамягкого рентгеновского излучения (УМР) в области спектра 50-200эВ, генерируемого в бериллиевой фольге толщиной 26 мкм электронами с энергией 10 - 18 МэВ в направлении электронного пучка. Эксперимент проведен на внутреннем пучке бетатрона Б-18s. Для регистрации УМР использовался ВЭУ-6 и несколько поглощающих фильтров. Выход излучения из тонкой Ve -фольги сравнивали с выходом излучения из W -мишени толщиной 1.2 мм. На рис.1 представлена гисто-



грамма с интенсивностями выхода излучения из Ve -фольги и из W -мишени с применением фильтров из майлара, каптуна, свинца и без них. Почти стократное увеличение выхода УМР из Ve фольги по сравнению с W мишенью происходит за счет эффекта рециркуляции внутреннего пучка бетатрона через мишень /1/. Для многослойного зеркала W/B_4C ($N=310$ слоев, период $t=1.486nm$) была получена ориентационная зависимость выхода переходного УМР с входной поверх-

ности. Излучение регистрировалось под угол $\theta_D = 20.4^\circ$ от направления электронного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.V.Kaplin, S.R.Uglov, O.F.Bulaev, V.J.Gonchrov, M.A.Piestrup, C.K.Gary //Nucl. Instr. And Meth. B, 2001, 173, с.3.

АНОМАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И АНИЗОТРОПИЯ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА ПРИ ДВИЖЕНИИ В ПОПЕРЕЧНО-НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ И ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ

М.В. Высоцкий, В. И. Высоцкий,

Киевский университет имени Т. Шевченко, Киев, Украина

Эффект Доплера является главным элементом физики радиационных явлений при высокой энергии движущихся источников. Наиболее интересные радиационные процессы соответствуют критическому условию $\beta n(\omega) \cos \theta \approx 1$. Особенности излучения и поглощения квантов быстрыми частицами в окрестности этой области для однородной среды с дисперсией были рассмотрены в работах [1,2] с учетом законов сохранения энергии и полного импульса $\Delta \vec{p} \equiv \vec{p}_1 - \vec{p}_2 = n(\omega) \hbar \vec{k}$. Было, в частности, показано, что все свойства нормального и аномального эффектов Доплера зависят только от $n(\omega)$ и произведения $\beta n(\omega) \cos \theta$.

В докладе представлен анализ эффекта Доплера в той же экстремальной области, но в поперечно-неоднородных полях (включая каналирование). Принципиальное отличие от случая однородной среды связано с законом сохранения продольной компоненты импульса $\Delta p_z = n(\omega) \hbar k \cos \theta$ (при осевом) и двух компонент импульса $\Delta p_y = n(\omega) \hbar k \sin \theta \sin \varphi$ и $\Delta p_x = n(\omega) \hbar k \cos \theta$ при плоскостном движении вдоль OZ . Выражения для частот излучения и поглощения при осевом ($\varphi \equiv 0$) и плоскостном ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$) каналировании равны

$$\omega_{rad} = \frac{\gamma mc^2 \left\{ (\beta n \cos \theta - 1) \pm \sqrt{(1 - \beta n \cos \theta)^2 + 2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\gamma^2 mc^2} \{n^2 (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \varphi) - 1\}} \right\}}{\hbar \{n^2 (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \varphi) - 1\}},$$

$$\omega_{abs} = \frac{\gamma mc^2 \left\{ (1 - \beta n \cos \theta) \mp \sqrt{(1 - \beta n \cos \theta)^2 - 2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\gamma^2 mc^2} \{n^2 (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \varphi) - 1\}} \right\}}{\hbar \{n^2 (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \varphi) - 1\}}$$

Частота излучения (поглощения) и граница между областью нормального и аномального эффектов в этом случае зависят не только от произведения $\beta n(\omega) \cos \theta$, но и от $n(\omega)$, θ , φ , что ведет к сильной угловой анизотропии эффекта Доплера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vysotsky M., Vysotskii V. //NIMB, 2006, v. 252, p.75–80.
2. Высоцкий М.В., Высоцкий В.И.//Поверхность, 2007, №3, с.72-78

ИССЛЕДОВАНИЕ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМОЕ В МИШЕНЯХ ИЗ ТЕФЛОНА И ПАРАФИНА

М.В. Шевелёв¹⁾, А.П. Потылицын²⁾, Г.А. Науменко¹⁾, Г.Л. Сухих²⁾,
Ю.А. Попов²⁾

¹⁾НИИ ЯФ Томского политехнического университета, г. Томск, Россия

²⁾Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В традиционном представлении излучение Вавилова-Черенкова возникает при движении частицы через вещество, когда скорость частицы больше скорости распространения электромагнитной волны в этом веществе. При использовании коротких релятивистских электронных сгустков с Лоренц – фактором ~ 10 и выше область взаимодействия $\gamma\lambda$ существенно увеличивается по сравнению с нерелятивистскими и слабoreлятивистскими пучками. Следовательно, при расстоянии между электроном и мишенью $h < \gamma\lambda$ (т. е. вполне макроскопического масштаба) поле частицы будет поляризовать материал среды и без непосредственного взаимодействия частицы с веществом. В этом случае будет генерироваться излучение, которое по природе является излучением Вавилова-Черенкова. Такая геометрия излучения может быть весьма перспективна для создания средств невозмущающей диагностики пучков релятивистских частиц.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования когерентного излучения Вавилова-Черенкова в длинноволновом диапазоне. Исследуемое излучение генерируется электромагнитным полем релятивистского сгустка электронов, который пролетает вблизи диэлектрической мишени (в качестве материала мишени были выбраны тефлон и парафин). Эксперимент проведен на микротроне НИИ ЯФ ТПУ. Пучок микротрона с энергией 6.1 МэВ состоит из макро-импульсов, следующих с частотой 8 Гц. Каждый импульс содержит 10^4 электронных сгустков длиной 6 мм, имеющих населенность 10^8 электронов.

ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА С «НЕРАВНОВЕСНЫМ» СОБСТВЕННЫМ ПОЛЕМ

С.П. Фомин, Н.Ф. Шульга

ИТФ им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина

В ходе недавнего эксперимента CERN NA63 /1/ были измерены толщинные зависимости интенсивности излучения электронов с энергией 149 ГэВ в тонких и сверх тонких танталовых мишенях. Эти измерения обнаружили необычное поведение интенсивности тормозного излучения относительно мягких гамма-квантов (от 200 МэВ до нескольких ГэВ) с ростом толщины мишени: вместо предсказанного теорией Бете-Гайтлера линейного роста наблюдался слабый – логарифмический. Такое подавление тормозного излучения электрона в тонком слое вещества является прямым проявлением эффекта релятивистского запаздывания при восстановлении собственного кулоновского поля быстрого электрона после рассеянии на большой угол и может быть интерпретировано как излучение электрона с «неравновесным» собственным полем /2/. Этот эффект был предсказан в работах /2–4/. Количественная теория эффекта была развита позднее в работах /5,6/. В настоящем докладе представлены результаты теоретического анализа полученных в /1/ экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thomsen H.D. et al. // Phys. Lett. B, 2009, v. 672, p. 323; Phys. Rev. D, 2010, in print.
2. Fomin S.P., Shul'ga N.F. // Phys.Lett.A, 1986, v. 114, p. 148.
3. Терновский Ф.Ф. // 1961, ЖЭТФ, т. 39, с. 171.
4. Шульга Н.Ф., Фомин С.П. // Письма в ЖЭТФ, 1978, т. 27, с. 117.
5. Шульга Н.Ф., Фомин С.П. // ЖЭТФ, 1998, т. 86, с. 32.
6. Shul'ga N.F., Fomin S.P. // NIM B, 1998, v.145, p.180.

ВИХРЕВЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОЛЯ В ОГРАНИЧЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Г.М. Филиппов

Чебоксарский политехнический институт (филиал) МГОУ,
г. Чебоксары, Россия

Проблема подразделения электромагнитных полей на поперечные (вихревые) и продольные (потенциальные) компоненты возникает тогда, когда в силу тех или иных соображений, диктуемых постановкой задачи, эти компоненты приходится рассматривать отдельно. Чаще всего данная потребность возникает при изучении явлений поляризации и излучения в неоднородных средах. Реже, но иногда и в случае движения заряженных частиц в вакууме может возникнуть необходимость выделить вихревые компоненты полей в отдельную категорию. В качестве примера можно указать на известный эффект Ааронова-Бома, в котором проявляются нелокальные свойства микромира. Детальное рассмотрение проблем электродинамики вакуума в части подразделения полей на вихревые и потенциальные проведено в монографии /1/. В настоящей работе данный подход применяется к исследованию поляризационных полей в ограниченных диэлектриках. В частности, рассматривается возбуждение электромагнитных полей при движении заряженных частиц в диэлектрических сферах и цилиндрах, в условиях, когда внутри диэлектрика возможна генерация черенковского излучения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Cohen-Tannoudji C., Dupont-Roc J., Grynberg G.. Photons and atoms. Introduction to quantum electrodynamics.-New York, Wiley,1989. 510 p.

О СООТНОШЕНИИ ВЫХОДОВ ПРИ ВБЛИЗИ
НАПРАВЛЕНИЯ БРЭГГА И ПРИ ВДОЛЬ СКОРОСТИ
РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА В ГЕОМЕТРИИ
РАССЕЯНИЯ БРЭГГА

С.В. Блажевич, А.В. Носков

Белгородский государственный университет, Белгород, Россия.

В работе на основе динамической теории дифракции [1], рассматриваются параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ) и параметрическое рентгеновское излучения под малым углом к скорости релятивистского электрона (ПРИВ), пересекающего монокристаллическую пластинку в геометрии рассеяния Брэгга. Получены аналитические выражения для спектрально-угловой плотности данных излучений в общем случае асимметричного отражения. В работе выявлено, что соотношение выходов ПРИ и ПРИВ существенно зависит от угла между отражающими атомными плоскостями и поверхностью кристаллической пластинки δ , то есть от асимметрии отражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пинскер З.Г. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальных кристаллах. - М.: Наука, 1974, с. 368.

АСИММЕТРИЯ ОТРАЖЕНИЯ ВОЛН В КИНЕМАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ ПОДХОДАХ ТЕОРИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА В КРИСТАЛЛЕ

С.В. Блажевич, А.В. Носков

Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия.

В работе проведен сравнительный анализ формул параметрического рентгеновского излучения в динамическом и кинематическом приближении в случае симметричного и асимметричного отражения. Для сравнения использовались динамические формулы, полученные авторами [1], и хорошо известные кинематические выражения. Показано, что в динамической формуле, в отличие от кинематической, угол между системой параллельных дифрагирующих атомных плоскостей кристалла (определяющий асимметрию отражения) входит не только в выражение, описывающее путь электрона в пластинке, но также в сомножитель, описывающий угловое распределение ПРИВ. В частности показано, что в случае симметричного отражения в области достаточно больших энергий излучающих частиц $\gamma \gg (\omega / \omega_p)$, кинематическая формула ПРИ дает заметную погрешность даже для тонкого не поглощающего кристалла, а в случае $\gamma < (\omega / \omega_p)$ кинематическая и динамическая теории ПРИ дают практически одинаковые результаты. Показано, что при увеличении асимметрии отражения погрешность кинематической формулы ПРИ возрастает.

Показано, что в случае толстого поглощающего кристалла в динамической теории в отличие от кинематической эффективный коэффициент поглощения фотонов ПРИ в кристалле зависит от асимметрии отражения и направления распространения фотона, что может приводить к деформации углового распределения ПРИ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Blazhevich S.V., Noskov A.V.// Nucl. Instr. and Meth. B, 2008, v .266, p. 3770-3776.

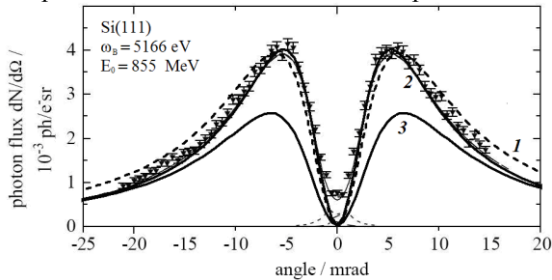
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА БОРМАНА В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

С.В. Блажевич, А.В. Носков

Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия.

В работе проведена интерпретация результатов эксперимента по ПРИ релятивистских электронов на Майнцком микротроне МАМІ. Опубликованные экспериментальные результаты /1/ мы сравнили с расчетами углового распределения, проведенными по хорошо известной кинематической формуле и по нашей динамической формуле, учитывающей асимметрию отражения /2/. Как видно из рисунка, кривая, полученная по кинематической формуле (пунктирная линия 1) расходится с экспериментальными результатами. Кривая, построенная по нашей динамической формуле (сплошная линия 2), полностью совпадает с экспериментом. На рисунке приведены результаты расчета по формуле, проведенного в предположении, что эффект Бормана отсутствует (сплошная линия 3).

Таким образом можно впервые утверждать, что динамический эффект Бормана в ПРИ имел место в эксперименте.



ЛИТЕРАТУРА

1. Brenzinger K.-H., Herberg C., Limburg B., Backe H. and al// Phys. A, 1997, V.358, p. 107-114.3.
2. Blazhevich S.V., Noskov A.V.// Nucl. Instr. and Meth. B, 2008, V. 266, p. 3777-3780.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЛИВНИ ОТ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ $E_e=26$ ГЭВ В ОРИЕНТИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ

В.А. Басков, В.В. Ким, В.И. Сергиенко, В.А. Хабло
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

Взаимодействие электронов с энергией $E_e=26$ ГэВ с ориентированными кристаллами при $\Theta=0$ (Θ -угол между кристаллографической осью и импульсом электрона) приводит к возникновению электромагнитных ливней, отличающихся от стандартных. Ориентированные кристаллы вольфрама (W), граната ($Gd_3Ga_5O_{12}$) и вольфрамата ($PbWO_4$) уменьшают продольную длину развития ливней в черенковском детекторе за кристаллом (каскадную кривую) от 10% до 30% по отношению к стандартной длине в зависимости от толщины и типа кристалла. Радиационная длина X_0 ориентированного кристалла имеет сложную зависимость от его толщины $t_{\text{кристалл}}$. Для кристалла вольфрама в диапазоне толщин $0 < t_W < 0,5$ мм X_0 уменьшается с $X_{0W}=3,5$ мм (X_{0W} – радиационная длина аморфного вольфрама) до $X_{0\text{min}} \approx 0,6$ мм и при $t_W > 0,5$ мм увеличивается, стремясь к X_{0W} . Оценка поперечного размера ливня в кристалле вольфрама в единицах длины Мольера составила $r_W^{\text{ориентир}} \sim 6 \cdot X_{0W} = 21$ мм. Характер развития ливня в ориентированных кристаллах, как и в разориентированных, зависит только от их эффективной толщины и энергии частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baskov V.A., Khablo V.A., Kim V.V. et al. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. (B), **122**, 1997, p. 194.
2. Baskov V.A., Khablo V.A., Kim V.V. et al. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. (B), **145**, 1998, p. 92.
3. Baskov V.A., Bugorsky A.P., Kachanov V.A. et al. // Phys. Lett. (B), **456**, 1999, p. 86.
4. Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И. и др. // Препринт ФИАН, №31, Москва, 2006.

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОЛЯРИЗАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА В ТОНКОМ КРИСТАЛЛЕ

А.С. Фомин, Н.Ф. Шульга

ИТФ им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

Многократное рассеяние быстрого электрона на атомах среды приводит к нарушению дипольного характера процесса излучения, если среднеквадратичное значение угла рассеяния на длине когерентности превышает характерное значение угла излучения релятивистской частицы $1/\gamma$, где γ – Лоренц-фактор электрона. Это приводит к подавлению излучения относительно мягких γ -квантов таким электроном в веществе (ЛПМ-эффект) и к некоторым другим эффектам /1/. Недипольный режим излучения сказывается не только на спектре тормозного излучения, но и существенно изменяет угловое распределение излучаемых фотонов /2/, пространственно разделяя характерные конуса излучения релятивистского электрона вдоль начального и конечного направления его движения. В работе /3/ было показано, что благодаря этому эффекту можно добиться высокой степени линейной поляризации излучения релятивистского электрона в тонкой по сравнению с длиной когерентности пластинке при использовании специальных коллиматоров. В настоящем докладе приведены результаты расчетов спектрально-угловых и поляризационных характеристик тормозного излучения релятивистского электрона в тонкой аморфной и кристаллической мишенях как в случае дипольного, так и недипольного режима излучения. Особое внимание при этом уделено определению оптимальных условий для экспериментального обнаружения предсказываемых эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akhiezer A.I., Shul'ga N.F. and Fomin S.P. Landau-Pomeranchuk-Migdal Effect, UK, Cambridge Scientific Publishers, 2005, 215 p.
2. Фомин С.П., Шульга Н.Ф., Шульга С.Н. // Ядерная физика, 2003, т. 66, с. 396.
3. Fomin A.S., Fomin S.P. and Shul'ga N.F. // Proc. SPIE, 2005, v. 5974, p. 177.

ВЛИЯНИЕ МОЗАИЧНОСТИ КРИСТАЛЛОВ НА НАБЛЮДАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОД МАЛЫМ УГЛОМ К СКОРОСТИ ЧАСТИЦЫ

Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Ю.В. Жандармов, Жанг Тки Зыюнг,
С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин
Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

Параметрическое рентгеновское излучение под малыми углами к скорости частицы (ПРИ вперед) было предсказано более сорока лет назад и обнаружено сравнительно недавно в экспериментах с кристаллами вольфрама /1,2/ и кремния /3/. Расчеты, выполненные в /1/ и ряде других теоретических работ, только качественно объясняют изменение характера проявления эффекта с уменьшением энергии фотонов в экспериментах /1,2/.

Приведены результаты обработки данных, полученных в эксперименте /1/. Показано, что результаты измерений обусловлены конкуренцией двух механизмов: ПРИ вперед и дифракции тормозного излучения в мозаичных кристаллах класса aa. Обсуждается влияние характерных размеров микроблоков, из которых состоят кристаллы тугоплавких металлов, на выход позитронов в проектируемых источниках позитронов для линейных электрон-позитронных коллайдеров следующего поколения /4/. Предложен способ определения характерных размеров микроблоков в мозаичных кристаллах класса aa, то есть оценки возможности их применения в качестве инжектора позитронов и контроля качества во время эксплуатации на пучке электронов по степени проявления дифракции тормозного излучения и ПРИ вперед в выходе излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейник А.Н. и др. // Письма в ЖЭТФ, 2004, т. 80, с. 447.
2. Backe H. et al. // Proc. SPIE, 2006, vol. 6634, 66340Z
3. Backe H. et al. // NIM 2005, vol. B234, p. 130.
4. Artru X. et al. // NIM 2003, vol. B201, p. 243.

ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗЕ 18
МЭВ БЕТАТРОНА

Ю.Н. Адищев¹⁾, А.Р. Вагнер¹⁾, А.С. Гоголев¹⁾,
А.П. Потылицын¹⁾, Г.Л. Чахлов²⁾

¹⁾Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²⁾НИИ Интроскопии, г. Томск, Россия

Источники рентгеновского излучения широко используются для фундаментальных и прикладных исследований, например, в биологии, микроэлектронике, медицине и т.д. Источник монохроматического рентгеновского излучения обладает рядом преимуществ, что существенно расширяет область его использования. Представленные на сегодня разработки, помимо рентгеновских трубок, представляют систему из двух основных блоков: ускорителя и циклической магнитной структуры, в которой на основе различных механизмов генерируется монохроматическое излучение [1, 2].

Для удешевления стоимости такого источника, что может являться основным конкурентным преимуществом, в настоящей работе предложена схема источника монохроматического рентгеновского излучения с регулируемой длиной волны на основе ДТИ на базе бетатрона на энергию 18 МэВ. Расчетный выход монохроматического излучения с энергией 17,5 кэВ за 1 сек составляет $0,8 \cdot 10^6$ фотонов/мм². Также в работе показаны основные преимущества источников на основе ускорителей электронов на средние энергии по сравнению с самым распространенным источником рентгеновского излучения – рентгеновской трубкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hasegawa D., Yamada H., et al.//International Symposium On Portable Synchrotron Light Sources and Advanced Applications AIP Conference Proceedings, 2004, 716, pp. 116-119.
2. Гришин В.К., Ишханов Б.С., Лихачев С.П.// Известия высших учебных заведений. ФИЗИКА, 2000, 44, 3, с. 88.

ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С УЧЕТОМ ТОРМОЖЕНИЯ В РАДИАТОРЕ

В.Р. Альтапова, О.В. Богданов, А.А. Евдокимов, Ю.Л. Пивоваров
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В работе /1/ были предсказаны диффракционно подобные эффекты в угловом распределении черенковского излучения релятивистских тяжелых ионов в тонких радиаторах. При вычислениях использовался приближенный метод учета торможения ионов в веществе (dE/dx). Ключевым параметром, определяющим ширину углового распределения излучения вблизи черенковского конуса /1/, являются потери энергии тяжелыми ионами при прохождении через радиатор. Мы развиваем новый метод, основанный на более точном учете торможения (dE/dx). Для вычислений мы использовали пакет программ GEANT4 /4/. В работе будут обсуждаться потери энергии релятивистских тяжелых ионов в радиаторе. Полученные данные будут сравнены с результатами работы /3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuzmin E.S., Tarasov A.V. // Diffractionlike effects in angular distribution of Cherenkov radiation from heavy ions, Rapid Communications JINR №4, 1993, с.64.
2. Ziegler J.F. <http://www.srim.org/>.
3. Altapova V.R., Bogdanov O.V., Pivovarov Yu. L. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B. 267 (2009) P. 896–900.
4. <http://geant4.cern.ch/>.

О РАССЕЯНИИ И КОГЕРЕНТНОМ ИЗЛУЧЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ИЗОГНУТЫХ КРИСТАЛЛАХ

Н.Ф. Шульга В.И. Трутень, В.В. Бойко

Институт теоретической физики им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ,
г. Харьков, Украина

При прохождении релятивистских заряженных частиц через изогнутый кристалл возможен эффект объемного их отражения от изогнутых кристаллических плоскостей атомов. Этот эффект был предсказан в работе /1/ на основе численного моделирования движения частиц в кристалле. Он возможен как для положительно, так и для отрицательно заряженных частиц. Экспериментальное подтверждение данного эффекта было получено в /2,3/. В настоящей работе предложена аналитическая модель эффекта объемного отражения быстрых частиц от изогнутых кристаллических плоскостей атомов. Модель основана на классической теории рассеяния частиц в центральном поле. Вычислена функция отклонения частиц. Получены условия, при которых отклонение частиц имеет место практически для всех частиц пучка. Показано, что явление объемного отражения аналогично явлению полного внутреннего отражения в оптике и не связано с явлениями каналирования и многократного рассеяния. На основе предложенной модели построена теория когерентных и интерференционных эффектов в излучении при надбарьерном движении релятивистских частиц в поле изогнутых кристаллических плоскостей. Проводится сравнение результатов расчетов с результатами эксперимента ЦЕРН по излучению при рассеянии надбарьерных частиц на изогнутых кристаллах /4/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Taratin A.M. and Vorobiev S.A., Phys. Lett. A 119, 425, (1987).
2. Ivanov Y.M. et al., Phys. Rev. Lett. 97, 144801 (2006).
3. Scandale W. et al. Phys. Rev. Lett. 98, 154801 (2007).
4. Scandale W., Vomiero A. et al. Phys. Rev. A 79, 012903 (2009).

О РАССЕЯНИИ И ИЗЛУЧЕНИИ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ И СГУСТКАМИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ

Д. Н. Тютюнник, Н. Ф. Шульга

Институт теоретической физики им. А. И. Ахиезера ННЦ ХФТИ,
г. Харьков, Украина

e-mail: shulga@kipt.kharkov.ua

Рассмотрена задача о рассеянии и когерентном излучении, возникающем при столкновении сгустков релятивистских заряженных частиц. Рассмотрение проведено с точки зрения классической теории излучения. Получены условия возникновения когерентного эффекта в излучении, при котором спектральная плотность излучения пропорциональна квадрату числа частиц в налетающем сгустке. Получены условия, при которых когерентный эффект разрушается и имеет место эффект подавления когерентного излучения, при котором спектральная плотность излучения зависит от числа частиц только логарифмически. Обсуждается аналогия предсказываемых эффектов и эффектов в рассеянии и излучении, возникающем при прохождении быстрых заряженных частиц через кристаллы и аморфное вещество.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ГЕНЕРИРУЕМОЕ В ДЕФОРМИРОВАННОМ КРИСТАЛЛЕ

А.С. Лобко¹⁾, В.В. Скадоров^{1,2)}

¹⁾ИЯП БГУ, Минск, Беларусь

²⁾ОИЯИ, г. Дубна, Россия

Спектрально-угловое распределение параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) существенно зависит от параметров кристаллической мишени. Варьирование этих параметров может обеспечить управление характеристиками ПРИ, что является важным, к примеру, при разработке рентгеновского источника, основанного на этом механизме излучения. Такие возможности могут создаваться при модулировании межплоскостных расстояний в кристаллической мишени с помощью ультразвука или с помощью различных деформаций, возникающих при механическом либо температурном изгибе кристалла. Все эти варианты вызывают в последнее время существенный интерес.

В настоящем докладе будут обсуждены основные результаты динамической теории генерации ПРИ в деформированном кристалле. Численные расчеты на основе этой теории показывают, что существует возможность фокусировки ПРИ с помощью статического изгиба мишени в область с размерами порядка десятков ангстрем при поперечных размерах электронного пучка в единицы миллиметров. Фокусная длина при этом составляет всего несколько метров при угле изгиба кристалла 3-5 градусов.

ВЫХОД ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТОРЕЦ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ДИЭЛЕКТРИКА

А.В. Степанов

Чебоксарский политехнический институт (филиал) МГОУ
г. Чебоксары, Россия

Решается задача о выходе излучения, генерируемого в цилиндрическом диэлектрике быстродвижущейся заряженной частицей. Поскольку условие существования излучения вне диэлектрика не выполняется, возникает проблема наблюдения его излучения через торец цилиндра. В работе поле вблизи торца рассчитывается с помощью методов математической физики. В частности, решается задача о поле вблизи торца, если в цилиндре генерируется цилиндрически симметричная волна. Данная задача естественным способом сводится к задаче о бесконечном цилиндре, в котором диэлектрическая проницаемость испытывает скачок от некоторого $\varepsilon(\omega)$ до единицы в граничном нулевом сечении цилиндра, расположенном в точке $z=0$ на оси цилиндра. Для Е-волны:

$$E_z = (e^{ikz} + Be^{-ikz}) \begin{cases} K_0(k_z \rho) \\ J_0(k_z \rho) \end{cases}, z \leq 0;$$

$$E_z = \sum_j e^{ik_j z} C_j J_0(k_{zj} \rho), z > 0.$$

Условие сшивания состоит в непрерывности тангенциальных компонент полей в точке $z=0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. М.: Гостехиздат, 1948, 535 с.
2. Джексон Дж. Классическая электродинамика. – М : Наука, 1978, 688 с.

ГЕНЕРАЦИЯ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ ОСТРОФОКУСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В НЕОДНОРОДНЫХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ

В.В. Каплин, С.Р. Углов
НИИ ядерной физики ТПУ, г. Томск, Россия

Исследуется генерация рентгеновского излучения быстрыми электронами в сложных структурах типа неоднородных фотонных кристаллов, состоящих из слоистых периодических подструктур, разделенных каналами-волноводами. Механизм генерации соединяет в себе эффекты параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) в слоистых подструктурах радиатора, то есть в слоистых стенках канала структуры, и волноводный эффект для излучения, генерированного в подструктурах и проходящего радиатор в волноводных модах в режиме, подобном эффекту Бормана с малым поглощением.

Исследования являются развитием работ [1-4] по генерации ПРИ быстрыми электронами в периодических структурах типа рентгеновских интерференционных зеркал, а также волноводного эффекта для рентгеновского излучения, генерированного быстрыми электронами в простых планарных рентгеновских волноводах, которые проведены на внутреннем пучке бетатрона Б-35 при энергии электронов 15-35 МэВ с использованием многослойных структур, состоящих из нескольких сотен пар слоев W и В4С с толщинами в несколько нанометров, и трехслойных W-C-W тонкопленочных структур с толщинами слоев 100 – 50 – 100 нанометров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплин В.В., Углов С.Р., Сохорева В.В. и др.// Изв. вузов. Физика. 2007, т. 50, № 10/3, с. 172.
2. Каплин В.В., Углов С.Р., Сохорева В.В. и др.// Изв. вузов. Физика. 2007, т. 50, № 10/3, с. 166.
3. Каплин В.В., Углов С.Р., Сохорева В.В. и др.// Изв. вузов. Физика. 2009, т. 52, № 11/2, с. 295.
4. Kaplin V.V., Sohoreva V.V., Uglov S.R. et al. // Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B , 2009, 267, p. 777.

РАСЧЕТ ОТРАЖАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОЗАИЧНЫХ КРИСТАЛЛОВ КЛАССА В МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Жанг Тки Зыонг, Ю.В. Жандармов,
С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин
Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

Мозаичные кристаллы класса b, например, пиролитический графит, широко используются в экспериментальной физике в качестве нейтронных и рентгеновских монохроматоров и обеспечивают больший выход монохроматического излучения, чем совершенные /1/. Методика расчета отражающей способности таких кристаллов /2/ непосредственно применима только к монохроматическому излучению и не позволяет точно учесть поглощение фотонов из-за неопределенности длины их пути в кристалле вследствие многократных отражений. Метод, развитый в /3/ применительно к излучению со сплошным спектром, так же не позволяет точно учесть поглощение фотонов и геометрию эксперимента из-за приближенного характера учета многократных отражений.

На основе подхода, развитого в /3/, предложена и реализована методика расчета отражающей способности таких кристаллов методом Монте-Карло, позволяющая корректно учесть переотражение фотонов внутри кристалла и геометрию эксперимента. Проведено сопоставление результатов расчета отражающей способности кристаллов пиролитического графита для условий эксперимента /4/ по обоим методикам.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Балдин А.Н. и др. // Письма ЖТФ, 2007, Т.33, вып.14, с. 87.
2. Chabot M. et al. // NIM, 1991, Vol. B61, p. 377.
3. Внуков И.Е. и др. // Известия ВУЗов "Физика", 2001, № 3, с. 71.
4. Алейник А.Н. и др. // Письма в ЖЭТФ, 2004, Т.80, с. 447.

ПИКОВАЯ СТРУКТУРА ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВЯЗАННЫХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

В.К. Гришин
НИИ ЯФ, Москва, Россия

Обсуждаются особенности поляризационного тормозного излучения (ПТИ) релятивистских электронов на электронах, связанных в атомах. ПТИ рассматривается, как рассеяние виртуальных фотонов электромагнитного поля быстрого заряда на атомных электронах. В данном случае (в отличие от комптоновского фотон-электрон взаимодействия) в рассматриваемом процессе рассеяния возникают интересные особенности, поскольку вероятность передачи атомному электрону долей импульса и энергии, теряемых виртуальным фотоном при рассеянии, резко зависит от квантового состояния атома. Так, при предполагаемой по законам сохранения порции энергии, передаваемой атомному электрону, заметно отличается от энергии перехода последнего в новое квантовое состояние, то импульс при рассеянии может передаваться всему атому, т.е. фактически без передачи энергии в силу массивности атома (рэлеевское рассеяние; этот эффект вполне аналогичен Мессбауэровскому процессу [1]). Судя по соотношению Брейта-Вигнера [2], вероятность подобного рассеяния сильно подавлена, но резонансно возрастает при совпадении указанных порций энергий, что в конечном счете приводит к пиковой структуре ПТИ на связанных электронах. При этом спектр излучения смещается в рентгеновский диапазон, как это следует из кинематических соотношений и разделяется на две группы, диапазоны которых слабо и сильно зависят от энергии быстрого заряда. В качестве примера рассматривается ПТИ на одиночных атомах легких элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виртхейм Г. Эффект Мессбауэра. Принцип и применения. Москва: Наука, 1966.
2. Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. Москва: Наука, 1969, § 27.2.

О ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ С ПЕРИОДИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОЙ РЕШЕТКОЙ

П.Н. Жукова¹⁾, А.Г. Мкртчян²⁾, А.Р. Мкртчян²⁾, М.С. Ладных¹⁾,
Н.Н. Насонов¹⁾

¹⁾Лаборатория радиационной физики, Белгородский государствен-
ный университет,
г. Белгород, Россия.

²⁾Институт прикладных проблем физики НАН Армении,
Ереван, Республика Армения

Рассмотрено параметрическое рентгеновское излучение в условиях периодического возмущения решетки акустической волной. В отличие от более ранних исследований, в которых анализировались, как правило, особенности динамической теории ПРИ, справедливые в узкой области частот и углов, в работе развита простая кинематическая теория процесса, описывающая большинство из возможных экспериментальных ситуаций.

Показано, что в присутствии акустической волны отражающая кристаллографическая плоскость представляется набором плоскостей, расположенных под малыми углами к основной плоскости, на каждой из которых дифрагирует кулоновское поле релятивистского электрона. В результате, спектрально-угловое распределение ПРИ в присутствии акустической волны представляется рядом, члены которого описывают вклад дифракции на указанных плоскостях. Выполненные расчеты показали возможность существенного изменения характеристик ПРИ в условиях достаточно сильного возбуждения кристалла акустической волной (амплитуда волны должна быть сравнимой с межплоскостным расстоянием в кристалле). Определены оптимальные условия проявления эффекта (направление распространения акустической волны и ее поляризация).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОБЛОКОВ МОЗАИЧНОГО
КРИСТАЛЛА ПО УГЛАМ ОРИЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ
РАССЕЯНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

В.И. Алексеев¹⁾, П.Н. Жукова²⁾, Э. Иррибарра²⁾, А.С. Кубанкин²⁾,
М.С. Ладных²⁾, Н.Н. Насонов²⁾, Р.М. Нажмудинов²⁾, В.И. Сергиенко¹⁾,
А.В. Субботин²⁾

¹⁾ФИ РАН им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия

²⁾ЛРФ БелГУ, Белгород, Россия

В работе /1/ на основе кинематической теории дифракции рентгеновских лучей в кристаллах разработана аналитическая модель взаимодействия синхротронного излучения (СИ) с мозаичным кристаллом, учитывающая произвольный вид функции распределения зерен мозаичных кристаллов по углам ориентации. Показана возможность определения функции распределения зерен мозаичных кристаллов по углам ориентации, основанная на измерениях ориентационной зависимости энергии брэгговского рефлекса рассеянного изучаемым образцом широкополосного СИ. Показано, что зависимость энергии коллимированного рефлекса от угла ориентации мишени относительно падающего зондирующего пучка СИ оказывается в определенных условиях пропорциональной функции распределения зерен по углу мозаичности в плоскости реакции.

В настоящей работе на основе /1/ разработана методика и представлены результаты экспериментального исследования функции распределения зерен мозаичных кристаллов по углам ориентации. Экспериментальная установка была создана на основе вакуумного монохроматора с постоянным углом девиации. В качестве первичного широкополосного излучения использовалось тормозное излучение рентгеновской трубки, рефлекс регистрировался р.и.п. детектором.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. Кубанкин, П.Н. Жукова, М.С. Ладных, Н.Н. Насонов // Направлена в печать. Известия РАН. Серия физическая.

О МЕТОДЕ ДЕБАЯ-ШЕРРЕРА ДИАГНОСТИКИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СРЕД

К.А. Вохмянина, П.Н. Жукова, Н.Н. Насонов

Лаборатория радиационной физики, Белгородский государственный
университет,
г. Белгород, Россия.

Рассмотрены физические основы диагностики порошковых материалов. Традиционный подход базируется на представлении о когерентном рассеянии первичного излучения системой хаотически ориентированных малых кристаллитов с идеальной структурой, обеспечивающей брэгговское рассеяние. Проведенный анализ показал, что в фиксированном кристаллите действительно реализуется брэгговское рассеяние, однако после формального усреднения кристаллита по ориентациям остается только пик нулевого порядка, отвечающий за рассеяние кристаллитом как целым. Таким образом, возникает противоречие между реализованным на практике методом и его теоретическим описанием. Противоречие снимается при переходе от первичной монохроматической плоской волны к расходящемуся немонахроматическому пучку рентгеновских квантов. В работе показывается, что угловая и частотная ширины брэгговских пиков должны быть малыми по сравнению с соответствующими величинами, характеризующими фазовый объем пучка первичных фотонов. В обратном случае возникает возможность измерения параметров нанокластеров в ультрамелкодисперсном материале, причем характеристики кластеров определяются измерением свойств именно пика нулевого порядка.

ЧАСТОТНО-УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАЗИХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛИРОВАНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

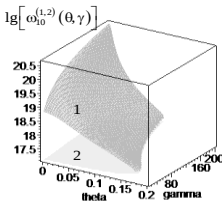
Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, Г.П. Головач

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Работа является продолжением исследований /1, 2/ и посвящена изучению частотно-угловых характеристик КХИ в рентгеновской области спектра в случае плоскостного каналирования релятивистских электронов. С учетом неравенств $\mu c^2 \gg \varepsilon_{n,m}, \hbar \omega_0$ ($\varepsilon_{n,m}$ – энергии n -го и m -го уровней в сопутствующей системе, ω_0 – плазменная частота) и выражения для показателя преломления $n^2(\omega) = 1 - \omega_0^2/\omega^2$ получена формула

$$\text{для частот КХИ: } \omega_{nm}^{(1,2)}(\theta, \gamma) = \gamma \kappa^{-1}(\theta, \gamma) \left(\Omega_{nm} \pm \cos \theta \sqrt{\Omega_{nm}^2 - \omega_0^2 \kappa(\theta, \gamma)} \right),$$

где $\kappa(\theta, \gamma) = \gamma^2 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta$, $\Omega_{nm} = (\varepsilon_n - \varepsilon_m)/\hbar$ – частота перехода между уровнями каналирования, θ – угол между импульсом частицы и направлением волнового вектора кванта. На рисунке показаны поверхности 1 и 2, которые соответствуют зависимости $\lg[\omega_{10}^{(1,2)}(\theta, \gamma)]$ для частот



излучения при переходе между уровнями 1 и 0 в плоскостях (100) в кристалле кремния. В работе изучаются также другие конкретные переходы в различных кристаллах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий В.И., Максютя Н.В. // Поверхность, 1997, № 3, с. 97 – 100.
2. Высоцкий М.В., Высоцкий В.И. // Поверхность, 2007, № 3, с. 1 – 7.

НЕКОГЕРЕНТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ОНДУЛЯТОРЕ

В.В. Сыщенко¹⁾, А.И. Тарновский¹⁾, Н.Ф. Шульга²⁾

¹⁾Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

²⁾Институт теоретической физики им. А.И. Ахиезера НИИ ХФТИ, г. Харьков, Украина

Сечение излучения релятивистских электронов в кристалле распадается на сумму сечений когерентного и некогерентного излучения /1/, где последнее обусловлено тепловым разбросом положений атомов кристалла относительно узлов решетки. При этом перераспределение плотности потока частиц в кристалле под влиянием непрерывных цепочек и плоскостей атомов приводит к существенной ориентационной зависимости интенсивности некогерентного излучения. В /2,3/ была предложена процедура моделирования некогерентного излучения, позволившая дать интерпретацию результатов экспериментов на микротроне университета Майнца по регистрации излучения электронов с энергией ~ 1 ГэВ на ориентированном кристалле кремния /4/. В предлагаемом докладе модифицированная процедура моделирования применена к анализу результатов недавних экспериментов той же группы /5/, в которых регистрировалось излучение электронов в синусоидально изогнутом кристалле.

Работа частично поддержана внутриуниверситетским грантом БелГУ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1969. – 457 с.
2. Сыщенко В.В., Тарновский А.И., Шульга Н.Ф. // Поверхность. 2008. № 4. С. 80.
3. Shul'ga N.F., Syshchenko V.V., Tarnovsky A.I. // NIM B. 2008. V. 266. P. 3863.
4. Backe H. et al. // NIM B. 2008. V. 266. P. 3835.
5. Backe H. et al. // Abstracts of VIII International Symposium RREPS-09, Zvenigorod, 2009. P. 56.

СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ ПРИ АКСИАЛЬНОМ КАНАЛИРОВАНИИ В КРИСТАЛЛАХ

А.А. Ананьева, О.В. Богданов, Ю.Л. Пивоваров
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Общая теория излучения при каналировании релятивистских частиц в кристаллах рассмотрена в /1-2/. В работе /3/ с помощью численных методов исследованы усредненные (по точкам влета электронов в кристалл) спектры излучения релятивистских электронов при осевом каналировании.

Методы, развитые в /3/, применены для исследования спектров излучения релятивистских позитронов при осевом каналировании в кристаллах. Также получены пространственные и угловые распределения частиц при аксиальном каналировании электронов и позитронов в кристаллах. Проведен анализ потерь энергий на излучение релятивистских электронов и позитронов при осевом каналировании в кристаллах.

Расчеты выполнены на вычислительном кластере «СКИФ-Политех» Томского политехнического университета с использованием пакета ©Mathematica 7.01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baier V. N., Katkov V. M., Strakhovenko V. M.. Electromagnetic Processes at High Energies in Oriented Single Crystals, World Scientific Publishing Co, Singapore, 1998.
2. Akhiezer A.I., Shu'lgа N.F. High Energy Electrodynamics in Matter, Gordon and Breach, Luxemburg, 1996.
3. Ананьева А.А., Богданов О.В., Пивоваров Ю.Л.. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010, - № 1, с. 1-7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА МАТЕРИАЛА ПО СПЕКТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ИНДУЦИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОННОЙ БОМБАРДИРОВКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.Е. Степанов

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Калуга, Россия

В статье /1/ был предложен способ обработки спектров катодолюминесцентного излучения с использованием вейвлетов. На основе предложенного метода обработки построен алгоритм поиска и идентификации пиков, аппроксимации и отделения фоновой составляющей, выделения областей локализации сигнала.

В настоящей работе обсуждается возможность определения состава материала по обработанным спектрам электромагнитного излучения. Для различных полупроводниковых материалов области локализации сигналов могут перекрываться, так что необходимо привлечение методов распознавания, позволяющих варьировать эту область так, чтобы пики спектров, принадлежащие различным веществам, были четко различимы. Такую возможность предоставляет использование вейвлетов. Поскольку выбор уровня детализации при обработке данных может выбираться в достаточно широких границах, это позволяет ограничить область локализации сигнала до весьма узких пределов. В результате возможно ясно различать спектры, принадлежащие различным веществам.

Проведенная в системе Maple обработка спектров ряда полупроводниковых материалов с использованием прямого и обратного вейвлет-преобразования показала эффективность разработанной схемы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Степанов С.Е., Сергеева М.А. // Поверхность, 2009, № 4, с.29-32

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КТИ И ПОЗИТРОНОВ РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В МОНОКРИСТАЛЛЕ

А.В. Щагин

Харьковский физико-технический институт,
Харьков 61108, Украина

В работе рассматриваются несколько видов рентгеновского излучения, возникающего при производстве когерентного тормозного излучения и позитронов ультрарелятивистскими электронами с помощью монокристалла. Обсуждаются спектры и другие свойства этого излучения в различных условиях наблюдения. Предлагается наблюдать рентгеновское излучение с целью контроля ориентации, температуры и деградации кристалла, а также движения частиц в кристалле на разных глубинах.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАНОКРИСТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Щагин

Харьковский физико-технический институт,
Харьков 61108, Украина

В работах /1/ и /2/ мы экспериментально показали возможность наблюдения и исследования текстуры поликристаллов с помощью параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) релятивистских частиц, движущихся через поликристалл. В настоящей работе получены и сравниваются формы и ширины спектрального пика ПРИ в направлении назад релятивистской частицы, пересекающей кристаллическую пластину и кристаллический шар. Рассмотрено влияние геометрических факторов на уширение спектрального пика ПРИ. Обсуждается применение ПРИ назад для измерения размеров нанометровых кристаллических слоев и кристаллитов в поликристаллах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 - Takabayashi Y., Endo I., Wada K., Moriyoshi C., Shchagin A.V.. // Nucl. Instr. and Meth., - 2006. - B243, – p.p. 453-456.
- 2 - Nawang S., Endo I., Iinuma M., Takahashi T., Kohara A., Ueda K., Strokov S., Kuroiwa H., Ohnishi T., Takabayashi, Y. Moriyoshi C., Shchagin A. // Journal of the Physical Society of Japan. - 2006. - V.75, – p.124705-1 - 124705-10.

РЕНТГЕНОВКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛЯРИЗОВАННОЙ КЕРАМИКИ В ВАКУУМЕ

В.И. Нагайченко, В.С. Мирошник, А.М. Егоров,
А.В. Щагин
Харьковский Физико-Технический Институт,
Харьков 61108, Украина

В настоящей работе мы сообщаем о первом, насколько нам известно, наблюдении рентгеновского излучения при нагреве и охлаждении в вакууме поляризованной керамики. Керамика на основе цирконат-титаната бария свинца в виде цилиндра длиной 30 мм устанавливалась в вакуумной камере, ее температура изменялась в диапазоне от -50°C до $+100^{\circ}\text{C}$. Спектры излучения измерялись с помощью рентгеновского детектора Amptek XR-100T-CdTe, установленного на расстоянии 20мм от свободного основания цилиндра.

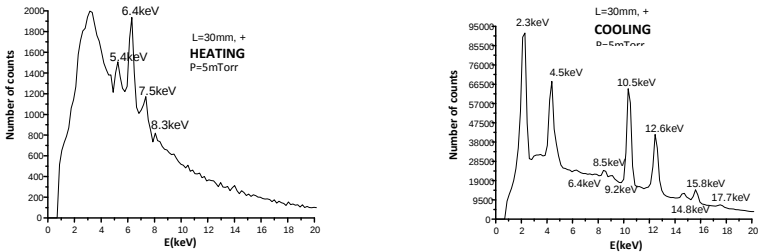


Рис.1. Низкоэнергетические участки спектров рентгеновского излучения при однократном охлаждении и нагревании цилиндра из поляризованной керамики при давлении остаточного газа 5 мТорр.

В спектре при охлаждении на фоне тормозного излучения видны пики характеристического излучения Zr, Pb, Ti, Ba, входящие в состав керамики, а в спектре при нагревании - Cr, Fe, Ni, которые входят в состав материала (нержавеющей стали) стенок камеры. Излучение обусловлено электронами с энергией десятки кэВ, которые при охлаждении ускоряются в электрическом поле в вакууме в направлении керамики, а при нагреве – от керамики. Поле возникает благодаря пирозлектрическому эффекту при изменении температуры керамики.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТОВ ОСЕВОГО КАНАЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ DCR ДЛЯ КРИСТАЛЛОВ Si и LiF

К.Б. Коротченко, Т.А. Тухфатуллин, Ю.Л. Пивоваров,
Е. И. Фикс

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Детальные расчеты DCR при плоскостном каналировании в кристаллах Si и LiF представлены в работах /1, 2/.

В докладе, на основе модификации динамической теории DCR для случая осевого каналирования /3/, представлены результаты численных расчетов для кристаллов Si и LiF:

- зонной структуры энергетических уровней
- волновых функций для подбарьерных и надбарьерных квантовых состояний
- угловых распределений DCR

Результаты:

- Показано, что все подбарьерные энергетические уровни двукратно вырождены
- Амплитуда пиков углового распределения DCR при осевом каналировании значительно превосходит амплитуду PXR - это может быть полезным при планировании экспериментов по обнаружению эффекта DCR.

Л И Т Е Р А Т У Р А

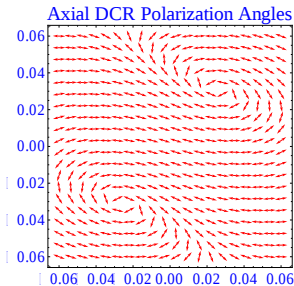
1. Богданов О.В., Коротченко К.Б., Пивоваров Ю.Л. // *Письма в ЖЭТФ*. – 2007. – т. 85. вып. 11. – С. 684.
2. Богданов О.В., Коротченко К.Б., Пивоваров Ю.Л. // *Поверхность. Рентгеновские, Синхротронные и Нейтронные Исследования*, 2008, № 4, с. 1–7.
3. Коротченко К.Б., Пивоваров Ю.Л., Тухфатуллин Т.А., Фикс Е.И. // *Поверхность. Рентгеновские, Синхротронные и Нейтронные Исследования*, 2010, в печати.

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ DCR

К.Б. Коротченко, Ю.Л. Пивоваров
Томский политехнический университет, Томск, Россия

Расчеты и экспериментальные измерения углового распределения линейной поляризации PXR представлены в работах /1, 2, 3/.

В докладе, на основе модификации динамической теории DCR для случая осевого каналирования /4/, получены формулы для расчетов угловых распределений линейной поляризации DCR. Показано, что формулы, полученные для поляризации DCR, переходят в известные формулы, описывающие поляризацию PXR /1, 3/ и позволяют проводить расчеты угловых распределений линейной поляризации DCR для плоскостного и осевого каналирования.



Результаты:

- Пространственная область со степенью поляризации излучения близкой к 1, для DCR при осевом каналировании наибольшая (по сравнению с PXR и DCR при плоскостном каналировании – см. рис.)

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. V. V. Morokhovskii at al. // *Phys.Rev.Letters*, 1977, v. 79, p.4389-4392.
2. Щагин А.В., Сотников В.В. // *Вопросы Атомной Науки и Техники*, 2008, № 4, с.316-321.
3. Nitta H. // *Radiation Physics and Chemistry*, 2006, v.75, p.1397–1408
4. Коротченко К.Б., Пивоваров Ю.Л., Тухфатуллин Т.А., Фикс Е.И. // *Поверхность. Рентгеновские, Синхротронные и Нейтронные Исследования*, 2010, в печати.

Секция III

**РАССЕЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ
ЧАСТИЦ**

СИНЕРГИЗМ РАСПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ КЛАСТЕРОВ
АТОМНЫМИ ДИМЕРАМИГ.В. Корнич¹⁾, Г. Бетц²⁾, В.Г. Корнич³⁾¹⁾ЗНТУ, Запорожье, Украина²⁾Technische Universitaet Wien, Wien, Austria³⁾СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Последнее время появилось много публикаций, в которых обсуждается синергизм каскадов столкновений, а именно опережающая интенсификация столкновительных процессов при бомбардировке поверхности многоатомными кластерами по сравнению с эквивалентным количеством отдельных атомов, налетающих на мишень с той же скоростью. В частности, этот эффект проявляется в увеличении выхода распыления при бомбардировке мишени нанокластерами металлов /1/.

В /2/ было показано, что больший выход распыления атомов поверхностных кластеров для налетающих димеров Cu_2 по сравнению с удвоенным выходом распыления для налетающих мономеров Cu обусловлен пространственным наложением последовательностей столкновений от обоих атомов димера.

В настоящей работе на основе молекулярно-динамической модели /2/ рассмотрено распыление кластеров меди на поверхности графита димерами Cu_2 с энергиями 100, 200 и 400 эВ. Было выполнено по 5000 испытаний в каждом физическом случае при 4 пс развития столкновительных процессов. Результаты сравниваются с данными бомбардировки аналогичных мишеней атомами Cu с теми же скоростями. Получено, что синергизм проявляется в выходах распыления, энергетических распределениях распыленных атомов и их димеров, однако отсутствует в распределениях рассеянных частиц.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Bouneau S., Brunelle A., Della-Negra S., Depauw J., Jacquet D. et al. // Phys. Rev., 2006, В 65, 144106.
2. Корнич В.Г., Бетц Г., Корнич Г.В. // ПЖТФ, 2008, 34, N12, 21.

СЕГРЕГАЦИЯ АТОМОВ МЫШЬЯКА ПРИ РАСПЫЛЕНИИ
АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ИОНАМИ ЦЕЗИЯВ. И. Шульга
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

При распылении сплавов и соединений важную роль играет поверхностная сегрегация, при которой атомы одной из компонент вытесняются на поверхность, образуя там монослой с повышенным содержанием этих атомов. Обычно сегрегируют атомы, имеющие более низкую поверхностную энергию связи U , но имеются исключения из этого общего правила. Сегрегированные атомы оказывают сильное влияние на угловое распределение распыленного вещества, которое определяется в основном столкновениями в самом верхнем (поверхностном) слое атомов.

В данной работе изучается влияние сегрегации на распыление полупроводникового соединения GaAs ионами цезия с энергией 2–5 кэВ. Расчеты проведены методом компьютерного моделирования для условий эксперимента /1/, в котором измерены угловые распределения атомов Ga и As в стационарном режиме распыления при наклонных углах бомбардировки. Установлено, что хорошее согласие с экспериментом дает модель, в которой верхний слой обогащен атомами As (превышение концентрации As составляет 15–30 at.%), а второй и нижележащие слои обогащены атомами Ga. Сильная сегрегация атомов As может быть объяснена большой разницей поверхностных энергий связи компонент ($U = 1,26$ и $2,82$ эВ для атомов As и Ga соответственно). Проведено также сравнение с экспериментом полных (Ga+As) угловых распределений распыленных атомов и обнаружено хорошее согласие с экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Verdeil C., Wirtz T., Scherrer H. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B. 2009. V.267. P.2745.

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА

В.С. Авилкина¹⁾, Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾,
Ю.С. Виргильев²⁾, В.С. Куликаускас¹⁾, Е.С. Машкова¹⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ФГУП НИИГрафит, Москва, Россия

Приводятся результаты исследования воздействия облучения ионами Ag^+ энергии 30 кэВ на углерод-керамический материал – силицированный графит марки СГ-П-0.1 в диапазоне температур от комнатной до 700°C. Флюенс облучения составил 10^{19} ион/см². Спектрометрия РОР показала примерно одинаковую атомную концентрацию Si и C до облучения и небольшое обогащение поверхностного слоя углеродом после облучения, что соответствует результатам моделирования распыления составляющих композита с помощью программы SRIM-2008. Мониторинг облучения включало измерение коэффициента γ ионно-электронной эмиссии. Температурная зависимость коэффициента ионно-электронной эмиссии $\gamma(T)$ показывает скачок выхода электронов при некоторой температуре T_a , что говорит о наличии ионно-индуцированных структурных изменений в материале /1/. Сопоставление с температурными зависимостями $\gamma(T)$ для составляющих композита – Si и C позволяет предположить наличие температуры динамического отжига радиационных повреждений $T_a \geq 370^\circ\text{C}$, близкой к T_a для грани (111) кристалла Si /2/. Результаты исследования облученной поверхности при помощи оптического микроскопа Axiostar plus говорят о гетерогенной структуре материала, содержащего кристаллиты Si и C и SiC.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (контракт №02.740.11.0389).

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов А.М., Виргильев Ю.С., Машкова Е.С.// Поверхность. 2008. №1. С. 58.
2. Evdokimov I.N., Mashkova E.S., Molchanov V.A.// Phys.Lett. 1967. V.25A, No.3. P.619.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ И ПЕРВИЧНОГО РАДИАЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ (111) SiC ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ АТОМАРНЫМИ И КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ C_N И Si_N ($N=1\div 60$) МЕТОДОМ КЛАССИЧЕСКОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

А.В. Бакаев, Е.Е. Журкин

С.-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия

В работе изучены особенности имплантации, каскада атомных соударений и первичного радиационного повреждения в приповерхностной области кубического карбида кремния при бомбардировке ионами (C_1 , Si_1), кластерами (C_5 , Si_5) и фуллеренами (C_{60}), при одинаковой энергии на один атом частицы-снаряда (200 эВ/атом).

Исследование проводилось в рамках метода классической молекулярной динамики /1/. При расчетах использовался потенциал Терсова /2/, сопряженный с потенциалом ZBL /3/ с целью корректного учета рассеяния при высоких энергиях сталкивающихся атомов. Время отслеживания каждой истории составляло более 20 пс, а общее число рассмотренных событий (на каждый внедрённый атом) составило ~100.

В результате проведенного исследования выявлен ряд особенностей низкоэнергетической имплантации кластеров в (111)SiC, а именно: отсутствие влияния размера имплантируемого кластера на распределение пробегов; низкая степень нелинейных эффектов на каскадной и пост-каскадной стадиях; образование аморфных зон в мишени при кластерной имплантации.

Работа поддержана ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009-2013 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журкин Е.Е., Колесников А.С., Космач В.Ф. // Поверхность, 2005, №3, С.51.
2. Tersoff J. // Phys. Rev.B, 1989, B39, P.5566; 1990, B41, P.3248
3. Ziegler J.F., Biersack J.P., Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Solids. Vol.1, Pergamon, New York, 1985.

ИОННОЕ РАПЫЛЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МИШЕНЕЙ

Ю. Кудрявцев, М. Авенданьо, Г. Рамирес, Р. Азомоза
Отделение Твердотельной Электроники, Центр Исследований и Передо-
вого Обучения Национального Политехнического Института,
г. Мехико, Мексика

В докладе рассматривается эффект преимущественного распыления элементов многокомпонентной мишени в процессе облучения ионами низких энергий. Как известно /1/, после начала распыления многокомпонентных мишеней преимущественно покидают поверхность элементы с меньшей энергией связи с поверхностью и меньшей массой так, что поверхность обогащается более тяжелым и более связанным компонентом. После установления динамического равновесия состав поверхности отличается от объемного, но при этом соотношение элементов в потоке распыления соответствует объемному соотношению.

Мы рассмотрели характеристики преимущественного распыления и обнаружили, что, так называемый, выход распыления компоненты, определяемый в /1/ как: «парциальный выход распыления, нормированный на установившуюся поверхностную концентрацию данной компоненты», определен неправильно. Точнее говоря, такое определение не имеет физического смысла. Мы ввели новую характеристику преимущественного распыления: «поверхностный выход» распыления, который определяет число атомов данного сорта, распыленный из первых двух моноатомных слоев (из которых вылетает более 80% распыляемых частиц) в расчете на один первичный ион. В докладе представлены различные соотношения поверхностного выхода и парциального выхода, а также концентраций компонентов в объеме и на поверхности облучаемой мишени.

Как известно, в состав распыленного потока входят многоатомные частицы – кластеры. Рассмотрев образование в процессе распыления многокомпонентной мишени двухатомных кластеров (димеров) в рамках статистической модели мы обнаружили, что выход димеров пропорционален квадрату поверхностного выхода. Это, в свою очередь, означает, что выход димеров пропорционален квадрату поверхностной концентрации элемента. Это дает нам возможность по выходу димеров делать вывод не только о наличии преимущественного распыления, но и оценить количественно состав распыляемой поверхности без привлечения дополнительных методов анализа поверхности.

|ЛИТЕРАТУРА

1. Betz G., Wehner G.K. // Sputtering of Multicomponent Materials, in Sputtering by particle bombardment II, edited by R.Behrish, Springer-Verlag, Berlin, 1983, p.18

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАСПЫЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ Al, Ti, Fe, Cu и Mo ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПУЧКАМИ ИОНОВ He^+ И Ar^+ С ШИРОКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРОМ

Н.В. Волков

НИЯУ МИФИ, г.Москва, Россия

Обработка поверхностей сложной формы требует учета неравномерности распределения внедряемых ионов и скорости распыления. В ряде случаев представляется целесообразным проводить облучение пучком ионов с широким энергетическим спектром – ПИ-ШЭС (отношение ширины энергетического спектра ΔE к величине средней энергии $\langle E \rangle$ ионов в пучке $\sigma = 10 - 50\%$), например, для получения в матрице распределения внедренных атомов близкого к прямоугольному.

В этой связи важным является получение экспериментальных данных о процессах, протекающих при воздействии потоков ионов He^+ , Ar^+ с широким энергетическим спектром на материалы Al, Ti, Fe, Cu, Mo и Si со сложной геометрией поверхности, например, зависимости распределения внедренных атомов $S(x)$ и скорости распыления от угла облучения α пучками ионов с широким энергетическим спектром.

Проведенные эксперименты показали, что шероховатость поверхности образцов R_a при дозах облучения выше $\Phi = 2 \times 10^{18}$ ион/см² достигает $R_a = 0,8 \pm 0,1$ мкм и далее изменяется незначительно при углах облучения $\alpha = 0 - 45^\circ$. В случае облучения под углом $\alpha > 50^\circ$ величина $R_a(\Phi)$ монотонно растет и достигает $R_a = 1,10 \pm 0,1$ мкм при $\Phi = 5 \times 10^{18}$ ион/см².

Анализ данных распределения внедренных атомов пленок выявил снижение их концентрации и глубины проникновения при углах облучения больше $\alpha = 50 - 60^\circ$.

Проведенные измерения и анализ изменений величин коэффициентов распыления $S_p(\alpha)$ ряда материалов под облучением пучком ионов Ar^+ с широким энергетическим спектром (средней энергией 10 кэВ) показал, что лучшим образом экспериментальные данные описываются выражением вида:

$$\frac{Sp(\alpha)}{Sp(\alpha=0)} = a_0 \cos^n \alpha \times \exp \left[a_1 \left(\frac{\Delta E}{E_t} \right)^{n^2} \times (1 - \cos^{n^3} \alpha)^{n^4} \right],$$

где ΔE – ширина энергетического спектра, E_t – пороговая энергия распыления материала, a_0 и a_1 – коэффициенты. При этом под облучением пучками ионов Ar^+ с различной шириной энергетического спектра с $\sigma = \Delta E / \langle E \rangle = 10$ и 40 % (ΔE – ширина энергетического спектра, $\langle E \rangle$ – средняя энергия ионов в пучке) максимальное расхождение наблюдается между величинами $S_p(\alpha)$ для образцов Fe и Cu при углах больше $\alpha = 40 - 45^\circ$, а минимальные – для образцов W.

Работа выполнена при поддержке Рособразования: грант НК108П5-П282

ПОСЛОЙНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ СПЕКТРОСКОПИИ ОТРАЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В.П. Афанасьев, А.А. Батраков, А.В. Лубенченко
Московский энергетический институт (технический университет)
Москва, Россия

Измерение послойных профилей изотопов водорода в материалах традиционно выполнялось методом быстрых атомов отдачи [1] или методом ядерных реакций [2]. В настоящей работе предлагается метод анализа водорода в конструкционных материалах реакторов, основанный на расшифровке энергетических спектров электронов отраженных от исследуемого образца [3]. В современных термоядерных установках, в качестве обращенных к плазме материалов, широко используются графиты. Под воздействием высокотемпературной плазмы происходит распыление графита, с образованием углеводородных покрытий на поверхностях даже значительно удаленных от источника.

В данной работе возможности метода иллюстрируются на примере анализа слоев аморфного гидрогенизированного углерода, нанесенных на поверхность монокристаллического кремния. Эксперименты по осаждению проводились в генераторе плазмы с продольным магнитным полем PSI-2 (Max-Planck Institute of Plasma Physics, Germany). Послойные профили водорода определяются из условия наилучшего совпадения экспериментально измеренных и расчетных спектров.

В работе исследуемый слой углеводорода представлен как смесь пиролитического графита и углеводородного соединения C_nH_{2n} . Благодаря этому удалось уменьшить погрешность определения послойного профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roth J., Scherzer B.M.U., Blewer R.S., et al // J Nucl. Mater. 1980, № 601, p. 93-94.
2. Alimov V.Kh., Roth J. // Phys. Scripta, 2007, № 128, p. 6-13.
3. Афанасьев В.П., Батраков А.А., Лубенченко А.В. и др. // Вестник МЭИ, 2009, № 4, с. 25-32.

ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В ОБЪЁМЕ И У ПОВЕРХНОСТИ GaN, ОБЛУЧАЕМОГО ИОНАМИ

А.И. Титов¹⁾, А.Ю. Азаров²⁾, С.О. Кучеев³⁾, П.А. Карасёв¹⁾

¹⁾ Государственный политехнический университет, С.-Петербург

²⁾ University of Oslo, Oslo, Norway

³⁾ Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, USA

Хорошо известно, что при имплантации ионов в GaN распределение устойчивых дефектов имеет бимодальный характер. Образуется объёмный максимум дефектов (ОМД) в области, лежащей за положением максимума распределения создаваемых ионами первичных дефектов, и поверхностный аморфный слой (ПАС). Остается неясным, как эти две особенности распределения нарушений по глубине влияют друг на друга.

Для прояснения этого вопроса нами осуществлялось комбинированное облучение GaN при комнатной температуре сначала ионами, которые создавали ПАС (PF_4^+ с энергией 40 кэВ и дозой $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$), а затем – дооблучение ионами, максимум генерации которых лежал за границей ПАС, но на небольшом расстоянии от нее (P^+ 40 кэВ, дозами $1 \times 7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$). Для сравнения производилось облучение неповрежденных мишеней ионами P^+ с теми же дозами и энергией. Измерение распределений устойчивых нарушений по глубине проводилось с помощью RBS/C ионов гелия с энергией 0.7 МэВ на 103° от направления $\langle 0001 \rangle$ (совпадавшего с нормалью к поверхности образца).

Результаты показали, что присутствие границы ПАС-кристалл вблизи ОМД влияет на образование устойчивых дефектов в объёме. В то же время, скорость роста поверхностного аморфного слоя не зависит от концентрации устойчивых нарушений вблизи этой границы.

Работа поддержана грантами РФФИ №№ 08-08-00585 и 09-08-92657.

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ОБЪЕМНОГО МАКСИМУМА ДЕФЕКТОВ В GaN ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ

А.И. Титов¹⁾, П.А. Карасёв¹⁾, А.Ю. Азаров²⁾, А.Ю. Катаев¹⁾

¹⁾ Государственный политехнический университет, С.-Петербург

²⁾ University of Oslo, Oslo, Norway

Нитрид галлия является перспективным материалом для опто- и СВЧ-электроники. Экспериментально установлено, что в случае облучения GaN ионами, распределение устойчивых дефектов по глубине носит следующий характер: на поверхности полупроводника образуется поверхностный аморфный слой (ПАС), а в глубине создаётся объёмный максимум дефектов (ОМД). При увеличении дозы облучения толщина аморфного слоя растёт, а ОМД смещается в глубь образца и насыщается на уровне 0,4 - 0,5 относительной концентрации дефектов. Движущаяся вглубь граница ПАС/монокристаллический GaN является сильным стоком для подвижных точечных дефектов (ПТД), объединение которых в устойчивые нарушения и приводит к накоплению повреждений в ОМД. Нами была создана модель, рассматривающая только один тип ПТД и учитывающая минимальное число процессов, которые могут приводить к образованию устойчивых нарушений в ОМД: генерация, диффузия и рекомбинация первичных дефектов на объёмных стоках и на границе ПАС/кристалл, образование устойчивых нарушений. Положение границы ПАС/кристалл бралось из экспериментальных данных. В результате компьютерного моделирования качественно были получены результаты, отражающие характерные особенности поведения этих зависимостей: сдвиг вглубь GaN положения максимума ОМД и насыщения его величины.

Работа поддержана грантом РФФИ №09-08-92657

ИОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК PbTe, PbSe В ПЛАЗМЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

И.И. Амиров¹⁾, Е.С. Горлачев²⁾, С.П. Зимин²⁾

¹⁾ Ярославский филиал Учреждения Российской академии наук Физико-технологического института РАН, г. Ярославль, Россия

²⁾ Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

Плазменная модификация поверхности структур на основе A^4B^6 широко используется при изготовлении различных оптоэлектронных приборов. Ранее было показано, что при обработке поверхности PbTe, PbSe в плазме Ar происходит интенсивное распыление материала с образованием на поверхности микро- и нановыступов [1]. В данной работе были проведены исследования закономерностей распыления, изменения морфологии поверхности эпитаксиальных пленок PbTe, PbSe в плотной плазме Ar, Kr ВЧ индукционного разряда низкого давления ($P < 0.1$ Па). Зависимости скорости распыления пленки PbTe в плазме Kr и Ar от плотности мощности ВЧ смещения и/или от плотности мощности ионного потока были одинаковыми. Скорость распыления пленки PbTe увеличивалась прямопропорционально увеличению плотности ионного потока и превышала 20 нм/с при плотности мощности ионного потока 1.5 Вт/см^2 . Размеры, вид и плотность наноструктур, образующихся на поверхности пленки при такой бомбардировке сильно зависели от плотности мощности ионного потока. Проводится обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zimin S.P., Gorlachev E.S., Amirov I.I., Zogg H. // J.Phys.D: Appl. Phys, 2009, v.42, p. 165205.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕДАХ С ПОМОЩЬЮ ВИМС И РЭМ

В.И. Бачурин¹⁾, О.Н. Колесников¹⁾, В.В. Наумов¹⁾,
С.Г. Симакин¹⁾, М.А. Шипилин²⁾

¹⁾Ярославский филиал Учреждения Российской академии наук Физико-технологического института РАН, г. Ярославль, Россия

²⁾Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия

В данной работе предлагается методика изучения наночастиц в органических средах методом РЭМ с привлечением времяпролетной вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС). Идея заключается в том, что перед микроскопическим исследованием образцы подвергаются ионной бомбардировке на установке ВИМС с регистрацией вторичных ионов металла и органической среды. Ионное облучение проводится до появления тока вторичных ионов металла. Таким образом, осуществляется “вскрытие” наночастиц. После этого исследуется химический состав кристаллов с помощью ВИМС, а их размеры и форма изучаются на растровом электронном микроскопе.

Проведены исследования размеров и формы наночастиц серебра, кальция и соединений железа, находящихся в различных органических оболочках. Эксперименты по “вскрытию” проводились на установке IONTOF V. Распыление мишеней осуществлялось ионами O_2^+ . В качестве анализирующего использовался пучок ионов Bi_3^+ . Далее изучение образцов проводилось на растровом электронном микроскопе SUPRA 40. Энергия зондирующих электронов составляла 15 кэВ.

Показано, что ионное “вскрытие” позволяет увидеть четкую картину, из которой можно получить достоверную информацию не только о размерах частиц, но и их форме.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП “Диагностика микро- и наноструктур” в рамках государственного контракта № 02.552.11.7068.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НАНОКЛАСТЕРОВ ТИТАНА Ti_{13} : СЛУЧАЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО УДАРА

Н.А. Панькин, Н.А. Смоланов

Мордовский госуниверситет им. Н.П.Огарева, г. Саранск, Россия

Цель настоящей работы – исследование начальных стадий процесса взаимодействия ионов титана (энергия 100-1000 эВ) с нанокластерами Ti_{13} в рамках метода молекулярной динамики /1/. Рассматривался случай центрального удара ионов с кластером (прицельное расстояние равно нулю).

Были получены следующие результаты:

- Увеличение энергии бомбардирующих частиц приводит к росту коэффициента прохождения ионов через кластер при уменьшении времени взаимодействия. Также отмечается возрастание доли отразившихся ионов и их относительной энергии.
- В распределении ионов по энергиям выделяются три зоны: 1) от 0 до 0.10 E/E_0 ; 2) от 0.10 до 0.25 E/E_0 ; 3) от 0.25 E/E_0 и выше (E – энергия ионов после их взаимодействия с кластером, E_0 – первоначальная энергия). Они соответствуют различным вкладам в результирующие энергетические и угловые распределения ионов, отразившихся, прошедших сквозь кластер и конденсированных на нем. Повышение энергии ионов приводит к снижению доли первой и второй областей в результирующем энергетическом спектре.
- Во второй и третьей энергетических зонах выделяются максимумы, которые соответствуют различным углам распространения ионов после их взаимодействия с кластером. Наибольшие значения первого максимума (вторая зона) постепенно уменьшаются с ростом энергии ионов и при $E > 500$ эВ его появление не отмечается. Второй максимум (третья зона) ведет себя наоборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allen M.P., Tildesley D.J. Computer Simulation of Liquids. New York: Oxford University Press, 1987, 386 p.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
КЛАСТЕРОВ МЕТАЛЛОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ Cu(100)

А.А. Ермоленко, Г.В. Корнич
Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина

С помощью метода классической молекулярной динамики выполнено моделирование взаимодействия низкоэнергетических кластеров меди, золота и серебра с поверхностью кристалла меди с целью исследования соответствующих процессов массопереноса.

Для описания взаимодействия между атомами металлов использовался многочастичный потенциал /1/, а для описания взаимодействий на малых расстояниях – отталкивающий потенциал Циглера-Бирзака-Литтмарка (Ziegler-Biersack-Littmark) /2/. Моделировалась нормальная бомбардировка мишени кластерами. Моделирование каждого из одиночных актов бомбардировки длилось 6 пс по модельному времени.

Выполнен сравнительный анализ процессов атомного перемешивания и образования адслоёв при различных типах, размерах и энергиях поступательного движения бомбардирующего кластера. Также было выполнено моделирование с использованием потенциала межатомного взаимодействия для меди /3/ и произведено сравнение результатов моделирования с использованием различных потенциалов межатомного взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ackland G., Vitek V. // Physical Review B, 1990, V. 41, № 15, P. 10324.
2. Eckstein W. Computer Simulation of Ion-Solid Interactions, Berlin: Springer-Verlag, 1991, 296 p.
3. Betz G., Husinsky W. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 1995, V. 102, P. 281.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ И ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА НАПРЯЖЕНИЯ В DLC ПЛЕНКАХ

О.А. Подсвиров¹⁾, К.В. Карабешкин¹⁾, А.Я. Виноградов²⁾, Н.Н. Карасёв³⁾,
А.С. Смирнов¹⁾, П.А. Карасёв¹⁾, А.И. Титов¹⁾,

¹⁾Государственный политехнический университет, С.-Петербург

²⁾Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург

³⁾Госуниверситет информационных технологий, механики и оптики,
Санкт-Петербург, Россия

Алмазоподобные углеродные пленки (DLC) обладают многими уникальными свойствами. Одним из них является остающееся после приготовления пленки высокое внутреннее механическое напряжение. Изучению зависимости остаточных напряжений получаемых плёнок от условий осаждения и последующего ионного облучения и отжига посвящена настоящая работа. Исследовались пленки, выращенные на Si - подложках методом ВЧ ПХО.

Было установлено, что рост температуры подложки от 200 до 375 °С приводит к росту остаточных напряжений до 3 ГПа. Одновременно значительно уменьшается неоднородность напряжений по поверхности образца. При 400 °С и выше пленка графитизировалась. Изохронный отжиг образцов на воздухе от 200 до 375 °С практически не влиял на напряженное состояние пленки. При 400 °С и выше DLC пленка сгорала. Установлено, что с уменьшением толщины пленки ниже 50 нм начинается рост остаточных напряжений от ~ 2 до 6 ГПа (для 10 нм пленки), что свидетельствует о возникновении основных напряжений на начальном этапе роста пленки. Облучение ионами фосфора и индия (120 – 350 кэВ) с ростом дозы приводит сначала к линейному снижению напряжений, а затем к плавному переводу пленки из сжатого к растянутому состоянию с насыщением при 2,5 ГПа. Наклон подложки (от 0 до 35 град.) от нормали к направлению потока ионов из плазмы приводит к появлению в пленке градиента ее толщины и остаточных напряжений в ней.

Работа поддержана грантом РФФИ №08-08-00948.

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПЛЕНОК $\text{Mn}_2\text{Si}_3/\text{Si}$ (111) МЕТОДОМ ВЫСОКОВАКУУМНОЙ ТЕРМОДИФФУЗИИ

Б.Е. Умирзаков, А.К. Ташатов, В.Х. Холмухамедова, А. Мухибов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Напыление Mn на поверхность монокристаллического Si (111) проводилось при комнатной температуре подложки в условиях высокого вакуума ($P \approx 10^{-6}$ Па). Толщина пленки варьировалась в пределах $\sim 200 - 500 \text{ \AA}$. Исследования проводились с использованием метода ОЭС в сочетании с травлением поверхности ионами Ag^+ с энергией 3 – 5 кэВ. Скорость ионного травления пленок составляла $3-5 \text{ \AA} \cdot \text{мин}^{-1}$. Перед измерением проводилось обезгаживание подложки (кремния), источников Mn и Ag^+ при вакууме не хуже $P \approx 5 \cdot 10^{-6}$ Па.

Прогрев системы Si с пленкой Mn осуществлялся в интервале температур $T = 300 - 1500 \text{ К}$. Профили распределения атомов Mn определялись по изменению интенсивности оже – пиков Mn (590 эВ) и Si (1619 эВ) при травлении поверхности ионами Ag^+ с $E_0 = 3 \text{ кэВ}$. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. При комнатной температуре диффузия атомов Si в пленки Mn и Mn в Si составляет $\sim 20 - 30 \text{ \AA}$.

2. Прогрев этой системы приводит к увеличению глубины диффундирующих атомов и образованию соединений типа Mn_xSi_y .

3. При $T = 800 \text{ К}$ глубина проникновения атомов Mn доходит до $500 - 600 \text{ \AA}$, его концентрация в приповерхностных слоях заметно уменьшается и составляет 75 – 80 ат. %.

4. При $T = 1000 \text{ К}$ зависимость $C_{\text{Mn}}(d)$ проходит через максимум в области $d = 100 - 150 \text{ \AA}$.

5. Прогрев при $T = 1300 \text{ К}$ приводит почти к равномерному распределению Mn по глубине. При этом образуются эпитаксиальные пленки типа Mn_2Si_3 с толщиной $800 - 1000 \text{ \AA}$.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ОКСИДНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ НА ОСНОВЕ СПЕКТРОСКОПИИ УПРУГООТРАЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В.П. Афанасьев, И.А. Костановский

¹Московский Энергетический Институт (Технический университет),
Москва, Россия

Эксперименты на основе спектроскопии упруго отраженных электронов (EPES – elastic peaks electron scattering) получили свое распространение в начале 21 века в связи с работами М.Воса и М.Вентом/1/. В случае наличия электронного анализатора с высоким разрешением (0.3 эВ) и высокоэнергетичного пучка (40 кэВ) можно четко разделить упругие пики от различных атомов мишени. При меньших энергиях возможно пересчитать полуширины отдельных пиков многокомпонентной системы, когда они не разрешаются, за счет экспериментов на однокомпонентных материалах.

Данная работа посвящена созданию методики расшифровки EPES спектров с целью восстановления послойного профиля оксидного слоя на поверхности алюминия/1/. Такого рода слои хорошо изученны и имеют аморфную структуру/2/. Представлена теоретическая модель на основе малоуглового и квазиднократного приближений, описывающая вид интерфейса образовавшегося оксидного слоя и распределение оксида алюминия вглубь мишени. Такого рода исследования являются важными для разработки современной и достаточно компактной неразрушающей методики контроля качества получаемых покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Went M.R., Vos M., Surface and interface analysis, 2007, 39.
2. Cabrera N, Mott N.F.// Reports of Progressive Physics, 1949, 12.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ИОННО-ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ КВАЗИКРИСТАЛЛА ГРАФИТА

В.С. Авилкина¹⁾, Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾,
Ю.С. Виргильев²⁾, В.С. Куликаускас¹⁾, Е.С. Машкова¹⁾,
Е.А. Питиримова³⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ ФГУП НИИГрафит, Москва, Россия

³⁾ Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Приводятся результаты измерения температурных зависимостей коэффициента γ ионно-электронной эмиссии базисной плоскости высокоориентированного пирографита УПВ-1Т и поликристаллического графита МПГ-8 при нормальном падении ионов Ag^+ энергии 30 кэВ с флюенсами $10^{18} - 10^{19}$ ион/см². Температуру облучения варьировали от комнатной до 400°C и в обратном направлении. Анализ поверхности проводили при помощи дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО). Зависимости $\gamma(T)$ найдены для УПВ-1Т, отличающимися от облучения МПГ-8 и других изотропных графитов при облучении как ионами Ag^+ , так и N_2^+ . Так, для УПВ-1Т обнаружен «гистерезис» зависимостей $\gamma(T)$, отсутствующий для изотропных графитов. ДБЭО показывает, что для МПГ-8 при температуре ниже температуры T_a динамического отжига радиационных нарушений происходит аморфизация поверхностного слоя. Для УПВ-1Т наблюдается отсутствие полной аморфизации облучаемой поверхности. Степень упорядочения материала различна при нагреве и охлаждении в процессе облучения /1/. Влияние этого на транспорт электронов обуславливает уменьшение их выхода при облучении в процессе охлаждения УПВ-1Т по сравнению с облучением при нагреве.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (контракт № 02.740.11.0389).

ЛИТЕРАТУРА

1. Динс Дж., Виньярд Дж. Радиационные эффекты в твердых телах. М.: Изд-во иностр. лит., 1960, 243 с.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НА СТРУКТУРУ ПЛЕНОК SnO_2

Е.А. Питиримова¹⁾, С.И. Анисимов²⁾

¹⁾ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

²⁾ Научно-исследовательский физико-технический институт при
ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия

Исследовано влияние ионного облучения на структуру пленок SnO_2 , используемых для анализа газов. Пленки SnO_2 , полученные магнетронным распылением, имплантировались ионами различной массы: Ne^+ , Ar^+ , Kr^+ с энергией 40 кэВ дозами $1,2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ – $1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Трансмиссионные электронно-микроскопические исследования показали, что пленки SnO_2 являются поликристаллическими. Установлено, что при облучении пленок SnO_2 инертными газами средний размер зерен (строились гистограммы распределения зерен по размерам) не изменялся вплоть до дозы, соответствующей переходу в аморфное состояние. С помощью электронографии на отражение определены критические дозы аморфизации (Φ_a) в зависимости от массы ионов и температурные режимы рекристаллизации аморфного слоя. Установлено, что температура рекристаллизации увеличивается от 250°C до 400°C с ростом дозы облучения от Φ_a до $(3 \div 4)\Phi_a$. Исследования показали, что от массы ионов существенно зависит не только критическая доза аморфизации, но и пространственное расположение аморфного слоя. В случае имплантации ионов Ne^+ аморфный слой располагается вблизи поверхности имплантированной пленки и его толщина меньше величины проецированного пробега ионов. При облучении более тяжелыми ионами Ar^+ и Kr^+ аморфизация наблюдается по всей толщине пленки, равной приблизительно, пробегу ионов. Таким образом, имплантируя ионы инертных газов в пленки двуокиси олова, можно изменять структурное состояние SnO_2 , формировать разное отношение содержания кислорода и олова по толщине пленки, меняя при этом характеристики газочувствительности.

РАСЧЕТ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА САМОРАСПЫЛЕНИЯ ОТ УГЛА ПАДЕНИЯ ИОНОВ НА МИШЕНЬ

А. И. Толмачёв

Российский новый университет, Москва, Россия

Одной из важных характеристик явления распыления является угловая зависимость коэффициента распыления (КР). При нормальном падении ионов КР принимает минимальное значение. При увеличении угла падения θ_0 КР растет и при некотором $\theta_0 = \theta_{\max}$ достигает максимума. При дальнейшем увеличении угла θ_0 КР уменьшается до нуля при $\theta_0 = 90^\circ$ /1/. В теории распыления обычно рассматривается либо случай нормального падения ионов на мишень /2/, либо случай скользящих углов падения /3/.

В настоящей работе построена теория, справедливая во всем диапазоне углов падения для случая, когда масса иона равна массе атома мишени. Теория содержит последовательное решение трех задач. 1. Рассчитывается число каскадных атомов, образованных одним первичным ионом, в зависимости от пробега иона. 2. Находится распределение отраженных частиц по пробегам в мишени в зависимости от угла их падения. 3. Путем свертки результатов 1 и 2 вычисляется КР. В итоге для угловой зависимости КР получается немонотонная кривая с максимумом, положение и высота которого хорошо согласуются с данными эксперимента и моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фундаментальные и прикладные аспекты распыления твердых тел. Пер. с англ. под ред. Машковой Е. С.: изд-во «Мир», 1989. 349 с.
2. Tolmachev A. I. // Nuclear Instr. and Meth. 1994. V. B 93. P. 415.
3. Маринюк В. В., Ремизович В. С. // Тез. докладов 30-й междуна. конф. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: изд-во МГУ, 2000. С. 77.

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ РАСПЫЛЕНИЯ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР ЛЕГКИМИ ИОНАМИ

В.В. Манухин, А.А. Барат

Московский энергетический институт (Технический университет),
Москва, Россия

Аналитическое описание энергетических спектров распыленных атомов позволяет выявить основные механизмы физического распыления, присущие для данной комбинации «ион-мишень» и с наименьшими затратами времени (по сравнению с компьютерным экспериментом) предсказывать ресурс различных конструкционных материалов. Для описания энергетического спектра распыления слоистой мишени необходимо решить вспомогательную граничную задачу о прямом и обратном распылении слоя конечной толщины. Методика, предложенная в работе, основана на совместном использовании метода инвариантного погружения и метода дискретных потоков /1/ и позволяет учесть особенности, присущие взаимодействию материалов с легкими ионами: необходимость учета электронного торможения, отсутствие развитых каскадов столкновения, существенная роль поверхностного характера распыления.

Энергетический спектр распыления двухслойной мишени описывается непосредственным учетом всех столкновительных процессов, ведущих к выбиванию данной компоненты. Так для обратного распыления верно следующее выражение:

$$Y_R^{Z_0-Z_1} = Y_R^{Z_0-Z_1} + Y_T^{Z_0-Z_1} \otimes R^{Z_1-Z_2} \otimes G_T^{Z_1} + Y_T^{Z_0-Z_1} \otimes Y_R^{Z_1-Z_2} \otimes Y_T^{Z_2-Z_1} + \\ + T^{Z_0-Z_1} \otimes R^{Z_0-Z_2} \otimes Y_T^{Z_0-Z_1} + T^{Z_0-Z_1} \otimes Y_R^{Z_0-Z_2} \otimes Y_T^{Z_2-Z_1}$$

Здесь Z_i-Z_j – комбинация бомбардирующий атом – атом мишени, $Y_{R(T)}$ – функция обратного (прямого) распыления, R, T – функции отражения и пропускания первичных ионов, G_T – функция прямого самораспыления /1/. Знак $\otimes$ означает интегрирование по всем возможным значениям углов и энергий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манухин В.В., Барат А.А., Губкин М.К. // Известия РАН. Серия физическая, 2010, том 74, № 2, с. 254

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОННЫХ МАТЕРИАЛОВВ.С. Авилкина¹⁾, Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾,Ю.С. Виргильев²⁾, Е.С. Машкова¹⁾¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия²⁾ ФГУП НИИГрафит, Москва, Россия

Приводятся результаты исследования радиационно-индуцированных изменений композитов КУП-ВМ и «Десна4» при высоких флюенсах ($\Phi \sim 10^{18} - 10^{20}$ ион/см²) облучения ионами Ag^+ энергии 30 кэВ в интервале температур от комнатной до 400°С. Температурные зависимости коэффициента ионно-электронной эмиссии $\gamma(T)$ как для композита Десна 4, так и для КУП-ВМ показывают скачок выхода электронов при температуре T_a динамического отжига радиационных нарушений. Такое поведение говорит о переходе от высокой степени разупорядочения при $T < T_a$ к относительно упорядоченной структуре при $T > T_a$, что ранее наблюдалось и для других углеродных материалов [1]. Различия в армировании углеродными волокнами исследуемых композитов не влияют на поведение $\gamma(T)$. Зависимость коэффициента распыления от флюенса $Y(\Phi)$ для композита «Десна 4» показывает, что при $T < T_a$ и $\Phi \sim 1 \cdot 10^{19}$ ион/см² значение Y согласно моделированию по программе SRIM-2008 близко к Y для гладкой поверхности графита. С увеличением флюенса Y возрастает до измеренных для КУП-ВМ значений и соответствует расчетам для цилиндрической поверхности. Зависимость $Y(\Phi)$ при $T > T_a$ отличается от таковой при $T < T_a$, а именно, Y уменьшается с ростом Φ . Причиной такого поведения является образование гофрированных структур с ребрами гофров перпендикулярными оси волокон, которые могут значительно изменять локальный угол падения на элементы рельефа поверхности.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (контракт № 02.740.11.0389).

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов А.М., Виргильев Ю.С., Машкова Е.С.// Поверхность. 2008. №1. С. 58.

СПЕКТРЫ ХПЭЭ ДЛЯ Si С НАНОКРИСТАЛЛАМИ CoSi_2

М.Т. Нормурадов, Д.А.Ташмухамедова, Ю.Д. Халиков, Х.Т. Йулдашев
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

В работе методом СХПЭЭ изучены изменения электронного состояния нанопленок и нанокристаллов CoSi_2/Si при изменении их размеров. Основные исследования проводились для нанопленок с толщиной $d = 10 - 100 \text{ \AA}$ и нанокристаллов с поверхностным диаметром $\varnothing = 10 - 50 \text{ нм}$. Нанопленки и нанокристаллы CoSi_2 получены в поверхностной области Si (100) имплантацией ионов Co^+ в сочетании с отжигом. Энергия ионов варьировалась в интервале $E_0 = 0,5 - 5 \text{ кэВ}$, а доза ионов – $D = 10^{13} - 10^{17} \text{ см}^{-2}$. В случае нанопленок начиная с $\theta = 10 - 12 \text{ \AA}$ на спектре ХПЭ появляются пики плазменных колебаний с $\Delta E = 9,5 \text{ эВ} (\hbar\omega_s)$ и $\Delta E = 12 \text{ эВ} (\hbar\omega_v)$ характерных для пленок CoSi_2 .

В случае трехмерных нанокристаллов, где кванто-размерные ограничения имеются со всех трех сторон, однозначно ответить на вопрос, какой критический размер нанокристалла, при котором устанавливается электронная структура, характерная для макроматериалов, практически невозможно. Однако всесторонний анализ спектров ХПЭ, полученных для Si с НК CoSi_2 с разным диаметром позволяет оценить размеры нанокристаллов, при которых начинает устанавливаться электронная структура характерная для твердых тел. Наши исследования показали, что на спектрах ХПЭ системы Si + НК CoSi_2 имеются все особенности (пики), характерные для CoSi_2 , начиная с $\varnothing = 200 - 250 \text{ \AA}$ (толщина $d = 50 - 60 \text{ \AA}$). При $\varnothing \leq 150 - 200 \text{ \AA}$ в спектрах практически отсутствуют пики, связанные с плазменными колебаниями CoSi_2 . Исходя из этого, можно сделать выводы, что в случае нанокристаллов CoSi_2 электронная структура, характерная для твердых тел, проявляется, начиная с $\varnothing = 200 - 250 \text{ \AA}$ и $d = 50 - 60 \text{ \AA}$. Исследования в этом направлении продолжаются.

РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ И МОРФОЛОГИЯ ФАЗОВОГО
СОСТАВА МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ,
ПОДВЕРЖЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМ КОМБИНАЦИЯМ
НИЗКОИНТЕНСИВНОГО БЕТА-ОБЛУЧЕНИЯ И
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

А.А. Дмитриевский, Н.Ю. Ефремова, А.В. Шуклинов,
В.В. Коренков, П.А. Косырев, А.Р. Ловцов
Тамбовский государственный университет
имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

Фазовые превращения в кремнии, возникающие при высоких давлениях (локальном нагружении), приводят к существенным изменениям физических свойств. На сегодняшний день эволюция фазового состава при различных условиях нагружения достаточно хорошо изучена [1,2]. Однако остаются открытыми вопросы, связанные с морфологическими особенностями распределения «новых» фаз по объему отпечатка при индентировании и по поверхности материала при механической обработке кремния, подверженного ионизирующему облучению.

В связи с этим, в работе исследовалось влияние низкоинтенсивного ($I = 10^5 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$) бета-облучения (с дозами, достаточными для изменения микротвердости) на морфологию фазового состава и эффективность фазовых превращений при индентировании и механической шлифовке. Анализ спектров Рамана свидетельствует о существенной роли бета-облучения в процессе формирования фаз кремния Si-III, Si-XII и a-Si при индентировании и трибологических испытаниях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-02-97541).

ЛИТЕРАТУРА

1. Dominich V., Gogotsi Y., // Rev. Adv. Mater. Sci., 2002, 3, 1.
2. Habert B., Bradby J.E., Ruffel S., Williams J.S., // J. Appl. Phys., 2006, 100, 013520.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ И НАНОПЛЕНОК МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ФЛЮОРИТОВ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ИОНАМИ Ag^+

Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, Б.Б. Мавлянов, Г.Ш. Султанов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Тонкие пленки флюоритов широко используются при создании уникальных приборов твердотельной электроники, в частности микроэлектроники (интегральных схем, резонаторов, транзисторов и микроустройств нового поколения и др.). Применение этих пленок имеет большие перспективы в создании новых наноэлектронных приборов и устройств. В связи с этим создание и изучение свойств нанопленок, нанопроволок и наноточек на основе флюоритов (CaF_2 , BaF_2 , SrF_2) имеет как научный, так и практический интерес. При бомбардировке CaF_2 ионами Ag^+ происходит его разложение и фтор (в виде F_2) покидает поверхностную область кристалла, оставляя анионные вакансии. Эти вакансии объединяются в кластеры, образуя области, обогащенные Са. Варьируя энергию и дозу ионов, можно контролируемо изменять толщину и поверхностные размеры этих фаз вплоть до образования сплошной тонкой нанопленки с толщиной $\theta = 20 - 50 \text{ \AA}$, обогащенной атомами Са. Такие нанофазы и нанопленки очень перспективны в создании приборов нано- и оптоэлектроники. Однако возможность их практического использования тесно связана со строгой кристаллизацией этих структур при сохранении избыточных атомов Са. При прогреве пленок CaF_2 , облученных низкими дозами ионов до $T = 700 - 800 \text{ K}$, нанокластерные участки упорядочиваются, образуя сверхрешетку (СР) кластеров анионных вакансий в приповерхностной области кристалла $\text{CaF}_2 \rightarrow \text{CaF}_2\cdot\text{СР}$. В случае CaF_2 , облученного с $D = 10^{15} \text{ см}^{-2}$, формировались нанокристаллические фазы с линейными размерами $\ell = 40 - 50 \text{ нм}$ и толщиной $\sim 50 \text{ \AA}$. Расстояние между центрами фаз составляло $\sim 100 \text{ нм}$. Кристаллизация пленок, облученных с высокой дозой ($D \geq 10^{16} \text{ см}^{-2}$), происходило при $T = 800 - 900 \text{ K}$.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭМИССИИ АТОМОВ С ГРАНИ (111) Ni ПРИ МАГНИТНОМ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ: РАСЧЕТЫ В РАМКАХ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

Н.Ю. Туляков, В.Н. Самойлов

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Ранее с помощью простой трехмерной аналитической модели нами были исследованы эффекты блокировки и фокусировки распыленных атомов, эмитируемых с поверхности граней (111) и (001) Ni в азимутальном направлении на центр линзы из двух ближайших атомов в плоскости поверхности. Целью настоящей работы было выяснить в рамках этой модели, насколько сильно изменение магнитного состояния мишени влияет на характеристики эмиссии атомов с поверхности грани (111) Ni. Использовано приближение жестких сфер.

Конечный полярный угол вылета для эмиссии с грани (111) Ni в f-состоянии оказывается больше, чем для эмиссии с той же грани Ni в r-состоянии, для тех же начальных полярного угла и энергии вылета. Это связано с меньшей жесткостью потенциала отталкивания и большей энергией связи в f-состоянии. Наиболее сильное увеличение при r-f переходе полярного угла, соответствующего максимуму распределения распыленных атомов при фиксированной начальной энергии эмитируемого атома, наблюдается для малых энергий вылета. Оно составляет 17.1° , 5.1° , 2.6° и 4.5° для начальной энергии $E_0 = 10, 15, 30$ и 50 эВ. Нам удалось найти выражения для конечных угла и энергии вылета в f-состоянии в виде разложения по двум малым параметрам. Одним из них является уменьшение диаметра жестких сфер вследствие уменьшения жесткости потенциала отталкивания при r-f переходе, а вторым – увеличение энергии связи атомов на поверхности. Оказалось, что малое изменение жесткости потенциала и энергии связи при r-f переходе может привести к качественному изменению картины эмиссии. Для энергии связи $E_b = 3.3$ эВ в r-состоянии наблюдается область тени за рассеивающей линзой из двух атомов поверхности, в то время как в f-состоянии область тени отсутствует.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ И ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ, ПРОШЕДШИХ ЧЕРЕЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ МЕДИ

З.А. Исаханов, М.К. Рузibaева, Х. Кушшаев

Институт электроники им.У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан,

В работе приводятся результаты, полученные для $\text{Cu}(100)$ толщиной $450\text{\AA}$, с энергией ионов $E_0=18\text{ кэВ}$ падающих на поверхность по нормали ($\phi=0^\circ$). Получены энергетические распределения ионов Na^+ , K^+ и Ag^+ , прошедших через тонкие пленки меди и в этих спектрах четко обнаруживается три максимума. Сравнение этих спектров, полученных в одинаковых условиях, показывают, что при переходе от Na^+ к K^+ и Ag^+ положение всех трех максимумов смещаются в сторону больших потерь энергии, их ширины несколько увеличиваются, а также интенсивность третьего (диффузного) максимума увеличивается. Все эти отличия более ярко выражены при бомбардировке $\text{Cu}(100)$ ионами Ag^+ , хотя Ag^+ и K^+ имеют практически одинаковую массу. Наблюдаемые эффекты объясняются различием ионных радиусов K^+ и Ag^+ .

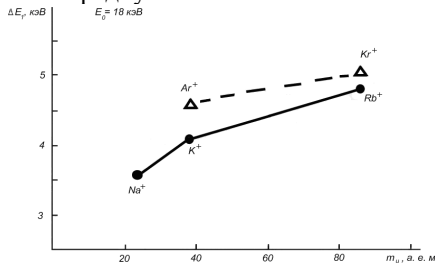


Рис.1. Зависимости величины потерь энергии ΔE_1 от массы ионов.

На рис.1 представлена зависимость потери энергии по первому максимуму от массы ионов при бомбардировке пленок Cu ионами щелочных металлов и инертных газов. Изучалось изменение интенсивности максимума ΔE_1 (осевое каналирование) ионов Ag^+ ($E_0=18\text{ кэВ}$), прошедших через ионно-бомбардированные пленки. В области $D \geq 5 \cdot 10^{14}\text{ см}^{-2}$ ($E_0=3\text{ кэВ}$) значительная часть ионов щелочных металлов внедряется в приповерхностный слой и частично образует интерметаллическое соединение. Известно [1], что по изменению интенсивности первого пика можно оценить площадь разупорядоченной поверхности монокристалла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е., Болтаев Э.У. // Поверхность, 2003, №8, стр.106-109

ПОВЕРХНОСТНО-ИОНИЗАЦИОННАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ ТРИЦИКЛИЧЕСКИХ АНТИДЕПРЕССАНТОВ

А.О. Козаков

Институт Электроники им. У.А. Арифова АН РУз,
Ташкент, Узбекистан

В настоящей работе представлены результаты поверхностно-ионизационной масс-спектрометрии [1], психотропных препаратов – коммерческих образцов амитриптилина и имизина, являющихся представителями антидепрессантов трициклической структуры. Интерес к этим препаратам вызван их широким применением в медицинской практике и частым злоупотреблением ими.

Эксперименты проведены на статическом магнитном масс-спектрометре MX-1320 на эмиттере из окисленной вольфрамовой проволоки.

Масс-спектры ПИ амитриптилина и имизина содержат наряду с линиями квазимолекулярных $(M-H)_\beta^+$, $(M-H-2nH)_\beta^+$ ионов, линии ионов $(M-R)_\beta^+$, $(M-R-2nH)_\beta^+$ (где: Н – атом водорода, М – молекула, R – радикал), обусловленных развалами адсорбированных молекул на горячей поверхности эмиттера и в обоих масс-спектрах основной является линия тока аммониевого иона с $m/z=58$. Полученные температурные зависимости ионных токов, свидетельствуют об происходящих каталитических реакциях на горячей поверхности эмиттера. При низких температурах коэффициент выхода реакций квазимолекулярных ионов значительны. С ростом температуры эмиттера преобладает эмиссия ионов более глубокой фрагментации молекулы.

Исследованиями установлено, что эти сложные азотсодержащие соединения ионизируются с высокой эффективностью и их масс-спектры ПИ, благодаря высокой чувствительности и селективности метода, обладают достаточной информативностью для индикации и идентификации этих соединений в различных сложных растворах, включая биологические.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rasulev U. Kh., Zandberg E. Ya.// Progress in Surface Science. 1988. V28. 3/4. P. 181.

ПРОЯВЛЕНИЕ МАТРИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ В ЭНЕРГОСПЕКТРАХ ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ ИЗОТОПОВ ТИТАНА

П.И. Диденко¹⁾, А.А. Ефремов²⁾, Ю.А. Кудрявцев³⁾

¹⁾Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, Киев, Украина

²⁾Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, Украина

³⁾Dep. Ingenieria Electrica – SEES, Cinvestav-IPN, Av.IPN#2508,
Mexico, D.F.

Энергетические спектры вторичных ионов (ЭСВИ) изотопов $^{46...50}\text{Ti}^+$ измерены в условиях стационарного ионного распыления пучком O_2^+ образцов ильменита и браннерита. Без учета примесей структурные формулы данных минералов можно представить в виде $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{TiO}_2 + \text{UO}_2$ соответственно. Хотя исходный ближний порядок (БП) атомов титана в этих соединениях примерно одинаков; наличие в матрице браннерита до 30% тяжелого оксида урана должно существенно повлиять на динамику каскадов столкновений, толщину слоя, модифицированного ионной бомбардировкой и особенности взаимодействия внедрённого кислорода с вводимыми радиационными дефектами. В работе анализируется роль этих факторов в формировании специфической статистики БП на распыляемой поверхности и влияние их на форму ЭСВИ из разных матриц. Обсуждается природа отличий между ЭСВИ Ti^+ и U^+ .

Рассмотрен также ряд прикладных аспектов ВИМС диагностики структуры и БП браннерита. В частности, анализируется изотопный состав элементов в исследованных образцах и корреляция между типом изотопа и характером его БП. Это существенно для изучения генезиса урановых руд, процессов фракционирования изотопов элементов браннерита.

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ТОНКИХ СЛОЕВ ОКСИДОВ И ФТОРИДОВ МЕТАЛЛОВ

Л.И. Бурова¹⁾, А.В. Бледнов²⁾, О.В. Бойцова²⁾, А.М. Макаревич²⁾, А.С. Манкевич²⁾, А.С. Маркелов²⁾, В.С. Куликаускас³⁾, В.В. Затёкин³⁾

¹⁾МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия

²⁾МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет наук о материалах,
Москва, Россия

³⁾НИИ Ядерной Физики МГУ им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

Эпитаксиальные пленки фторидов щелочно-земельных элементов (ЩЗЭ) на текстурированных лентах из никелевых сплавов перспективны для использования в качестве буферных слоев в ВТСП-кабелях второго поколения. При этом нанесение таких пленок является весьма трудоемкой задачей, что связано, в первую очередь, с химической неустойчивостью металлических лент в окисляющих условиях при высоких температурах. В связи с этим разрабатываются методы нанесения эпитаксиальных пленок фторидов ЩЗЭ в «мягких», неокисляющих условиях и при низких температурах. В настоящей работе пленки фторидов кальция и стронция CaF_2 и SrF_2 осаждались на текстурированные ленты из сплава Ni-W, а также на монокристаллические сапфировые подложки методом нанесения из раствора с использованием в качестве прекурсоров одноисточниковых фторсодержащих кальциевых комплексов, а также методом химического осаждения из газовой фазы (МОСVD). Метод резерфордовского обратного рассеяния был применен для анализа влияния метода и условий нанесения, а также последующей термообработки на элементный состав и толщину пленок фторидов. Кроме того, методом ROP исследовались оксидные пленки CeO_2 , также выступающие в качестве буферного слоя в технологии ВТСП-лент, и пленки сверхпроводника YBCO с включениями оксидных наночастиц. Преимущество метода ROP заключается в том, что он позволяет определять состав образца независимым образом (бесстандартный метод), что особенно актуально при анализе тонких пленок (100 нм и менее), когда количество вещества чрезвычайно мало. При этом точность определения толщины пленки другими методами, например, рентгеноспектральным микроанализом (РСМА), становится неудовлетворительной, а анализ состава слоев практически невозможным.

Для исследования качества эпитаксии пленок фторидов и CeO_2 была применена методика каналированного обратного рассеяния.

УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ЭНЕРГИИ ИОНОВ ДО 500 КЭВ

А.А. Андреев¹⁾, Б.А. Бедулин²⁾, Ю.А. Ермаков³⁾,
А.С. Патракеев³⁾, Н.Г. Чеченин³⁾, П.Н. Черных³⁾, В.С. Черныш²⁾,
А.А. Шемухин²⁾

¹⁾ОАО «Тензор», г. Дубна, Россия

²⁾Физический факультет МГУ, Москва, Россия

³⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В 2009 году в Лаборатории ионно-пучковых нанотехнологий введен в действие ускоритель ионов «High Voltage Engineering Europe» на энергии ионов до 500 кэВ. Ускоритель оснащен двумя линиями пучка. Одна из этих линий предназначена для имплантации ионов, а другая – для анализа приповерхностных слоев материалов с использованием спектрометрии рассеяния ионов средних энергий (MEIS). Предполагается расширить возможности комплекса за счет введения двух дополнительных линий пучка: для диагностики материалов с помощью метода резерфордского обратного рассеяния (ROP) ионов с энергиями до 1 МэВ и для проведения экспериментов по распылению в сверхвысоком вакууме. Для проведения экспериментов ускоритель оснащен тремя ионными источниками: газоразрядным, твердотельным и дуоплазматроном, которые позволяют получать широкий набор типов бомбардирующих ионов.

В сообщении приводятся первые результаты по изучению светоизлучающих наноструктур, сформированных с помощью имплантации ионов Si^+ в диэлектрическую матрицу SiO_2 . Приводятся также первые результаты по анализу тонкопленочных структур с использованием методики MEIS.

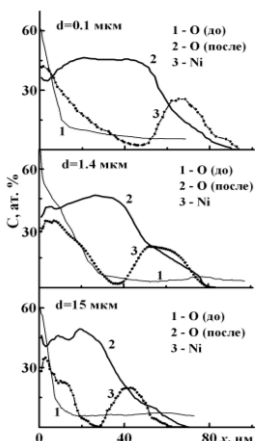
ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ ИОНОВ В ТИТАНЕ И НИКЕЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ И РЕЖИМОВ ОБЛУЧЕНИЯ

Г.А. Вершинин¹), Ю.П. Шаркеев²), Т.С. Грекова¹),
И.А. Божко²), И.А. Курзина²)

¹) Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия,

²) Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
г. Томск, Россия

В работе анализируется зависимость распределения по глубине мишени внедряемых ионов никеля в поликристаллическом титане в зависимости от размера d зерен исходных образцов и ионов титана в поликристаллическом никеле от режимов имплантации. Облучение титана проводилось пучком ионов источника «Диана-2» при ускоряющем напряжении 60 кВ и флюенсе $5 \cdot 10^{17}$ ион/см², а имплантация ионов титана в никелевые образцы - пучком источника «Радуга-5» при ускоряющем напряжении 20 кВ и флюенсе $0,3 \cdot 10^{17}$ - $2,9 \cdot 10^{18}$ ион/см². Измеренные методом ЭОС («Шхуна-2») концентрационные профили характеризуются широкими



максимумами и аномально глубоким проникновением внедряемых ионов, а для никеля в титане наблюдаются два максимума, положение и вид которых зависит от структуры образцов мишени (кривые 3 на рис.). Помимо этого в последних значительно увеличивается содержание атомов кислорода (кривые 2), оседающих на поверхность мишени из остаточных газов в камере и внедряемых, по-видимому, в виде атомов отдачи. При описании наблюдаемых закономерностей массопереноса учитывается энергетически неоднородный состав пучка, поскольку в используемых источниках с дуговым разрядом генерируются ионы в различном зарядовом состоянии. Путем моделирования установлено, что формирование концентрационных профилей внедряемых ионов происходит преимущественно по двум механизмам: первоначально примесь распределяется статистически, а с ростом флюенса и, соответственно, концентрации генерируемых ионным пучком дефектов структуры начинают вносить вклад радиационно-стимулированная диффузия и процессы распыления поверхности образцов.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ДОНОРОВ В КРЕМНИИ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ФОСФОРА И НАТРИЯ

В.М. Король¹⁾, В.П. Астахов²⁾, С.А. Веденяпин¹⁾, А.В. Заставной¹⁾

¹⁾НИИФизики ЮФУ, Ростов–на–Дону, Россия

²⁾ОАО "Московский завод "Сапфир", Москва, Россия

Введение основных легирующих примесей в Si на большую глубину является процессом энергоёмким. Так, при создании p–n–переходов для высоковольтных диодов время диффузии примеси при $x_j > 100$ мкм составляет более 100 часов при температуре 1300 °С. Для снижения энергозатрат в ряде случаев можно использовать подвижную примесь натрия, проявляющую донорные свойства при имплантации в кремний. Однако из-за малого коэффициента использования данной примеси и её высокой подвижности концентрация свободных носителей на поверхности очень низкая. Поэтому необходима дополнительная имплантация другой примеси с высокой растворимостью в кремнии.

В настоящей работе изучались профили свободных электронов четырёхзондовым методом в p^+-n-p -структуре, созданной последовательной имплантацией ионов P^+ (40 и 80 кэВ, $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) и Na^+ (30 и 65 кэВ, $3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$) в p–Si, выращенный зонной плавкой ($\rho = 1,5\text{--}3 \text{ кОм}\cdot\text{см}$). Отжиг проводился в воздухе при температуре 750 °С в течение 35 мин. Глубина перехода, созданного разгонкой натрия, составляла ~150 мкм. Установлено, что присутствие поверхностного p^+ -слоя приводит к росту коэффициента использования натрия, если имплантировать его с энергией, заметно превышающей энергию ионов P^+ . В этом случае электрическое поле p^+ -слоя выполняет роль отражающего барьера для натриевых доноров, которые при отжиге подвержены обратной диффузии, что является причиной роста коэффициента использования.

ЭФФЕКТ МАЛЫХ ПОВРЕЖДАЮЩИХ ДОЗ В СПЛАВЕ АК4, ОБЛУЧЕННОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ КСЕНОНА

В.М. Анищик¹⁾, С.И. Жукова¹⁾, В.А. Скуратов²⁾

¹⁾ БГУ, Минск, Беларусь

²⁾ ОИЯИ, г. Дубна, Россия

Исследованы фазовый и элементный состав, параметры тонкой структуры и микротвердость закаленного алюминиевого сплава АК4-1, облученного ионами ксенона с энергией 167 МэВ в интервале доз $5 \cdot 10^{12}$ – 10^{14} см⁻², что соответствует повреждающим дозам 10^{-3} – 10^{-1} сна. В качестве методов исследования использовались рентгеноструктурный анализ, растровая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ и измерение микротвердости.

Исходное состояние сплава после закалки соответствует пересыщенному твердому раствору с нерастворимыми включениями, содержащими никель и железо.

После облучения микротвердость сплава возрастает на 15%, однако дозовая зависимость не наблюдается. Аналогичный характер имеет изменение величины микронапряжений и параметра кристаллической решетки матрицы облученного сплава, что может быть связано с радиационно-индуцированным процессом распада пересыщенного твердого раствора с выделением упрочняющих включений.

В работе проведен сравнительный анализ наблюдаемых эффектов высокоэнергетического облучения ионами ксенона в сплавах АК4-1 и Д16 /1/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жукова С.И., Анищик В.М., Солдатенко Е.А. //В сб. Материалы 8-ой международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом» - Минск , 23–25 сентября 2009 г., Издательский центр БГУ, 2009г., с.85.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО АЛЮМИНИЯ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ ХРОМОМ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾,
С.М. Барайшук³⁾, М.А. Солнцев¹⁾, Т. Шикагава⁴⁾,
Г. Ито⁴⁾, В.Г. Шепелевич⁵⁾

¹⁾ БГУ информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

³⁾ БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

⁴⁾ Университет Ибараки, Хитаки, Япония,

⁵⁾ БГУ, Минск, Беларусь

Актуальность исследований связана с проблемой водородного охрупчивания сплавов алюминия в газовых баллонах высокого давления в инновационных автомобилях на топливных элементах, а также с необходимостью развития неравновесных моделей затвердевания сплавов при высокоскоростной кристаллизации. В данной работе представлено исследование изменения микроструктуры быстрозатвердевшего (БЗ) алюминия при легировании хромом. Элементный анализ фольг толщиной 30-60 мкм был выполнен методами резерфордовского обратного рассеяния и термодесорбционной спектроскопии. Полученные данные указывают на то, что вакансии играют важную роль в транспорте растворенных элементов при высоких скоростях охлаждения расплава (порядка 10^6 К/с). Действительно, впервые обнаружено, что основными местами захвата водорода в БЗ чистом алюминии являются именно закалочные вакансии. При легировании алюминия установлено, что, во-первых, вакансии образуют пары с атомами легирующего элемента, в результате чего хром распределяется неоднородно по толщине фольг. Тонкий приповерхностный слой образцов обеднен легирующим элементом. Во-вторых, в сплаве с хромом количество водорода, захваченного вакансиями, существенно снижается. В присутствии хрома определен преимущественный захват водорода дислокациями, также как и междоузельными атомами легирующего элемента.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕМ СПЛАВЕ Al-Fe МЕТОДОМ ЯДЕР ОТДАЧИ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾

¹⁾ БГУ информатики и радиозлектроники,
Минск, Беларусь

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Большинство опубликованных в последнее время работ, рассматривающих влияние водорода на характеристики разрушения конструкционных материалов на основе алюминия, указывают на негативное влияние водорода на эти процессы. Однако вопросы изменения поведения водорода в материалах в результате модифицирования их структуры современными методами высокоскоростной кристаллизации изучены мало. Поэтому изучение содержания водорода в быстрозатвердевших (БЗ) сплавах Al является актуальным и представляет научный и практический интерес для исследований связанных с проблемой водородного охрупчивания материалов.

В настоящей работе проведен анализ распределения водорода в БЗ фольгах сплава Al-0.25 ат. % Fe в зависимости от поверхности анализа, а также температуры отжига образцов. Исследуемые фольги имели толщину 20-80 мкм (скорость охлаждения расплава $\sim 10^6$ К/с). Концентрационные профили водорода были получены с применением метода спектроскопии ядер отдачи (ERD) и моделирующей программы SIMNRA. Установлено, что приповерхностные слои фольг толщиной до 0.1 мкм обогащены водородом. Содержание водорода достигает 7.5 ат. % в области поверхности фольг, контактирующей с цилиндром-подложкой при затвердевании. Снижение скорости охлаждения более чем на порядок при кристаллизации расплава приводит к уменьшению концентрации водорода примерно в два раза вблизи “свободной” поверхности фольг. Спектры ERD для отожженных образцов демонстрируют перераспределение водорода в приповерхностных слоях фольг. При обсуждении полученных результатов рассматриваются количественные данные изучения поведения водорода в БЗ сплавах Al методом термодесорбционной спектроскопии.

ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА ЗАХВАТ ИМПЛАНТИРОВАННОГО ДЕЙТЕРИЯ В СПЛАВАХ Fe-Cr

Г.А. Распопова, В.Л. Арбузов

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Для изучения захвата имплантированного дейтерия в модельных материалах ферритных ODS-сталей были выбраны сплавы Fe с 8, 11 и 16 масс.% Cr и Fe. Методом ядерных реакций (реакция $D(d,p)T$, энергия дейтронов 700 кэВ) при температуре 300 К был изучен захват дейтерия в зависимости от дозы имплантации и состава образцов.

Известно, что в Fe и сплавах Fe-Cr при ионном облучении образуется одинаковое количество вакансий и собственных междоузлий. Несмотря на это средняя концентрация дейтерия C_D в облученном объеме железа оказалась существенно выше, чем в сплавах Fe-Cr (Рис.1).

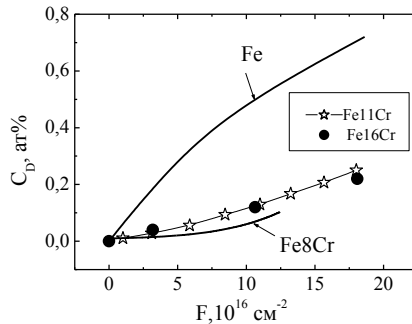


Рис.1. Влияние дозы имплантации F на захват дейтерия.

Полученное соотношение $C_D(F)$ для Fe и Fe-Cr сплавов может быть объяснено образованием в железе в отличие от сплавов петель краевых дислокаций [1].

Работа выполнена по плану РАН (тема «Импульс»), плану Президиума УрО РАН (проект № 09-М-23-2004) при частичной поддержке гранта РФФИ № 10-02-00007-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Matijasevic M., Van Renterghem W., Almazouzi A. // Acta Materialia, 2009, Vol. 57, Iss. 5, pp. 1577-15852

ОСОБЕННОСТИ ЗАХВАТА ИМПЛАНТИРОВАННОГО ДЕЙТЕРИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ТИТАНОМ

Г.А. Распопова, В.Л. Арбузов

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

На монокристаллических образцах титана методом ядерных реакций (реакция $D(d,p)T$) изучена сегрегация дейтерия, индуцированная облучением ионами D^+ энергией 700 кэВ. Концентрацию дейтерия измеряли при комнатной температуре. Глубинное разрешение используемой ядерной реакции составляло $\sim 0,5$ мкм.

Была проведена серия облучений с остановками и получены распределения дейтерия по глубине ($C(h)$) и дозовые зависимости интенсивности сегрегации $C_D(F)$.

Установлено, что $C(h)$ имеют максимум при $h \sim 4,5$ мкм. Длительная остановка ионного облучения приводит к скачкообразному повышению интенсивности сегрегации. Этот рост происходит из-за перераспределения имплантанта из объема к поверхности мишени. На рис.1 представлены зависимости 1 и 2 полученные до и после остановки облучения на 220 мин., соответственно, а стрелками указана тенденция изменения при этом концентрации дейтерия.

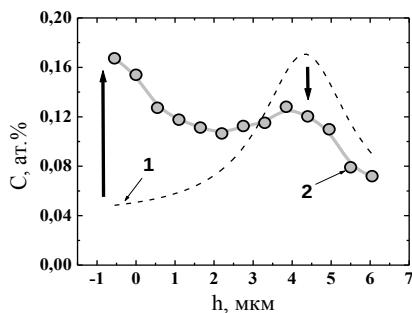


Рис. 1. Влияние условий имплантации на распределения дейтерия от поверхности мишени: 1- $F=76 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$; 2- $F=81 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

Предлагается возможный вариант эволюции дефектной структуры изучаемых образцов в ходе имплантации и во время остановки ионного облучения.

Работа выполнена по плану РАН (тема «Импульс») при частичной поддержке гранта РФФИ № 10-02-00007-а.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО Н/D ЭФФЕКТА ПРИ РАСТВОРЕНИИ ВОДЯНОГО ПАРА В ПРОТОНПРОВОДЯЩЕМ ОКСИДЕ $\text{BaZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНОГО МИКРОАНАЛИЗА

В.Б. Выходец¹⁾, Т.Е. Куренных¹⁾, В.П. Горелов²⁾, В.Б. Балакирева²⁾,

В.И. Цидильковский²⁾

¹⁾ Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

Проведено экспериментальное и теоретическое исследование изотопного Н/D эффекта в растворимости водяного пара в протонпроводящем оксиде $\text{BaZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$. Теория была разработана для систем с ограниченной растворимостью водяного пара, определяемой содержанием кислородных вакансий в оксиде. Получено, что в таких системах при температуре около 300⁰С и характерных изменениях колебательных мод при изотопном Н/D замещении растворимость дейтерия будет выше, а величина изотопного эффекта составит ~ 1.9. Экспериментальные данные по изотопному эффекту отсутствовали. Предложен оригинальный метод измерения изотопного эффекта для систем подобного типа. Он основан на определении содержания только одного из изотопов водорода (дейтерия) в образце при различных отношениях активности водорода и дейтерия в паре. Измерения проведены на микропорошках оксида $\text{BaZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ методом ядерного микроанализа, использовалась реакция $^2\text{H}(d,p)^3\text{H}$ при энергии частиц первичного пучка 650 кэВ.

Однофазные порошки получены методом твердофазного синтеза. Равновесие в системе оксид-водяной пар достигалось за несколько десятков часов и соответствовало полному заполнению структурных кислородных вакансий. Отжиги проводили в воздушной атмосфере, содержащей насыщенные водяные пары. Температура воды была 40⁰С, использовали тяжелую по изотопу водорода воду и смесь обычной и тяжелой воды с массовой долей каждой из них около 50%, температура образцов была 300⁰С. Величина изотопного эффекта в растворимости согласовывалась с результатами теоретических расчетов и составила $1,81 \pm 0.08$. Работа поддержана программой междисциплинарных исследований УрО РАН (проект «Протонпроводящие оксиды и наноматериалы на их основе»).

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНОЕ СОВЕРШЕНСТВО СЛОЕВ КРЕМНИЯ В СТРУКТУРАХ КНС

К.Л. Енишерлова¹, В.С. Куликаускас², А.В. Лютцау¹, Т.Ф. Русак¹,
В.В. Затёкин², В.Г. Горячев¹

¹ФГУП НПП «Пулсар», Москва, Россия.

²НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Объектом исследования были структуры КНС со слоем 0,1, 0,3 и 0,6 мкм. Использовались: рентгеновская дифракция (РД) и спектроскопия резерфордского обратного рассеяния (RBS). При использовании РД воздействие облучения оценивалось по изменению положения интерференционных пиков. Энергетическое распределение рассеянных ионов спектров RBS измерялось при неориентированном и каналированном падении пучка. Анализ RBS-спектров выявил ухудшение структуры к границе раздела, что наиболее наглядно для пленок с толщиной 0,3 и 0,1 мкм. Известно, что облучение γ -квантами может приводить для ионных кристаллов к образованию точечных дефектов, что, может вызвать увеличение объёма решётки. Было показано, что наиболее существенное ухудшение совершенства наблюдается для структур КНС с толщиной слоя кремния 0,3 мкм. Анализ решеточных изменений при облучении методами РД показал, что в слое кремния 0,1 мкм при малых дозах изменений не происходит, но начиная с 10^4 Р пленка упруго деформируется из-за деформации сапфира. Слой кремния с толщиной 0,3 мкм деформируется, начиная с малых доз и максимальная деформация происходит при $1 \cdot 10^6$ Р. Поскольку изменение структурных особенностей пленки, по данным спектров RBS, незначительны, можно предположить, что имеет место лишь упругая деформация пленки. Начиная с $1 \cdot 10^7$ Р прямое изменение в решетке решетки не происходит, однако анализ спектров RBS показывает изменение в структуре кремния, что возможно связано с появлением двойников.

ЛЕГИРОВАННЫЕ СЛОИ, СФОРМИРОВАННЫЕ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА БОМБАРДИРОВКОЙ ИОНАМИ ВОДОРОДА И ОТЖИГОМ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИИ И ТЕМПЕРАТУРЕ

В.П. Попов¹⁾, Ю.Н. Пальянов²⁾, И.Н. Куприянов²⁾,
В.В. Затёкин³⁾, В.С. Куликаускас³⁾, Г.П. Похил³⁾

¹⁾ ИФП СО РАН,

²⁾ ИГ и М СО РАН,

³⁾ НИИ ЯФ МГУ

Алмаз является привлекательным материалом для электроники высоких мощностей и высоких частот переключений из-за уникального набора свойств: высокой подвижности электронов и дырок, низкого уровня шумов и токов утечки, чрезвычайно высокой теплопроводности. Но алмаз является примером наименее технологичного полупроводникового материала из-за его наибольшей твердости, а также низкой диффузионной подвижности и растворимости легирующих атомов примесей.

Целью настоящей работы является формирование встроенных монокристаллических слоёв в алмазе, содержащих большую концентрацию имплантированного водорода. Сколотые по плоскости (111) пластины синтетических алмазов типа 1b имплантировались ионами молекул водорода H_2^+ с энергией 50 – 130 кэВ в диапазоне доз $(1\div 8)\times 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Отжиг облученных образцов проводился при высоких Р-Т параметрах (35 кбар, 1200°C) для предотвращения графитизации. Измерениями спектров обратнорассеянных ионов гелия в режиме каналирования, а также выбитых вперёд протонов отдачи показано, что при выбранных режимах облучения и отжига даже для дозы $8\times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ решетка не содержит кристаллических дефектов, регистрируемых с помощью РОРКИ. При этом концентрация ионов водорода уменьшается при отжиге более чем в три раза. Появление примесей на спектрах РОРКИ обусловлено проникновением материала тигля (CsCl) в микротрещины после скола и имплантации при отжиге. Пик на спектрах протонов отдачи связан с адсорбцией на поверхность из атмосферы, а хвосты соответствуют водороду, захваченному решеткой в концентрации более 5 ат. %.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ V–Ga ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ Ag^+ И N^+

Л.С. Данелян¹⁾, В.В. Затёкин²⁾, А.Н. Мансурова¹⁾, С.Н. Коршунов¹⁾,
В.С. Куликаускас²⁾

¹⁾РНЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В настоящее время установлено, что материалы с низкой наведенной радиационной активностью являются наиболее перспективными материалами для будущих термоядерных реакторов. К этим материалам относятся ферритно-мартенситные стали, ванадиевые сплавы. Наряду с разработкой и исследованиями новых материалов для термоядерной энергетики актуальной является также проблема их обработки ионными пучками и плазмой с целью модификации поверхностных и объемных свойств.

Сплавы V–5Ga–6Cr и V–5Ga–0,05Ce облучали ионами Ag^+ и N^+ с энергией 20 кэВ до доз 10^{22} и $2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$ при плотности потока ионов $6 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Температура мишеней в процессе эксперимента составляла $\sim 700^\circ\text{K}$. Исследовались микротвердость и топография образцов. Профили основных компонентов и примесей в исследуемых образцах определялись на ускорителе Ван-де-Граафа методом резерфордовского обратного рассеяния ионов He^+ с энергией 1,7 МэВ. Рассеянные на угол 170° ионы гелия регистрировались поверхностно-барьерным детектором.

Результатом имплантации является упрочнение поверхности указанных материалов, причем наибольший эффект наблюдается при воздействии ионов Ag^+ на сплав V–Ga–Cr. Химический состав образца идентичен с обеих сторон, но с противоположной облучению стороны не зафиксировано наличия аргона. Максимальное проникновение ионов Ag^+ не превышает $7 \cdot 10^{-2} \text{ мкм}$ (70 нм), минимальная толщина упрочненного слоя на поверхности мишеней (3,25 мкм) на два порядка превышает проективный пробег. Вопрос об экспериментальном подтверждении эффекта дальнего действия остается открытым. Обсуждаются возможные механизмы формирования глубоких модифицированных слоев в процессе ионной бомбардировки.

НАКОПЛЕНИЕ ДЕЙТЕРИЯ В РАДИАЦИОННО ПОВРЕЖДЕННОМ
ВОЛЬФРАМЕ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАЗМОЙ

Б.И. Хрипунов¹⁾, Л.С. Данелян¹⁾, В.Г. Востриков²⁾, В.В. Затёкин²⁾,
В.С. Койдан¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾, С.Т. Латушкин¹⁾, В.Б. Петров¹⁾,
А.И. Рязанов¹⁾, В.Н. Унежев¹⁾,

¹⁾РНЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В термоядерных реакторах серьезной проблемой является повреждение конструкционных материалов быстрыми нейтронами. Исследовалось воздействие дейтериевой плазмы на вольфрам при наличии в нем радиационных повреждений высокого уровня. Образцы облучались на циклотроне ионами гелия с энергией 3,5–4 МэВ, что позволяло моделировать эффект воздействия на материал нейтронов до 10^{26} нейтрон/м². Исследовались образцы с дозами 10^{22} и $3 \cdot 10^{22}$ He⁺⁺/м² (повреждения на уровне 10 сдвигов на атом). Затем образцы облучались последовательно несколько раз плазмой в установке “Лента” (энергия ионов дейтерия 250 эВ, флюенс — 10^{25} – 10^{26} ион/м²).

Были измерены концентрации гелия и дейтерия (на различных глубинах) методами обратного ядерного рассеяния протонов и регистрации ядер отдачи. Зарегистрировано повышенное содержание дейтерия в поврежденном слое, гелий обнаружен в слое на глубине 5–6 мкм. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения метода в исследованиях воздействия плазмы на материалы первой стенки термоядерного реактора для определения их срока службы и накопления в них трития с учетом повреждения нейтронами.

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА СОСТАВ ПЛЕНКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ Si ВО ФТОРУГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

И.И. Амиров¹⁾, Н.А. Алов²⁾

¹⁾Ярославский филиал Учреждения Российской академии наук Физико-технологического института РАН, г. Ярославль, Россия

²⁾Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Селективность процессов травления SiO_2/Si во фторуглеродной плазме (C_4F_8), широко используемых в технологии микроэлектроники, обусловлена образованием на поверхности Si нанометровой толщины фторуглеродной пленки (ФУП). В данной работе приведены исследования состава такой ФУП в зависимости от плотности мощности ионного потока в плотной плазме $\text{Ar}/\text{C}_4\text{F}_8$ ВЧ индукционного разряда. Имический состав определяли методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с помощью разложения РФЭ-спектров уровня $\text{C } 1s$ на составляющие. Спектры были подобны тем, которые наблюдали ранее [1]. Однако интенсивности пиков, соответствующих связи C-F_3 , C-F_2 , C-F и особенно связи C-C резко отличались. С увеличением плотности мощности ионного потока до 1 Вт/см^2 отношение C/F в пленке увеличивалась почти десять раз и составляло 34,2. Однако селективность травления SiO_2/Si при этом не возрастала. Селективность травления ФУП по отношению к Si в плазме SF_6 увеличивалась в несколько раз. Приводится обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиров И.И., Алов Н.В. // Химия высоких энергий. 2006, Т.36, №4, с.35.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИИ СПЛАВА $\text{Zr-Nb}_{2,5\%}$ В ЙОДНОЙ СРЕДЕ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПРОТОНАМИ

С.С. Зырянов, А.В. Кружалов, Ф.Г. Нешов, О.В. Рябухин

Уральский государственный технический университет – УПИ
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Исследование коррозии циркониевых сплавов ведется начиная с 70 годов прошлого века. Особенно актуальным является изучение коррозии растрескивания под напряжением (КРН), характерной для материалов из циркония, используемых в ядерных реакторах (оболочки тепловыделяющих элементов). Сроки эксплуатации изделий из циркония и его сплавов непосредственно связаны с агрессивным воздействием давления, высоких температур и ионизирующего излучения различного типа. Кроме физических параметров на динамику КРН влияет и химическое воздействие продуктов деления ядерного топлива. Наиболее активным в этом отношении является йод.

Литературный обзор показывает, что основные методы исследования КРН сосредоточены в изучении динамики механических свойств сплавов в присутствии йода или йодной среды. При этом создаются условия, сходные с тепловым и механическим воздействием на циркониевую оболочку в ядерном реакторе, однако, по объективным причинам, не учитывается существенного влияния ионизирующего излучения на поверхность циркониевого сплава, которое может ускорять процессы появления и развития коррозионных трещин.

В связи с этим нами предпринята попытка смоделировать радиационное воздействие реакторного излучения путем облучения образцов сплава $\text{Zr-Nb}_{2,5\%}$ циклотронными ионами в йодной среде и изучить поведение йода при интенсивном взаимодействии газовой среды и поверхности сплава.

ЭРОЗИЯ ПОЛИИМИДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО АМОРФНЫМ СИЛИКАЗОЛЕМ, В ПОТОКЕ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

К.Б. Вернигоров¹⁾, А.Ю. Алентьев^{1,2)}, А.М. Музафаров³⁾
Л.С. Новиков⁴⁾, В.Н. Черник⁴⁾

¹⁾ Химический факультет МГУ, Москва, Россия

²⁾ Институт нефтехимического синтеза РАН, Москва

³⁾ Институт синтетических полимерных материалов РАН

⁴⁾ НИИ ядерной физики МГУ, Москва, Россия

Полимерные материалы на основе полиимидов широко применяются в авиакосмической технике. Интерес представляют способы повышения их устойчивости к воздействию экстремальных факторов космического пространства, в частности набегающего потока атомарного кислорода (АК).

В ускоренном потоке кислородной плазмы, имитирующем действие АК на низких околоземных орбитах, проведено облучение полиимидных материалов: полиимида марки ПМ-1, термопластичного полиимида (ПИ) и его модификации аморфным силиказолом СЗ (ПИ-СЗ). Измерены объемные коэффициенты эрозии полимеров, проведен сравнительный анализ их устойчивости. Наибольшую устойчивость продемонстрировали образцы ПИ-СЗ, наименьшую – полиимид ПМ-1. Установлен состав композиции ПИ-СЗ, при котором частицы силиказоля равномерно диспергированы в объеме полимера. При этом составе наблюдается повышенная устойчивость полимерно-неорганической композиции ПИ-СЗ к воздействию АК. Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) исследованы изменения морфологии поверхности полимеров после облучения. Показано, что для всех исследованных материалов после облучения поверхность приобретает ворсообразную морфологию, при этом для каждого из полимеров наблюдался ряд отличительных особенностей в структуре поверхности, обусловленных различиями в химическом и надмолекулярном строении исследуемых полиимидов.

В докладе рассматриваются методики получения и испытания материалов, приводятся данные по потерям массы образцов и СЭМ изображения их поверхности.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТА por-Si/SnO_x ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

В.В. Болотов¹⁾, В.С. Ковивчак¹⁾, А.А. Корепанов¹⁾ Е.В. Князев¹⁾,
С.Н. Несов¹⁾, В.Е. Росликов¹⁾, Ю.А. Стенькин¹⁾, П.М. Корусенко¹⁾,
Р.В. Шелягин¹⁾, Т.А. Гаврилова²⁾

¹⁾Омский филиал Института физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Омск. Россия

²⁾Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск. Россия

Миниатюризация чувствительных элементов в химических микросенсорах приводит к необходимости использования структур с развитой поверхностью. Необходимыми свойствами обладают структуры на основе пористого кремния (por-Si) и окиси олова SnO_x . В данной работе приведены результаты исследования состава слоёв наноконкомпозита por-Si/SnO_x , полученных при использовании импульсных ионных пучков.

Основа наноконкомпозита – пористый кремний, полученный путём анодного травления монокристаллического кремния КДБ-0.005 (111) р-типа в растворе $\text{HF}(40\%) : \text{C}_3\text{H}_7\text{OH} (1:1)$. Толщина пористого слоя составляла 5 мкм, пористость - 50%. На пористый слой методом магнетронного напыления наносился тонкий (~100 нм) слой олова и его окислов. Для завершения формирования наноконкомпозита полученная структура облучалась на ускорителе «ТЕМП» протон-углеродным пучком (30% H^+ и 70% C^+) со средней энергией 300 кэВ, длительностью импульса 60 нс и средней плотностью тока 20 А/см². По данным оптической спектроскопии оксид олова наблюдается на глубине до 1 мкм, что вероятно связано как с перемешиванием слоев под действием мощного ионного пучка (МИП), так и возможными диффузионными процессами на поверхности скелетона пористого кремния.

СЭМ показывает, что при воздействии МИП на поверхности пористого кремния наблюдается формирование шарообразных частиц оксида олова со средним диаметром 150 нм. При этом наблюдается небольшое увеличение пористости поверхностного слоя.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТОНКИХ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК Be, Si, Al, Ti, Zr, W ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПУЧКАМИ ИОНОВ He^+ и Ar^+ С ШИРОКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРОМ

Н.В. Волков

НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Одна из задач получения заданных свойств оксидных пленок может быть решена путем ионного внедрения ряда легирующих атомов /1/. Однако радиационные повреждения, сопровождающие ионное легирование, приводят к нарушению структурно-фазового состояния и последующей диссоциации самих оксидов. В этой связи проведено изучение возможности внедрения легирующих атомов в тонкие оксидные пленки (толщиной до 1 мкм), выращенные на поверхности поликристаллических образцов Be, Al, Ti, Zr, W и монокристаллов Si методом ионного перемешивания /1, 2/.

Пленки легирующих элементов Be, Al, Fe, Mo, Y напылялись на поверхность образцов методом термического испарения в вакууме ($p = 3 \times 10^{-4}$ Па) толщиной $z_t = 30\text{--}50$ нм, а облучение системы «пленка-подложка» выполнено на установке, формирующей пучок ионов Ar^+ (средняя энергия ионов в пучке $\langle E \rangle = 10$ кэВ, энергетический спектр имел гауссоподобную зависимость в интервале энергий 3–15 кэВ, ток пучка составлял величину $j = 20\text{--}30$ мкА/см²). Применение пучка ионов с широким энергетическим спектром обеспечивает более равномерное внедрение легирующих атомов по глубине образцов при меньшей величине радиационных повреждений в имплантированном слое, что положительно сказывается на структурно-фазовом состоянии модифицированных приповерхностных слоев /2, 3/. Измерения распределения внедренных атомов по толщине оксидной пленки $C(x)$ выполнено на спектрометре SA-2000, который обеспечивает разрешение по глубине ± 3 нм в интервале концентраций $10^{-3}\text{--}10^2$ ат. %.

Как следует из результатов измерений, в оксидной пленке формируются градиентные слои на глубинах 100–200 нм при однокомпонентном внедрении и на глубинах 100–200 нм и 350–600 нм при многокомпонентном легировании (до 5 компонент).

Работа выполнена при поддержке Рособразования: грант НК108П5-П282

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы. – М.: Металлургия, 1990, с.216.
2. Волков Н.В., Калинин Б.А. // Известия вузов. Физика. 2007. № 9. Приложение. с.158.
3. Риссел Х., Руге И. Ионная имплантация. Пер. с нем. В.В.Климова, В.Н.Пальянова. /Под ред. М.И.Гусевой., М.: Наука, 1983, с.284.

О РОЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ АТОМОВ С ПРОТЯЖЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ

Л.К. Израилева, Э.Н. Руманов

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
РАН, г. Черноголовка, РФ

Теоретически изучен процесс выхода имплантированных атомов газа в микротрещины, нередко возникающие при имплантации и отжиге, как, например, в /1/. Влияние давления газа на рост микротрещины и последующий выход атомов газа учитывается в величине энергии активации подобно действию внутренних напряжений / 2 /. Аналогичный подход применялся в других условиях для изучения распада соединений (азидов и т. д.) при наличии микротрещин / 3 /; утверждается, что распад может перейти во взрывную стадию. Ранее зависимость скорости химических реакций от появления микротрещин экспериментально обнаружена в /4/. Для имплантации важно, насколько отмеченный выше процесс может ограничить ее условия и предельную концентрацию вводимых атомов. При этом здесь, как и в / 3 /, кинетика будет зависеть от путей отвода газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров Ф.Ф., Мильчанин О.В.// Поверхность 2008 № 4, с. 27
2. Израилева Л.К., Руманов Э.Н.// Поверхность 2007 №3, с 51
3. Штейнберг А.С. Доклад на конференции ОГиВ ИХФ РАН, 2010, Москва
4. Барелко В.В., Баркалов И.М.// Химическая физика. 1983 №2, с. 930

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО ОБМЕНА
ГАЗООБРАЗНОГО КИСЛОРОДА С ГРАНИЦЕЙ
НАНОЗЕРНА В ОКСИДЕ $\text{LaMnO}_{3-\delta}$ С ПОМОЩЬЮ
ЯДЕРНОГО МИКРОАНАЛИЗА

В.Б. Выходец¹⁾, Т.Е. Куренных¹⁾, А.А. Фишман²⁾

¹⁾ Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Исследование проведено на массивном нанокристаллическом оксиде $\text{LaMnO}_{3+\delta}$, полученном с помощью методики ударно-волнового нагружения. Основным элементом микроструктуры были кристаллиты со средним размером около 3 мкм. Они, в свою очередь, имели нанокристаллическую структуру с размером частиц 41 нм.

Изотермические отжиги образцов проводились в кварцевой трубе в интервале температур 400 – 500⁰С в кислороде, обогащенном на 80 % изотопом ¹⁸O. Давление кислорода составляло 0.26 атм. Температура образцов измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары с точностью $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Температурно-временные условия отжигов реализовывали кинетический режим типа «С», при котором в массопереносе доминирует зернограничная диффузия, а диффузией меченых атомов в объем зерен можно пренебречь. Концентрационные профили $C(x,t)$ изотопа ¹⁸O до глубины около 1.5 мкм измерялись без разрушения образцов с помощью методики ядерного микроанализа (NRA), использовался 2-х МэВ-ный ускоритель Ван де Граафа и реакция ¹⁸O (p, α) ¹⁵N при энергии частиц первичного пучка 762 кэВ.

Установлено, что температурная зависимость скорости изотопного обмена описывается выражением Аррениуса, $E = (1.67 \pm 0.03)$ эВ и $k_0 = (1.8 \cdot 10^2 \pm 1.3 \cdot 10^2)$ см/с. Сравнение с литературными данными показало, что для $\text{LaMnO}_{3+\delta}$ наблюдается сильное различие энергий активации и предэкспоненциальных множителей для скорости изотопного обмена с обычной «бездефектной» поверхностью и границей между нанозернами. Для границы эти параметры имели более высокие значения: по энергии активации в ~ 2 раза, по предэкспоненциальному множителю ~ 7 порядков.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 09-03-00335.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИИ УГЛЕРОДА ^{13}C В ОКСИДАХ ЦИРКОНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДИК ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ, ЯДЕРНОГО МИКРОАНАЛИЗА И РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.Б Выходец, Т.Е Куренных

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Постановка исследования связана с задачей разработки материалов для мишеней ускорителей, использующих технологию изотопного разделения on-line. Исследовались поликристаллические образцы ZrO_2 и монокристаллы, содержащие 9.5 мол.% Y_2O_3 . Диффузионный источник атомов ^{13}C создавался с помощью ионной имплантации, энергия ионов $^{13}\text{C}^+$ была 60 кэВ, доза $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Его характеристики определяли с помощью методик ядерного микроанализа и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Диффузионные отжиги образцов в интервале температур 850 – 1000 $^\circ\text{C}$ проводили на воздухе.

Установлено, что при имплантации была сформирована однофазная структура с ионным типом связи для углерода, его средняя концентрация в зоне имплантации составила 7 ат.%. Толщина имплантированного слоя была 150 нм. При отжигах содержание углерода в образцах уменьшалось. Коэффициенты диффузии находились при анализе зависимости от времени отжига содержания меченых атомов ^{13}C в образце, при этом использовалось решение второго уравнения Фика для соответствующих начальных и граничных условий. Концентрации изотопа ^{13}C в образцах измерялись с помощью методики ядерного микроанализа, использовалась реакция $^{13}\text{C}(\text{d,p})^{14}\text{C}$.

Установлен очень низкий уровень значений для коэффициентов диффузии углерода. Энергия активации диффузии составила 2.7 эВ. Обнаружено также, что присутствие атомов углерода в оксиде ZrO_2 приводит к уменьшению коэффициентов диффузии кислорода. Выдвинуто предположение, что ионы углерода и структурные кислородные вакансии оксида образуют малоподвижные комплексы, что обуславливает низкие значения коэффициентов диффузии в оксиде как ионов кислорода, так и углерода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 08-03-00750.

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ КОМПРЕССИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТВЁРДОМ СПЛАВЕ

В.В. Углов¹⁾, В.М. Асташинский²⁾, А.М. Кузьмицкий²⁾, А.А. Мишук²⁾,
М.В. Карабовский¹⁾

¹⁾БГУ, Минск,

Беларусь

²⁾ Институт физики им. Б. И. Степанова НАНБ, Минск, Беларусь

Исследовалась обработка образцов из спечённого твердого сплав Т15К6. Воздействие на образцы проводилось пятью импульсами компрессионных плазменными потоков в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре компактной геометрии (МПК). Варьировались такие параметры как давление в камере МПК (P), плотность энергии (J_E). Измерена концентрация и температура электронов в области компрессии, выявлена корреляция между ними.

Обработка КПП приводит к формированию сложного рельефа поверхности, образованию кратеров и пор. Происходит перераспределение компонент сплава в результате конвективного перемешивание. Формируется твёрдый раствор (TiW)C с повышенной концентрацией W в поверхностных областях. Изучено влияние энергии на степень однородности: при J_E 30 Дж/см² формируется ячеистая структура, при 50 Дж/см² - дендритная. В зависимости от расстояния до катода концентрация электронов изменялось от 10^{15} до 10^{17} см⁻³. Наибольшую модификацию образец испытывает в области с максимальной концентрацией. Зафиксировано кратное (2,5 раза) увеличение твёрдости при обработке КПП. Возрастание начального напряжения (1 - 4,5 кВ) на конденсаторной батарее увеличивает глубину модифицируемого слоя. С уменьшением давления азота ($10^2 - 10^4$ Па) в камере МПК также возрастает глубина проплавления слоя. Связано это с большей однородностью зоны компрессии плазменного потока и увеличением температуры электронов в ней.

СТРУКТУРА ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ НИКЕЛЬ-УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ МИКРОВОЛНОВОГО ПЛАЗМО-УСИЛЕННОГО ХИМИЧЕСКОГО ВАКУУМНОГО ОСАЖДЕНИЯ

В.В. Углов¹⁾, М.В. Асташинская¹⁾, А.К. Кулешов¹⁾,

М.П. Самцов¹⁾, И. Поло²⁾, П.Б. Барна³⁾,

¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾Национальный центр научных исследований, г. Гренобль, Франция

³⁾ Исследовательский институт технической физики и материаловедения, Будапешт, Венгрия.

Создание металлосодержащих аморфных углеродных плёнок является перспективным подходом в модификации свойств материалов на основе углерода, главным образом востребованных для создания микро-электро-механических систем (MEMS). В работе представлены результаты исследований структуры никель-углеродных наноккомпозитов (Ni/a-C:H), сформированных методом плазмо-усиленного химического вакуумного осаждения при различной концентрации ацетилена C_2H_2 . Формирование Ni/a-C:H осуществлялось в плазменном реакторе с концентрацией C_2H_2 (от 0 до 100 %) в смеси газов, что обеспечивает изменение содержания углерода (N_C) в пленках. Электронно-микроскопические исследования позволили выявить три типа структуры Ni/a-C:H в зависимости от содержания в них углерода. При $N_C \leq 40$ ат.% внутренняя структура сформированных композитов изменяется от фрагментарно-столбчатой до глобулярной. Латеральный размер образований в случае столбчатой структуры составляет 5 нм, что согласуется с размерами кристаллитов карбида никеля Ni_3C , определенных из рентгенодифрактометрических исследований. При $N_C > 40$ ат.% приводит к формированию аморфных плёнок, о чём свидетельствуют результаты, как просвечивающей электронной микроскопии, так и комбинационного рассеяния. Таким образом, метод плазмо-усиленного химического вакуумного осаждения является перспективным для создания тонкоплёночных металл-углеродных наноккомпозитов с заданными структурными характеристиками, определяемыми содержанием углерода.

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ P18 ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПЛАЗМЕННОМ И ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Н.Н. Черенда¹⁾, В.В. Углов¹⁾, Н.В. Бибик¹⁾,
В.М. Асташинский²⁾, А.М. Кузьмицкий²⁾

¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

Ранее проведенные исследования указали на перспективность использования компрессионных плазменных потоков (КПП) для модификации структурно-фазового состояния и механических свойств углеродистых сталей. В то же время, воздействие КПП на быстрорежущие стали приводит к растворению упрочняющих карбидов, снижению прочностных свойств и увеличению износостойкости. Целью данной работы являлось исследование воздействия КПП, генерируемых в атмосфере азота, на быстрорежущую сталь P18 с последующей термической обработкой, позволяющей восстановить упрочняющие структурные компоненты стали.

Проведенный фазовый анализ показал, что воздействие на образцы стали потоками плазмы приводит к частичному растворению карбидов типа $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ и VC и формированию $\gamma\text{-Fe}$, содержащего атомы легирующих элементов, углерода и азота. Увеличение плотности мощности импульса приводит к росту толщины модифицированного слоя, увеличению степени растворения карбидов и уменьшению концентрации $\gamma\text{-Fe}$. Микротвердость образцов, обработанных импульсами КПП, ниже аналогичного показателя у исходной стали P18. Трибологические испытания показали, что воздействие КПП приводит к уменьшению коэффициента трения. Последующий изотермический отжиг позволяет улучшить механические характеристики поверхностного слоя быстрорежущей стали.

ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ НИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Л.В. Жилко, Д.П. Русальский, В.В. Углов
БГУ, Минск, Беларусь

Известно [1], что при осаждении нитридных покрытий тугоплавких металлов методом катодного вакуумно-дугового осаждения доля нитридной фазы в покрытии определяется величиной давления азота в камере. В большинстве случаев осаждение покрытий происходит с недостатком азота для связывания всего металла в нитрид. Свободные металлические атомы можно связать в необходимые фазы последующей дополнительной обработкой, состоящей в химико-термическом сульфацианировании и последующем температурном воздействии, которое может способствовать формированию дополнительных упрочняющих фаз.

Объектом исследования данной работы являлись образцы твердых сплавов Т15К6 с покрытиями молибдена и нитрида молибдена толщиной до 4 мкм, подвергшиеся сульфацианированию и последующему отжигу на воздухе при температуре 500°C в течение 1 часа.

Образцы были исследованы при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеноструктурного анализа (РСА), а также были определены их трибологические свойства.

Проведенные СЭМ и РСА исследования образцов показали, что химико-термическое сульфацианирование приводит к насыщению поверхностного слоя покрытия толщиной до 1 мкм атомами серы и углерода. Последующий отжиг образцов привел к существенному изменению структурно-фазового состояния поверхностного слоя образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kazmanli M.K., Urgen M., Cakir A.F. // Surface and Coating Technology, 2003, №167, p.77-82

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ НИТРИДНЫХ СИСТЕМ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ КОНДЕНСАЦИИ С ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКОЙ И РЕАКТИВНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

В.В. Углов¹⁾, С.В. Злоцкий¹⁾, Г. Абади²⁾, О.В. Рева³⁾

¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾Университет Пуатье, Пуатье, Франция

³⁾ Высшее учебное учреждение Командно-инженерный институт МЧС
Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Работа посвящена исследованию коррозионной стойкости тройных нитридных покрытий Ti-Zr-N, Ti-Cr-N и Ti-Ta-N, сформированных двумя методами: конденсацией с ионной бомбардировкой и реактивным магнетронным распылением. Покрытия толщиной 1 мкм осаждались на стальные подложки (Ст3) с подслоем Ni толщиной 1-2 мкм, сформированным электрохимическим методом.

Исследования элементного и фазового состава и обнаружили формирование твердых растворов замещения (Ti,Zr), (Ti,Cr)N и (Ti,Ta)N стехиометрического состава с однородным распределением металлических компонент по глубине. Исследования микроструктуры покрытий выявили, что формируются плотные мелкодисперстные покрытия, структура роста которых зависит от метода осаждения.

Исследования потенциометрического растворения системы покрытие-подложка проводились в трех средах (кислая, щелочная и соляная). Коррозионные исследования покрытий обнаружили высокую коррозионную стойкость покрытия. Установлено, что происходит коррозия подслоя никеля через поры покрытий.

Наибольшей коррозионной стойкостью отличается система Ti-Zr-N, сформированная методом магнетронного распыления, что может быть обусловлено меньшей концентрацией пор в покрытии.

В работе обсуждается влияние микроструктуры и элементного состава, а также метода осаждения на коррозионные свойства системы покрытие-подложка.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СПЛАВЕ НИКЕЛЯ, ЛЕГИРОВАННОМ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

Н.Н. Черенда¹⁾, В.В. Углов¹⁾, В.Ф. Квасницкий²⁾,
В.В. Квасницкий²⁾, В.М. Асташинский³⁾, А.М. Кузьмицкий³⁾
¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾Национальный университет кораблестроения, Николаев, Украина

³⁾Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, Минск, Беларусь

Компрессионные плазменные потоки (КПП), генерируемые квазистационарными плазменными ускорителями, могут эффективно использоваться для модификации поверхностных свойств различных материалов, в том числе и для легирования поверхностного слоя различными элементами. Целью данной работы являлось исследование структурно-фазовых изменений в никелевом сплаве ЧС88, легированном цирконием при воздействии КПП. Введение циркония в поверхностный слой сплава позволяет уменьшить температуру плавления до ~ 1200 °С, что облегчает соединение деталей из этого сплава при сварке.

Легирование проводилось путем предварительного осаждения покрытия циркония на образцы сплава и последующего воздействия КПП в атмосфере водорода (400 Па). Плотность поглощенной энергии изменялась в диапазоне от 13 до 21 Дж/см² за один импульс. Для исследования элементного и фазового составов применялись методы растровой электронной микроскопии, энергодисперсионного рентгеновского микроанализа и рентгеноструктурного анализа.

Воздействие КПП приводит к диспергированию структуры исходного сплава и растворению в матрице сплава преципитатов легирующих элементов. Средняя концентрация циркония в модифицированном слое изменялась в диапазоне 6-10 ат.% в зависимости от режима воздействия КПП, что обуславливало изменение фазового состава. При 13 Дж/см² в легированном слое наблюдалось наличие интерметаллидов Ni₅Zr и Ni₃Zr из-за локальных неоднородностей в распределении циркония. С увеличением плотности поглощенной энергии основным интерметаллидом становится Ni₅Zr. В работе обсуждаются механизмы наблюдаемых изменений.

СПЕКТРЫ КОЛЕБАНИЙ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ В КРИСТАЛЛАХ, ЛЕГИРОВАННЫХ В КОМПРЕССИОННОЙ ПЛАЗМЕ

Н.Т. Квасов¹⁾, А.В. Пунько¹⁾, И.Л. Дорошевич¹⁾,
Ю.А. Петухов¹⁾, В.В. Углов²⁾, М.С. Чибирай²⁾,
В.М. Асташинский³⁾

¹⁾БГУ информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

²⁾БГУ, Минск, Беларусь

³⁾Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ,
Минск, Беларусь

Нами обнаружен эффект глубокого (до 20 мкм) легирования материалов атомами вещества, инжестированного в компрессионную плазму или нанесенного в виде тонкой пленки на поверхность подложки. Такой способ легирования позволяет получать новые многокомпонентные материалы с уникальными физико-химическими свойствами.

В настоящем сообщении приводятся результаты моделирования частот колебаний примесных атомов в легированном материале и связанных с этим тепловых характеристик. Построена геометрическая конструкция сил, действующих на атомы элементарной ячейки с учетом центральной и нецентральной составляющих. Спектр колебаний определялся, исходя из динамической матрицы $M(\vec{q}, \omega)$, представленной в виде разложения по матрицам $M_i(\vec{q})$, соответствующим взаимодействию с атомами i -ой координационной группы:

$$M_{\xi\eta}(\vec{q}) = \sum_n \Phi_{\xi\eta}(n) e^{-i\vec{q}\vec{n}}$$

$$\Phi_{\xi\eta} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial u_\xi \partial u_\eta},$$

где Φ – потенциальная энергия взаимодействия, u_ξ – декартовы координаты вектора смещения $\vec{u}$.

Приводятся зависимости частот колебаний примесного атома от его массы и коэффициента теплопроводности от соотношений компонент материала.

ДИНАМИКА МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ, МАССОПЕРЕНОС И ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ ФАЗ В КОМПРЕССИОННОЙ ПЛАЗМЕ

Н.Т. Квасов¹⁾, А.В. Пунько¹⁾, И.Л. Дорошевич¹⁾,
Ю.А. Петухов¹⁾, В.В. Углов²⁾, М.С. Чибирай²⁾,
В.М. Асташинский³⁾

¹⁾БГУ информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

²⁾БГУ, Минск, Беларусь

³⁾Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, Минск, Беларусь

В ряде публикаций (в частности, /1/) была показана возможность формирования наноразмерных кластеров с использованием плотной компрессионной плазмы.

Для построения адекватной модели процесса нуклеации атомов в компрессионной плазме предложено уравнение, учитывающее также их силовое взаимодействие.

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dt} = & -\frac{D}{\rho}S + \frac{2D\sigma}{\rho^2 k T n_K} - \frac{D}{kT} \left[(S n_K + n_H) \vec{n}_r \cdot \vec{\nabla} \int V(\vec{r}, \vec{r}') S d^3 r' + \right. \\ & \left. + n_H \left(\frac{n_H}{n_K} + S \right) \vec{n}_r \cdot \vec{\nabla} \int V(\vec{r}, \vec{r}') d^3 r' \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где $\rho(t)$ – радиус кластера, D – коэффициент диффузии, $S(\vec{r}, t)$ – степень пересыщения, σ – коэффициент поверхностного натяжения, k – постоянная Больцмана, T – температура, n_H – концентрация насыщения, n_K – концентрация атомов в кластере, $V(\vec{r}, \vec{r}')$ – потенциальная энергия парного взаимодействия атомов, $\vec{n}_r$ – единичный вектор.

Приводятся результаты компьютерного моделирования уравнения (1) для случая энергии парного взаимодействия в форме Леннарда-Джонса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Углов В.В., Черенда Н.Н., Анищик В.М. и др. // Физика и химия обработки материалов, № 4, 2005. – С.31-35.

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СИСТЕМЫ «ХРОМ-КРЕМНИЙ», МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИЛЬНОТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

В. В. Углов¹⁾, Н. Т. Квасов²⁾, Ю. А. Петухов²⁾,
Н. Н. Коваль³⁾, Ю. Ф. Иванов³⁾, А. Д. Тересов³⁾

¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾БГУ информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

³⁾Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск,

Низкоэнергетические сильноточные электронные пучки (СЭП) представляют собой особый вид концентрированных потоков энергии, характеризуемый высокой плотностью энергии (до 40 Дж/см²) и длительной продолжительностью воздействия (до 200 мкс).

Представлены результаты исследований структурно-фазового состояния системы «кремниевая подложка-хромовое покрытие», обработанной СЭП. Толщина исходного слоя составляла 1,5 мкм. Воздействие СЭП проводилось единичным импульсом и сериями из трех импульсов с энергией электронов 15-25 кэВ, длительностью 50-200 мкс и плотностью передаваемой энергии - 8-15 Дж/см².

Исследования морфологии поверхности и структуры поперечного сечения показали, что в результате воздействия при плотности энергии 14-15 Дж/см² происходит плавление кремниевой подложки и частичное перемешивание хрома и кремния в приповерхностном слое толщиной 6-20 мкм. В модифицированном слое формируются дендриты двух видов: кремниевые (растущие со стороны подложки) и обогащенные хромом.

Результаты исследований рентгеновской дифрактометрией выявили, что воздействие СЭП приводит к образованию аморфной фазы со средним межатомным расстоянием 2,9 Å. При плотности энергии 14-15 Дж/см² кроме аморфной фазы образуется гексагональный дисилицид CrSi₂.

Закономерности структурно-фазовых превращений при воздействии СЭП обсуждаются с учетом особенностей диффузионного и конвективного массопереноса в приповерхностном слое.

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ
СЛОЯХ ТВЕРДОГО СПЛАВА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ
СИЛЬНОТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ И
КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ.

В.В. Углов¹⁾, Н.Н. Коваль²⁾, А.К. Кулешов¹⁾,
Ю.Ф. Иванов²⁾, Е.А. Солдатенко¹⁾

¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾ Институт сильноточной электроники СО РАН г. Томск, Россия

В работе исследовано влияние плотности энергии в интервале $10 \leq J_E \leq 50$ Дж/см² на структурно-фазовое состояние и микротвердость поверхностных слоев твердого сплава Т15К6 при воздействии сильноточных электронных пучков (СЭП) и компрессионных плазменных потоков (КПП). Обнаружено, что в поверхностном слое сплава с ростом J_E происходит снижение содержания кобальта и титана при одновременном увеличении концентрации вольфрама. Эти изменения могут отражать частичное испарение кобальта (процесс абляции) и его замещение атомами вольфрама. Однако более вероятным представляется процесс конвективного перемешивания компонентов мишени при расплавлении поверхностного слоя. С ростом J_E происходит частичное (случай СЭП) и полное (случай КПП) растворение фазы WC и насыщение твердого раствора (Ti,W)C вольфрамом. Воздействие КПП обеспечивает более однородное распределение элементов в расплавленном слое, что связано с конвективным и гидродинамическим перемешиванием этого слоя. В свою очередь обработка СЭП приводит к образованию дополнительных карбидных фаз ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$, W_2C). В случае воздействия КПП твердость поверхностного слоя сплава возрастает в 2 раза и практически не меняется с ростом J_E , что связано с формированием однородного по составу слоя пересыщенного по вольфраму твердого раствора. В отличие от КПП, обработка СЭП увеличивает твердость поверхностного слоя в 3 раза при $J_E = 50$ Дж/см². Это обусловлено повышением доли вольфрама в поверхностном слое твердого раствора (Ti,W)C и образованием высоко-твердого карбида W_2C .

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА В ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ЛЕГИРОВАННОЙ ПОСРЕДСТВОМ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

В.В. Углов, Н.С. Тарасюк
БГУ, Минск, Беларусь

В данной работе на низкоуглеродистую сталь Ст3 наносилось двух-компонентное металлическое покрытие толщиной ~ 1 мкм. В качестве покрытия были выбраны титан, хром, цирконий и молибден. Полученная система обрабатывалась компрессионными потоками азотной плазмы. Подаваемой энергии было достаточно для расплавления и перемешивания расплавленной массы из трех металлов (подложка и элементы покрытия) на глубине до 15 мкм. Целью настоящей работы было выяснение механизмов, проявивших свое влияние в результате такой обработки поверхности плазмой.

В результате обработки были сформированы периодические структуры диаметром 0,3-0,5 мкм в форме ячеек. За их формирование, по всей видимости, несет ответственность механизм концентрационного переохлаждения. Поверхность образцов имеет вид быстрозатвердевшей жидкости и такие характерные элементы как волны и наплывы. Направление и внешний вид элементов поверхности обусловлены действием таких факторов как гравитационное притяжение земли (вследствие вертикального крепления образцов), действие ударной волны во время обработки плазмой (растекание жидкости к краям). Форма образовавшихся элементов поверхности может зависеть от вязкости металлов в жидкой фазе. Можно выделить несколько механизмов переноса, имеющих место при такой обработке: диффузия (обусловленная градиентами, как концентраций, так и температуры и давления) и конвекция. Анализ показал, что наибольший вклад в диффузионную составляющую вносят только температурный и концентрационный коэффициенты. Оценочная глубина диффузии составляет ~ 1 мкм, в то время как глубина легирования достигает ~ 10 мкм. Это указывает на то, что в более глубоких слоях массоперенос осуществляется, в основном, за счет механизмов, имеющих недиффузионную природу.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ «МОЛИБДЕН/ТИТАН»

В.В. Углов¹, Н.Н. Черенда¹, В.И. Шиманский¹,
Н.Н. Коваль², Ю.Ф. Иванов², А.Д. Тересов²

¹БГУ, Минск, Беларусь

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

Воздействие сильноточных электронных пучков (СЭП), представляет собой эффективный способ модифицирования свойств поверхностных слоев за счет изменения структурно-фазового состояния, обусловленного сверхбыстрым охлаждением, а также легирования дополнительными элементами. Целью данной работы являлось установление влияния режимов воздействия СЭП (энергия и длительность импульса) на структурно-фазовое состояние титана при легировании атомами молибдена.

Присутствие атомов молибдена позволяет стабилизировать высокотемпературную β -фазу титана, представляющую собой твердый раствор β -Ti(Mo), содержание которого определяется режимами воздействия СЭП. Установлено, что формирование β -фазы происходит при плотности поглощенной энергии свыше 20 Дж/см², причем ее максимальное содержание наблюдается при 25 Дж/см², когда концентрация молибдена сравнима с критической (5,8 ат.%) во всем расплавленном слое. Дальнейшее повышение плотности поглощенной энергии приводит к снижению относительного содержания β -фазы за счет снижения концентрации молибдена, обусловленного увеличением глубины расплавленного слоя.

При изменении длительности импульса от 50 до 200 мкс при постоянной плотности поглощенной энергии (20 Дж/см²) максимальное содержание β -фазы наблюдается при длительности воздействия 100 мкс.

Образцы, содержащие наибольшее количество β -фазы, характеризуются максимальным значением твердости (4 – 5 ГПа), что свидетельствует о твердорастворном механизме упрочнения при воздействии СЭП на систему «молибден/титан».

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ МАГНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

В.С. Ковивчак¹⁾, Т.В. Панова²⁾, К.А. Михайлов²⁾

¹⁾ Омский филиал ИФП СО РАН, г. Омск, Россия

²⁾ Омский государственный университет, г. Омск, Россия

Существенное изменение морфологии поверхности под действием мощного ионного пучка (МИП) является негативным фактором, зачастую ограничивающим применение МИП для модификации изделий. Несмотря на большой интерес к формированию поверхностного рельефа при таком воздействии до сих пор нет ясного понимания механизма его формирования.

В настоящей работе исследовано изменение морфологии поверхности магния при воздействии МИП. Особенностью магния является то, что он достаточно хорошо сублимирует в широком диапазоне температур. Давление насыщенного пара при температуре плавления магния (878 К) составляет 130 Па, что должно при воздействии МИП обеспечивать формирование большого импульса отдачи, влияющего на морфологию поверхности. Облучение образцов Mg выполнялось на ускорителе “Темп” протон-углеродным пучком наносекундной длительности. Толщина используемых образцов была значительно больше пробега углерода и протонов пучка в Mg. Морфологию поверхности исследовали на сканирующем электронном микроскопе «Philips SEM-515». При воздействии МИП с плотностью тока 50 А/см^2 на поверхности возникает волнообразная структура с периодом 40 мкм. При увеличении плотности тока до 150 А/см^2 на гребне этих волн наблюдается формирование периодически расположенных сфероидальных частиц средним размером 20 мкм. Часть из этих частиц связана с гребнем с помощью более тонкой перемычки. При этом на поверхности образца между гребнями волн находятся капли магния со средним размером 0.8 мкм. Обсуждены возможные механизмы образования этих структур.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ТОНКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ НА УГЛЕРОДНОМ ПОКРЫТИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА

В.С. Ковивчак¹⁾, Т.В. Панова²⁾, Р.Б. Бурлаков²⁾, Н.А. Давлеткильдеев¹⁾

¹⁾ Омский филиал ИФП СО РАН, г. Омск, Россия

²⁾ Омский государственный университет г. Омск, Россия

Формирование наноразмерных металлических объектов на поверхности углеродной пленки представляет большой интерес для повышения чувствительности сенсоров на основе различных модификаций углерода.

Углеродные пленки получали PECVD-методом с использованием магнетронного разряда на постоянном токе. В качестве рабочего газа была выбрана смесь C_2H_2 и H_2 в различных соотношениях, вплоть до 1:10. Осаждение углеродной пленки проводилось при температуре подложки не выше $700^\circ C$. Толщина пленок углерода варьировалась в диапазоне 0,1 – 4 мкм.

Пленки Ag, Cu, Al, Ni толщиной до 150 нм наносились на углеродное покрытие методом термического испарения в вакууме при температуре подложки не более $150^\circ C$.

Облучение полученной структуры проводилось на ускорителе «ТЕМП» протон-углеродным пучком (30% H^+ и 70% C^+) со средней энергией 300 кэВ, длительностью импульса 60 нс и средней плотностью тока до $50 A/cm^2$. В экспериментах варьировалось также число импульсов облучения.

Из-за плохого смачивания углерода расплавом Ag, Cu при облучении МИП с плотностью тока $20 A/cm^2$ на поверхности углерода формируются наночастицы металла со средним размером в 1,7 раза меньшим, чем на подложках из ситалла, SiO_2 .

При облучении пленок Al, Ni с более высокой плотностью тока пучка из-за их взаимодействия с углеродом происходит увеличение размера частиц и изменение их формы на более плоскую. Обсуждены возможные механизмы образования наночастиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ МЕТАЛЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ

Т.В. Панова¹⁾, В.С. Ковивчак²⁾, В.И. Блинов¹⁾, К.О. Шарифулин¹⁾

¹⁾Омский государственный университет, г. Омск, Россия

²⁾Омский филиал ИФП СО РАН, г. Омск, Россия

Эксплуатационные характеристики материалов могут быть повышены путем получения дисперсных структур в металлах и сплавах с покрытиями при их обработке интенсивными пучками заряженных частиц. При этом помимо перемешивания атомов покрытия с основой может происходить их проникновение вглубь на расстояния, значительно превышающие величину проективного пробега заряженных частиц, что значительно улучшает адгезионные свойства материалов с покрытиями.

В настоящей работе исследовано формирование дисперсных структур при облучении мощным ионным пучком алюминия и меди с покрытием из никеля, толщиной не более 150 нм. Обработка образцов протон-углеродным пучком наносекундной длительности проводилась на ускорителе "Темп". Исследование морфологии поверхности и элементный анализ производились с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM-515 с микроанализатором EDAX.

Обнаружено образование дисперсных частиц на поверхности исследуемых мишеней при используемых в экспериментах режимах облучения. При этом наблюдается формирование дисперсных частиц как микро-, так и наноразмерных масштабов. Установлено, что размеры микрочастиц зависят от плотности тока пучка ионов и от характеристик подложки, в то время как размеры наночастиц на всех образцах примерно одинаковы. Обсуждаются два возможных механизма формирования этих частиц на поверхности исследуемых металлов с покрытием при воздействии мощного ионного пучка наносекундной длительности.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ И ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛАСТОМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИОННО- АССИСТИРОВАННЫМ НАНЕСЕНИЕМ Zr ПОКРЫТИЙ

О.Г. Бобрович¹⁾, О.Г. Верес²⁾, А.В. Касперович¹⁾, И.С. Ташлыков²⁾

¹⁾БГТУ, Минск, Беларусь

²⁾БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

В настоящей работе представлены результаты исследований формирования Zr покрытий на эластомере (резина марки 7-ИПР-1068). Для нанесения покрытий использовали резонансный источник вакуумной электродуговой плазмы, который одновременно генерирует как нейтральный поток, так и ионный поток частиц осаждаемого металла. Плотность ионного тока при модифицировании с ускоряющей разностью потенциалов 20 кВ была $\sim 4\text{--}5 \text{ мкА/см}^2$, интегральный поток ассилирующих ионов Zr^+ – $2 \cdot 10^{17} \text{ ион/см}^2$, вакуум в мишенной камере был $\sim 10^{-2} \text{ Па}$.

Для послойного элементного анализа структур покрытие/подложка применяли метод резерфордского обратного рассеяния ионов гелия с $E=2.0 \text{ МэВ}$ и компьютерное моделирование с использованием программы RUMP. Фазовый состав поверхности изучался методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на электронном спектрометре "Leybold" WG с использованием MgK_α -излучения.

Установлено, что на поверхности резины формируются покрытия толщиной $\sim 1100 \text{ нм}$, содержащие кроме атомов наносимого покрытия (Zr), атомы технологических примесей (H, C, O) и атомы из подложки (C, S, Zn). Анализ РФЭ-спектров уровней $\text{Zr}3d$ и $\text{C}1s$ на глубинах ~ 10 и $\sim 30 \text{ нм}$ позволил установить, что в покрытиях имеются оксид циркония ZrO_2 , гидроксид циркония $\text{Zr}(\text{OH})_4$, графитоподобный углерод, углеводородные соединения и соединения с гидроксильными связями. Обнаружено, что с увеличением глубины содержание оксида циркония уменьшается.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИОНАМИ Xe^+ НА ПОВРЕЖДЕНИЕ ЕГО СТРУКТУРЫ, ТОПОГРАФИЮ И СМАЧИВАЕМОСТЬ НАНЕСЕННЫХ НА НЕГО Ti И Co ПОКРЫТИЙ

О.М. Михалкович¹⁾, А.И. Туровец¹⁾, И.С. Ташлыков¹⁾,

Ю.А. Ермаков²⁾, В.С. Черныш²⁾

¹⁾ БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Ионная имплантация ксенона в кремний имеет ряд прикладных применений. Однако, малоизученным остается влияние введения ксенона на повреждение, морфологию и смачиваемость поверхности как самого кремния, так и покрытий, нанесенных на него после облучения. Ti и Co покрытия наносились методом ионно-ассистированного осаждения в условиях самооблучения. Для изучения радиационного дефектообразования применяли метод РОР в сочетании с каналированием ионов He^+ с энергией 2.0 МэВ и геометрией рассеяния $0^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 168^\circ$. Топографию поверхности изучали с помощью атомно-силового микроскопа NT-206. Для изучения смачиваемости поверхности измеряли краевой угол смачивания, используя компьютерную программу Angle. Ошибка измерения составляла $<2^\circ$.

Введение в кремний ионов ксенона в качестве маркера создает сильнодефектную область в кремнии, наблюдается насыщение ее радиационными дефектами при дозах имплантированных ионов порядка $9 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Нанесение Ti и Co покрытий характера дозовой зависимости повреждения кремния не изменяет. Установлено, что облучение кремния ионами Xe^+ с $E = 10, 20$ и 40 кэВ и дозами от $1 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ до $2.7 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ не вызывает роста шероховатости и значимого изменения смачиваемости, как поверхности исходного кремния, так и кремния с Ti и Co покрытиями.

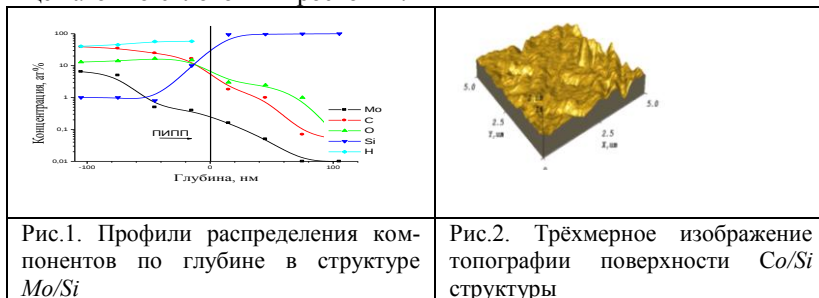
ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУР МЕТАЛЛ/КРЕМНИЙ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ ИОННО- АССИСТИРОВАННЫМ НАНЕСЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ

И.С. Ташлыков¹⁾, В.В. Тульев²⁾, С.М. Барайшук¹⁾

¹⁾БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

²⁾БГТУ, Минск, Беларусь

В данной работе обсуждаются элементный состав, механические свойства и топография поверхности структур металл/кремний, сформированных ионно-ассистированным нанесением *Ti*, *Co*, *Zr* и *Mo* покрытий при ускоряющей разности потенциалов 3 кВ, интегральном потоке асси-стирующих ионов $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и плотности ионного тока $\sim 0,26 \text{ мкА/см}^2$. Давление в мишенной камере составляло $\sim 10^{-2}$ Па. Элементный состав поверхности структур изучали методом РОР ионов гелия в сочетании с компьютерным моделированием *RUMP*, механические свойства – методом наноиндентирования, топографию поверхности – с применением сканирующей атомно-силовой микроскопии.



Исзуемые *Me/Si* структуры содержат атомы осаждаемого металла, атомы технологических примесей *H*, *C*, *O*, источником которых является вакуум в мишенной камере, откачиваемой паромасляным насосом, и атомы *Si* из подложки (рис. 1). Толщина сформированных структур составляет ~ 50 - 100 нм. Установлено, что нанотвердость сформированных структур 3-10 раз больше нанотвердости исходного *Si*. Модуль Юнга структур меньше модуля Юнга поверхности *Si*. Средняя шероховатость исходного кремния весьма незначительна и составляет $\sim 0,2$ нм, а полная площадь фрагмента практически не отличается от проективной площади. Шероховатость сформированных *Me/Si* структур увеличивается до $0,7$ - $1,1$ нм в зависимости от металла основы покрытия (рис. 2), а также увеличивается отношение полной площади поверхности к проективной до $1,007$.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОГО ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В n-Si И n-SiC ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПРОТОНАМИ МэВ-НЫХ ЭНЕРГИЙ

В.В. Козловский¹⁾, А.Э. Васильев¹⁾, А.М. Иванов²⁾, А.А. Лебедев²⁾,
Н.Б. Строкан²⁾

¹⁾С.-Петербургский государственный политехнический университет

²⁾Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН,

Санкт-Петербург, Россия

Проведен анализ воздействия протонного облучения на электрические свойства образцов, изготовленных из FZ-Si и 4H-SiC (CVD). Расчеты показали, что значение скорости образования первичных радиационных дефектов – пар Френкеля η_{FF} в SiC немного превосходит аналогичную величину в Si, в основном, за счет большей концентрации регулярных атомов в бинарном полупроводнике по сравнению с атомарным полупроводником. Определены величины скорости удаления носителей заряда η_e для двух материалов. Установлено, что величины η_e в FZ-Si и в 4H-SiC (CVD) близки между собой ($\sim 110 \text{ см}^{-1}$), что в значительной мере определяется близкими пороговыми энергиями возникновения дефектов. Показано, что отношение ($\eta_e / \eta_{\text{FF}}$), косвенно свидетельствующее о доли разделившихся, нерекombинировавших во время облучения пар Френкеля резко возрастает (от 5 до 10 раз) при переходе от электронного к протонному облучению. Такой результат объяснен различием почти на порядок средних энергий атомов отдачи, образующихся при облучении обоих полупроводников электронами и протонами МэВ-ных энергий. Установлено, что общепринятая модель компенсации FZ-Si<P> при электронном и гамма—облучении исключительно за счет образования Е-центров, не может объяснить результаты, полученные при протонном облучении. Предположено, что значительный вклад в компенсацию FZ-Si<P> при протонном облучении может вносить центр $E_C-0.30 \text{ эВ}$, включающий в свой состав один атом фосфора и две вакансии (V-V-P).

ПОВЕРХНОСТНАЯ СЕГРЕГАЦИЯ И РАДИАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ В СТАЛИ 16Х12МВСФБР ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ Ni^{++} И He^{+}

Г.В. Лысова, Г.А. Биржевой, А.М. Дворяшин
ГНЦ РФ-ФЭИ имени А.И. Лейпунского, г. Обнинск, Россия

Упрочнение материалов при облучении обусловлено образованием эффективных препятствий для движения дислокаций: точечных дефектов, дислокационных петель, а также фазовых выделений. Существующая корреляция между значениями микротвердости H_u и предела текучести в сталях ($\Delta\sigma_y = 3,06\Delta H_u$ в ферритных сталях) позволяет, измеряя относительные изменения микротвердости, изучать ионно-индуцированное упрочнение.

В данной работе представлены результаты анализа сегрегации хрома и кремния вблизи поверхности, а также изменений микротвердости ферритно-мартенситной стали ЭП-823 (16Х12МВСФБР) после облучения ионами Ni^{++} с энергией 7 МэВ в интервале флюенсов от 5×10^{18} до $5,4 \times 10^{19}$ ион/м² и ионами He^{+} с энергией 30 и 70 кэВ флюенсами от 10^{19} до 10^{21} ион/м² при температуре 500°C.

В случае облучения ионами Ni^{++} наибольшее увеличение микротвердости находится примерно на глубине, соответствующей максимуму радиационных дефектов. При облучении же ионами He^{+} наибольший прирост микротвердости наблюдается на глубине, значительно превышающей проективный пробег ионов.

Анализ микроструктуры показал, что упрочнение стали при облучении связано с эволюцией ее фазовой и дислокационной структуры: образованием высокой концентрации мелкодисперсных выделений фазы M_6C , выделений χ -фазы и дислокационных петель.

Установлено, что зависимость изменений микротвердости от концентрации радиационных дефектов хорошо коррелирует с аналогичной зависимостью степени поверхностной сегрегации кремния и хрома.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 08-08-13706-офи_ц и 10-02-01388-а).

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРУКТУР КРЕМНИЙ-НА-ИЗОЛЯТОРЕ МЕТОДОМ РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ ГЕЛИЯ

Ф.Ф. Комаров¹⁾, О.В. Мильчанин¹⁾, В.В. Пилько¹⁾, В.В. Пилько²⁾

¹⁾НИИ прикладных физических проблем им.А.Н.Севченко БГУ,
Минск, Беларусь

²⁾Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Исследованы возможности использования РОР в качестве средства контроля на различных этапах формирования структур КНИ (создание и отжиг захороненного поврежденного слоя, исследование связи пластин в пакете, финишный контроль).

В предварительно окисленные образцы кремния имплантировали ионы водорода дозой на уровне $2 - 4 \cdot 10^{16}$ ат./см², не допуская сильного разогрева пластин в имплантере /1/. Положение и толщину нарушенного слоя определяли методом РОР путем декорирования слоя протяженных дефектов по методу /2/ подвижной диффундирующей примесью (Ag). С целью контроля качества связи пластин в пакете, на этапе активирования поверхности связывающего окисла ее маркировали тяжелой примесью. Качество соединения и последующего связывания пластин оценивалось с помощью РОР по характеру диффузионного перераспределения маркирующей примеси в окисле. Использовались как традиционный метод соединения, так и новый, разработанный авторами /3/. Совершенство оставлялической решётки тонкого изолированного слоя кремния исследовалось с применением РОР каналированных ионов.

Установлено, что РОР является эффективным и информативным методом исследования структур КНИ на основных этапах технологического процесса.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ, грант Т09-035.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко Е.Б., Комаров Ф.Ф., Нагула П.К., Пилько В.В., Серафимович И.Г., Фоков Ю.Г. // Вести Национальной Академии наук Беларуси, сер. Физ.-тех. наук, 2008, №4, с.73.
2. Комаров Ф.Ф., Мильчанин О.В., Пилько В.В., Фоков Ю.Г. // Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2008, №4, с.27.
3. Комаров Ф.Ф., Мильчанин О.В., Пилько В.В. // Патент РБ на полезную модель № 5197 от 10.10.2008.

ИОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ И СПЕКТРОМЕТРИЯ ЯОР ПРОТОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

О.В. Беспалова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾, В.Г. Востриков¹⁾, С.В. Иванова²⁾,
Е.А. Романовский¹⁾, М.В. Серков¹⁾, Н.В. Ткаченко¹⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ОАО «ВНИИНМ» имени А.А.Бочвара, Москва, Россия

В ядерной энергетике нового поколения широкое применение находят циркониевые сплавы. Для нахождения оптимальных способов обработки поверхностных слоев, разработки методов их модифицирования и технологий нанесения покрытий на циркониевые сплавы в настоящей работе разработан метод неразрушающего анализа поверхностных слоев с повышенной чувствительностью к углероду, азоту, кремнию и другим легким элементам. Метод основан на измерении спектров ядерного обратного рассеяния (ЯОР) протонов ($E_p \sim 7.7$ МэВ) образцами циркониевых сплавов с модифицированными поверхностными слоями и последующей компьютерной обработки, в результате которой определяются профили концентрации элементов.

Исследованы составы поверхностных слоев циркониевых сплавов модифицированных в результате струйно-абразивной, магнито-абразивной обработки с помощью методов электроискрового легирования, термоокисления и нанесения покрытий. Определен состав и структура поверхностных слоев циркониевых сплавов. Погрешности в определении толщин модифицированных слоев ~ 0.5 мкм, а определения содержания легких элементов около 10 ат. %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям по мероприятию 1.1. «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0242.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО СЛОЯ ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИИ ЯОР ПРОТОНОВ

А.М. Борисов¹⁾, В.Г. Востриков¹⁾, Е.В. Князев²⁾, Б.Л. Крит³⁾,
Е.А. Романовский¹⁾, А.В. Семашко³⁾, М.В. Серков¹⁾, И.В. Суминов³⁾,
Н.В. Ткаченко¹⁾, А.В. Эпельфельд³⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ООО «АТЕ-групп», Москва, Россия

³⁾ГОУ ВПО «МАТИ»-РГТУ имени К.Э.Циолковского, Москва, Россия

Приводятся результаты исследования керамического слоя на алюминиевом сплаве В95, сформированного при микродуговом оксидировании (МДО) с участием наночастиц диоксида циркония в виде суспензии в силикатно-щелочном электролите. Длительность МДО составляла 50, 100 и 150 мин. При этом толщина керамического слоя изменялась от 30-40 до 100-110 мкм. Полученные данные говорят о существенном влиянии концентрации диоксида циркония в электролите на толщину, пористость и оптические свойства МДО-покрытия. Меньшее влияние установлено на микротвердость МДО-покрытия, которая составляет около 2300 кг/мм². Элементный анализ проводили с помощью методов спектрометрии обратного рассеяния α -частиц (РОР) и протонов энергии 7.7 МэВ (ЯОР). Спектры ЯОР свидетельствуют об участии наночастиц диоксида циркония в процессе МДО. При концентрации диоксида циркония в электролите 5 г/л и длительности МДО 150 мин. доля ZrO_2 в МДО-покрытии достигает 15%. При этом наблюдается наибольшая скорость роста керамического слоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям по мероприятию 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0389 и по мероприятию 1.3 «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований и создание научно-технического задела в области индустрии наносистем и материалов», контракт № 02.513.11.3486.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНОГО НИТРИДА БОРА ИОННО-ПУЧКОВЫМИ МЕТОДАМИ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

А.М. Борисов¹⁾, В.Г. Востриков¹⁾, И.А. Горшков²⁾,
С.М. Кузьмин³⁾, В.С. Куликаускас¹⁾, В.И. Парфенюк³⁾,
Е.А. Романовский¹⁾, М.В. Серков¹⁾, С.В. Силкин³⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾«МАТИ»-РГТУ имени К.Э.Циолковского, Москва, Россия

³⁾Институт химии растворов РАН, г. Иваново, Россия

Приводятся результаты исследования продуктов плазмохимического синтеза наноразмерного нитрида бора – перспективного материала для получения керамики, защитных и инструментальных покрытий. Синтез основан на атомизации реагентов дуговым разрядом и последующей конденсации пара в атмосфере гелия. Electroдами служили графитовые стержни с отверстием, которое заполняли смесью меламина и борной кислоты. Для удаления из собранного вещества углерода его подвергали окислению. При анализе образцов применяли методы электронной микроскопии и термогравиметрии. Элементный анализ проводили с помощью методов спектрометрии обратного рассеяния α -частиц (РОР) и протонов энергии 2.2 и 7.7 МэВ (ЯОР). Наиболее информативным оказался метод ЯОР протонов с энергией 2.2 МэВ. Оценка эффективности окисления для выделения из гибридных $B_xN_yC_z$ неорганических B_xN_y наноструктур показала, что концентрация углерода при окислении уменьшается от 66 до 11 ат.%, при этом, однако, значительно увеличивается концентрация кислорода от 3 до 33 ат.%.

Применение использованных методов исследования позволяет утверждать, что в результате плазмохимического синтеза и последующего окисления продуктов происходит образование наночастиц нитрида бора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям по мероприятию 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0389.

ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ НИТРИДА ЦИРКОНИЯ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ КСЕНОНА

В. В. Углов¹⁾, В.А. Скуратов²⁾, А.В. Шашок¹⁾, М.А. Данилюк¹⁾

¹⁾ БГУ, Минск, Беларусь

²⁾ Объединенный Институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

Разработка новых материалов для высокотемпературных реакторов четвертого поколения является актуальным направлением. Особый интерес в этой области представляет формирование и изучение радиационно-стойких материалов покрытия гранул, в которых содержится ядерное топливо /1/.

Перспективными для покрытия гранул являются наноструктурированные материалы, обладающие высокой термической стабильностью, коррозионной и радиационной стойкостью. Подходящими кандидатами для использования являются нитриды титана и циркония, которые в наноструктурированном состоянии проявляют повышенную радиационную стойкость /2/.

В данной работе представлены результаты электронномикроскопических исследований покрытий различной толщины (от 0,06 до 3 мкм) на основе нитрида циркония, нанесенного методом вакуумно-дугового осаждения на кремниевую подложку. Облучение проводилось ионами ^{+26}Xe с энергией 1,2 МэВ/нуклон и интегральными дозами до 10^{15} ион/см² ($1,6 \cdot 10^{-2}$ сна). Из рентгеноструктурных данных рассчитаны внутренние напряжения в покрытиях, облученных различными дозами высокоэнергетических ионов.

Обсуждаются механизмы образования и релаксации напряжений в нитриде циркония. А также рассматриваются возможные механизмы повышения радиационной стойкости, обусловленные наноструктурированностью покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang H., Araujo R., Swadener J.G., et al. // Nuc. Inst.Met. Phys. Res., 2007, 261-B, 1162.
2. Ciriello A., Rondinella V.V., Staicu D., Somers J. // Journal of Nuclear Materials, 2007, 371-V, 129. 3

СОСТАВ И КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ ТИТАНА И ХРОМА

М.М. Барковская, В.В. Углов, В.В. Ходасевич
БГУ, Минск, Беларусь

В работе приведены результаты исследования микроструктуры, элементного и фазового состава, коррозионных свойств защитных покрытий на основе нитридов титана и хрома в зависимости от условий их формирования.

Покрытия Ti-Cr-N синтезировались методом вакуумно-дугового осаждения в остаточной атмосфере азота (10^{-1} Па) при воздействии совмещенных плазменных потоков титана и хрома. Покрытия осаждались на подложку из стали Ст3 (0,2 вес.% С). Перед осаждением производилась предварительная ионная обработка подложки. Толщина покрытий в зависимости от условий осаждения составляла от 3 до 3,5 мкм.

Структура и фазовый состав покрытий изучались с помощью растровой электронной микроскопии и рентгенодифракционного анализа. Элементный состав определяли методами рентгеноспектрального микроанализа и оже- электронной спектроскопии. Коррозионные свойства покрытий стали Ст3 исследовались в 3% растворе NaCl при температуре 20 °С.

Установлено, что при совмещении плазменных потоков титана и хрома в остаточной атмосфере азота формируются покрытия на основе твердого раствора (Ti, Cr)N с ГЦК- структурой и преимущественной ориентацией (200). Обнаружено изменение соотношения атомной концентрации металлических компонент в покрытии с ростом опорного напряжения, подаваемого на подложку во время осаждения.

Покрытия Ti-Cr-N имеют повышенную коррозионную стойкость, что обусловлено формированием плотной глобулярной микроструктуры и отсутствием в них сквозных дефектов. Это приводит к значительному уменьшению проникновения коррозионной среды как в покрытие, так и к подложке.

ТВЕРДОСТЬ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

В.В. Углов, С.В. Злоцкий
БГУ, Минск, Беларусь

Методом вакуумно-дугового осаждения при совмещении плазменных потоков титана и хрома переменной плотности сформированы градиентные системы Ti-Cr-N /1/. Твердость покрытий исследовалась методом наноиндентирования.

Обнаружено, что при изменении плотности плазменных потоков титана и хрома формируются системы Ti-Cr-N с переменным распределением как элементов (титана и хрома), так и микроструктуры (размера зерен) по глубине покрытий.

Установлена зависимость твердости тройных покрытий от состава и микроструктуры. Обнаружено повышение твердости покрытий переменного состава $Ti_xCr_{1-x}N$ $0,25 < x < 0,67$ ($23,8 \pm 0,1$ ГПа) и покрытий с переменной микроструктурой ($28,2 \pm 0,2$ и $32,8 \pm 0,2$ ГПа) в сравнении с покрытием постоянного состава $Ti_{0,56}Cr_{0,44}N$ ($21,9 \pm 0,2$ ГПа).

Показано, что варьирование плотности плазменных потоков титана и хрома позволяет управлять механическими свойствами покрытий в широком диапазоне для получения покрытий с высокой твердостью или пластичностью.

Методом наноиндентирования при малых нагрузках обнаружено распределение твердости покрытий по глубине. Установлена взаимосвязь между распределением твердости и изменением структурно-фазового состояния сформированных покрытий по глубине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Uglov V.V., Anishchik V.M., Zlotski S.V., Abadias G., Dub S.N. // Surface and Coatings Technology, 2008, Vol. 202, P. 2394.

ИОННО-ЛУЧЕВОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСШЕГО ОКСИДА ТАНТАЛА

Н.В. Алов, Д.М. Куцко

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по ионно-лучевому восстановлению поверхности оксида Ta_2O_5 . Облучение поверхности низкоэнергетическими ($E = 3$ кэВ) ионами Ag^+ и O_2^+ в широком диапазоне доз ($\Phi = 10^{15} - 10^{18}$ см $^{-2}$) и определение состава восстановленного слоя методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) проводили *in situ* в условиях сверхвысокого вакуума ($p = 10^{-8}$ Па) на электронном спектрометре *Leybold LHS-10*.

Анализ тонкой структуры РФЭ-спектров остоного уровня Ta $4f$ свидетельствует о том, что облучение низкоэнергетическими ионами Ag^+ и O_2^+ приводит к восстановлению поверхности оксида Ta_2O_5 . Степень восстановления существенным образом зависит от типа ионов и дозы облучения. При бомбардировке ионами Ag^+ в поверхностных слоях оксида Ta_2O_5 образуются оксиды TaO и TaO_2 , а при больших дозах наблюдается увеличение содержания низшего оксида TaO. При облучении ионами O_2^+ степень восстановления поверхностных слоев оксида Ta_2O_5 заметно ниже, чем при облучении ионами Ag^+ , и в поверхностных слоях оксида Ta_2O_5 образуется только оксид TaO_2 . Результаты экспериментов по ионно-лучевому восстановлению поверхности высшего оксида тантала обсуждаются в рамках феноменологической модели.

Установлены общие закономерности и специфические особенности ионно-лучевого восстановления поверхности высших оксидов тугоплавких металлов (MoO_3 , WO_3 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5) в результате облучения низкоэнергетическими ионами инертного (Ag^+) и химически активного (O_2^+) газа.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕДИНИЧНЫХ СБОЕВ В КРИСТАЛЛАХ ЭЛЕКТРОНИКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.Г. Кадменский¹⁾, Н.Г. Чеченин²⁾

¹⁾ФГУП ЦНИИмаш, г. Королев Моск. обл., Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва

Теория и компьютерное моделирование стохастической динамики заряженных частиц [1] в непрерывном потенциале кристалла при каналировании применяются к особым условиям облучения кристаллов полупроводниковой электроники на борту космического аппарата. Для ионов высокой энергии галактических космических лучей (КЛ) используется расчет, проведенный с помощью нестационарного трехмерного уравнения Шредингера [2] для вероятности потери-подхвата электрона при столкновении атомов с немалыми Z и заданным прицельным параметром. В случае специального когерентного рассеяния в кристалле с передачей решетке импульса, равного нулю, продолжена работа по переходу к прицельному параметру столкновения с атомной цепочкой (АЦ)

оставляла. Привлекается также усреднение методом фрактальной траектории Мигдала, развитого для аморфного тела, причем для заряженной частицы в кристалле использована траектория в непрерывном потенциале. Расчеты находятся в соответствии с необъясненными до сих пор спектрами потерь энергии ионов Fe из ускорителя Bevelac в кремнии и с результатами экспериментов с тяжелыми ионами [3]. Для протонов солнечных КЛ предлагается эффективный метод диагностики вероятности единичных обратимых сбоев кристаллов космической электроники с использованием ионных пучков промежуточных энергий, воспроизводящих энергетический спектр тяжелых фрагментов ядерной реакции [4], вызванной протонами в кристалле.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кадменский А.Г. , Самарин В.В., Тулинов А.Ф.// ЭЧАЯ. 2003. Т.34. Вып.4. С.823.
2. Самарин В.В., Мальцев Н.А., Кадменский А.Г.// Известия РАН. Сер. Физич. 2008. Т.72. №6. С.930.
3. L'Hoir, L. Adoui, F. Barrué, e.a.// Nucl. Inst. Meth. In Phys. Res. B245. 2006. P.1.
4. Чувильская Т.В., Широкова А.А., Чеченин Н.Г., Кадменский А.Г. // ЯФ. 2008. Т.71, №7. С.1.

ИОНОПУЧКОВЫЕ И РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ОЛИВИНОВ ($\text{Mg}_{1-x}\text{Fe}_x\text{SiO}_4$)

В.К. Егоров¹⁾, Е.В. Егоров¹⁾, Л.Л. Кашкаров²⁾, Н.Г. Полухина³⁾

¹⁾ИИПТМ РАН, г. Черноголовка, Россия

²⁾Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
Москва, Россия

³⁾Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

Оливин является одним из наиболее распространенных минералов земной коры и метеоритного вещества. Сведения о его составе и структурных особенностях имеют важное значение для геологии и космохимии [1]. В частности, сравнительный анализ степени неидеальности кристаллической структуры оливинов разных составов земного и внеземного происхождения позволяет надеяться на использование этого минерала в качестве независимого детектора энергии и массы частиц в потоках космической радиации методом трекового анализа [2].

В работе в результате рентгенодифрактометрических исследований 27 оливиновых образцов земного происхождения и 10 метеоритовых кристаллов оливинов был отобран комплект из 12 образцов, для которых ожидалось наличие определенного совершенства кристаллической структуры. Эти образцы были исследованы методом резерфордовского обратного рассеяния в области кристаллографических направлений (010) и (001). В результате выполненных измерений был обнаружен единственный кристалл состава $\text{Mg}_{0.87}\text{Fe}_{0.13}\text{SiO}_4$, продемонстрировавший частичное осевое каналирование вдоль оси (0k0). Практическое отсутствие явления осевого каналирования является прямым следствием низкого совершенства кристаллической структуры исследованных оливинов, по крайней мере, в приповерхностной области толщиной несколько десятков нанометров. Поскольку все ориентированные шлифы исследованных кристаллов были приготовлены методом механической полировки, возникло предположение, что возможной причиной неудач, связанных с поиском осевых каналов, является искажение структуры технологического характера [3]. В настоящее время проводится переподготовка поверхностей ориентированных шлифов кристаллов методом химической полировки, использование которой позволит вынести более аргументированное суждение о степени совершенства структуры природных оливинов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wyllic R.J. The dynamic earth: textbook on geoscience. New York: Wiley. 1971. p. 416
2. Ahlen S.P. // Rev. Mod. Phys. 1980, v 52, pp. 121-173.
3. Lamelle L. and others. // Amer. Min. 2002, v 87, p. 327-332.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ Al_2O_3 ,
ОБРАБОТАННОЙ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ
СРЕДЕ

Е.В. Саврук, А.С. Климов

Томский государственный университет систем
управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

Эффективными способами улучшения структуры поверхности являются ее обработка лазерными и электронными пучками. Лазерная и электронная обработка в бескислородной и восстановительной среде приводит к потере кислорода и нарушению стехиометрии состава материала. Целью работы являлась попытка сохранения стехиометричного состава приповерхностных слоев керамики путем ее обработки электронным пучком в кислородосодержащей среде. Обработка проводилась на экспериментальной установке с плазменным источником электронов ленточной конфигурации при давлении в рабочей камере 5–15 Па, при плотности мощности пучка 10^2 – 10^4 Вт/см². Ранее было установлено [1,2], что при обработке поверхности поликристаллического α - Al_2O_3 лазерным излучением наблюдается нарушение стехиометрии приповерхностного слоя в сторону недостатка кислорода. Это приводит к перестройке кристаллической структуры, что сказывается на изменении оптических свойств керамики, особенно в ИК-диапазоне. С помощью отражательной ИК Фурье спектроскопии было установлено, что часть ионов Al^{3+} переходит из октаэдрических в тетраэдрические кислородные кластеры. Это приводит к появлению на ИК-спектрах линий дополнительного поглощения при 900–650 см⁻¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саврук Е.В., Смирнов С.В., Швайцер А.Н. // Известия вузов. Остак. 2008. Т. 51. № 11/2. С.114–117.
2. Саврук Е.В., Смирнов С.В. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2009. Т. 52. № 11/2. С.247–251.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСО- И КОРРОЗИОННО-СТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ

В.Ф. Воробьев¹⁾, М.Н. Шипко^{1), 2)}, М.А. Степович^{2), 3)}

¹⁾ Ивановский государственный энергетический университет
им. В.И. Ленина, г. Иваново, Россия

²⁾ Ивановский филиал Российского государственного торгово-
экономического университета, г. Иваново, Россия

³⁾ Калужский государственный педагогический университет
им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия

Исследовано влияние формы катодов и разности потенциалов в межэлектродном промежутке тлеющего разряда на процесс имплантации ионов азота в приповерхностные слои стали 38ХМЮА.

Обработка стали проводилась в два этапа. На первом этапе обработки поверхности оба электрода находились под одинаковым отрицательным потенциалом (1÷2) кВ относительно анода. На втором этапе между электродами создавалось импульсное электрическое поле с амплитудой импульса 50 кВ переменной полярности. Смена полярности приводила к разделению разряда. При этом ионы получали энергию, достаточную для имплантации. Эта энергия зависела не только от разности потенциалов между электродами, но и от соотношения между радиусами электродов (r/R). Оптимальные значения энергии ионов были получены для системы электродов с соотношением $r/R = 0,55$.

Установлено, что после азотирования в газовом разряде высокие значения микротвердости стали достигаются при относительно малых временах обработки, а процесс имплантации азота в сталь в газовом разряде происходит при более низких температурах, чем при термическом азотировании, что исключает изменение микроструктуры материала. На основе полученных результатов разработана технология имплантации ионов азота в поверхностные слои стали.

Исследования выполнены при финансовой поддержке программы «Научные школы РФ» (проект НШ-65633.2010.8).

ВЛИЯНИЕ РАЗРЯДНОГО РЕЖИМА НА ТЕМПЕРАТУРУ ЭЛЕКТРОДОВ ДУГОВЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЛАМП

В.И. Кристя¹⁾, В.В. Прасицкий²⁾, А.В. Тай²⁾

¹⁾Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Калуга, Россия

²⁾ООО «Эколюм-Восход», Калуга, Россия

Срок службы дуговых осветительных ламп в значительной степени определяется стабильностью эмиссионных свойств электродов, которые служат источником электронов, необходимых для поддержания разряда. Эмиссия электронов в дуговом разряде имеет термическую природу, поэтому она существенно зависит от распределения температуры по поверхности электрода, которое определяется процессами его бомбардировки заряженными частицами, ускоряемыми в приэлектродном слое плазмы, и теплопередачи. Моделирование теплового баланса электродов газоразрядных ламп высокого давления осуществлялось в ряде работ для электродов различной конструкции в условиях постоянного или переменного разрядного тока. Сравнение тепловых характеристик электродов при разных разрядных режимах, позволяющее выявить особенности их функционирования в разряде переменного тока, не производилось.

В данной работе предложенная в [1] модель переноса тепла в объеме разрядной колбы дуговой лампы переменного тока высокого давления использована для расчета тепловых характеристик спеченного электрода в разряде переменного тока, а также при его функционировании только в катодном и анодном режимах. Проведено сравнение с результатами экспериментальных исследований. Показано, что максимальный нагрев электрода, а следовательно, наибольшие потери эмиссионного вещества с поверхности в результате испарения, происходит в анодном режиме его работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Г.Г., Кристя В.И., Прасицкий В.В., Фишер М.Р. // Наукоемкие технологии, 2002, № 5, с.30.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДА НА ТЕМПЕРАТУРУ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ В КАТОДНОМ ПЯТНЕ НОРМАЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

В.И. Кристя, М.И. Супельняк
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Калуга, Россия

Тлеющий разряд в газе атмосферного давления, представляющий значительный интерес для приложений, при величинах разрядного тока до нескольких ампер стягивается на катоде в пятно достаточно малого радиуса, т.е. горит в нормальном режиме. Происходящее при этом повышение температуры газа у катода в области пятна приводит к локальному снижению его концентрации, уменьшению нормальной плотности разрядного тока и увеличению радиуса пятна. В ряде работ проведен расчет нагрева газа и параметров пятна в предположении, что температура поверхности электрода в пятне известна, т.е. без учета переноса тепла в его объеме. В работе /1/ аналитически решено двумерное стационарное уравнение теплопроводности в объеме электрода и рассчитаны параметры пятна с учетом зависимости температуры его поверхности от характеристик разряда при условии, что радиус пятна мал по сравнению с размерами электрода.

В данной работе найдено решение уравнения теплопроводности в объеме цилиндрического электрода ограниченного размера с катодным пятном разряда на его торце. Получено выражение для температуры поверхности электрода в пятне разряда в виде ряда Фурье-Бесселя и показано, что в предельном случае малого радиуса пятна оно согласуется с соответствующим результатом работы /1/. Численно решена система уравнений, связывающая температуру электрода в катодном пятне с параметрами пятна, и изучена зависимость ее величины от размеров электрода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кристя В.И. // Тезисы докладов XXXIX Международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами // М.: МГУ, 2009, с.144.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БОРИДОВ В СТАЛЯХ

А.С. Помельникова¹⁾, М.Н. Шипко^{2), 3)}, М.А. Степович^{3), 4)}

¹⁾Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²⁾Ивановский государственный энергетический университет
им. В.И. Ленина, Иваново, Россия

³⁾Ивановский филиал Российского государственного торгово-
экономического университета, Иваново, Россия

⁴⁾Калужский государственный педагогический университет
им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия

Методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа, а также рентгенофазовым и ядерным гамма-резонансным методами изучены особенности взаимодействия заряженных ионов бора с поверхностью сталей 45, У10А и 4Х5МФС. Борирование сталей проводилось для создания на их поверхности плотной износостойкой газонепроницаемой пленки, предохраняющей металл от окисления и повышающей прочностные характеристики изделия. Объектами исследования служили фольги толщиной 50-150 мкм с неразрушенным борированным слоем. В результате исследований получены следующие результаты: 1) установлено, что при жидкостном борировании формирование слоев происходит преимущественно по диффузионно-кристаллическому механизму. Важнейшую роль при этом играют вакансии, способствующие появлению дефектных боридных фаз; 2) показана возможность использования кристаллохимического подхода при выборе параметров жидкостного борирования, позволяющего получить упрочненные слои заданной толщины и определенного состава.

Исследования выполнены при финансовой поддержке программы «Научные школы РФ» (проект НШ-65633.2010.8).

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ИК-ДИАПАЗОНЕ ИОННО-МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н.В. Волков, И.В. Олейников, Е.А. Ананьева
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

В настоящей работе представлены результаты изучения отражающей способности поверхности ряда поликристаллических образцов материалов Be, Al, Ti, Fe, Cu, Mo, Zr и W в интервале длин волн 2 – 25 мкм. Целью работы является определение влияния состояния приповерхностных слоев подложек (химический состав, структурно-фазовое состояние, шероховатость поверхности) на коэффициент отражения $R\%$. Перед измерениями поверхность образцов проходила стандартную обработку, заключающуюся в электрополировке и очистке в ультразвуковой ванне с дистиллированной водой. Часть образцов дополнительно очищалась ионным пучком $Ag^+ /1/$ с различными дозами $(1-100) \times 10^{18}$ ион/см².

Известно, что коэффициент отражения R , как правило, зависит от частоты электромагнитной волны $R = f(\omega)$ и в общем виде может быть определен как $/2/$

$$R = \frac{(n-1)^2 + \chi^2}{(n+1)^2 + \chi^2},$$

где n – коэффициент преломления среды, $n = f(\omega)$; χ – коэффициент поглощения среды, $\chi = f(\omega)$. Оптические свойства изучались с помощью спектрофотометров высокого разрешения IR-2000 и Nicollet Nexus (фирма Thermo Electron Corporation). Причем, первичный луч падал перпендикулярно на поверхность, а углы отражения относительно нормали к поверхности соответствовали 1,5 и 22,5 градусов.

Методом ИК-спектроскопии «на отражение» выявлены положения резонансных линий, связанных с наличием адсорбированных молекул типа Me–O, O–H и особенностями состояния поверхности (структурно-фазового и рельефа). При этом в исследованном интервале длин волн наблюдалось хорошее совпадение положения резонансных линий на ионно-очищенных поверхностях материалов, которое свидетельствует о стабилизации их состояний и может быть использовано в дальнейшем для разработки методов контроля их свойств.

Работа выполнена при поддержке Рособразования: грант НК108П5-П282

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Н.В., Калинин Б.А. // Известия вузов. Физика. 2007. № 9. Приложение. С.158.
2. Бутиков Е.И. Оптика. С.-Петербург: Невский Диалект, БХВ-Петербург, 2003, с.480.

МОДИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ Co-Ni РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В.М. Анищик¹⁾, Н.Г. Валько²⁾, Н.И. Поляк¹⁾

¹⁾БГУ, Минск

²⁾Учреждение образования «ГТУ им. Янки Купалы», г. Гродно, Беларусь

В связи с тем, что электроосажденные покрытия Co-Ni широко применяются во многих отраслях промышленности, актуальным является поиск новых методов улучшения их технологических свойств. Воздействие рентгеновского излучения в процессе электрокристаллизации сплавов позволяет интенсифицировать процесс формирования сплава /1/, изменить его структурно-фазовое состояние, а следовательно, и механические свойства.

В работе исследованы микротвердость (Н) и модуль Юнга (Е) сплавов Co-Ni, сформированных под облучением с длиной волны излучения $\lambda=0,71 \text{ \AA}$ на подложках из низкоуглеродистой стали 08кп.

Обнаружено, что величина Н таких покрытий на 11 % выше, чем контрольных (необлученных). Изменение Н обусловлено главным образом уменьшением размера зерен основной фазы сплава, что, в свою очередь, может быть связано с увеличением перенапряжения на катоде и возрастанием скорости электрокристаллизации под облучением. Изостатизация динамических кривых нагружение-разгрузка установлено, что рентгеновское излучение не оказывает влияния на значение Е, которое составляет 92 ГПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анищик В.М., Валько Н.Г., Мороз Н.И. и др. // Материалы международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом», 23-28 сентября 2009, Минск. Минск, 2009. С. 140.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ Zn-Ni, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.М. Анищик¹⁾, Н.Г. Валько²⁾, Н.И. Поляк¹⁾, И.И. Алесчик²⁾

¹⁾БГУ, Минск

²⁾Учреждение образования «ГГУ им. Янки Купалы», г. Гродно, Беларусь

Получение защитных гальванических покрытий при воздействии рентгеновского излучения является эффективным методом модификации их физико-механических свойств, поскольку действие излучения на фазовый переход электролит $\rightarrow$ покрытие приводит к изменению процесса первичной кристаллизации /1/.

Представлены результаты исследования влияния рентгеновского излучения ($\lambda=0,707 \text{ \AA}$) на формирование гальванических покрытий Zn-Ni на стали 08кп из хлораммонийного электролита при плотности катодного тока $j = 1 \text{ А/дм}^2$. При данном режиме электролиза скорость наращивания (h) и выход по току ($ВТ_k$) контрольных (необлученных) покрытий составляют 18 мкм/ч и 96%, соответственно. У облученных образцов h уменьшается на 15%, а $ВТ_k$ увеличивается, практически, до 100%, что свидетельствует о повышенной компактности таких покрытий и плотности по сравнению с контрольными.

Исследования морфологии поверхности и микроанализ облученных образцов показали, что их структура однородная поликристаллическая с равномерным распределением Zn и Ni вдоль линии сканирования.

Результаты механических испытаний показали, что действие рентгеновского излучения в процессе формирования покрытий приводит к упрочнению их поверхностного слоя, при этом величина твердости с глубиной проникновения индентора монотонно убывает до исходного значения, соответствующего твердости контрольных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анищик В.М., Валько Н.Г., Война В.В. и др. // Поверхность, 2010, № 2, с. 66.

ИЗУЧЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛОВ ПОСЛЕ МИКРО И НАНОПОЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РЕЗЕРФОРДОВСКОГО РАССЕЯНИЯ (ROP) ИОНОВ.

А.С. Артёмов¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾, И.Г. Рузавин³⁾,
С.Б. Фарафонов⁴⁾, П.Н. Черных²⁾

¹⁾ ИОФРАН им. Прохорова, Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

³⁾ МИТХТ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴⁾ ИФХМ МИСиС, Москва, Россия

Приводятся обобщённые результаты исследования методом ROP поверхности полупроводниковых кристаллов: Si, Ge, GaAs, InP, InAs, CdS, CdSe, ZnO, CdSb, CdP₂, SiC:6H после полирования АСМ (3/2), (2/1), (1/0), а также нанодетонационными алмазами (НДА) с размером частиц 130, 100, 75-60, 35-25 и 3-5нм в нейтральных, кислых и щелочных средах в сравнении с ХМП SiO₂ – аморфным нанодисперсным кремнезёмом и др. видами ХМП.

По результатам измерения энергических спектров, высоты и площади пиков в их высокоэнергетической области определялась глубина и количество рассеивающих центров, лежащих вне узлов решётки (Nt-эффективная глубина нарушенного слоя), а также интенсивность остоянных частиц в центре тени ($\chi_{\min}$). Установлено:

- 1 - для всех кристаллов кубической, гексагональной и ромбической сингоний с разной кристаллографической ориентацией плоскостей значения Nt и $\chi_{\min}$ закономерно уменьшаются с уменьшением размера алмазных частиц;
- 2 - $\chi_{\min}$ и Nt на кристаллах CdS и др. A²B⁶, A³B⁵ и A²B⁵ зависят от способа обработки (АСМ 3/2, 1/0 или ХМП SiO₂, эпплаз-к, химическое или ионное травление), химического состава и концентрации травителя в коллоидной композиции SiO₂, предварительной обработки и глубины удалённого ХМП слоя, технологических режимов и типа полировальника;
- 3 - Метод чувствителен к структурным ростовым и поверхностным дефектам. Наиболее совершенная поверхность у всех кристаллов образуется при использовании нанометровых аморфных частиц SiO₂ (для Si, Ge и CdS Nt=1,3-1,5, 1,6-2,0 и 1,0-1,5нм, соответственно), а не нанометровых поликристаллических частиц НДА (вплоть до d = 3-5нм). Результаты ROP согласуются с результатами АСМ, ПЭМ, РЭМ и ЭЭЭ.

РЕГИСТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СЕНСОРАМИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР
МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

В.В. Андреев, М.С. Васютин, А.М. Михальков
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калужский филиал,
Калуга, Россия

В работе рассмотрена возможность регистрации нейтронного излучения и α -частиц сенсорами на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП).

При исследовании влияния нейтронного излучения на МДП-структуры, находящиеся в режиме сильнополевой туннельной инжекции, экспериментальные образцы подвергались воздействию излучения ^{238}Pu -Ве источника. Для исследования влияния α -частиц сенсоры на основе МДП-структур подвергались воздействию излучения источника ^{239}Pu . Экспериментальные образцы подробно описаны в [1].

Установлено, что прохождение потока нейтронов через диэлектрическую пленку МДП-структуры вызывает уменьшение напряжения, падающего на структуре в режиме протекания постоянного инжекционного тока. Показано, что МДП-структуры обладают высокой чувствительностью к α -излучению источника ^{239}Pu . Получено, что плотность тока ионизации, обусловленного воздействием α -частиц снижается по мере уменьшения напряженности электрического поля.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы ГК №П470.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андреев В.В., Бедняков А.А., Бондаренко Г.Г., Кузнецов Н.В., Новиков Л.С., Соловьев Г.Г., Столяров А.А., Лоскутов С.А. // Физика и химия обработки материалов, 2001, № 3. С.5-11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАДИАЦИОННОЙ ИОНИЗАЦИИ В СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

А.А. Столяров, Д.В. Андреев, Д.С. Васютин
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калужский филиал,
Калуга, Россия

Настоящая работа посвящена исследованию ионизационных процессов в структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) в сильных электрических полях в условиях туннельной по Фаулеру-Нордгейму инжекции электронов при радиационном облучении.

Экспериментально полученная зависимость ионизационного тока от напряженности электрического тока показала, что характер остоационных и рекомбинационных процессов в диэлектрической пленке в условиях сильнополевой туннельной инжекции существенно не изменяется и в целом описывается зависимостью фрактального выхода от напряженности электрического поля.

Проведенное моделирование показало, что общее количество электронно-дырочных пар, появившихся в диэлектрической пленке, оставляет около $1,4 \cdot 10^{13}$ см⁻². Тогда фрактальный выход носителей в диапазоне электрических полей от $6,5 \cdot 10^5$ В/см до $5 \cdot 10^6$ В/см составлял от 0,07 до 0,177, что соответствовало данным, приведенным в [1]. В условиях же инжекции при сравнительно небольшом увеличении электрического поля до $8,2 \cdot 10^6$ В/см фрактальный выход увеличивался до 0,28.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы ГК №П470.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.В., Бедняков А.А., Бондаренко Г.Г., Кузнецов Н.В., Новиков Л.С., Соловьев Г.Г., Столяров А.А., Лоскутов С.А. // Физика и химия обработки материалов, 2001, № 3. С.5-11.

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХТОНКИХ МАГНИТНЫХ СЛОЕВ КОБАЛЬТА НА КРЕМНИИ

И.И. Пронин, М.В. Гомоюнова, Г.С. Гребенюк
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Взаимодействие атомов кобальта с поверхностью кремния интенсивно исследуется на протяжении последнего десятилетия. Эти работы важны для решения проблемы формирования эпитаксиальных слоев CoSi_2 и создания магнитных гетероструктур Co/Si . При этом одним из главных препятствий является сложность контроля диффузионных процессов, протекающих в области интерфейса, и недостаточная изученность магнитных свойств сверхтонких слоев кобальта. Поэтому необходимо изучить в одинаковых экспериментальных условиях фазовый состав, кристаллическое строение и магнитные свойства пленок, образующихся на поверхности кремния в процессе нанесения кобальта. В настоящей работе такое исследование впервые выполнено для системы $\text{Co/Si}(100)2\times 1$. Эксперименты проводились в условиях сверхвысокого вакуума (1×10^{-10} Торр) с помощью методов электронной спектроскопии, дифракции медленных электронов, визуализации кристаллической структуры поверхности отраженными электронами и фотоэлектронной спектроскопии высокого энергетического разрешения с использованием синхротронного излучения на накопительном кольце BESSY. Магнитные свойства поверхности анализировались *in situ* методом магнитного линейного дихроизма в фотоэмиссии $\text{Co } 3p$ электронов. Показано, что росту металлической пленки кобальта предшествует стадия образования тонкого слоя ($\sim 0,5$ нм) немагнитного раствора кремния в кобальте. Обнаружено, что ферромагнитное упорядочение системы носит пороговый характер и наступает после нанесения 1 нм кобальта. Определена область термической стабильности ферромагнитной фазы, и показано, что она лимитируется процессом силицидообразования. Работа выполнена при поддержке РФФИ и Российско-Германской лаборатории на BESSY.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК GaAs, ОСАЖДЕННЫХ ИМПУЛЬСНОЙ ИОННОЙ АБЛЯЦИЕЙ

А.В. Кабышев, Ф.В. Конусов, Г.Е. Ремнев

НИИ высоких напряжений при ТПУ, г.Томск, Россия

Арсенид галлия, широко применяемый для изготовления приборов солнечной фотоэнергетики и оптоэлектроники, обладает рядом преимуществ по сравнению с другими полупроводниковыми соединениями /1, 2/. Оптические свойства фотоактивных слоев, традиционно создаваемых различными эпитаксиальными и импульсными методами осаждения, исследованы в значительной степени /1-3/. Осаждение пленок GaAs из абляционной плазмы, созданной мощным ионным пучком (МИП), позволяет реализовать высокоскоростное осаждение, регулировать толщину пленок, получать их на значительных площадях и различных подложках /4/. В работе исследованы оптические свойства пленок GaAs, осажденных на кварцевое стекло, поликор и медную фольгу из плазмы, сформированной МИП. Установлено влияние термического отжига в вакууме на характеристики межзонного и экспоненциального поглощения пленок. Оптимальными оптическими свойствами обладают пленки GaAs, осажденные на поликор. Анализ спектров поглощения показал, что пленки представляют сложный сильно дефектный материал с шириной запрещенной зоны 0.2-0.8 эВ для непрямых и 1.6-2.3 эВ для прямых разрешенных переходов, а также краем поглощения, обусловленным экспоненциально распределенными состояниями дефектов при энергии $\epsilon = 1.1-2.0$ и $2.0-3.0$ эВ.

ЛИТЕРАТУРА

4. Бланк Т.В., и др. // ФТП, 2003, Т.37, в.9, С.1025.
5. Власкина С.И, и др. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника, 2005, в.40, С.258.
6. Bruno U., et al // Proc. SPIE, 2004, V.5339, P.365.
7. Лопатин В.С., и др. // ПТЭ, 2004, №4, С. 70.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Стр.

А

Авилкина В.С.	113, 127, 131
Абади Г.	167
Авенданьо М.	115
Адищев Ю.Н.	87
Азаров А.Ю.	118, 119
Азомоза Р.	115
Акишин А.И.	30
Александров В.А.	29, 52, 53
Алексеев В.И.	97
Алентьев А.Ю.	157
Алесчик И.И.	200
Алов Н.В.	155, 190
Альтапова В.Р.	88
Амиров И.И.	120, 155
Ананьева А.А.	101
Ананьева Е.А.	198
Андреев А.А.	142
Андреев В.В.	202
Андреев Д.В.	203
Андреева Е.В.	62
Андрианова Н.Н.	113, 127, 131

Анисимов С.И.	128
Анищик В.М.	145, 199, 200
Арбузов В.Л.	148, 149
Артёмов А.С.	201
Астахов В.П.	144
Асташинская М. В.	164
Асташинский В. М.	163, 165, 168, 169, 170
Афанасьев В. П.	61, 117, 126

Б

Бабаев А. А.	50
Бакаев А.В.	114
Бакланов Д.А.	86, 94
Балакирева В.Б.	150
Балашов В.В.	26
Барайшук С.М.	146, 180
Барат А.А.	130
Барковская М.М.	188
Барна П.Б.	164
Басков В.А.	84
Батраков А.А.	117
Бачурин В.И.	121
Бедулин Б.А.	142
Белкова Ю.А.	45
Бенедиктович А.И.	71

Беспалова О.В.	184
Бетц Г.	111
Бибик Н.В.	165
Биржевой Г.А.	182
Блажевич С.В.	81, 82, 83
Бледнов А.В.	141
Блинов В.И.	177
Блинов Ю.Ф.	49
Бобрович О.Г.	178
Богданов М.Р.	66
Богданов О.В.	88, 101
Богданов Р.И.	66
Божко И.А.	143
Бойко В.В.	89
Бойцова О.В.	142
Болотов В.В.	158
Борисов А. М.	113, 127, 131, 184, 185, 186
Бурлаков Р.Б.	176
Бурова Л.И.	141

В

Валько Н.Г.	199, 200
Вагнер А.Р.	27, 87
Васильев А.Э.	181
Васьковский И.К.	76

Васютин Д.С.	203
Васютин М.С.	202
Веденяпин С.А.	144
Верес О.Г.	178
Вернигоров К.Б.	157
Вершинин Г. А.	143
Виноградов А.Я.	124
Виргильев Ю.С.	113, 127, 131
Внуков И.Е.	86, 94
Волков Н.В.	116, 159, 198
Воробьёв В.Ф.	194
Востриков В. Г.	154, 184, 185, 186
Вохмянина К.А.	98
Высоцкий В.И.	34, 35, 36, 77, 99
Высоцкий М.В.	34, 77
Выходец В.Б.	150, 161, 162

Г

Гоголев А.С.	27, 72, 87
Гаврилова Т.А.	158
Гомоюнова М.В.	204
Горбунова О.А.	31
Головач Г.П.	36, 99
Горелов В.П.	150
Горячев В.Г.	151

Горлачев Е.С.	120
Гребенюк Г.С.	204
Грекова Т.С.	143
Гришин В.К.	95
Гудым В.К.	62
Гэри Ч.К.	76

Д

Давлеткильдеев Н.А.	176
Данелян Л.С.	153, 154
Данилюк М.А.	187
Дворяшин А.М.	182
Диденко П.И.	138
Дмитриев И.С.	46
Дмитриевский А.А.	132
Дорошевич И.Л.	169, 170

Е

Евдокимов А.А.	88
Егоров А.М.	107
Егоров В.К.	54, 192
Егоров Е.В.	54, 192
Енишерлова К.Л.	151
Ермаков Ю.А.	142, 179
Ермоленко А.А.	123
Ефременко Д.С.	61

Ефремов А.А. 138

Ефремова Н.Ю. 133

Ж

Жандармов Ю.В. 86, 94

Жилко Л.В. 166

Жиляков Л.А. 60

Жукова П.Н. 31, 96, 97, 98

Жукова С.И. 145

Журкин Е.Е. 114

З

Забасев В.Н. 72

Заставной А.В. 144

Затёкин В.В. 141, 151, 152, 153, 154

Зимин С.П. 120

Злоцкий С.В. 167, 189

Зыонг Ж. Т. 86, 94

Зырянов С.С. 156

И

Иванов А.М. 181

Иванов Ю.Ф. 171, 172, 174

Иванова С.В. 184

Израилева Л.К. 160

Иррибарра Э. 97

Исаханов З.А. 136

Ито Г. 146

Й

Йулдашев Х.Т. 132

К

Кабышев А.В. 205

Кадменский А.Г. 67, 191

Казаков А.В. 28

Каплин В.В. 76, 93

Карабешкин К.В. 124

Карабовский М.В. 163

Карасёв Н.Н. 124

Карасёв П.А. 118, 119, 124

Касперович А.В. 178

Катаев А.Ю. 119

Кашкаров Л.Л. 192

Квасницкий В.Ф. 168

Квасницкий В.В. 168

Квасов Н. Т. 169, 170, 171

Ким В.В. 84

Кириллин И.В. 33

Климов А.С. 193

Князев Е.В. 158, 185

Ковалев Г.В. 59

Коваль Н.Н. 171, 172, 174

Ковивчак В.С.	158, 175, 176, 177
Козаков А.О.	137
Козлов А.В.	55
Козловский В.В.	181
Койдан В.С.	154
Колесников О.Н.	121
Коломиец Т.Ю.	41
Комаров Ф.Ф.	183
Конусов Ф.В.	205
Коренков В.В.	133
Корепанов А.А.	158
Корнилова А.А.	35
Корнич Вал. Г.	111
Корнич Г.В.	111, 123
Король В.М.	144
Коротченко К.Б.	73, 106, 107
Корусенко П.М.	158
Коршунов С.Н.	153
Костановский И.А.	126
Кошечев В.П.	63, 64, 65
Косырев П.А.	133
Кристя В.И.	195, 196
Крит Б.Л.	185
Кружалов А.В.	156

Кубанкин А.С.	97
Кудрявцев Ю.А	115, 138
Кузьмин С.М.	186
Кузьмицкий А.М.	163, 165, 168
Кулешов А.К.	164, 172
Куликаускас В.С.	113, 127, 141, 146, 147, 151-154, 186, 201
Кунашенко Ю.П.	56, 58, 73
Куприянов И.Н.	152
Куренных Т.Е.	150, 161, 162
Курзина И.А.	143
Куцко Д.М.	190
Кучеев С.О.	118
Кушшаев Х.	136

Л

Ладных М.С.	96, 97
Лактионова С.А.	86, 94
Латушкин С.Т.	154
Лебедев А.А.	181
Левшунова В.Л.	40, 41
Леонов А.В.	71
Лобко А.С.	71, 91
Ловцов А.Р.	133
Лубенченко А.В.	61, 117
Лысова Г.В.	182

Лысова И.В. 29, 52

Лютцау А.В. 151

М

Мавлянов Б.Б 134

Макаревич А.М. 141

Максюта Н.В. 36, 37, 99

Малышевский В.С. 28, 48

Манкевич А.С. 141

Мансурова А.Н. 153

Манухин В.В. 130

Маркелов А.С. 141

Машкова Е.С. 113, 127, 131

Мильчанин О.В. 183

Мирончик А.И 39, 41

Мирошник В.С. 105

Михайлов К.А. 175

Михалкович О.М. 179

Михальков А.М. 202

Михеев Н.Н. 43, 44

Мищук А.А. 163

Мкртчян А.Г. 31, 96

Мкртчян А.Р. 31, 96

Моргун Д.А. 63, 64, 65

Музафаров А.М. 157

Мухибов А. 125

Н

Нажмуудинов Р.М. 97

Нагайченко В.И. 105

Насонов Н.Н. 31, 96, 97, 98

Науменко Г.А. 78

Наумов В.В. 121

Несов С.Н. 158

Нешов Ф.Г. 156

Николаев В.Л. 76

Новиков Н.В. 42

Новиков Л.С. 157

Нормурадов М.Т. 132

О

Олейников И.В. 198

П

Пайструп М.А. 76

Пальянов Ю.Н. 152

Панасюк М.И. 25

Панина Т.А. 63

Панова Т.В. 175, 176, 177

Панькин Н.А. 122

Парфенюк В.И. 186

Патракеев А.С. 142

Першин А.А.	48
Петров В.Б.	154
Петров С.А.	54
Петухов Ю. А.	168, 170, 171
Пивоваров Ю. Л.	50, 56, 73, 88, 101, 106, 107
Питиримова Е.А.	127, 128
Пилько В.В.1	183
Пилько В.В.2	183
Подсвиров О.А.	32, 124
Поло И.	164
Поляк Н.И.	199, 200
Полухина Н.Г.	192
Помельникова А.С.	197
Попов В.П.	47, 152
Попов Ю.А.	27, 78
Потылицын А.П.	27, 72, 78, 87
Похил Г.П.	38, 39, 40, 41, 152
Прасицкий В.В.	195
Пронин И.И.	204
Пронкин А.А.	60
Пунько А.В.	169, 170

Р

Разин С.В.	72
Рамирес Г.	115

Распопова Г.А.	148, 149
Рева О.В.	167
Ремнев Г.Е.	205
Романовский Е.А.	184, 185, 186
Росликов В.Е.	158
Рузавин И.Г.	201
Рузибаева М.К.	136
Руманов Э.Н.	160
Русак Т.Ф.	151
Русальский Д.П.	166
Рябухин О.В.	156
Рязанов А.И.	154

С

Сабиров А.С.	29, 51, 52, 53
Саврук Е.В.	193
Самойлов В.Н.	135
Самсонов А.М.	52
Самцов М.П.	164
Сафронов В.В.	44
Семашко А.В.	185
Серба П.В.	49
Сергиенко В.И.	84, 97
Серков М.В.	184, 185, 186
Силенко А.Я.	68

Силкин С.В.	186
Симакин С.Г.	121
Скадоров В.В.	91
Скуратов В.А.	145, 187
Смоланов Н.А.	122
Смирнов А.С.	124
Солдатенко Е.А.	172
Солнцев М.А.	146
Стенькин Ю.А.	158
Степанов А.В.	52, 92
Степанов С.Е.	102
Степович М.А.	43, 194, 197
Столяров В.В.	203
Строкан Н.Б.	181
Субботин А.В.	97
Суминов И.В.	185
Сухих Г.Л.	78
Султанов Г.Ш.	134
Супельняк М.И.	196
Сысоев Н.Н.	35
Сыщенко В.В.	74, 75, 100

Т

Тарасюк Н.С.	173
Тай А.В.	195

Тарновский А.И.	100
Ташатов А.К.	125
Ташлыков И.С.	178, 179, 180
Ташлыкова-Бушкевич И.И.	146, 147
Ташмухамедова Д.А.	132, 134
Тересов А.Д.	171, 174
Теплова Я.А	45, 46
Тетельбаум Д.И.	40, 41
Тимченко Н.А.	72
Титов А.И.	118, 119, 124
Ткаченко Н.В.	184, 185
Толмачёв А.И.	129
Томак В.И.	35
Трутенъ В.И.	33, 89
Тульев В.В.	180
Туляков Н.Ю.	135
Туровец А.И.	179
Тухфатуллин Т.А.	73
Тысченко И.Е.	47
Тютюнник Д. Н.	90

У

Углов В. В.	163-174, 187, 188, 189
Углов С.Р.	72, 76, 93
Умирзаков Б.Е.	125, 134

Унежев В.Н. 154

Ф

Фарафонов С.Б. 201

Феранчук И.Д. 71

Фикс Е.И. 109

Филиппов Г.М. 29, 52, 53, 80

Фишман А.Я. 161

Фомин Г.В. 48

Фомин А.С. 85

Фомин С.П. 79

Х

Хабло В.А. 84

Халиков Ю.Д. 132

Ходасевич В.В. 188

Холмухамедова В.Х. 125

Хрипунов Б.И. 154

Ч

Чахлов Г.Л. 87

Чердынцев В.В. 38

Черенда Н.Н. 165, 168, 174

Черкасский В.А. 55

Черник В.Н. 157

Черных П.Н. 142, 201

Черныш В.С.	142, 179
Чеченин Н.Г.	142, 191
Чибирай М.С.	169, 170

Ц

Цидильковский В.И.	150
---------------------------	-----

Ш

Шарифулин К.О.	177
Шаркеев Ю.П.	142
Шаронов В.Г.	54
Шатохин Р.А.	86, 94
Шашок А.В.	187
Шевелёв М.В.	78
Шелягин Р.В.	158
Шемухин А.А.	142
Шепелевич В.Г.	148
Шикагава Т.	146
Шиманский В.И.	174
Шипилин М.А.	121
Шипко М.Н.	194, 197
Широкова Е.В.	43
Штанов Ю.Н.	63, 64, 65
Шуклинов А.В.	132
Шульга Н.Ф.	33, 55, 74, 75, 79, 85, 89, 90, 100
Шульга В.И.	112

Щ

Щагин А.В. 103, 104, 105

Э

Эпельфельд А.В. 185

A

Ananyeva A. 57

Attallah F. 57

E

Eliseev S. 57

G

Geissel H. 57

H

Hausmann M. 57

Hellström M. 57

K

Kaza E. 57

L

Litvinov Yu. 57

M

Maier M. 57

Matos M. 57

N

Nankov N. 57

O

Othsubo T. 57

P

Pivovarov Yu. 57

S

Scheidenberger C. 57

Shishkin V. 57

W

Weick H. 57

Winkler M. 57

Z

Zhou Z. 57

Тезисы докладов XL международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами

Под общей редакцией проф. А.Ф.Тулинова

Редколлегия: В.С.Куликаускас, Г.П.Похил., Е.С.Машкова,
В.С. Черныш, Ю.А. Ермаков

Редактор К.И. Стратилатова