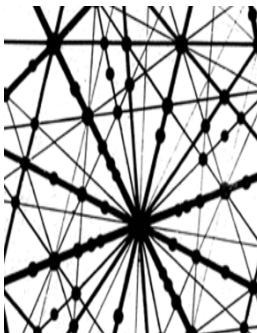


*Конференция посвящается
120-летию со дня рождения
выдающегося советского учёного
Дмитрия Владимировича Скобельцына*

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

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

(Москва 29 мая – 31 мая 2012)



Москва 2012

УДК 539.1.01.08

ББК 22.37.

T29

Под общей редакцией проф. М.И. Панасюка
Редколлегия: Ю.А. Ермаков, В.С. Куликаускас, Е.С. Машкова,
Г.П. Похил, В.С. Черныш, Н.Г. Чеченин

T29 Тезисы докладов XLII международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами / Под ред. проф. М.И. Панасюка. – М.: Университетская книга, 2012. – 221 с.

Сборник содержит тезисы докладов, отобранные оргкомитетом для представления на конференции.

I
Секция I

ФИЗИКА ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

29 мая, вторник, 10³⁰ – 12⁰⁰

1 утреннее заседание

Председатель М.И. Панасюк

Вступительное слово – профессор **М.И. Панасюк**

1. **Н.Г. Чеченин.** Синтез и свойства полимерных компози- тов с углеродными нанотрубками. (30 мин) 3
2. **В.И. Высоцкий, А.А. Корнилова, В.С. Черныш.** Осо- бенности ядерного синтеза при взаимодействии уско- ренных линейных молекулярных ионов (D-...-D)⁺ с по- верхностью мишеней. (15 мин) 4
3. **Г.П. Похил, В.В. Чердынцев.** Модель динамики про- хождения ионов через диэлектрические капилляры. (15 мин) 5

12⁰⁰ – 12³⁰ обсуждение стендовых докладов

29 мая, вторник, 12³⁰ – 14⁰⁰

II утреннее заседание

Председатель Г.П. Похил

1. **Ю.П. Кунашенко.** Когерентное тормозное излучение нейтронов. (15 мин) 6
2. **А.В. Казаков, В.С. Мальшевский, П.В. Серба.** Рас- сеяние нейтральных атомов кристаллической поверхно- стью. (15 мин) 7
3. **Н.Ф. Шульга, С.В. Трофименко.** Об эффекте плотно- сти в ионизационных потерях энергии высокоэнергети- ческих частиц в тонких слоях вещества. (15 мин) 8
4. **В.В. Козловский, В.А. Козлов.** Использование пика упругих (ядерных) потерь энергии протонов в кремнии для локального введения радиационных дефектов. (15 мин) 9
5. **И.П. Чернов, А.С. Русецкий, Д.Н. Краснов, В.М. Силкин, Т.И. Сигфуссон, Ю.И. Тюрин.** «Холодный ядерный синтез» - миф или реальность. (15 мин) 10

14⁰⁰ – 15⁰⁰ перерыв на обед

Стендовые доклады

1. **А.Я. Силенко.** Эволюция поляризации мюония и позитрония в намагниченном веществе. 11
2. **К.А. Вохмянина, П.Н. Жукова, Э.Ф. Иррибарра, А.С. Кубанкин, Ле Тхи Хоай, Р.М. Нажмудинов, Н.Н. Насонов, Г.П. Похил.** Исследования бесконтактного прохождения электронов через диэлектрические каналы. 12
3. **А.Н. Амрастанов, С.А. Гинзгеймер, М.А. Степович.** Об одной возможности моделирования процесса диффузии неосновных носителей заряда, генерированных электронным зондом в полупроводниковом материале. 13
4. **Т.А. Куприянова, Л.Р. Миникаев, Р.Р. Тангишев, М.А. Степович, М.Н. Филиппов.** Моделирование пробега киловольтных электронов в диэлектрической мишени в условиях накопления объемного заряда. 14
5. **Ю.А. Белкова, Я.А. Теплова.** Трехкомпонентное приближение при оценке неравновесных зарядовых фракций ионов бора и азота при прохождении через тонкие пленки. 15
6. **Р.И. Богданов, М.Р. Богданов.** Аддитивные шумы в слабо-диссипативной теории Колмогорова-Арнольда-Мозера. 16
7. **В.А. Басков, В.В. Ким, Б.И. Лучков, В.Ю. Тугаенко, В.А. Хабло.** Множественность заряженных частиц в ливнях от электронов 26 ГэВ в зависимости от толщины ориентированных кристаллов вольфрама. 17
8. **В.Л. Левшунова, Г.П. Похил, Д.И. Тетельбаум.** Эффект волновода для гиперзвука вблизи линейной дислокации-2. 18
9. **Г.П. Похил.** Скорость звука в растянутой среде. 19
10. **С.Н. Нагорных, В.И. Павленков.** Применение бифуркаций в исследовании поверхностных стохастических процессов. 20
11. **В.П. Кощеев, Д.А. Моргун, Ю.Н. Штанов, А.С. Фокин.** Моделирование процесса отклонения π^- мезонов с энергией 150 ГэВ кристаллом кремния. 21

12. **Н.А. Евтеева, Г.В. Гаранин, Н.С. Пушилина, А.М. Лидер.** Моделирование диффузии водорода сквозь тонкие пленки. 22
13. **О.В. Богданов, Ю.Л. Пивоваров, Е. И. Фикс.** О влиянии торможения релятивистских тяжелых ионов в радиаторе на угловые распределения черенковского излучения. 23
14. **А.М. Самсонов, Г.М. Филиппов.** Исследование агрегатных состояний водорода в процессе заполнения УНТ. 24
15. **А.В. Степанов, Г.М. Филиппов.** Моделирование взаимодействия потока молекул водорода с углеродной нанотрубкой методами молекулярной динамики с применением модифицированного потенциала REBO. 25
16. **В.А. Александров, Г.М. Филиппов.** Особенности элементарных возбуждений электронной подсистемы УНТ и ее влияние на торможение частиц. 26
17. **В.А. Александров, Г.М. Филиппов.** Оценка поляризационных сил для заряда в УНТ посредством решения нестационарного уравнения Шредингера. 27
18. **В.А. Александров, Ф.Н. Михайлов.** Оптимизация параметров при сборке линейно-цепочечного углерода методом молекулярной динамики. 28
19. **А.С. Сабиров.** Исследование влияния поляризационных полей на каналирование заряженных частиц в нанотрубках в рамках диэлектрического подхода. 29
20. **В.Г. Стельмах, И.Д. Ядгаров, А.М. Расулов, А.А. Джурахалов.** Моделирование малоатомных кластеров серебра Ag_n ($n=2..10$). 30
21. **Д. В. Широкопад, Г.В. Корнич.** Нейросетевой метод восстановления профиля концентрации примеси при ионном послойном анализе. 31
22. **В.И. Высоцкий, М.В. Высоцкий.** Особенности формирования и специфика проявления когерентных коррелированных состояний каналируемых частиц при демпфировании и флуктуациях в канале. 32

23. **Н.В. Максютя, Г.П. Головач.** Описание процессов деканализирования и реканализирования заряженных частиц в кристаллах с помощью нестационарного уравнения Шредингера в дробных производных переменного порядка. 33
24. **Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий.** О возможности проявления экранирования и возникновения кильватерного потенциала при канализировании релятивистских электронов в заряженных плоскостях ионных кристаллов. 34
25. **И.В. Кириллин, Н.Ф. Шульга, В.И. Трутень.** О механизмах отклонения заряженных частиц изогнутыми кристаллами в ТэВ-ной области энергий. 35
26. **Г.П. Васильев, В.К. Волошин, А.С. Деев, С.К. Киприч, Н.И. Маслов, С.В. Наумов, В.Д. Овчинник, С.М. Потин, М.Ю. Шулика, В.И. Яловенко.** Экспериментальные образцы детектирующих систем. 36
27. **G.V. Kovalev.** Volume reflection of relativistic particles in a bent crystal with external magnetic field. 37
28. **F.M. Ali, S.E. Abo-Neima, A.A. Sakr, F. el-Akad, A.M. el-Khatib, H.A. Motaweh.** Effects of fast neutrons and gamma radiation on some biophysical properties of red blood cells membrane of albino rats (in vivo study). 38
29. **В.Я. Чуманов, А.Г. Кадменский, Н.Г. Чеченин.** Ионизационные эффекты тяжелой компоненты космического излучения в защищенных микросхемах. 39

Секция II**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ТВЁРДОМ ТЕЛЕ**29 мая, вторник, 15⁰⁰ – 16³⁰I вечернее заседаниеПредседатель В.И. Высоцкий

1. **Н.Ф. Шульга, В.В. Сыщенко, В.С. Нерябова.** Спектральный метод в теории аксиального каналирования. (15 мин) 43
2. **В.И. Алексеев, Э.Ф. Иррибарра, А.С. Кубанкин, Р.М. Нажмудинов, Н.Н. Насонов, В.В. Полянский, В.И. Сергиенко.** Диагностика поликристаллов на основе поляризационного тормозного излучения релятивистских электронов. (15 мин) 44
3. **В.К. Гришин, Д.П. Никитин.** Поляризационное излучение и диагностика атомных объектов, скрытых в эндоздральных соединениях. (15 мин) 45
4. **В.П. Афанасьев, Д.С. Ефременко, Д.А. Иванов, П.С. Капля, А.В. Лубенченко.** Влияние процессов многократного упругого рассеяния на угловые распределения рентгеновских фотоэлектронов. (15 мин) 46
5. **К.В. Korotchenko, Yu.L. Pivovarov, Yu. Takabayashi, T.A. Tukhfatullin.** Quantum effect for PXR at channeling. (15 мин) 47

*16³⁰ – 17⁰⁰ обсуждение стендовых докладов*31 мая, вторник, 17⁰⁰ – 18⁴⁵II вечернее заседаниеПредседатель Н.Ф. Шульга

1. **D.A. Shkitov, G.A. Naumenko, M.V. Shevelev, A.P. Potylitsyn, H. Deng, X. Wang.** Application of the diffraction radiation interferogram obtained after the interaction of an electron beam with a slit target. (15 мин) 48

2. **А.С. Сабиров, Г.М. Филиппов.** Движение электрона в системе квантовых точек во внешнем поле. (15 мин) 49
3. **Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, Г.П. Головач, С.В. Ефименко.** Численный анализ спектральной плотности квазихарактеристического излучения при каналировании релятивистских электронов в кристаллах со структурой цинковой обманки. (15 мин) 50
4. **Н.И. Маслов.** О возможности генерации интенсивных пучков когерентного тормозного излучения. (15 мин) 51
5. **M.S. Badawi, S.S. Nafee, S.M. Diab, A.M. el-Khatib, and E.A. el-Mallah.** Calculate the efficiency of gamma-ray detectors for inverted well beaker sources using an analytical efficiency transfer principle. (15 мин) 52
6. **В.П. Петухов.** Дифракция рентгеновских фотонов, излучаемых ионами в процессе резонансного когерентного возбуждения под малыми углами к поверхности, на кристалле мишени. (15 мин) 53

Стендовые доклады

1. **M.S. Badawi, M.M. Gouda, A.M. el-Khatib, S.S. Nafee, and E.A. el-Mallah.** New analytical approach to calibrate cylindrical hpge detector including corrections for self attenuation of large cylindrical sources and attenuation of all detector housing materials. 54
2. **M.S. Badawi, A.M. el-Khatib, M.A. Elzاهر, A.A. Thabet, and A.A. Sakr.** Calculation of full energy peak efficiency of gamma detectors using an analytical efficiency transfer principle. 55
3. **H.A. Motaweh, A. A. Sakr, and T.G. Abdelmalik.** Effect of x-ray irradiation energy on optical , mechanical and dielectric properties of polyaniline polymethylmethacrylate blend. 56
4. **А.С. Лобко, О.В. Мисевич, А.А. Федоров.** Детектирование интенсивных потоков мягкого рентгеновского излучения пластическими сцинтилляторами. 57

5. **С.В. Блажевич, Ю.П. Гладких, А.В. Носков.** Эффект Бормана в дифрагированном переходном излучении релятивистского электрона, пересекающего периодическую слоистую мишень. 58
6. **С.В. Блажевич, Ю.П. Гладких, А.В. Носков.** Когерентное рентгеновское излучение, возбуждаемое релятивистским электроном в периодической слоистой структуре в геометрии рассеяния Брэгга. 59
7. **С.В. Блажевич, Ю.П. Гладких, А.В. Носков.** Когерентное рентгеновское излучение вблизи направления скорости релятивистского электрона, пересекающего периодическую слоистую структуру. 60
8. **П.Н. Жукова, Ле Тхи Хоай, Н.Н. Насонов.** Определение местоположения атома в элементарной ячейке кристалла. 61
9. **О.А. Горбунова, П.Н. Жукова, В.А. Насонова.** Подавление эффекта плотности в параметрическом рентгеновском излучении. 62
10. **O.V. Bogdanov, Yu.L. Pivovarov, Y. Takabayashi, T.A. Tukhfatullin.** Doughnut scattering of 255 MeV electrons at $\langle 100 \rangle$ channeling in silicon crystal. 63
11. **С.В. Абдрашитов, О.В. Богданов, Ю.Л. Пивоваров, Т.А. Тухфатуллин.** Рассеяние и излучение релятивистских электронов и позитронов при плоскостном каналировании в кристалле кремния. 64
12. **O.V. Bogdanov, S.B. Dabagov.** On the kinetics and radiation of planar channeled electrons in thick crystals. 65
13. **Ю.П. Кунашенко, Ю.В. Шпет.** КТИ релятивистских позитронов, движущихся в режиме плоскостного каналирования. 66
14. **А.В. Щагин.** Параметрическое рентгеновское излучение релятивистских заряженных частиц из прямого и изогнутого кристалла. 67
15. **Г.Л. Бочек, А.С. Деев, Н.И. Маслов.** Восстановление рентгеновских спектров излучения: измерения ХРИ и фильтр Росса. 68

16. **Д.А. Бакланов, А.О. Винаков, И.Е. Внуков, В.С. Иванов, С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин.** Анализ трехкристальной схемы генерации монохроматического излучения для медицинских применений. 69
17. **Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Е.А. Дворецкая, С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин.** Влияние размеров микроблоков на процесс когерентного рождения электронно-позитронных пар в кристаллах. 70

Секция III

РАССЕЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

30 мая, среда, 10⁰⁰ - 11³⁰

I утреннее заседание

Председатель В.С. Черныш

1. **А.А. Ермоленко, Г.В. Корнич, А.И. Бажин, С.В. Чертопалов.** Молекулярно-динамическое моделирование взаимодействия атомов металлов с поверхностью фуллерита. (15 мин) 73
2. **П.Ю. Григорьев, Е.Е. Журкин.** Моделирование распыления нанокластеров кремния диаметром (1-4)нм при бомбардировке одноатомными и кластерными ионами методом классической молекулярной динамики. (15мин) 74
3. **Ю.А. Кудрявцев, Р. Азомоза, В.И. Король.** Распыление поверхности ионами цезия: экспериментальное определение концентрации внедренного цезия. (15 мин) 75
4. **Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Ю.С. Виргильев, Е.С. Машкова, Д.В. Петров, Е.А. Питиримова.** Ионно-лучевое модифицирование структуры и морфологии стеклоуглерода (15 мин) 76

5. **Н.В. Новиков, Я.А. Теплова.** Ширина равновесного зарядового распределения тяжелых ионов в твердой и газообразной средах. 77
Н.В. Новиков, Я.А. Теплова. Ю.А. Файнберг. Зарядовое распределение ионов азота, отраженных от медной и графитовой поверхности (объединенный доклад, 15 мин). 78
6. **И.В. Лысова, А.В. Степанов.** Роль структурных дефектов при каналировании частиц в углеродных нанотрубках (15 мин). 79

11³⁰ – 12¹⁵ обсуждение стендовых докладов

30 мая, среда, 12¹⁵ – 14⁰⁰

II утреннее заседание

Председатель А.М. Борисов

1. **В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, К.А. Михайлов.** Особенности формирования морфологии поверхности медных сплавов, облученных мощным ионным пучком. 80
Т.В. Панова, В.С. Ковивчак, Г.И. Геринг, Д.О. Доронин. Распределение микроструктуры в зоне модифицирования мощным ионным пучком металлов и сплавов. (объединенный доклад, 20 мин) 81
2. **С.Н. Шиобреева, В.И. Зиненко, В.В. Сарайкин, Л.Л. Кашкаров, Ю.А. Агафонов, В.С. Бронский.** Экспериментальное моделирование модификации силикатов под воздействием ионизирующего излучения. (15 мин) 82
3. **К.В. Карабешкин, П.А. Карасёв, А.И. Титов.** Молекулярный эффект в кремнии при облучении ионами Р и РF₄ различных энергий. (15 мин) 83
4. **В.Ю. Китов, Э.С. Парилис.** Ориентационные эффекты в эмиссии оже-электронов из монокристаллов под действием атомарных и молекулярных ионов. (15 мин) 84
5. **А.Ю. Дидык, Р. Вишневский, В.С. Куликаускас.** Пороговый характер накопления ионов дейтерия в

палладии при высокодозной имплантации. 85

А.Ю. Дидык, Р. Вишневский, В.С. Куликаускас. Поведение дейтерия, имплантированного в Zr, Ti и Al₂O₃, после высокодозной имплантации при длительном хранении (объединенный доклад, 20 мин). 86

6. **З.А. Исаханов, Б.Э. Умирзаков, З.Э. Мухтаров, У.Н. Раззоков.** Температурные зависимости работы выхода вторичных ионов с поверхностей Мо имплантированных ионами Ba⁺ и Cs⁺ (15 мин). 87

14⁰⁰ – 15⁰⁰ перерыв на обед

Стендовые доклады

1. **Е.А. Питиримова, Ю.А. Данилов.** Влияние имплантации ионов Ag⁺ на свойства пленок хрома. 88
2. **А.В. Бакаев, П.Ю. Григорьев, Е.Е. Журкин, Д.А. Терентьев.** Молекулярно-динамическое моделирование взаимодействия дислокаций с радиационными дефектами в аустенитных сплавах Fe-Ni-Cr. 89
3. **С.Ж. Ниматов, Т. Юсупов.** Изучение методом ДЭНЭ силицидообразования на поверхности Si(111) при низкоэнергетической ионной бомбардировке. 90
4. **В.И. Кристя, Йе Наинг Тун.** Влияние неоднородности ионного потока на эффективный коэффициент распыления мишени с поверхностным рельефом в тлеющем разряде. 91
5. **П.И. Диденко.** Исследование минералов методом вторично-ионной масс-спектрометрии. 92
6. **А.А. Абдувайитов.** Исследование состава неконтролируемых примесей, их химических состояний и профиля распределения на границе раздела полупроводник-металл методами ЭОС и ВИМС. 93
7. **В.В. Андреев, Г.Г. Бондаренко, М.С. Васюгин, В.Г. Дмитриев, А.В. Романов.** Исследование изменения зарядового состояния МДП-приборов при электронном облучении. 94
8. **А.А. Вириус, Т.П. Каминская, М.Н. Шипко, М.А. Степович.** Локальный анализ состава и структуры прецизионных сплавов системы Fe-Si-Al, подвергнутых магнитоимпульсной обработке. 95

9. **А.А. Абдувайитов, М.К Рузубаева.** Исследование состава примесных элементов в TiN и ZrNb, методом ЭОС. 96
10. **А.А. Столяров, Д.В. Андреев, И.В. Соловьев.** Исследование ионизирующих излучений с использованием полупроводниковых приборов на основе МДП-структур. 97
11. **Н.В. Алов.** Эффект металлизации поверхности оксидов при ионном облучении. 98
12. **В.Н. Кудияров, А.М. Лидер, Н.С. Пушилина.** Исследование перераспределения водорода в титане под действием рентгеновского излучения методом спектроскопии плазмы тлеющего разряда. 99
13. **М.Т. Нормурадов, Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова, Д.М. Мурадкбиллов, Н.А. Курбанов.** Влияние дозы облучения ионов Со на размеры нанокристаллов СоSi₂, созданных на поверхности Si. 100
14. **Ю.Г. Коробова, Д.И. Бажанов.** Ab initio исследование формирования структурных изгибов углеродных цепочек. 101
15. **Г.В. Корнич, Г. Бегц, В.И. Шульга.** Механизмы фокусировки при распылении кластеров меди на поверхности графита. 102
16. **И.В. Лысова, А.Н. Михайлов.** Распределение по энергиям молекулярных образований при каналировании в УНТ. 103
17. **Г.А. Вершинин, К.Н. Полещенко, Г.И. Геринг, Е.Е. Тарасов, П.П. Кокухин.** Формирование коррозионно-стойких композиций в поверхностных слоях твердых сплавов при комбинированной ионно-лучевой обработке. 104
18. **А.А. Абдувайитов, М.К. Рузубаева.** Сравнительный изучение эмиссии Оже-электронов с поверхности цветных металлов при бомбардировке пучком ионов и электронов. 105
19. **Б.Г. Атабаев, В.Н. Гириянский, А.П. Коварский, Д.Ю. Казанцев, Д.А. Николаев.** Влияние ростовых дивакансий на кластерное распыление галлия при бомбардировке GaN ионами цезия. 106

20. **Б.Г. Атабаев, А.А. Лебедев, И.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, В.Н. Гирянский, Б. Зияев.** Исследование вторично-ионной эмиссии примесей GaN/SiC в зависимости от температуры отжига. 107
21. **Б.Г. Атабаев, В.Г. Бекетов, Р. Джаббарганов, В.Н. Гирянский Ф.Р. Юзикаева, А. Урунов.** Энергетическая зависимость вторично-ионной эмиссии кластеров GaN/SiC при бомбардировке ионами цезия. 108
22. **В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, Х.Х. Кадыров, И.Х. Худойкулов.** К вопросу об эмиссии электронов в катодном пятне вакуумного дугового разряда. 109
23. **А.Н. Пустовит.** Глубина выхода распыленных частиц при наклонном угле падения первичного пучка. 110
24. **А.Ю. Дидык, Р. Вишневский, В.С. Куликаускас.** Распределение дейтерия и водорода в многослойных структурах из Nb-фольг и ВТСП-пленках после воздействия импульсной высокотемпературной D⁺-плазмы. 111
25. **С.Ж. Ниматов, Д.С. Руми.** Исследование дозовой зависимости степени аморфизации поверхности Si(111) при бомбардировке низкоэнергетическими ионами Na⁺. 112
26. **Н.Х. Джемилев, С.В. Верхотуров, В.В. Соломко, С.Е. Максимов.** Спектры кинетических энергий распада и стабильность ниобий-углеродных кластеров, распыленных с поверхности карбида ниобия ионами ксенона. 113
27. **Б.Г. Атабаев, В.Н. Гирянский, М.А. Пермухамедова, А.П. Коварский, Д.Ю. Казанцев, Д.А. Николаев.** Влияние стабильности и ионизации кластеров на молекулярное распыление GaN. 114
28. **M.W. Ullah, A. Kuronen, F. Djurabekova, K. Nordlund, A.I. Titov, P.A. Karaseov.** Atomistic simulation of molecular ion irradiation of GaN. 115
29. **А.И. Толмачёв.** Аналитические выражения для тормозной способности вещества в теории отражения заряженных частиц. 116
30. **Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Ю.С. Виргильев, Е.С. Машкова, В.С. Севостьянова, В.И. Шульга.** Влияние температуры на физическое распыление высокоориентированного пиролитического графита. 117

31. **Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, В.В. Борисов, Ю.С. Виргильев, Е.С. Машкова, В.С. Севостьянова, М.А. Тимофеев.** Влияние ионной бомбардировки на автоэлектронную эмиссию углеродных материалов. 118
32. **Н.В. Носов, В.Н. Самойлов.** О взаимосвязи сильно заблокированных и перефокусированных атомов при эмиссии с поверхности граней (001) Ni и (001) Au. 119
33. **В.Н. Самойлов, Н.В. Носов.** Эффект перефокусировки по азимутальному углу при эмиссии атомов с поверхности граней (001) Ni и (001) Au. 120
34. **Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, У.Б. Шаропов, М.К. Курбанов, К.У. Назаркулова.** Кинетика точечных дефектов и их агрегатов на поверхности пленки LiF/Si(111). 121
35. **Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, У.Б. Шаропов, М.К. Курбанов, Н.Г. Саидханова.** Изучение отрицательно-ионных кластеров SiC при бомбардировке ионами Cs⁺. 122
36. **Б.Л. Оксенгендлер, С.Е. Максимов, Н. Тураева, Н.Ю. Тураев.** Множественные процессы при распылении материалов ионной бомбардировкой. 123
37. **Е.Ю. Брикуля, Н.В. Волков И.В. Олейников.** Разработка метода идентификации эмиссионных пиков ИК-диапазона от оксидных пленок на поверхности циркония. 124
38. **Б.А. Калинин, Н.В. Волков, Р.А. Валиков, А.С. Яшин, В.И. Стаценко.** Модифицирование внешней поверхности циркониевых оболочек радиальным пучком ионов Ag⁺. 125
39. **Н.В. Волков.** Изучение угловой зависимости распыления поликристаллических образцов Ti, Fe, Cu, Mo и W под облучением пучком ионов He⁺ и Ag⁺ с широким энергетическим спектром. 126

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ

30 мая, среда, 15⁰⁰ – 16³⁰1 вечернее заседаниеПредседатель И.С. Ташлыков

1. **И.Е. Тысченко, В.А. Володин, В.П. Попов.** Структурные и оптические свойства пленок кремния на изоляторе, имплантированных большими дозами ионов H^+ и отоженных в миллисекундном импульсном режиме. 129
И.Е. Тысченко. Структуры кремний-на-изоляторе с ионно-модифицированным захороненным слоем SiO_2 (объединённый доклад, 20 мин). 130
2. **В.В. Углов, Н.Т. Квасов, В.М. Асташинский, Ю.А. Петухов, А.М. Кузьмицкий, И.Л. Дорошевич, С.В. Ластовский.** Радиационная стойкость кремниевых наноструктурированных фотовольтаических элементов, полученных в компрессионной плазме. 131
В.М. Асташинский, Р.С. Кудагин, Ю.А. Петухов, А.М. Кузьмицкий. Микроструктура и фазовый состав силицидного слоя, сформированного при воздействии компрессионных плазменных потоков на систему Zr-Si (объединённый доклад, 20 мин). 132
3. **В.В. Углов, Г. Абади, И.А. Солодухин, С.В. Злоцкий, А.Ю. Ровбуь.** Радиационная стойкость структуры и фазового состава нанокристаллических покрытий $TiZrAlN$, сформированных магнетронным распылением. 133
В.В. Углов, В.И. Шиманский, Н.Н. Черенда, В.М. Асташинский, Н.Т. Квасов. Конвективный массоперенос в поверхностных слоях титана, подвергнутого воздействию компрессионными плазменными потоками (объединённый доклад, 20 мин). 134
4. **А.А. Дмитриевский, Н.Ю. Ефремова, П.А. Косырев, А.Р. Ловцов, А.В. Шуклинов.** Подавление эффективности фазовых превращений в кремнии при локальном нагружении посредством низкоинтенсивного бета-облучения (15 мин). 135

5. **А.А. Андреев, Ю.А. Ермаков, А.Е. Иешкин, А.С. Патракеев, В.С. Черныш.** Времяпролетная масс-спектрометрия для источника газовых кластерных ионов (15 мин). 136

16³⁰ – 17¹⁵ - Обсуждение стендовых докладов.

30 мая, среда, 17¹⁵ – 18⁴⁵

II вечернее заседание

Председатель В.В. Углов

1. **О.М. Михалкович, И.С. Ташлыков.** Локализация атомов Со в облученном ионами ксенона кремнии при ионно-ассистированном нанесении на него тонких Со пленок. 137
И.С. Ташлыков, В.В. Тульев. Элементный состав Pd/Fe структур, сформированных динамическим атомным перемешиванием (объединённый доклад – 20 мин). 138
2. **Н.С. Пушилина, Е.В. Березнеева, И.П. Чернов, М.Х. Кренинг, А.М. Лидер, В.Н. Кудияров, С.В. Иванова.** Воздействие водорода на модифицированную импульсным электронным пучком поверхность циркониевого сплава. 139
Д.В. Березнеев, Е.В. Березнеева, И.П. Чернов, И.А. Шулепов, С.В. Иванова. Свойства нанесённых магнетронным напылением TiO_x покрытий на поверхность циркониевых сплавов. 140
Е.В. Березнеева, Д.В. Березнеев, Н. С. Пушилина, И.П. Чернов, А.М. Лидер, Ю.П. Черданцев, Г.Е. Ремнев, С.В. Иванова. Свойства поверхностного слоя циркониевого сплава, модифицированного импульсным ионным пучком. 141
Н. С. Пушилина, И.П. Чернов, Н.Н. Коваль, Е.В. Березнеева, С.В. Иванова, А.М. Лидер, Ю.П. Черданцев. Микроструктура поверхности циркониевого сплава, модифицированного импульсным электронным пучком (объединённый доклад, 25 мин). 142

3. **А.Б. Крамченков, М.И. Захарец, А.Н. Бугай, В.Е. Сторижко.** Исследование поверхностей расплавленных металлов методом резерфордского обратного рассеяния (15 мин). 143
4. **В.В. Привезенцев, В.С. Куликаускас, А.Б. Путрик, Д.В. Петров, П.Н. Черных, А.Н. Макунин, А.А. Шемухин.** Формирование наночастиц ZnO в структуре SiO₂/Si методом имплантации ионами Zn (15 мин). 144
5. **З.А. Исаханов, Б.Э. Умирзаков, М.К. Рузibasва, У.Н. Раззоков.** Влияние имплантации ионов на состав и электронные свойства поверхности пленок CdTe (15 мин). 145

Стендовые доклады

1. **Ю.С. Бордулев, Р.С. Лаптев, А.М. Лидер, Г.В. Гаранин.** Оптимизация временного разрешения спектрометра для исследования аннигиляции позитронов в твердых телах. 146
2. **Ю.В. Балакшин, С.А. Голубков, Н.Н. Егоров, А.С. Патракеев, В.С. Черныш, А.А. Шемухин.** Формирование и исследование ультратонких слоев кремния на сапфировой подложке с помощью ионной имплантации. 147
3. **Г.В. Лысова, Г.А. Биржевой, С.М. Образцов.** Температурная зависимость радиационного упрочнения стали ЭП-823 после облучения ионами Ni⁺⁺ с энергией 7 МэВ. 148
4. **С.С. Зырянов, А.В. Кружалов, Ф.Г. Нешов, О.В. Рябухин.** Использование обратного рассеяния протонов с энергией 6,6 МэВ для исследования дейтерирования материалов.. 149
5. **Ю.А. Кудрявцев, Р. Азомоза, В.М. Король.** Исследование изотопного эффекта при имплантации изотопов лития в органические кристаллы. 150
6. **С.Е. Кривицкий, В.С. Куликаускас, В.М. Шарпов, В.В. Затекин, А.М. Зимин, С.В. Серушкин.** Характеризация соосажденных вольфрам-

7. **А.И. Туровец, О.Г. Бобрович, И.С. Ташлыков.** Свойства поверхности системы Мо/стеклянная подложка формируемой ионно-ассистированным осаждением молибдена. 152
8. **Д.И. Курбатов, А.В. Климов, А.С. Опанасюк, А.Г. Пономарев.** Исследование распределения марганца в пленках $Zn_{1-x}Mn_xTe$ и $Zn_{1-x}Mn_xS$ методом μ -PIXE. 153
9. **В.В. Поплавский, А.В. Дорожко, В.А. Чумак.** Микроструктура и состав каталитических слоев, формируемых ионно-ассистированным осаждением платины на углеродные подложки. 154
10. **А.М. Борисов, В.Г. Востриков, Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко.** Развитие метода спектрометрии ядерного обратного рассеяния для определения концентрации водорода в Al, Mg, Ti. 155
11. **И.С. Ташлыков, Д.А. Сильванович, В.С. Куликаускас, В.Ф. Гременок.** Воздействие He^+ облучения на состав поверхности $CuInSe_2$. 156
12. **Б.И. Хрипунов, Л.С. Данелян, В.В. Затекин, В.С. Койдан, В.С. Куликаускас, С.Т. Латушкин, В.Б. Петров, А.И. Рязанов, В.Н. Унежев.** Накопление газов в условиях воздействия быстрых ионов и плазмы на поверхность вольфрама. 157
13. **О.А. Подсвиров, А.И. Сидоров, Д.В. Чураев.** Растворение пленки серебра в стекле и образование нанокристаллов серебра при электронном облучении. 158
14. **Н.Н. Черенда, Н.В. Бирик, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий.** Легирование эвтектического силумина атомами хрома под воздействием компрессионных плазменных потоков. 159
15. **А.З. Хамдохов, Р.Ш. Тешев, З.М. Хамдохов, В.С. Куликаускас, П.Н. Черных.** Особенности структуры пленки TiN после облучения ионами азота. 160

16. **А.К. Кулешов, Е.А. Крутилина, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий.** Структурно-фазовое состояние системы титановое покрытие – твердый сплав в зависимости от параметров воздействия компрессионными плазменными потоками. 161
17. **С.С. Грабчиков, С.Б. Ластовский, Ю.В. Богатырев, П.В. Панкратов, А.Г. Пяткевич, В.В. Углов.** Использование многослойных структур системы висмут/медь для защиты кремниевых биполярных приборов от электронного облучения. 162
18. **Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов, Ю.А. Петухов, А.В. Калинин, А.Д. Тересов.** Микроструктура системы «циркониевое покрытие-кремний», обработанной сильноточными электронными пучками. 163
19. **А.В. Кабышев, Ф.В. Кокусов, Г.Е. Ремнев.** Электрофизические и фотоэлектрические свойства пленок GaAs, осажденных импульсной ионной абляцией. 164
20. **Ю.М. Покогило, А.Н. Петух, А.В. Гиро, А.С. Камышан.** Модификация электрофизических свойств приповерхностных слоев кремния ионами водорода. 165
21. **В.А. Никитенко, С.Г. Стоюхин, С.В. Мухин.** Облучение и термостимулированные электроннодырочные процессы в монокристаллах оксида цинка с анионными вакансиями. 166
22. **А.М. Рахимов, Ж.Б. Хужаниёзов, А.С. Рысбаев, А.А. Рысбаев.** О возможности создания термочувствительных структур имплантацией ионов фосфора и бора в кремний. 167

31 мая, четверг, 10⁰⁰ – 11³⁰

I утреннее заседание

Председатель В.С. Куликаускас

1. **И.И. Ташлыкова-Бушкевич, В.С. Куликаускас, С.М. Барайшук, Ю.С. Яковенко, Д.М. Солодкий.** Влияние композиционного состава поверхности на смачиваемость быстрозатвердевших фольг алюминия 168
- И.И. Ташлыкова-Бушкевич, О.В. Рябухин, С.С. Зырянов, Ф.Г. Нешов, Д.Р. Байtimiров, В.Н. Алехнович, В.Г. Шепелевич.** Ядерно-физические исследова-

- ния термической стабильности микроструктуры быстрозатвердевших сплавов Al-Cr и Al-Fe (объединённый доклад, 20 мин) 169
2. **А.М. Борисов, В.Г. Востриков, Л.Н. Лесневский, М.А. Ляховецкий, Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко, В.Н. Тюрин.** Исследование формирования защитных покрытий методом микродугового оксидирования с использованием нанопорошков гидроксида Al и Ca. 170
А.М. Борисов, В.Г. Востриков, Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко, А.В. Виноградов, Б.Л. Крит, С.В. Савушкина. Исследование керамикоподобных оксидных покрытий на цирконии, полученных при плазменном воздействии в электролитах (объединённый доклад, 20 мин). 171
3. **С.С. Зырянов, А.В. Кружалов, М.В. Кузнецов, Ф.Г. Нешов, О.В. Рябухин.** Исследование поверхности стали, облученной протонами в йодной среде. 172
С.С. Зырянов, С.Г. Купцов, Ф.Г. Нешов, О.В. Рябухин. Изучение состава приповерхностных слоев упрочняющих покрытий на основе тяжелых металлов при различных режимах легирования (объединённый доклад, 20 мин). 173
4. **Г.А. Вершинин, Т.В. Вахний, А.И. Суслов, И.А. Курзина, Ю.П. Шаркеев.** Анализ массоперноса в структурированных образцах титана при имплантации ионами алюминия источника MEVVA-5.RU (15 мин). 174

11³⁰ – 12¹⁵ – Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады

1. **Ж.Б. Хужаниёзов, А.М. Рахимов, А.С. Рысбаев, Ш.Х. Джураев, А.А. Рысбаев.** Влияние имплантации ионов P, V и щелочных элементов на плазменные колебания валентных электронов кремния. 175
2. **В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, Х.Х. Кадыров, И.Х. Худойкулов.** Модификация поверхности стального проката прикатодной плазмой вакуумного дугового разряда. 176

3. **Б.Е. Умирзаков, М.Р. Ахмеджанов, В.Х. Холмухамедова, С.Б. Данаев, Ж.А. Якубов.** Оптимальные режимы ионной имплантации и отжига для создания трехкомпонентных диэлектрических нанопленок. 177
4. **Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, М.А. Миржалилова, Х.Х. Болтаев, Р.Ч. Муминов.** Формирование одно- и многокомпонентных наноструктур на поверхности GaAs при ионной бомбардировке. 178
5. **М.К. Рузибаева, С.Б. Донаев, А.А. Абдувайитов.** Формирование переходного слоя и его состав при напылении наноструктурных покрытий с одновременной ионной бомбардировкой. 179
6. **А.К. Ташатов, Д.А. Ташмухамедова, Д. Буназаров, Б.Б. Мавлянов, М.К. Шамшиддинов** Влияние ионной и электронной бомбардировки на состав и структуру пленок MgO. 180
7. **В.В. Углов, Н.Т. Квасов, И.Л. Дорошевич.** О магнитной структуре ферромагнитных наночастиц железа. 181
8. **А.А. Лозован, С.С. Александрова, С.В. Прищепов, Д.В. Чулков.** Исследование капельной компоненты лазерного эрозионного факела при нанесении покрытий на внутренние поверхности труб методом ИЛО. 182
9. **Л.К. Израилева, Э.Н. Руманов.** Об относительной роли диффузии и импульсов давления в процессах кластеризации при облучении. 183
10. **Г.Т. Рахманов, И.М. Сайдумаров.** Определения кинетических характеристик термодесорбции молекул поверхности окисленного вольфрама. 184
11. **М.В. Гомоюнова, Г.С. Гребенюк, И.И. Пронин.** Формирование интерфейса кремний-кобальт. 185
12. **С.Ж. Ниматов, Ф. Шакаров.** Исследование режимов твердофазной эпитаксии германия на поверхности кремния методом ДЭНЭ. 186

Секция I

ФИЗИКА ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Н.Г. Чеченин

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Открытие фуллеренов, а затем углеродных нанотрубок (УНТ) породило ряд направлений, развивающих методы синтеза, исследования и применения разнообразных свойств УНТ. Одной из амбициозных задач является трансляция превосходных механических, электрофизических и теплофизических свойств УНТ в композитные материалы.

В НИИЯФ МГУ развито несколько методов осаждения углеродных нанотрубок. В докладе делается обзор этих методов и показано, что в зависимости от режимов осаждения форма и размеры УНТ могут резко различаться. Делается обзор развитых в НИИЯФ МГУ методов, с помощью которых исследуются структурные и физические свойства УНТ, а также методов создания композитов на полимерной основе с включением УНТ.

ОСОБЕННОСТИ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УСКОРЕННЫХ ЛИНЕЙНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ (D-...-D)⁺ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МИШЕНЕЙ

В.И. Высоцкий¹⁾, А.А. Корнилова²⁾, В.С. Черныш²⁾

¹⁾Киевский университет им. Т.Шевченко, Киев, Украина

²⁾МГУ им М.В.Ломоносова, Россия

Рассмотрен механизм межядерного взаимодействия и методы оптимизации (dd) синтеза при столкновении с поверхностью мишени ускоренных ориентированных линейных молекулярных ионов типа (D-...-D)⁺, состоящих из нескольких атомов дейтерия. Проведенные ранее эксперименты /1/ показали, что при столкновении с TiD мишенью однократно заряженных изотропных кластеров тяжелой воды (D₂O)_N, содержащих большое количество (25<N<1300) молекул D₂O с удельной энергией 0,12...6 keV/нуклон, наблюдался аномально большой выход продуктов (dd) синтеза (p, t и He³). При отсутствии D в составе кластеров (при (D₂O)_N→(H₂O)_N) или мишени (D→H) продукты реакции не наблюдались. Механизм усиления выхода реакции в /1/ не был выяснен, а в /2/ было предположено, что аномалии могут быть связаны с внутрикластерными соударениями, хотя детальный динамический расчет для системы с N >>1 невозможен.

Нами проведены эксперименты с пучками ускоренных молекулярных ионов (нанокластеров D-D-D⁺ и D-D⁺) с энергией E(D)≈2-3 keV/нуклон при использовании разных мишеней, а также проведен расчет процессов в такой система. Показано, что увеличение выхода (dd) синтеза может быть связано с кумулятивными эффектами при торможении нанокластеров в мишени или с формированием коррелированных состояний /3,4/ в объеме нанокластеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beuler R. J., Fridlander G., Friedman L. // Phys. Rev. Lett. 1989. V. 63. P. 1289
2. Леонас В. Б. // УФН, 1990, Т.160, №11, 135.
3. Высоцкий В.И., Адаменко С.В. // ЖТФ, 2010, Т.80, №5, 23.
4. Высоцкий В.И., Высоцкий М.В., Адаменко С.В. // ЖЭТФ, 2012, Т.141, №2, 276.

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ПРОХОЖДЕНИЯ ИОНОВ ЧЕРЕЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАПИЛЛЯРЫ

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

При исследовании прохождения ионов через диэлектрические капилляры недавно было обнаружено, что при отличном от нуля угле входа ионов в капилляр проходящий ток возрастает не монотонно и совершает несколько осцилляций около оси капилляра прежде чем устанавливается стационарный режим и направление выходящего пучка ионов устанавливается вдоль оси капилляра. В настоящей работе предлагается модельное объяснение угловых осцилляций прошедшего пучка. В установившемся режиме в капилляре образуется одно заряженное пятно на стенке, которое отклоняет ионы и направляет их вдоль оси. Имеет место самоорганизация системы пучок – заряд стенки. Заряженное пятно вблизи входа капилляра автоматически образуется так, чтобы не происходило дальнейшей зарядки стенки. В начале прохождения пучка, пока это заряженное пятно еще не сформировалось, происходит зарядка более далеких от входа областей стенки капилляра. Благодаря резкой нелинейной зависимости тока утечки от плотности заряда на стенке, стекание этого удаленного заряда происходит с запаздыванием относительно времени формирования основного отклоняющего пятна, что и приводит к угловым осцилляциям проходящего пучка ионов. В работе построена количественная модель, описывающая осцилляции пучка ионов на выходе из плоского капилляра. В модели прослеживаются не траектории отдельных ионов, а движение “струй”, что на порядки увеличивает «скорострельность» модели.

КОГЕРЕНТНОЕ ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

Ю.П. Кунашенко^{1) 2)}¹⁾ТПУ, Томск, Россия²⁾ ТПУ, Томск, Россия

Нейтрон обладает электрическим зарядом равным нулю, но благодаря спину (а точнее аномальному магнитному моменту) нейтрон может взаимодействовать с электромагнитным полем. На возможность рассеяния нейтронов электрическим полем атома впервые указал Швингер /1/. Физика этого процесса объясняется следующим образом: в системе покоя нейтрона возникает магнитное поле с которым взаимодействует магнитный момент нейтрона.

Другой механизм взаимодействия нейтронов с электромагнитным полем - излучение фотонов. Впервые излучение фотонов нейтронами во внешнем магнитном поле было теоретически исследовано в /2-4/.

В представленном докладе исследовано сечение когерентного тормозного излучения в кристаллах. Показано, что как и в случае обычного КТИ от заряженных частиц сечение КТИ от нейтронов обладает когерентными максимумами при совпадении переданного кристаллу импульса с вектором обратной решетки.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант 10-02-01386-а; гранта «Поддержка ведущих научных школ», проект No 224.2012.2

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Schwinger J. // Phys. Rev. 1948, v.73, p.407.
2. Тернов И.М., Багров В.Г., Хапаев А.М. // ЖЭТФ 1965, т.48 613.
3. Любошиц В.Л. // Ядерная Физика, 1966, т.4 с. 269.
4. Бордовицын В.А., Тернов И.М., Багров В.Г.// УФН 1995 т. 38 с.1037.

РАССЕЯНИЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А.В. Казаков, В.С. Малышевский, П.В. Серба
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

В связи с повышенным интересом к проблеме модификации и анализа приповерхностных слоев кристаллов, развитие теоретического описания процессов рассеяния атомных частиц кристаллической поверхностью, представляется актуальным и своевременным. Цель работы: теоретически описать процессы рассеяния ускоренных атомных частиц поверхностью кристаллов и дать физическую интерпретацию обнаруженным ориентационным эффектам.

В работе разработана модель, описывающая взаимодействие нейтральных атомов с кристаллической поверхностью. Исследованы траектории нейтральных атомов при скользящих углах падения на поверхность Al (100). Моделирование траекторий налетающих атомов осуществлялось методом молекулярной динамики. Взаимодействие ускоренного атома с атомами кристаллической решетки описывалось потенциалом Томаса-Ферми, взаимодействие атомов решетки между собой не учитывалось с целью ускорения процедуры вычислений. Размеры кристаллического кластера выбирались таким образом, чтобы начальная и финишная позиция нейтрального атома была вне области его взаимодействия с поверхностью кристаллической решетки. На каждом временном шаге рассчитывались сила взаимодействия нейтрального атома с атомами решетки, его скорость и координаты с использованием алгоритма Верлета. В процессе моделирования регистрировались направление и скорость движения атомов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков А.В., Малышевский В.С. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования – 2011. – № 8. – С. 25–28.

ОБ ЭФФЕКТЕ ПЛОТНОСТИ В ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЯХ ЭНЕРГИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ТОНКИХ СЛОЯХ ВЕЩЕСТВА

Н.Ф. Шульга, С.В. Трофименко
ИТФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

При движении в веществе быстрая заряженная частица передает часть своей энергии электронной подсистеме среды. Для релятивистских частиц эта передача энергии определяется формулой Бете-Блоха. При увеличении энергии частицы существенным становится эффект плотности Ферми уменьшения ионизационных потерь энергии по сравнению с соответствующим результатом Бете и Блоха. Этот эффект обусловлен экранировкой кулоновского поля частицы на больших расстояниях от нее за счет поляризации вещества полем частицы. Формулы Бете-Блоха и Ферми справедливы при движении частицы в безграничной однородной среде. В неоднородной среде, например, при пересечении частицей границы раздела двух сред, происходит перестройка окружающего ее поля. Это должно приводить к отличию ионизационных потерь энергии в тонких мишенях от потерь в безграничной среде. На возможность такого эффекта было обращено внимание в работе Г.М. Гарибяна /1/. При этом показано, что в случае очень тонкой мишени эффект плотности Ферми отсутствует и потери энергии определяются формулой Бете-Блоха. В настоящей работе показывается, что при ультра больших энергиях электронов появляется довольно большая область толщин, в которой происходит переход от формулы Бете-Блоха к формуле Ферми для ионизационных потерь энергии. Возникновение этой области обусловлено особенностями перестройки окружающего высокоэнергетический электрон поля после его входа в мишень. Существенным при этом является то, что данная область толщин может значительно превосходить толщины, на которых имеет место эффект Гарибяна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарибян Г.М. // ЖЭТФ, 1959, т. 37, с. 527-533.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИКА УПРУГИХ (ЯДЕРНЫХ) ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ В КРЕМНИИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ

В.В. Козловский¹⁾, В.А. Козлов²⁾

¹⁾Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

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

Как известно, потери энергии заряженной частицы 3Ч МэВ-ного диапазона в веществе, в основном, связаны с ионизацией и возбуждением электронных оболочек атомов среды, и возрастают с уменьшением их скорости. Характерная кривая ионизационных потерь энергии S_e (часто называемая просто тормозной способностью среды) описывается кривой Брэгга с максимумом вблизи конца пробега частиц R_p . Пик Брэгга на кривой энерговыделения широко используется, например, в прецизионных радиационных методах медицины, в частности в протонной терапии опухолей головного мозга.

Для радиационных методов модифицирования сложных («многослойных») полупроводниковых приборов актуальным является не просто локальное по глубине энерговыделение, а локальная генерация конкретных радиационных дефектов. Процесс смещения атома твердого тела из узла в междоузлие (дефект по Френкелю) определяется сечением упругого (ядерного) торможения. Кривая потеря энергии 3Ч на упругие столкновения S_n также растет с уменьшением энергии 3Ч и образует максимум вблизи R_p . Для пары протон-кремний этот максимум наблюдается при энергии ~ 0.5 кэВ. Заметим, что максимум на кривой S_e («истинный» пик Брэгга) для этой пары имеет место при энергии ~ 50 кэВ. В настоящей работе анализируется возможность использования протонов для локального (по глубине и площади) введения двух типов радиационных дефектов: рекомбинационных центров (дивакансий, А- и Е-центров) и мелких водородсодержащих доноров.

«ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ» - МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ

И.П. Чернов¹⁾, А.С. Русецкий²⁾, Д.Н. Краснов¹⁾, В.М. Силкин³⁾,
Т.И. Сигфуссон⁴⁾, Ю.И. Тюрин¹⁾

¹⁾ НИ Томский политехнический университет Томск, Россия

²⁾Физический институт РАН Москва, Россия

³⁾ Donostia International Physics Centre San Sebastian, Spain

⁴⁾Science Institute, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

Для того чтобы ответить на поставленный вопрос, в работах [1,2] выполнены исследования протекания ядерных процессов при воздействии электронов с энергией 30 кэВ и рентгеновских квантов на Pd/PdO:Dx и Ti/TiO:Dx мишенях при температуре < 70 °С. Детектирование частиц осуществлялось трековыми детекторами CR-39. Статистически достоверно установлено, что воздействие излучения инициирует синтез ядер дейтерия с выходом 3 МэВ протонов. Ранее, было показано, что атомы дейтерия (водорода) в металлах способны аккумулировать энергию ионизирующего излучения, в результате чего D(H) – подсистема переходит в возбуждённое состояние, энергия H(D) атомов в которой становится на порядок выше, чем энергия атомов матрицы. Теоретические расчёты из первых принципов атомной и электронной структуры систем металл – H(D) позволяют на качественном уровне объяснить наблюдаемые результаты. Возбуждённая H(D) подсистема представляет собой низкотемпературную ($E \sim 1$ эВ), высокоплотную плазму ($\sim 10^{22}$ атомов/см³), время жизни которой сопоставимо с временем жизни акустических плазмонов $\sim 10^{-12} - 10^{-13}$ с.

Итак, синтез d-d ядер при комнатной температуре мишени при возбуждении D - подсистемы излучением – это реальность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов И.П., Русецкий А.С., Краснов Д.Н. и др. ЖЭТФ 2011, т. 139, вып. 6, с. 1088-1097.
2. Chernov I.P., Rusettsky A. S., Sigfusson T.I., and et. al. Journal of Engineering Thermophysics Vol. 20, № 4, p. 360

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ МЮОНИЯ И ПОЗИТРОНИЯ В НАМАГНИЧЕННОМ ВЕЩЕСТВЕ

А.Я. Силенко

НИУ Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Беларусь

В работе В.Г. Барышевского и А.В. Ивашина /1/ было впервые найдено уравнение, определяющее динамику спина атомов мюония и позитрония в намагниченном веществе при корректном учете обменного взаимодействия входящих в их состав электронов с парамагнитными электронами вещества, и были определены основные спиновые эффекты. В работах /2-7/ были рассчитаны все квазимагнитные поля, действующие на атомы, и проведен детальный анализ эффекта поляризации позитрония поляризованными средами. Расчет квазимагнитных полей позволяет уточнить параметры уравнения динамики спина. Мы находим точное решение выведенного в /1/ уравнения с помощью метода спиновых амплитуд, который базируется на использовании матричного гамильтониана, составленного из матричных элементов оператора Гамильтона. Это позволяет произвести полное описание эволюции поляризации атомов мюония и позитрония в намагниченном веществе при наличии и отсутствии у них начальной поляризации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Барышевский В.Г., Ивашин А.В. // ЖЭТФ, 1973, Т. 65, Вып. 4, С. 1467.
2. Силенко А.Я. // ЖЭТФ, 2003, Т. 123, Вып. 4, С. 688.
3. Силенко А.Я. // Поверхность, 2005, № 4, С. 45.
4. Силенко А.Я. // Поверхность, 2005, № 4, С. 52.
5. Силенко А.Я. // Поверхность, 2007, № 4, С. 76.

ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

К.А. Вохмянина, П.Н. Жукова, Э.Ф. Иррибарра, А.С. Кубанкин, Ле
Тхи Хоай, Р.М. Нажмудинов, Н.Н. Насонов, Г.П. Похил
Лаборатория радиационной физики, НИУ «БелГУ»,
Белгород, Россия

Теоретически и экспериментально исследуется активно изучаемый в настоящее время эффект бесконтактного прохождения (guiding) заряженных частиц через диэлектрические каналы. Рассматривается guiding 10 кэВ электронов в плоских каналах, образованных стеклянными пластинками. Эксперименты с двумя пластинами показали обычные в таких случаях захват и распространение электронного пучка вдоль оси канала. Экспериментальное исследование отражения пучка от одной пластины, предпринятое с целью выяснения механизма бесконтактного прохождения, выявило ряд особенностей процесса, таких как незеркальность и зависимость характера отражения от длины пластины. Для объяснения выявленных закономерностей разработана модель процесса, существенным элементом которой является эффект зависания электронов непосредственно над поверхностью пластины в области геометрического следа пучка, заряженной осевшими электронами.

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА
ДИФфуЗИИ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА,
ГЕНЕРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЗОНДОМ В
ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ МАТЕРИАЛЕ

А.Н. Амрастанов¹⁾, С.А. Гинзгеймер²⁾, М.А. Степович¹⁾

¹⁾ Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
Калуга, Россия

²⁾ Калужский филиал Московского государственного технического
университета им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Методами математического моделирования рассмотрена задача диффузии неосновных носителей заряда, генерированных в однородном полупроводниковом материале точечным электронным пучком. При проведении расчетов использована модель независимых источников, в которой сначала рассматривается диффузионный процесс носителей, генерированный в каждом микрообъеме полупроводника, а результирующее распределение неосновных носителей заряда находится суммированием полученных распределений от каждого микрообъема. Математически это выражено в том, что сначала решается уравнение диффузии для каждого из точечных источников, после чего посредством интегрирования по объему, занимаемому источниками носителей, находится распределение неосновных носителей заряда в полупроводнике в результате их диффузии.

Расчеты проведены для параметров мишеней, характерных для полупроводниковых материалов электронной техники.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЕГА КИЛОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МИШЕНИ В УСЛОВИЯХ НАКОПЛЕНИЯ
ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА

Т.А. Куприянова¹⁾, Л.Р. Миникаев²⁾, Р.Р. Тангишев²⁾,
М.А. Степович²⁾, М.Н. Филиппов^{1), 2)}

¹ Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Москва, Россия

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

Представлены результаты расчётов пробега киловольтных электронов в диэлектрических мишенях с проводящим покрытием на поверхности в условиях стационарной зарядки мишеней. Расчёты проведены на основе классического обобщенного закона торможения Вилдингтона в модели однократных потерь; для расчета пробега электронов средних энергий использовано т.н. приближение Эверхарта, т.е. приближение однократного упругого рассеяния в сочетании с моделью непрерывных потерь энергии электронами пучка; учтено значение величины среднего электрического поля в мишени. В рамках этой модели получено выражение, позволяющее проводить оценку влияния явления накопления электрического заряда в мишени с низкой проводимостью на величину пробега электронов пучка и, как следствие, на величину области генерации информативного сигнала. Модельные расчёты проведены для параметров, характерных для реальных диэлектрических мишеней.

Исследования проведены при финансовой поддержке работ, проводимых в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (проект № 7.5341.2011), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-03-00961), РФФИ и правительства Калужской области (проект № 12-08-97595).

ТРЕХКОМПОНЕНТНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРИ ОЦЕНКЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ЗАРЯДОВЫХ ФРАКЦИЙ ИОНОВ БОРА И АЗОТА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ

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

На основе трехкомпонентного приближения получены аналитические выражения для зарядовых фракций и среднего заряда ионов в зависимости от толщины мишени. Результаты расчетов совпадают с экспериментальными данными в пределах точности измерений (2-5%).

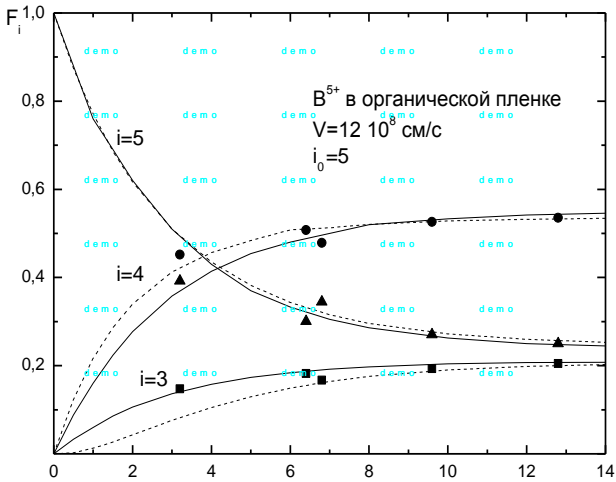


Рис. 1. Зарядовые фракции ионов B^{5+} в целлюлозе в зависимости от толщины мишени. Значки – экспериментальные данные /1/: ■ - $i=3$, ● - $i=4$, ▲ - $i=5$. Сплошные кривые – расчеты данной работы. Пунктирные кривые – решение системы балансных уравнений /1/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкова Ю.А., Теплова Я.А., Дмитриев И.С.// Поверхность, 2002, №4, С.39

АДДИТИВНЫЕ ШУМЫ В СЛАБО-ДИССИПАТИВНОЙ ТЕОРИИ КОЛМОГорова-Арнольда-Мозера

Р.И. Богданов¹⁾, М.Р. Богданов²⁾

¹⁾НИИ ЯФ МГУ, Москва. Россия

²⁾МГУ ИЭ, Москва. Россия

Кусочно-свободное движение в непрерывной модели

$$\ddot{x} = -\partial U / \partial x + f(x) \dot{x} + X, \quad (1)$$

где $U = x^2/2 - x^3/3$, k , $f(x) = \varepsilon + \mu x$, X - стохастическая добавка,

можно задать в фазовом пространстве $(x, y = \dot{x})$ в виде

$$\left. \begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + \theta y_n + 1 - \theta y_{n+1} \\ y_{n+1} &= y_n + k x_n x_n - 1 + \varepsilon + \mu x_n y_n + X \end{aligned} \right\} (2)$$

В случае $X \equiv 0$ при подходящем значении параметров $\varepsilon, \mu, k, \theta$ динамика (2) обнаруживает большое число асимптотически устойчивых периодических орбит, (квазиравновесных состояний), которые разделяются в фазовом пространстве областями стохастической диффузии Арнольда. Средняя полная энергия (отвечающая $\theta = \varepsilon = \mu = 0$) группирует орбиты на разрешённых энергетических уровнях со статистическим весом по Больцману-Гиббсу $S_n \sim e^{-n\bar{E}/kT}$, где n - период орбиты, \bar{E} - фиксированная средняя энергия. Состояния с большим n шум делает практически ненаблюдаемыми. При больших значениях S_n статистические веса уменьшаются, что ведёт к занижению оценки температуры. Действительно, попадание в область стохастической диффузии Арнольда, даёт исчезающе малую вероятность вернуться в квазиравновесное состояние с другим n (при $n \rightarrow \infty$).

ЛИТЕРАТУРА.

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

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЛИВНЯХ ОТ ЭЛЕКТРОНОВ 26 ГЭВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ОРИЕНТИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ВОЛЬФРАМА

В.А. Басков¹⁾, В.В. Ким¹⁾, Б.И. Лучков²⁾,
В.Ю. Тугаенко²⁾, В.А. Хабло¹⁾

¹⁾Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

²⁾Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ),
Москва, Россия

Электромагнитные ливни от γ -квантов и электронов, развивающихся в ориентированных кристаллах, отличаются от ливней в разориентированных кристаллах. Отличие обусловлено разным числом фотонов N_γ и заряженных частиц N_e на заданной глубине развития ливня [1-3]. Развитие электромагнитных ливней в ориентированных вдоль оси $\langle 111 \rangle$ кристаллах вольфрама 2.7, 5.8 и 8.4 мм ($T_W = 295^\circ\text{K}$) при энергии электронов $E = 26$ ГэВ приводит к превышению средней множественности заряженных частиц по сравнению с разориентированными в ~ 3.5 , ~ 2.7 и ~ 2.3 раза соответственно и для толщины кристалла 1.0 мм ($T_W = 77^\circ\text{K}$) при $E = 28$ ГэВ приводит к превышению в ~ 4.5 раза. Ширина ориентационной зависимости средней множественности заряженных частиц в ливнях, выходящих из кристалла вольфрама (1.0 мм), в ~ 1.5 раза больше аналогичной ширины для кристалла кремния такой же радиационной толщины и увеличивается пропорционально толщине кристалла.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ахиезер А.И., Шульга Н.Ф. // ЖЭТФ, 1983, **85**, С. 94.
2. Baier V.N., Katkov V.M., Strakhovenko V.M. // 1996, Preprint Budker INP, **96-88**.
3. Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И. и др. // Краткие сообщения по физике ФИАН, 2011, **№6**, С. 8.

ЭФФЕКТ ВОЛНОВОДА ДЛЯ ГИПЕРЗВУКА ВБЛИЗИ ЛИНЕЙНОЙ ДИСЛОКАЦИИ - 2

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

¹⁾НИФТИ, Нижний Новгород, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

На прошлой конференции нами был предложен новый механизм передачи энергии, выделенной на передней границе образца, к его обратной стороне [1]. В основе механизма лежит идея об образовании волновода для гиперзвуковых фононов вдоль дислокации в области пониженной плотности вещества.

В настоящей работе проведены более аккуратные вычисления эффекта волновода. Получено точное выражение для плотности кремния в окрестности краевой дислокации, как функции поперечных координат, на основе теории дислокаций [2]. Уменьшение плотности оказалось заметно больше, чем предполагалось в простейшей модели [1]. Связь между изменением плотности материала и скоростью звука получена на основе реалистичного межатомного потенциала взаимодействия Si-Si. Оказалось, что относительное изменение скорости звука не того же порядка, что относительное изменение плотности, а почти на порядок больше. В результате показано, что эффективность волноводного механизма передачи энергии на несколько порядков больше, чем было оценено в первой работе [1]. При концентрации дислокаций порядка 10^5 см^{-2} в волноводы, связанные с дислокациями, захватывается около 0,5% от всех сгенерированных в окисном слое фононов. И эти фононы доходят до обратной стороны образца без уменьшения потока по закону $1/r^2$, т.е. эффект волновода очень велик.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Левшунова В.Л., Похил Г.П., Тетельбаум Д.И // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2012. № 3. С. 1-4.
- 2 Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций, Москва Атомиздат, 1972

СКОРОСТЬ ЗВУКА В РАСТЯНУТОЙ СРЕДЕ

Г.П. Похил
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

При решении задачи эффекта волновода для гиперзвуковых фононов, которая возникла для объяснения эффекта дальнего действия, необходимо знать, как зависит коэффициент преломления звука от плотности растянутого кристалла. Вблизи краевой дислокации кристалл с одной стороны находится в сжатом состоянии (со стороны экстраплоскости), а с другой стороны в растянутом. Из литературы известно, что в Земле при увеличении плотности среды с глубиной скорость звука возрастает. Но для задачи волновода этого не достаточно. Скорость звука $s = \sqrt{E/\rho}$, где E - модуль Юнга, и ρ - плотность среды. Надо найти, как модуль Юнга зависит от плотности. Звуковые колебания это малые отклонения от равновесного расстояния между атомами, поэтому любой потенциал взаимодействия атомов представим в виде:

$$V(r) = \varepsilon_{\min} + a \left[r - r_{\min} / a_F \right]^2 - b \left[r - r_{\min} / a_F \right]^3.$$

где ε_{\min} и r_{\min} можно взять из эксперимента ($\varepsilon_{\min} = 2,3$ эВ и $r_{\min} = 2,34$ Å), и параметр a выбрать так, чтобы скорость звука $c_0 = \sqrt{2ar_{\min}^2 / Ma_F^2}$ совпадала с экспериментальным значением. Тогда получим соотношение: $\Delta n/n \approx -8\Delta\rho/\rho$. Т.е. коэффициент преломления меняется почти на порядок сильнее, чем плотность. Следовательно, волноводный эффект сильнее, чем оценивалось ранее.

ПРИМЕНЕНИЕ БИФУРКАЦИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С.Н. Нагорных¹⁾, В.И. Павленков²⁾

¹⁾Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина – Мининский университет, ул. Ульянова, 1, Нижний Новгород, Россия.

²⁾Арзамасский государственный педагогический институт им. А.П. Гайдара, ул. Карла Маркса, 36, Арзамас, Россия.

В докладе дается экспериментальный критерий выбора стохастического интеграла для диффузионного марковского процесса, лежащего в основе получения уравнения Фокера-Планка-Колмогорова (ФПК), которое приводит к полустохастической бифуркации (бифуркации Ферхюльста).

Критерием является степень в степенной части гамма-функции – экспериментальной функции распределения случайных времен запаздывания (СВЗ) возникновения ударной ионизации от момента приложения импульса напряжения к катоду-образцу до момента выхода из него электрона фоновой эмиссии. Под фоновой эмиссией понимается стационарная эмиссия электронов с той или иной вероятностью выхода из катода. СВЗ, умноженное на скорость электрона в состоянии, предшествующим вылету электрона, дает стационарную функцию распределения путей выхода из катода (броуновского движения) электронов фоновой эмиссии и является решением уравнения ФПК. При экспериментально определённой степени равной единице получаем уравнение ФПК по Стратоновичу, а при степени равной двум - уравнение ФПК по ИТО. Таким образом, этот критерий позволяет, кроме известных модельных аргументов, делать выбор в определении вида уравнения ФПК и соответствующего стохастического интеграла для полустохастической бифуркации.

Данный критерий позволяет также исследовать с помощью стохастической бифуркации уравнений Блохинцева стимулированную электронную эмиссию /1/ и иные поверхностные процессы, аддитивные фоновой эмиссии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Нагорных С.Н., Павленков В.И. //Поверхность, 2006, №4, с.14-18.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТКЛОНЕНИЯ π^- МЕЗОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 150 ГЭВ КРИСТАЛЛОМ КРЕМНИЯ

В.П. Кошечев, Д.А. Моргун, Ю.Н. Штанов, А.С. Фокин
Сургутский государственный университет, Сургут

На рис.1 представлены угловые распределения π^- мезонов с энергией 150 ГэВ за изогнутым кристаллом кремния. Компьютерное моделирование выполнялось при помощи программного комплекса TROPICS.

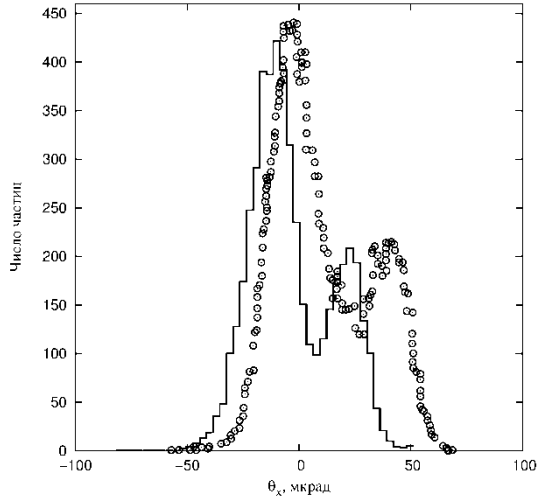


Рис.1. Результат углового сканирования пучка π^- мезонов за изогнутым кристаллом кремния в эксперименте [1] (кружок) и компьютерным эксперименте — (сплошная линия) с радиусами изгиба кристалла 22.79 и 80 метров, соответственно.

Есть все основания предполагать, что в эксперименте [1] не наблюдался эффект плоскостного каналирования π^- мезонов в общепринятом смысле этого слова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scandale W., Vomiero A., Bagli E. et al. // Phys. Lett. B. 2009. Vol. 680. Pp. 301-304.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФфуЗИИ ВОДОРОДА СКВОЗЬ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ

Н.А. Евтеева¹⁾, Г.В. Гаранин¹⁾, Н.С. Пушилина¹⁾, А.М. Лидер¹⁾

¹⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

В данной работе, используя подход [1], произведен расчет сорбции водорода в образцах с тонкими защитными пленками методом конечных разностей. В расчетах взяты разные граничные условия, которые делят область расчета на три части, центр - основной образец, а на краях, имитация тонкого защитного покрытия. В расчетах использовались разные коэффициенты диффузии водорода на краях и в центре образцов, так как структура поверхности металла облученного импульсным электронным пучком отличается от изначальной структуры образца. На рисунке представлен пример распределения концентрации водорода в образцах с тонкими защитными пленками с начальным распределением (C_H) в виде линии, сходящейся к центру образца.

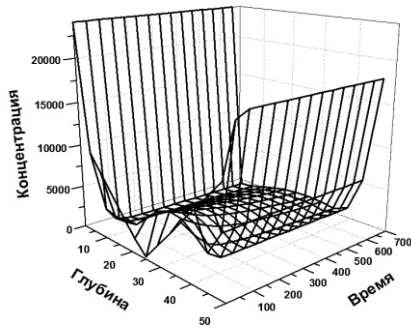


Рисунок. Распределение концентрации водорода в образце с защитными покрытиями

ЛИТЕРАТУРА

1. Евтеева Н.А., Черданцев Ю.П., Лидер А.М., Чернов И.П., Гаранин Г.В., Дуброва Н.А., Пушилина Н.С. Моделирование процесса термостимулированной десорбции водорода в металлах и сплавах численными методами // Известия Томского политехнического университета, 2010. – т.317 – № 2. – с. 147 – 152

О ВЛИЯНИИ ТОРМОЖЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В РАДИАТОРЕ НА УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О.В. Богданов^{1,2)}, Ю.Л. Пивоваров¹⁾, Е. И. Фикс¹⁾

¹⁾Национальный исследовательский ТПУ, Томск, Россия

²⁾Национальная Лаборатория Фраскати, Фраскати, Италия

Проведен анализ данных экспериментов 1996-2001 гг. /1-3/ по исследованиям угловых распределений излучения Вавилова-Черенкова (ИВЧ) на пучке релятивистских (0.64 – 0.99 ГэВ/а.е.м.) ионов Au ускорительного комплекса SIS GSI (Darmstadt). В рамках подхода, развитого в /4-6/, выполнены расчеты угловых распределений черенковского излучения для параметров пучка релятивистских ионов и радиаторов, соответствующих экспериментальным /1-3/. Показано, что учет торможения релятивистских тяжелых ионов в черенковских твердотельных радиаторах (LiF) приводит к уширению конуса черенковского излучения и формированию углового распределения, отличающегося от распределения Тамма-Франка. Это позволяет объяснить некоторые из полученных экспериментальных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ruzicka J. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1996. А. 369. PP. 23-28.
2. Ruzicka J. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1999. А. 431. PP. 148-153.
3. Ruzicka J. et al. // Vacuum. 2001. V. 63. P. 591-595.
4. Altapova V R, Bogdanov O V and Pivovarov Yu L 2009 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. В **256** 109-113
5. Bogdanov O V and Pivovarov Yu L 2011 NuovoCimento. **V. 034, Issue 04** 1-7
6. Богданов О.В., Фикс Е.И., Пивоваров Ю.Л. // Письма в ЖЭТФ. 2012 (в печати).

ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВОДОРОДА В ПРОЦЕССЕ ЗАПОЛНЕНИЯ УНТ

А.М. Самсонов¹⁾, Г.М. Филиппов²⁾

¹⁾ЧГПУ им. И. Я. Яковлева, Чебоксары, Россия

²⁾ЧПИ (ф) МГОУ им. В.С. Черномырдина,
Чебоксары, Россия

Машинное моделирование хранения водорода в углеродных нанотрубках позволяет судить об изменении агрегатного состояния водорода по мере его накопления в УНТ. Фазовая диаграмма водорода, приведенная на рис. 1, при наличии значительного ограничения в размерах объема, содержащего водород, может получить заметные искажения.

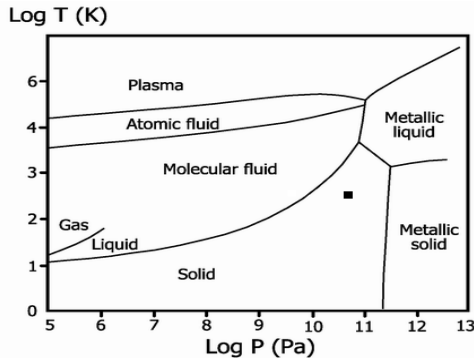


Рис.1. Фазовая диаграмма водорода

Хорошо известно, что эти искажения связаны с уменьшением размеров объема до величин, сравнимых с рядом характерных длин, которые определяют состояние системы многих частиц. При заполнении водородом внутренности нанотрубки ограничения в размерах имеют место в плоскости, перпендикулярной оси УНТ. Наши наблюдения за состоянием водорода, помещенным внутрь УНТ, подтверждают наличие упорядоченности, характерной для твердотельной фазы, при давлениях порядка 50 ГПа, при комнатной температуре (см. черный квадратик на рис.1). Мы надеемся найти размерные искажения путем дальнейших более подробных вычислений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКА МОЛЕКУЛ
ВОДОРОДА С УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКОЙ МЕТОДАМИ
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОТЕНЦИАЛА REBO

А.В. Степанов¹⁾, Г.М. Филиппов²⁾

- ¹⁾ Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, г.Чебоксары, Россия
- ²⁾ Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского государственного открытого университета им. В.С. Черномырдина, г.Чебоксары, Россия

Методом молекулярной динамики с применением модифицированного потенциала REBO (Reactive Empirical Bond Order) /1,2/ исследуется адсорбция атомов водорода из потока на углеродной нанотрубке (УНТ) и условия ее разрушения этим потоком. Рассчитываются предельные значения энергий прохождения потока через УНТ и другие параметры системы, оказывающие влияние на модификацию системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ito A., and Nakamura H. // COMMUNICATIONS IN COMPUTATIONAL PHYSICS. 2008, Vol. 4, No. 3, pp. 592-610
2. Brenner Donald W et.al // J. Phys.: Condens. Matter. 2002, No.14, pp. 783-802

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ УНТ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ТОРМОЖЕНИЕ ЧАСТИЦ

В.А. Александров¹⁾, Г.М. Филиппов²⁾

¹⁾Чувашский госуниверситет, Чебоксары, РФ

²⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) МГОУ,
Чебоксары, РФ

Рассчитанные ранее диэлектрические свойства углеродных нанотрубок (УНТ) используются для вычисления сил, действующих на заряженные частицы, движущиеся в УНТ. Результаты помогают оценить важность использования поляризационных свойств УНТ при моделировании каналирования заряженных и составных незаряженных частиц. Ранее данная задача решалась различными способами, включая гидродинамическое приближение и уравнения Власова. Мы предпринимаем традиционный подход, основанный на диэлектрическом формализме, с использованием полученного ранее выражения для диэлектрической проницаемости УНТ. По сравнению с обычной для таких вычислений работой в декартовой системе координат, в случае нанотрубок мы обязаны применить цилиндрические координаты. Это обстоятельство усложняет расчет, поскольку в данном случае не существует выражения для диэлектрической проницаемости, одинакового для всех значений квантового числа m . Данную проблему можно представить и таким образом, что поперечные по отношению к оси нанотрубки компоненты волнового вектора становятся дискретными величинами, пропорциональными m . В силу данного обстоятельства совокупность элементарных возбуждений УНТ представляет собой достаточно непростое множество элементов, каждый из которых, в принципе, обязан быть учтенным при расчете компонентов сил, отвечающих как за энергетические потери, так и за изменение движения частицы в поперечной плоскости.

ОЦЕНКА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СИЛ ДЛЯ ЗАРЯДА В УНТ ПОСРЕДСТВОМ РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА

В.А. Александров¹⁾, Г.М. Филиппов²⁾

¹⁾Чувашский госуниверситет, Чебоксары, РФ

²⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) МГОУ,
Чебоксары, РФ

Внутри нанотрубок имеются протяженные области пониженной электронной плотности, вследствие чего заряды, каналирующие в УНТ, имеют очень большие пробеги по сравнению не только с движением в случайном направлении, но и с каналированием заряженных частиц в каналах монокристаллов. Вследствие малого значения потерь энергии заряженной частицы на электронном газе внутри УНТ большое значение приобретают поляризационные потери, возникающие вследствие генерации возбуждений электронной подсистемы УНТ. В работе применен альтернативный способ оценки поляризационных сил, действующих на заряд, движущийся параллельно стенке УНТ – численное решение нестационарного уравнения Шрёдингера. В результате удается оценить компоненту поляризационной силы, перпендикулярную к стенке УНТ, а также компоненту силы, параллельной стенке УНТ, приводящую к торможению частицы. Для решения нестационарного уравнения Шрёдингера использовалась схема типа Кранка-Николсона для многомерного уравнения в частных производных, разработанная одним из соавторов настоящей работы (см., например, в [1]). Результаты расчетов, выполненных посредством численного решения уравнения Шрёдингера и при помощи первого порядка теории возмущений (ТВ) согласуются между собой в области применимости ТВ. При каналировании вдоль плотно упакованного ряда атомов одним из главных является захват электрона атомами углерода в слабосвязанное состояние, обусловленное эффектом сродства атомов к электрону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев В.И. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2007, №4 с. 103-106.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ САМОСБОРКЕ ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНОГО УГЛЕРОДА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

В.А. Александров¹⁾, Ф.Н. Михайлов²⁾

¹⁾ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
Чебоксары, Россия

²⁾ Чувашский государственный педагогический университет им.
И.Я. Яковлева, Чебоксары, Россия

Одной из задач нанотехнологий, имеющей большое прикладное значение, является создание покрытий, состоящих из упорядоченных цепочек линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ). Планируется широкое применение таких покрытий во многих сферах деятельности и в перспективных устройствах, например, в высокоэффективных холодных катодах с очень низкой работой выхода – до 0.5 эВ. В работе исследуется процесс выращивания ЛЦУ на подложке из газопаровой фазы атомов углерода методом молекулярной динамики. В рабочей области, имеющей периодические граничные условия на боковых стенках, имеются атомы углерода, медленно оседающие на подложку, состоящую из двух слоев аналогичных атомов, создающих центры конденсации. В системе существует небольшое линейное трение, имитирующее остывание газопаровой смеси, а также нагрев атомов от внешнего источника. При образовании С-С связи возможно снятие возбуждения посредством излучения кванта света с энергией, равной энергии связи. Имеются, по крайней мере, следующие физически-обоснованные потенциалы взаимодействия атомов углерода: отталкивание по Борю, потенциал молекулярной связи, потенциал, возникающий при изгибе цепочек, Ван-дер-Ваальсовское притяжение на больших расстояниях. Производится оптимизация параметров процесса выращивания ЛЦУ на подложке, таких, как концентрация атомов углерода, наличие бомбардировки сторонними атомами, выбор профиля температуры по координатам и времени для обеспечения наилучших условий выращивания и заданного качества цепочек ЛЦУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ НА КАНАЛИРОВАНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В НАНОТРУБКАХ В РАМКАХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

А.С. Сабиров

Чувашский государственный университет
имени И.Н.Ульянова

Возмущение электронной подсистемы углеродной нанотрубки (УНТ) может оказать существенное влияние на каналирование заряженных частиц в ней. На это, в частности, указывалось в работах /1,2/. Для расчета поляризационных полей применяются различные подходы, среди которых следует выделить гидродинамическую модель /1,3/, описывающую электронную подсистему нанотрубки как жидкость. В данной работе углеродная нанотрубка моделируется в виде цилиндрического слоя с заданной диэлектрической функцией, учитывающей временную дисперсию среды. Такой подход применялся также в работах /4,5/, где рассчитывались потери энергии и поляризационный потенциал заряженных частиц при движении параллельно оси симметрии цилиндрического слоя. В рамках описанного метода, в работе исследуются траектории заряженных частиц, каналирующих в УНТ с учетом поляризационных сил. Проводится сравнение с результатами других авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borka D, Petrović S., Nešković N. et .all // Phys. Rev. 2006. A.73. P. 062902.
2. Mowbray D.J., Mičkovič Z.L., Goodman F.O., Wang Yiu-Nian // Phys. Rev. 2004. B.70. P. 195418.
3. Mowbray D. J., Segui S., Gervasoni J. et .all // Phys. Rev. 2010. B 82, P. 035405.
4. Tu Y.H., Kwei C.M., Li Y.C., Tung C.J. // Phys. Rev. 2006. B.74. P. 045403.
5. Segui S., Gervasoni J.L., Arista N.R. // Rad. Phys. and Chem. 2007. V. 76. P. 582

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛОАТОМНЫХ КЛАСТЕРОВ СЕРЕБРА
 Ag_N ($N=2..10$)

В.Г. Стельмах¹⁾, И.Д. Ядгаров¹⁾, А.М. Расулов²⁾, А.А. Джурахалов^{1,3)}

¹⁾ Институт электроники им. У. А. Арифова АН РУз,
Ташкент, Узбекистан

²⁾ Ферганский филиал Ташкентского университета
информационных технологий, Фергана, Узбекистан

³⁾ Dept. of Mathematics and Computer Science, University of Antwerp,
Antwerp, Belgium

Методом Монте-Карло находились равновесные конфигурации металлических кластеров Ag_N ($N=2..10$) при температуре $T=0$ К. Далее, используя уже найденные равновесные конфигурации, методом молекулярной динамики производился «разогрев» соответствующих кластеров до $T=300$ К.

Были проанализированы энергии связи кластеров и особенности конфигураций кластеров в зависимости от количества атомов в них.

При моделировании использовался потенциал Джонсона /1/, который имеет непарный характер и учитывает существование в металле электронной и ионной подсистем.

Следует отметить, что в кластерах Ag_7 , Ag_9 , Ag_{10} и Ag_{12} прослеживается группа атомов, которая образует правильную пятиугольную пирамиду, к которой присоединяются другие атомы кластера.

Получена зависимость E_c (т.е. минимальной энергии необходимой для разложения соответствующего кластера на отдельные атомы) от количества атомов в кластере при $T=0$ К и $T=300$ К.

Работа выполнена в рамках проекта ПФИ № Ф2-ФК-1-6500, Республика Узбекистан

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. R.A Johnson //Phys. Rev. 1989, В 39, 12554–12559.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ ПРИ ИОННОМ ПОСЛОЙНОМ АНАЛИЗЕ

Д. В. Широкопад, Г. В. Корнич

Запорожский национальный технический университет, Запорожье,
Украина

Проблема восстановления примесного профиля концентрации при ионном послойном анализе, несмотря на усилия многих исследователей за последние 30 лет, остается актуальной /1/. В работе рассмотрена нормальная бомбардировка плоской мишени с одним (или несколькими) внедренным прямоугольным профилем примеси низкой концентрации на примере матрицы кремния с примесью атомов меди. Распределение примеси в каждый момент времени задается диффузионноподобным уравнением ионного перемешивания с граничными условиями третьего рода /2/.

Для решения данной задачи используется нейронная сеть (НС). Входными сигналами для НС служат значения поверхностного профиля в разные моменты времени. НС реализована с одним скрытым нейрослоем и сигмоидальной функцией возбуждения /3/. В наборе данных для обучающей выборки варьировалась глубина начального залегания примеси, плотность бомбардирующего потока, величина области перемешивания. Показана возможность применения НС к решению задачи послойного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Feldman L.C. // Ion Beam Analysis of Lower Dimensional Structures – The Book of Symposium “Ion Beam Science: Solved and Unsolved Problems”, ed by Peter Sigmund.- Copenhagen, 1-5 May, 2006.-Part 1.- 133.
2. Kornich G.V., Betz G., Bazhin A.I. // Nuclear Instruments and Methods, 1999, B152, 437.
3. Shyrokorad D., Dumin O., Dumina O., Katrich V. // Proc. XIII International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory, Kyiv, 2010, TDE-6.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СПЕЦИФИКА ПРОЯВЛЕНИЯ
КОГЕРЕНТНЫХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ
КАНАЛИРУЕМЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ДЕМПФИРОВАНИИ И
ФЛУКТУАЦИЯХ В КАНАЛЕ

В.И. Высоцкий, М.В. Высоцкий
Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина

Рассмотрены особенности формирования когерентного коррелированного состояния (ККС) /1-3/ частицы, движущейся в параболическом канале при наличии продольной периодической модуляции стенок канала (например, УЗ волны с глубиной модуляции $g \ll 1$) в условиях демпфирования колебаний с коэффициентом затухания γ и наличии случайной δ -коррелированной силы $f(t)$ с $\langle f(t) \rangle = 0$. Показано, что при $f(t) = 0$ существует оптимальное соотношение $2\gamma = g$, при котором амплитуда "классического" колебания остается неизменной, а коэффициент корреляции быстро возрастает от $|r| = 0$ до $|r| \rightarrow 1$. Это соответствует формированию полного ККС, для которого $\delta x_{\perp} \delta p_{\perp} \geq \hbar / 2\sqrt{1-r^2}$ и $\delta x_{\perp}, \delta p_{\perp} \rightarrow \infty / 1-2/$. При $2\gamma \neq g$ формирование ККС с возрастанием $|r|$ сопровождается затуханием или раскачкой колебаний.

Показано, что при $2\gamma < g$ наличие произвольной по величине случайной силы $f(t)$, действующей на частицу в канале, не препятствует быстрому формированию ККС частицы с $|r| \rightarrow 1$.

Рассмотрено влияние процесса формирования ККС на прозрачность потенциального барьера (стенок канала) для частицы, движущейся в канале, при наличии затухания и отсутствии или наличии случайной силы. Эти эффекты могут быть использованы для реализации высокоэффективного ускоренного ядерного синтеза при малой энергии движущихся в канале частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий В.И., Адаменко С.В., Высоцкий М.В. //Поверхность, 2010, №4, 105.
2. Высоцкий В.И., Адаменко С.В. //ЖТФ, 2010, Т.80, №5,23.
3. Высоцкий В.И., Высоцкий М.В., Адаменко С.В. // ЖЭТФ, 2012, Т.141, №2, 276.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕКАНАЛИРОВАНИЯ И
РЕКАНАЛИРОВАНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛАХ С
ПОМОЩЬЮ НЕСТАЦИОНАРНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА В
ДРОБНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРЕМЕННОГО ПОРЯДКА

Н.В. Максютя, Г.П. Головач

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина

О применении дифференциальных уравнений в дробных производных в теории каналирования заряженных частиц в кристаллах впервые говорилось в /1/. Развивая это направление, в данной работе приводятся физические обоснования возможности использования для описания процессов деканалирования и реканалирования заряженных частиц в кристаллах нестационарного уравнения Шредингера в дробных производных переменного порядка (такого вида производные впервые были введены в работе /2/). Действительно, в связи со случайными перескоками ориентационно движущейся частицы с уровня на уровень, приводящими и к деканалированию, и к реканалированию, она находится в достаточно сложном суперпозиционном состоянии $\Psi(x, z) = \sum_n b_n(z) \psi_n(x)$, где $b_n(z)$ – амплитуда вероятности заселения частицей n -го уровня поперечного движения на глубине z , $\psi_n(x)$ – волновая функция этого состояния. Поэтому такое каналированное с переменным скейлингом движение с точки зрения математики лучше всего описывать с привлечением нестационарного уравнения Шредингера с дробной производной по времени переменного порядка в регуляризованной форме Капуто /3/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Максютя Н.В. // Поверхность, 2001, № 5, С. 45 – 47.
2. Coimbra C. // Annalen der Physik, 2003, V. 12, P. 692 – 703.
3. Caputo M., Mainardi F. // Pure and Applied Geophysics, 1971, V. 91, P. 134 – 147.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ И
ВОЗНИКНОВЕНИЯ КИЛЬВАТЕРНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ
КАНАЛИРОВАНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В
ЗАРЯЖЕННЫХ ПЛОСКОСТЯХ ИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Н.В. Максюта, В.И. Высоцкий

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина

В данной работе, являющейся продолжением исследований, начатых в /1/, расчет экранированного и кильватерного потенциалов проводится для случая каналирования релятивистских электронов в заряженных кристаллографических плоскостях $(2m+1, 2n+1, 2p+1)$ ионных кристаллов типа NaCl. Очевидно, что проявление этих потенциалов является более существенным в отрицательно заряженных плоскостях, поскольку в отрицательно заряженных ионах избыточный электрон имеет большую восприимчивость χ к внешним воздействиям. Записывая плотность каналируемого электрона в сопутствующей системе координат K' в виде

$$\rho(x', y', z') = \delta(y') \delta(z') \sum_n w_n \psi_n^2(x'),$$

где $\psi_n(x)$ – волновая функция поперечного движения, w_n – начальная вероятность заселения электроном n -го уровня, находим его электрическое поле $\vec{E}(\vec{r}, t)$ в неподвижной системе координат K /2/, затем определяем одночастичный потенциал $\phi(\vec{r}, t) = -\chi E^2(\vec{r}, t)$, на основании которого и рассчитываем искомые экранированный и кильватерный потенциалы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Максюта Н.В., Высоцкий В.И. // Тез. докладов XXXIX международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами // М.: Изд-во МГУ, 2009, С. 49.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1988, 512 с.

О МЕХАНИЗМАХ ОТКЛОНЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ИЗОГНУТЫМИ КРИСТАЛЛАМИ В ТЭВ-НОЙ ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ

И.В. Кириллин, Н.Ф. Шульга, В.И. Трунень
ИТФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

Существует несколько механизмов отклонения быстрых заряженных частиц изогнутыми кристаллами: плоскостное каналирование частиц в изогнутом кристалле /1/, объёмное отражение от одной /2/ или нескольких /3/ изогнутых кристаллических плоскостей атомов и стохастический механизм отклонения /4/, связанный с рассеянием частиц на изогнутых цепочках атомов кристалла. Все эти механизмы были подтверждены экспериментально вплоть до энергий частиц в несколько сотен ГэВ. Использование плоскостного каналирования позволяет поворачивать пучки положительно заряженных частиц на углы, значительно превышающие значения критического угла плоскостного каналирования. Объёмное отражение частиц даёт возможность отклонять пучки на углы порядка нескольких значений критического угла плоскостного каналирования. Особый интерес представляет стохастический механизм отклонения, так как он позволяет поворачивать как положительно, так и отрицательно заряженные частицы на углы во много раз превосходящие значение критического угла осевого каналирования частиц. В настоящей работе проведено сравнение эффективности различных механизмов отклонения заряженных частиц изогнутыми кристаллами в ТЭВ-ной области энергий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsyganov E.N. // *Preprint Fermilab* ТМ-682, ТМ-684, 1976.
2. Taratin A.M. and Vorobiev S.A. // *Phys. Lett. A*, 1987, v. 119, p.425.
3. Tikhomirov V.V. // *Phys. Lett. B*, 2007, v. 655, p. 217.
4. Greenenko A.A. and Shul'ga N.F. // *JETP Lett.*, 1991, v. 54, p. 524.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЕТЕКТИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Г.П. Васильев, В.К. Волошин, А.С. Деев, С.К. Киприч, Н.И. Маслов,
С.В. Наумов, В.Д. Овчинник, С.М. Потин, М.Ю. Шулика, В.И. Яловенко

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

Представлены опытные образцы и характеристики опытных образцов одноканальных детектирующих систем разработанных и изготовленных для экспериментальных исследований, применений в ядерной энергетике, радиационном мониторинге и для других практических применений.

Спектрометрические детектирующие системы создаются на основе разрабатываемых в ннц хфти кремниевых неохлаждаемых планарных детекторов и спектрометрической считывающей электроники. Стационарные и переносные малогабаритные детектирующие системы предназначены для детектирования заряженных частиц, рентгеновского и гамма излучений.

VOLUME REFLECTION OF RELATIVISTIC PARTICLES IN A BENT
CRYSTAL WITH EXTERNAL MAGNETIC FIELD

G.V. Kovalev

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

The external magnetic field applied to the uniformly bent ferromagnetic crystal can change the scattering process and spin polarization of the beam deflected near the maximums of the effective crystal potential. The dynamic equations for trajectory of relativistic particle in polar coordinates (r, θ) in an electric \vec{E} and magnetic \vec{B} field (\vec{B} directed perpendicular to the plane of bent) is:

$$r'' - \frac{2r'^2}{r} - r = \frac{[eE(r) + e|\vec{\beta} \times \vec{B}|]r^4}{m\gamma(h_0 - \frac{\lambda}{m\gamma}\theta)^2}. \quad (1)$$

The equations describing particle spin \vec{s} motion in an electric \vec{E} and magnetic \vec{B} fields is:

$$\frac{d\vec{s}}{dt} = \frac{e}{mc} \vec{s} \times \vec{H}'. \quad (2)$$

Here 1/

$$\vec{H}' = \left[\left(\frac{g}{2} - 1 + \frac{1}{\gamma} \right) \vec{B} - \left(\frac{g}{2} - 1 \right) \frac{\gamma}{\gamma + 1} \vec{\beta} \cdot \vec{B} \vec{\beta} - \left(\frac{g}{2} - \frac{\gamma}{\gamma + 1} \right) \vec{\beta} \times \vec{E} \right].$$

The particles near the maximums of the effective potential undergo the spiral scattering [2] and follow the bent of the potential. The \vec{E} is small near the maximums of the effective potential and \vec{H}' is mostly defined by the 1st term in brackets with magnetic field $\vec{B} = \mu\vec{H}$ where $\mu \sim 10^4 - 10^5$ for the ferromagnetic bent crystals. The small part of the beam can be modulating by a variation of magnetic field. For particles with g-factor $g \neq 2$ the precession of the spin is essential and will depend on the deflection angle.

REFERENCES

1. Berestetskii V.B., Lifshitz E.M., Pitaevskii L. P., Quantum Electrodynamics, Pergamon Press, NY, (1982).
2. Kovalev G.V. JETP Letters, 89, 311, 2009.

EFFECTS OF FAST NEUTRONS AND GAMMA RADIATION ON SOME BIOPHYSICAL PROPERTIES OF RED BLOOD CELLS MEMBRANE OF ALBINO RATS (IN VIVO STUDY)

F.M. Ali²⁾, S.E. Abo-Neima³⁾, A.A. Sakr³⁾,
F. el-Akad¹⁾, A.M. el-Khatib¹⁾, H.A. Motaweh³⁾

¹⁾Physics Department. Faculty of Science. Alexandria University. Egypt

²⁾Bio-physics Department. Faculty of Science. Cairo University. Egypt

³⁾Physics Department. Faculty of Science. Damanhour University. Egypt

The aim of the present work is to study the radiation hazard through measurements of possible changes on some biophysical properties of red blood cell membrane of albino rats in vivo study. The traditional methods for evaluation of the radiation risk for occupational workers includes medical examination in which, blood counts are included. Routinely controlled by personal dosimeters exposures of individuals are not permitted to be higher than the limits recommended by **ICRP 60**. Counting of red blood cells is unsatisfactory to represent the radiation hazards. The biophysical structural functions of blood plays the major role to represent the injury occurred to the system. Sixty male albino rats were equally divided in to three groups namely A, B, C. Animals of group A used as a control group and didn't receive any treatment and housed at normal environmental conditions. Animals of groups B was used for the study of γ -rays effects. The γ -dose rate from the Am²⁴¹ source was 16 μ Sv/h at the irradiation facility. Animals of groups C was used for study of neutrons and gamma effects. The average neutron component of the dose rate was 6 μ Sv/h. Osmofragility of the r.b.cs, blood film were carried for each collected blood samples. The blood viscosity and solubilization of the membrane by non ionic detergent (octylglucoside) were also measured. The results showed decrease in the average osmotic fragility and average membrane solubilization. The effects of radiation on the red blood cell membrane were discussed.

ИОНИЗАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ТЯЖЕЛОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАЩИЩЕННЫХ МИКРОСХЕМАХ

В.Я. Чуманов, А.Г. Кадменский, Н.Г. Чеченин
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Радиационные эффекты, приводящие к деградации и сбоям в функционировании электронной аппаратуры на борту космического корабля, вызывают все большую озабоченность в связи с постоянно уменьшающимися размерами и увеличивающейся плотностью элементов бортовой электроники, а также в связи с участвовавшими и ставшими доступными общественности случаями потерь космических аппаратов.

В данном докладе рассматривается прохождение энергичным ионом многослойной структуры – прототипа интегральной схемы, с учетом потерь энергии в корпусе микросхемы, в защитных слоях, в контактах и металлизированных слоях. Оценивается энергетическая область частиц, вызывающих генерацию заряда, потенциально способного приводить к сбою бортовой электроники. Оценивается пространственная область, из которой тяжелые фрагменты ядерных реакций могут проникать в чувствительную область, обладая кинетической энергией, достаточной для индуцирования заряда с концентрацией выше критической.

Секция II

**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ТВЁРДОМ
ТЕЛЕ**

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД В ТЕОРИИ АКСИАЛЬНОГО
КАНАЛИРОВАНИЯН.Ф. Шульга¹⁾, В.В. Сыщенко²⁾, В.С. Нерябова²⁾¹⁾Институт теоретической физики им. А.И. Ахиезера ННЦ ХФТИ,
Харьков, Украина²⁾Белгородский государственный национальный исследовательский
университет, Белгород, Российская Федерация

При движении быстрых заряженных частиц в кристаллах могут оказаться существенными квантовые эффекты во взаимодействии с непрерывными потенциалами атомных цепочек и плоскостей. В частности, может иметь место квантование значений энергии поперечного движения частицы. В предлагаемой работе нами найдены уровни энергии электронов, движущихся в режиме каналирования в системе параллельных атомных цепочек (на примере цепочек [110] кристалла кремния) и прослежено формирование зонной структуры уровней, обусловленное туннельным эффектом между соседними цепочками.

Собственные значения энергии определялись численно с помощью так называемого спектрального метода /1/, хорошо зарекомендовавшего себя в задаче о плоскостном каналировании заряженных частиц в кристалле /2/.

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК 16.740.11.0147 от 02.09.2010 и программы внутренних грантов БелГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Feit M.D., Fleck J.A., Jr., Steiger A. // Journal of Computational Physics, 1982, v. 47, p. 412-433.
2. Kozlov A.V., Shul'ga N.F., Cherkaskiy V.A. // Phys. Lett. A, 2010, v. 374, p. 4690-4694.

ДИАГНОСТИКА ПОЛИКРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ
ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ТОРМОЗНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

В.И. Алексеев, Э.Ф. Иррибарра, А.С. Кубанкин, Р.М. Нажмудинов,
Н.Н. Насонов, В.В. Полянский, В.И. Сергиенко
Лаборатория радиационной физики, НИУ «БелГУ», Белгород, Рос-
сия

Проводится обзор результатов экспериментальных исследований метода диагностики поликристаллов, основанного на поляризационном тормозном излучении (ПТИ) релятивистских электронов в изучаемом образце. Продемонстрировано хорошее согласие развитой модели с данными измерений как по положению линии, так и по амплитуде когерентных пиков ПТИ, соответствующих фиксированным межплоскостным расстояниям в поликристаллах алюминия, меди, никеля. Экспериментально показана возможность идентификации структурных пиков путём изменения угла наблюдения излучения, приводящего к заданному сдвигу спектрального положения пиков. Обнаружены пики ПТИ в направлении обратного рассеяния, обладающие согласно развитой теории уникально узким спектром. Измерения, проведенные с использованием монохроматора, показали, что в соответствии с теоретическими предсказаниями ширина спектра структурных пиков имеет величину, обратно пропорциональную энергии излучающего электрона. Продемонстрирована высокая чувствительность этих пиков к текстуре материала.

ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА АТОМНЫХ
ОБЪЕКТОВ, СКРЫТЫХ В ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

В.К. Гришин, Д.П. Никитин
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В последнее время в связи с огромным интересом к наноструктурам серьезное внимание уделяется исследованиям сложных нанообъектов. В частности, исследуются фуллерены с инкапсулированными в них атомарными и молекулярными соединениями (последние можно использовать, например, в медицине). Инкапсулированные в фуллеренах атомы под воздействием внешней оболочки деформируются, сжимаясь или расширяясь с относительной деформацией от долей до десятков и более процентов [1-3]. Показательно, что величину деформации можно оценить, анализируя спектры поляризационного тормозного излучения (ПТИ) ускоренных электронов, возникающего при рассеянии собственного поля быстрого заряда на атомных электронах вещества, что позволяет эффективно исследовать атомную структуру. В рассматриваемом случае спектры ПТИ имеют сложный характер и состоят из больших и малых спектральных сигналов, которые являются когерентным вкладом в ПТИ электронов фуллерена и инкапсулированного атома. Но, в силу различных размеров электронных оболочек фуллерена и атома, большие (от фуллерена) и меньшие (от атома) сигналы должны располагаться на различных участках суммарного частотного спектра (когерентность излучения возникает, если длина волны излучения больше размера нано-объекта). Это позволяет разностным методом выделить наиболее интересную информацию и оценить размеры "фигурантов". Приводятся примеры оценок на эндоэдральном соединении $P@C_{60}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tkalya E.V., Bibikov A.V., and Bodrenko I.V. // Phys. Rev. C 81, 024610 (2010).
2. Ohtsuki T., Yuki H., Muto M., Kasagi J. and Ohno K. // Phys. Rev. Lett. 93 112501 (2004).
3. Zhitnikov R. A., Dmitriev Y. A. // In Optical Orientation of Atoms and Molecules (1990).

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ МНОГОКРАТНОГО УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НА УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ

В.П. Афанасьев, Д.С. Ефременко, Д.А. Иванов, П.С. Капля,
А.В. Лубенченко
НИУ МЭИ, Москва, Россия

Интерпретация сигналов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФС), каковая является сейчас наиболее популярным инструментом многофункционального анализа поверхностей твердых тел, выполняется в рамках «straight line approximation», приближения пренебрегающего влиянием процессов упругого рассеяния на процесс. Интерпретация РФС экспериментов, выполненных с угловым разрешением, используемых для определения послышного состава в приповерхностных слоях мишеней, требует детального знания об угловых распределениях фотоэлектронов. В представленной работе теоретический анализ выполняется, как в рамках аналитического подхода, так и Монте Карловского моделирования процесса. Решение граничной задачи, определяющей угловое распределение фотоэлектронов эмитируемых однородной полубесконечной мишенью - $Q(m, m_j)$, методами инвариантного погружения приводит нас к уравнению:

$$\begin{aligned} \frac{S_{el} + S_m}{m} Q(m, m_j) = & F(m, m_j) + \int_0^{2\pi} \int_0^0 F(m, n_j j \check{y} - j) R(x, n_j m_j \check{y}) \frac{dn_j \check{y}}{n_j} dj \check{y} + \\ & + \int_0^{2\pi} \int_0^0 Q(m, n_j j \check{y} - j) w_{el}(n_j m_j \check{y}) \frac{dn_j \check{y}}{n_j} dj \check{y} + \\ & + \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^0 Q(m, n_j j \check{y}) \int_0^0 w_{el}(n_j n_j j \check{y} - j \check{y}) R(x, n_j m_j \check{y} - j) \frac{dn_j \check{y}}{n_j} dj \check{y} \frac{dn_j \check{y}}{n_j} dj \check{y} \end{aligned}$$

Данное уравнение решается в работе методом итераций.

Полученные решения сравниваются, как с результатами МК моделирования, так и с экспериментальными данными.

В работе проводится критический анализ существующих методов, определяющих влияние процессов упругого рассеяния на РФС спектры.

QUANTUM EFFECT FOR PXR AT CHANNELING

K.B. Korotchenko¹⁾, Yu.L. Pivovarov¹⁾, Yu. Takabayashi²⁾, T.A. Tukhfatullin¹⁾
¹⁾National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
 Russia

²⁾SAGA Light Source, 8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga 841-0005, Japan

The theory of X-ray radiation from relativistic channeled electrons at the Bragg angles - Parametric X-Radiation at Channeling (PXRC) - is developed and the formula for the angular distribution of PXRC is obtained which takes into account two quantum effects: initial population $P_n(\theta_0)$ and “form-factor” $|F_{nn}| = |\langle \phi_n | \exp(i\kappa_y y) | \phi_n \rangle|$ of transverse motion. The matrix element for PXRC was obtained in [1]. Using this matrix element, one can derive the following formula for PXRC angular distribution

$$dN_{\text{PXRC}}^n = \frac{d^3 N_{nn}}{d\theta_x d\theta_y dz} = dN_{\text{PXR}} |F_{nn}|^2, \text{ where } dN_{\text{PXR}} \text{ is the ordinary PXR}$$

angular distribution. Since $|F_{nn}|^2 \leq 1$, the PXRC intensity is always smaller than PXR.

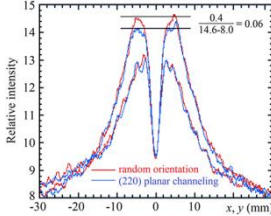


Fig. 1

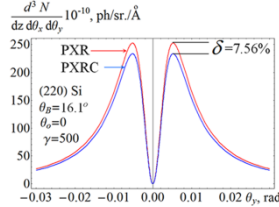


Fig. 2

The value of $\delta = 1 - \sum_n P_n(\theta_0) |F_{nn}|^2$ is shown in Fig.1. Fig.2 presents the experimental data on PXRC and PXR angular distributions from electron beam with energy 255 MeV at (220) Si channeling.

The experiment was carried out using a 255 MeV electron beam from a linac at the SAGA Light Source (Japan). The rather good agreement between theoretical prediction and experimental data was found. Future perspectives are discussed.

REFERENCES

1. Yabuki R., Nitta H., Ikeda T., Ohtsuki Y.H. // Physical Review B. 2001. V.63. P. 174112.

APPLICATION OF THE DIFFRACTION RADIATION INTERFEROGRAM
OBTAINED AFTER THE INTERACTION OF AN ELECTRON BEAM
WITH A SLIT TARGET

D.A. Shkitov¹⁾, G.A. Naumenko¹⁾, M.V. Shevelev¹⁾, A.P. Potylitsyn¹⁾, H. Deng²⁾, X. Wang²⁾
¹⁾ TPU, Tomsk, Russia
²⁾ SINAP, Shanghai, China

In October 2011 a joint Russian-Chinese experiment on the extracted beam of the microtron TPU was carried out. In particular, the interferogram of coherent diffraction radiation (CDR) from a slit target was measured. Fig. 1 shows a top view of this target.

Earlier we developed a model to calculate the CDR in the far- or near-field zone as well as taking into account the finite size of the target /1/.

Based on this model subject to the detector sensitivity function is shown that a comparison of theoretical with experimental interferograms can provide information about a longitudinal size of the bunch and also that this method agrees with the previously proposed empirical method /2/.

Parameters of microtron: an electron energy $E = 6.1$ MeV or $\gamma = 12$, a bunch length $\sigma_{\text{RMS}} \sim 2$ mm, a diameter of cutoff waveguide $D = 10$ mm, a slit width $a = 2$ mm.

This work was supported by the joint Russian-Chinese grant RFBR № 11-02-91177-GFEN_a.

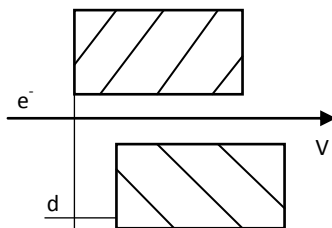


Fig. 1. Slit target – top view

REFERENCES

1. Shkitov D.A., Potylitsyn A.P. // Book of abstracts IX International symposium «Radiation from relativistic electron in periodic structure» RREPS'11, 11-16 September 2011. – p. 70
2. Naumenko G.A., Potylitsyn A.P. et al. // Izv. Vuzov. Fizika, 2009, №11/2, – pp. 254 – 260.

ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В СИСТЕМЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ

А.С. Сабиров¹⁾, Г.М. Филиппов²⁾

¹⁾Чувашский государственный университет

²⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского
государственного открытого университета.

В работе, исходя из законов квантовой механики, рассматривается задача движения электронов в системе квантовых точек, находящихся во внешнем электрическом поле. Ее решение позволит получить оценки электронной проводимости в системе квантовых точек, сравнить результаты с данными классических теорий.

Вначале рассматривается цепочка равноотстоящих квантовых точек в одном измерении в отсутствие внешнего поля. Численно решая данную задачу для потенциальных ям произвольной формы, мы переходим к задаче транспорта электронов вдоль цепочки под действием постоянного электрического поля. Решение ищется в виде разложения по собственным функциям, полученным в предыдущей задаче. Система дифференциальных уравнений для коэффициентов разложения, в свою очередь, решается с машинной точностью и позволяет таким образом рассчитать характеристики рассматриваемой системы квантовых точек как одномерного квантового проводника. Переход от одномерной задачи к трехмерному случаю позволит решить одну из важных задач квантовой теории проводимости.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ КВАЗИХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ СО СТРУКТУРОЙ ЦИНКОВОЙ ОБМАНКИ

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

Как показано в /1/, ориентационное движение релятивистских электронов в кристаллах со структурой цинковой обманки обладает целым рядом интересных особенностей. Одна из таких особенностей состоит в том, что в определенных направлениях возникают сильно неунимодальные потенциальные ямы, как в плоскостном, так и в осевом случаях. Очевидно, что это должно сказаться на положениях энергетических уровней и на структурах соответствующих им волновых функций каналированного движения, а, следовательно, и на квазихарактеристическом излучении (КХИ). Аналитически рассчитать спектры КХИ с помощью метода изоспектральных потенциалов (см. /2/) удастся только для определенных энергий релятивистских электронов. В случае же произвольной энергии в работе производится численный анализ спектров поперечных энергетических уровней, а также спектральных плотностей КХИ, возникающих при каналировании релятивистских электронов в заряженных плоскостях кристаллов со структурой цинковой обманки. При этом показывается, что в этих случаях структуры спектров КХИ существенно зависят от энергий каналируемых частиц.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Максютa Н.В., Высоцкий В.И., Головач Г.П. // Тез. докладов ХLI международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами // М.: Изд-во МГУ, 2011, С. 31.
2. Высоцкий В.И., Кузьмин Р.Н., Максютa Н.В. // Поверхность, 1997, № 2, С. 107 – 110.

О ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ КОГЕРЕНТНОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.И. Маслов

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

Рассматривается комплекс вопросов, связанных с возможностью создания интенсивного источника излучения на основе ориентированной кристаллической мишени.

Ранее в работе /1/ экспериментально исследован полный выход гамма-излучения при взаимодействии пучка электронов (1200 МэВ) с монокристаллами кремния и вольфрама, ориентированными кристаллографической осью вдоль оси пучка. В работе /2/ приведены результаты экспериментов технологического использования пучков когерентного тормозного излучения (КТИ) и исследуется минимально возможная энергия ускоренных электронов, необходимая для генерации КТИ в ядерноактивной области энергий.

В настоящей работе рассматриваются проблемы и возможность получения интенсивных пучков (КТИ) на основе кристаллической мишени. Представлены результаты экспериментальных исследований генерации КТИ в ориентированной кристаллической мишени кремния, расположенной вне вакуума за выходной фольгой ускорителя для улучшения охлаждения. Предлагаются методы изготовления кристаллических мишеней сложной формы для увеличения теплоотвода.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г.Л. Бочек, В.И. Кулибаба, Н.И. Маслов и др. ПОВЕРХНОСТЬ. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2003, № 4, с.116-120.
2. Г.Л. Бочек, В.И. Кулибаба, Н.И. Маслов и др. ПОВЕРХНОСТЬ. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011, № 7, с. 46-51.

CALCULATE THE EFFICIENCY OF GAMMA-RAY DETECTORS FOR
INVERTED WELL BEAKER SOURCES USING AN ANALYTICAL
EFFICIENCY TRANSFER PRINCIPLE

M.S. Badawi, S.S. Nafee, S.M. Diab,
A.M. el-Khatib and E.A. el-Mallah
Physics Department, Faculty of Science, Alexandria University,
21511 Alexandria, Egypt

Different sources efficiency measurements and the construction of the corresponding calibration curve are usually carried out in gamma-ray spectrometry to calculate the unknown activity for different sources in the same geometry or in order to facilitate the efficiency computation of different sources geometries by the use of the efficiency transfer method. In this work, the Full Energy Peak Efficiency values (FEPE) of HPGe detector have been calculated using axial inverted well beaker sources of different dimensions by an analytical approach of effective solid angle ratio. Calculation taking into account the source self attenuation effect, this approach is based on the direct mathematical method. In the experiments gamma aqueous sources containing ^{152}Eu radionuclide's covering the energy range from 121 to 1408 keV were used. By comparison, the theoretical and experimental full-energy peak efficiency values are in good agreement.

ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ФОТОНОВ, ИЗЛУЧАЕМЫХ
ИОНАМИ В ПРОЦЕССЕ РЕЗОНАНСНОГО КОГЕРЕНТНОГО
ВОЗБУЖДЕНИЯ ПОД МАЛЫМИ УГЛАМИ К ПОВЕРХНОСТИ, НА
КРИСТАЛЛЕ МИШЕНИ

В.П. Петухов
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В процессе резонансного когерентного возбуждения (РКВ) каналированных ионов генерируется характеристическое рентгеновское излучение (ХРИ). Значительный выход этого излучения на один проходящий ион, возможности варьировать в широких пределах его энергию и регулировать поляризацию вызывают интерес к процессу РКВ как к источнику поляризованного рентгеновского излучения /1/. Ввиду актуальности темы мы дополнили выполненное ранее в кинематическом приближении рассмотрение выхода поверхностной волны в процессе РКВ /2/ теоретическим анализом дифракции этого излучения на поверхности кристалла мишени на базе динамической теории дифракции.

В расчетах углового и энергетического распределений интенсивности выхода ХРИ для случая, когда это излучение распространяется почти параллельно поверхности кристалла и в направлении брэгговского отражения, учитывается не только многократное дифракционное рассеяние, но одновременно и зеркальное отражение от поверхности падающей и дифрагированной волн. Теоретический анализ показал, что распределение интенсивности излучения вблизи поверхности существенно изменяется в области углов брэгговского отражения. Предложены конкретные примеры для измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов В.В.. Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2011. №3. С.5.
2. Петухов В.П.. Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2012. №3. 2012, №3.

NEW ANALYTICAL APPROACH TO CALIBRATE CYLINDRICAL
HPGE DETECTOR INCLUDING CORRECTIONS FOR SELF
ATTENUATION OF LARGE CYLINDRICAL SOURCES AND
ATTENUATION OF ALL DETECTOR HOUSING MATERIALS.

M.S. Badawi, M.M. Gouda, A.M. el-Khatib, S.S. Nafee and E.A. el-Mallah
Physics Department, Faculty of Science,
Alexandria University, 21511 Alexandria, Egypt

HPGe semiconductor detectors are very useful for radioactivity measurement and to calculate the absolute activity, the full energy peak efficiency of the detector is needed. In this work, to calibrate the co-axial HPGe semiconductor detector, we introduce a new theoretical approach based on the Direct Statistical method proposed by Selim and Abbas to calculate the full-energy peak efficiency for cylindrical detectors. The present method depends on the accurate analytical calculation of the average path length covered by the photon inside the detector active volume and the geometrical solid angle, Ω , to obtain a simple formula for the efficiency. In addition, self attenuation of source matrix (with radius greater than the radius of the detector), the attenuation by the source container and the detector housing materials are also treated by calculating the average path length cross these materials. ^{152}Eu aqueous sources covering the energy range from 121 up to 1408 keV were used. Remarkable agreement between the measured and the calculated efficiencies is achieved with discrepancies less than 2%.

CALCULATION OF FULL ENERGY PEAK EFFICIENCY OF GAMMA
DETECTORS USING AN ANALYTICAL EFFICIENCY TRANSFER
PRINCIPLE

M.S. Badawi¹⁾, A.M. el-Katib¹⁾, M.A. Elzaher²⁾, A.A. Thabet²⁾
and A.A. Sakr³⁾

¹⁾Physics Department, Faculty of Science, Alexandria University,
21511 Alexandria, Egypt

²⁾Department of Basic and Applied Science, Faculty of Engineering, Arab
Academy for Science, Technology and Maritime Transport, Alexandria, Egypt

³⁾Physics Department, Faculty of Science, Damanhour University, Egypt

In this work the full energy peak efficiency of NaI(Tl)-scintillation detector ($5.08 \times 5.08 \text{ cm}^2$ and $7.62 \times 7.62 \text{ cm}^2$) values have been calculated for axial cylindrical sources of different dimensions larger than the coaxial detectors using an analytical approach of effective solid angle calculation and taking into account the source self attenuation effect. The detector efficiency for various geometrical conditions is derived from the known efficiency for reference source-detector geometry. The present method shows a great possibility to calibrate the detectors through the determination of the full-energy peak efficiency curve even in the cases when no standard source is available.

EFFECT OF X-RAY IRRADIATION ENERGY ON OPTICAL,
MECHANICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES OF POLYANILINE
POLYMETHYLMETHACRYLATE BLEND

H.A. Motaweh¹⁾, A.A. Sakr¹⁾, and T.G. Abdelmalik²⁾

¹⁾Physics Department, Faculty of Science,
Damanhour University, Damanhour, Egypt

²⁾Physics Department faculty of Science,
Minia University, Minia. Egypt

The effect of x-ray irradiation energy on optical , mechanical and dielectric properties of polyanilie / polymethylmethacrylate blend are investigated at room temperature. The samples are exposed to different radiation doses from 0 to 1000 cGy. The absorption spectra of polyanilie / PMMA blend have been measured with photon energies in the fundamental absorption region at different X-ray doses. The results indicated that a perturbation and degradation feature may take place for X-ray dose below 500 cGy , and cross- linking for higher doses. Young's modulus and dielectric properties of polyanilie/ PMMA samples are carried out at room temperature. The results are explained on the basis of perturbation, degradation and cross-linking of the polyanilie/ polymethylmethacrylate samples.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИМИ СЦИНТИЛЛЯТОРАМИ

А.С. Лобко, О.В. Мисевич, А.А. Федоров
Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Беларусь

Требования быстродействия к детекторам мягкого рентгеновского излучения и электронов с энергией 5-50 кэВ при работе на интенсивных источниках приводят к необходимости использовать наиболее быстрые из существующих – пластические – сцинтилляторы с невысоким световыходом. В силу этого отклик ФЭУ может содержать всего несколько фотоэлектронов. Выходной сигнал типичного для сцинтилляционного детектора спектрометрического тракта, содержащего одно интегрирующее звено и одно дифференцирующее звено, в таких условиях не позволяет выделить сигнал из фона и приводит к экспоненциальному амплитудному распределению. Многозвенные спектрометрические формирователи ранее для сцинтилляционных детекторов не применялись. С одной стороны не стояла остро задача устранения белого шума головного каскада электронного тракта, и с другой стороны – из-за сложности создания многозвенных активных фильтров с постоянными времени порядка нескольких наносекунд.

В докладе рассмотрена регистрация рентгеновского излучения и конверсионных электронов пластическими сцинтилляторами со спектрометрическим формированием импульса третьего порядка. Показано, что при таком формировании возможно выделение пика в амплитудном спектре электронов и гамма квантов при энергиях ~ 7 кэВ при стандартном ФЭУ. При этом загрузочная способность составит ~ 25 МГц, что в несколько раз превышает быстродействие детектора на основе сцинтилляционного кристалла алюмоиттриевого перовскита $YAlO_3:Ce$ /1/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Коржик М.В., Лобко А.С., Мисевич О.В., Федоров А.А. // Тезисы докл. 41-й Конф. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, М: 2011, с. 158.

ЭФФЕКТ БОРМАНА В ДИФРАГИРОВАННОМ ПЕРЕХОДНОМ ИЗЛУЧЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА, ПЕРЕСЕКАЮЩЕГО ПЕРИОДИЧЕСКУЮ СЛОИСТУЮ МИШЕНЬ

С.В. Блажевич¹⁾, Ю.П. Гладких¹⁾, А.В. Носков²⁾

¹⁾Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾Белгородский университет кооперации, экономики и права, Белгород, Россия

В работе рассматривается возможность проявления динамического эффекта anomalно низкого фотопоглощения (эффекта Бормана) в дифрагированном переходном излучении (ДПИ) релятивистского электрона, пересекающего периодическую слоистую структуру в геометрии рассеяния Лауэ. На основе двухволнового приближения динамической теории дифракции получено выражение, описывающее спектрально-угловую плотность ДПИ, спектральная часть которого представлена в виде суммы спектров двух возбуждаемых в среде рентгеновских волн и слагаемого, описывающего их интерференцию

$$R_{\text{ДПИ}}^{(s)} = R_1^{(s)} + R_2^{(s)} + R_{\text{int}}^{(s)}.$$

Исследованы вклады двух рентгеновских волн в выход ДПИ, а так же их интерференция (рис.1). Показано, что с увеличением толщины мишени L ($L \sim b^{(s)}$) одна из волн поглощается anomalно высоко, а другая anomalно низко (рис.2), т. е. эффекта Бормана проявляется в ДПИ в периодической слоистой структур.

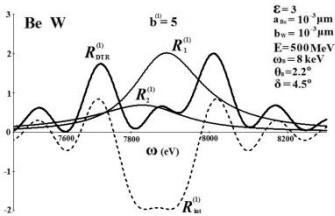


Рис.1

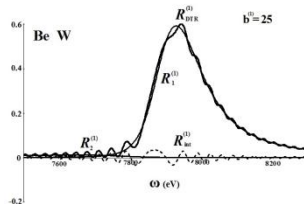


Рис.2

КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ВОЗБУЖДАЕМОЕ
РЕЛЯТИВИСТСКИМ ЭЛЕКТРОНОМ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ
СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ В ГЕОМЕТРИИ РАССЕЯНИЯ БРЭГГА

С.В. Блажевич¹⁾, Ю.П. Гладких¹⁾, А.В. Носков²⁾

¹⁾Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Белгород, Россия

Традиционно излучение релятивистской частицы в периодической слоистой мишени рассматривалось в геометрии рассеяния Брэгга, когда отражающие слои расположены параллельно ее входной поверхности (симметричное отражение). В работе /1/ это излучение рассматривалось как резонансное переходное, а в работе /2/ в описании данного процесса использовался динамический подход. Позже авторами работы динамическая теория излучения релятивистской частицы в периодической слоистой структуре для геометрии Лауэ была развита для общего случая асимметричного отражения поля относительно поверхности мишени, когда параллельные отражающие слои могут располагаться под любым заданным углом к поверхности мишени.

В настоящей работе для общего случая асимметричного отражения развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения, возбуждаемого релятивистским электроном, пересекающим искусственную периодическую слоистую структуру в геометрии рассеяния Брэгга.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. M.A. Piestrup, D.G. Boyers, C.I. Pincus et al., //Phys.Rev. A,1992, 1183.
2. N.N. Nasonov, V.V. Kaplin, S.R. Uglov, M.A. Piestrup, C.K. Gary, //Phys. Rev. E, 2003, 68, 3604.

КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВБЛИЗИ НАПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТИ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА, ПЕРЕСЕКАЮЩЕГО ПЕРИОДИЧЕСКУЮ СЛОИСТУЮ СТРУКТУРУ

С.В. Блажевич¹⁾, Ю.П. Гладких¹⁾, А.В. Носков²⁾,

¹⁾Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾Белгородский университет кооперации, экономики и права, Белгород, Россия

Построена теория когерентного рентгеновского излучения, возбуждаемого релятивистским электроном, пересекающим периодическую слоистую структуру. Излучение в направлении близком к направлению скорости релятивистского электрона представлено в виде суммы вкладов двух механизмов, а именно, параметрического рентгеновского излучения вперед (ПРИВ) и переходного излучения (ПИ), что аналогично случаю когерентного излучения в кристаллической структуре в геометрии рассеяния Брэгга при асимметричном отражении.

Получены выражения, описывающие спектрально-угловую плотность излучения для двух ветвей ПРИВ, соответствующих двум решениям дисперсионного соотношения в слоистой периодической структуре. Исследованы групповые скорости рентгеновских волн, соответствующих различным ветвям решения. Показано, что вклады этих волн в суммарное излучение зависят от асимметрии отражения, а, изменяя ориентацию мишени, можно существенно изменять спектрально-угловые свойства ПИ в окрестности брэгговской частоты.

Показано, что, как и в кристаллической среде, в периодической слоистой структуре для излученных фотонов наряду с фотопоглощением существует эффект интерференционного поглощения, называемый экстинкцией. Выявлено, что ширина частотной области, в которой проявляется этот динамический эффект, также зависит от асимметрии отражения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ АТОМА В ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКЕ КРИСТАЛЛА

П.Н. Жукова, Ле Тхи Хоай, Н.Н. Насонов

Лаборатория радиационной физики, НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

Исследование фазового состава является одной из центральных проблем в структурной рентгенодиагностике кристаллов. В настоящем докладе предлагается новый подход к ее решению, основанный на зависимости выхода характеристического излучения искомого атома от его координат в элементарной ячейке кристалла, проявляющейся в динамическом режиме рассеяния первичного зондирующего рентгеновского излучения в изучаемом образце. Получены и проанализированы простые формулы двухволновой теории дифракции, позволяющие количественно описать предсказываемую зависимость. Предложена конкретная схема эксперимента по изучению эффекта и рассчитаны примеры реализации подхода.

ПОДАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ПЛОТНОСТИ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ

О.А. Горбунова, П.Н. Жукова, В.А. Насонова.

Лаборатория радиационной физики, НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

Рассмотрено параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ) релятивистских электронов в кристалле в направлении обратного рассеяния. Решение, полученное и проанализированное в рамках кинематической теории дифракции, содержит вклад дифрагированного переходного излучения (ДПИ). Показано, что выход излучения в рассматриваемых условиях существенно отличается от традиционного, описываемого формулой Феранчука – Ивашина. Основное отличие связано с подавлением влияния эффекта плотности, приводящего в рамках теории Ф-И к резкому насыщению выхода ПРИ с ростом энергии излучающего электрона. В соответствии с новой формулой для углового распределения излучения эффект плотности практически полностью подавляется в случае мишеней с толщиной, меньшей длины формирования кванта (эффект Гарибьяна). Однако, существенное подавление эффекта плотности имеет место и для произвольной толщины мишени. В работе показывается, что данное обстоятельство обусловлено вкладом ДПИ и особенностью структуры поля переходного излучения.

DOUGHNUT SCATTERING OF 255 MEV ELECTRONS
AT <100> CHANNELING IN SILICON CRYSTAL

O.V. Bogdanov^{1,2}, Yu.L. Pivovarov¹, Y. Takabayashi³, T.A. Tukhfatullin¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²INFN Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italy

³SAGA Light Source, Tosu, Japan

The «doughnut scattering» (DS) (scattering of charged relativistic particles by crystal axes in the plane perpendicular to the axes) was first observed in earlier high-energy channeling experiments (1976–1980) using the proton and meson beams at CERN, see, e.g. in [1].

The properties of both angular and spatial distribution of 255 MeV electrons at <100> channeling in silicon crystal has been investigated experimentally at the linac injector of SAGA [2] light source and by computer simulations. The simulation of trajectories, angular and spatial distributions of electrons on the screen monitor has been performed taking into account initial spatial as well as angular beam divergence of electron beam. Comparison of the experimental and theoretical results shows a good agreement [3]. Both experimental data and simulations show the brilliant effect of so-called «doughnut scattering» that can be used for the diagnostics of the incident beam angular divergence.

REFERENCES

2. Andersen S. K., et al.// Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B, 1980, v. 167, p. 1.
3. <http://www.saga-ls.jp/>
4. Bogdanov O. V., Pivovarov Yu. L. Takabayashi Y., Tukhfatullin T.A.// RREPS-2011 Proceedings, J. Phys.: Conf. Ser., 2012, (in press).

РАССЕЯНИЕ И ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И
ПОЗИТРОНОВ ПРИ ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛИРОВАНИИ В
КРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ

С.В. Абдрашитов^{1),2)}, О.В. Богданов¹⁾, Ю.Л. Пивоваров¹⁾,
Т.А. Тухфатуллин¹⁾

¹⁾Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾Томский государственный университет, Томск, Россия

В работах /1-2/ подробно рассмотрены спектральные характеристики излучения релятивистских электронов и позитронов при осевом и плоскостном каналировании в кристаллах Si. Построение потенциалов и решение уравнений описано в /3/.

В данной работе, используя модель /3/, изучены ориентационные зависимости потерь энергии электронов и позитронов на излучение при плоскостном каналировании в кристалле Si. Полученные результаты сравниваются с оценками, выполненными в /4/. Более детально рассмотрены потери энергии на излучение электронов с энергиями 20 – 255 МэВ, в соответствии с программой проводящихся экспериментов и параметрами пучков на линейном ускорителе синхротрона SAGA - Light Source /5/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bogdanov O.V., Korotchenko K.B., Pivovarov Yu.L., Tuhfatullin T.A. // Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. B. , 2008, V266, 3858.
2. Bogdanov O.V., Evdokimov A.A., Korotchenko K.B. et al // Journal of Physics: Conference Series, 2010, Vol. 236, №1.
3. Bogdanov O.V., Fiks E.I., Korotchenko K.B. et al // Journal of Physics: Conference Series, 2010, Vol. 236, №1.
4. Baier V. N., Katkov V. M., Strakhovenko V. M. Electromagnetic Processes at High Energies in Oriented Single Crystals, Singapore, World Scientific Publishing Co, 1998.
5. Takabayashi Y., Kaneyasu T., Iwasaki Y.// Il Nuovo Cimento, 2011, Vol. 34C, №4, 229.

ON THE KINETICS AND RADIATION OF PLANAR CHanneLED
ELECTRONS IN THICK CRYSTALSO.V. Bogdanov^{1),2)}, S.B. Dabagov^{2),3)}¹⁾INFN laboratori Nazionali di Frascati,

Via E. Fermi 40, I-00044 Frascati (RM), Italy

²⁾Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050 Russia³⁾PN Lebedev Physical Institute, Leninsky pr. 53, 119991 Moscow, Russia

Basic theory of dechanneling processes of relativistic electrons and positrons have been developed Ohtsuki and Kumakhov/1, 2/. In /3/ the evolution of relativistic electron beam in planar channeling has been analyzed.

In ours work we have presented a model for the dual-channeling of 855 MeV electrons in a Si (111) crystal, taking into account the effects of dechanneling. The calculations were performed for the initial angular distributions of relativistic electrons in the beam as a function of transverse energy for various angles of incidence with respect to the crystal (111) planes. Within developed model both drift and diffusion coefficients /4/ of the beam density distributions for trapped electron motion in the system of double planes (111) have been evaluated.

For 855 MeV electrons channeling in a Si (111) crystal the dechanneling length evaluated from the solution of the Fokker-Planck equation equals to 18.8 μm . Spectral characteristics of channeling radiation by electrons of moderate energies in thick crystals have been first obtained taking into account the dynamics of beam scattering at channeling as well as the initial angular distribution of channeled electrons.

REFERENCES

1. Kumakhov M.A., and Shirmer G.. Atomic collisions in crystals. Moskva Atomisdat, 1980 (in Russian).
2. Ohtsuki Y.-H.. Charged beam interaction with solids. New York, 1983.
3. Backe H. et al. Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. B 266 (2008) 3835-3851
4. Bogdanov O.V., Dabagov S.B. Spectra of Channeling Electron in Thick Si. - Preprint/Instituto Nazionale di Fisica Nucleare; LNF-11/25(IR), 2010. - P. 1-12.

КТИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПОЗИТРОНОВ, ДВИЖУЩИХСЯ В РЕЖИМЕ ПЛОСКОСТНОГО КАНАЛИРОВАНИЯ

Ю.П. Кунашенко¹⁾²⁾, Ю.В. Шпет²⁾

¹⁾ ТПУ, Томск, Россия

²⁾ ТГПУ, Томск, Россия

Если электрон движется в режиме осевого каналирования и испускает КТИ, то происходит изменение спектра излучения /1/. Это – результат объединения ИК и КТИ. Это новое излучение не является простой суммой ИК и КТИ, а некоторой сложной интерференцией или комбинацией.

В представленном докладе исследовано КТИ релятивистских позитронов, движущихся в режиме плоскостного каналирования.

Для исследования КТИ релятивистских позитронов, движущихся в режиме плоскостного каналирования, модифицирован метод виртуальных фотонов с учетом каналирования излучающих частиц. Принципиально новым является учет того факта, что каналированный позитрон находится в связанном состоянии и обладает дискретными уровнями поперечной энергии.

Проведенные расчеты показали, что эффект каналирования приводит изменению спектра КТИ.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант 10-02-01386-а; гранта «Поддержка ведущих научных школ», проект No 224.2012.2

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов К.Ю., Внуков И.Е., Калинин Б.Н. и др.// Письма в ЖЭТФ, 1992, т. 55, вып. 8, с. 587..

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ПРЯМОГО И
ИЗОГНУТОГО КРИСТАЛЛА

А.В. Щагин

Харьковский физико-технический институт,
Харьков 61108, Украина

Представлены и сравниваются основные свойства параметрического рентгеновского излучения (ПРИ), которое испускается релятивистской заряженной частицей, движущейся через плоский или изогнутый кристалл. Рассматривается фокусировка ПРИ частиц, движущихся прямолинейно /1/ и в режиме каналирования в изогнутом кристалле /2/. Фокусировка ПРИ осуществляется без применения какой-либо внешней рентгеновской оптики. Обсуждаются свойства и возможности применения сфокусированного ПРИ, испускаемого частицами, движущимися прямолинейно или в режиме каналирования в изогнутом кристалле.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Scandale et al., // *Phys. Lett. B*, 2011, B701, pp. 180-185.
2. А.В. Щагин // *Письма в ЖЭТФ*, 2004, 80, сс. 535-540.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ: ИЗМЕРЕНИЕ ХРИ И ФИЛЬТР РОССА

Г.Л. Бочек, А.С. Деев, Н.И. Маслов
ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

В GEANT 4 моделируется взаимодействие рентгеновского излучения с материалом вторичных мишеней для двух геометрий эксперимента. В первом случае измеряется ХРИ в обратную полусферу, во втором случае измеряется прошедшее через фольги первичное излучение (фильтр Росса). Показан расчетный способ подгонки необходимых толщин фольг для фильтра Росса. С использованием парных фольг нужной толщины проведено восстановление первичных спектров рентгеновского излучения.

Сравнение методов показывает:

1. ХРИ меряется под большими углами, возможны фольги любых толщин и элементов. Уменьшая толщину фольг и телесный угол регистрации возможно повышение интенсивности первичного излучения, но восстановление тонкой структуры первичного спектра затруднено.
2. В случае использования фильтра Росса измеряется первичный спектр и вырезается узкий участок спектра, ограничение по интенсивности первичного пучка остается. Необходима точная подгонка пар фольг, так как вычисляется разность больших величин.

АНАЛИЗ ТРЕХКРИСТАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Д.А. Бакланов, А.О. Винаков, И.Е. Внуков, В.С. Иванов,
С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, Белгород, Россия

Источники монохроматического рентгеновского излучения на основе ускорителя средних энергий и совершенного или мозаичного кристаллов не могут применяться в медицине из-за малой эффективности /1/ и неустраняемого фона тормозного излучения в месте расположения объекта облучения /2/. Использование двух кристалльной схемы генерации лишено последнего недостатка, но не в состоянии обеспечить требуемую для практических приложений интенсивность излучения. Обсуждается возможность использования трехкристалльной схемы генерации излучения, где для увеличения интенсивности фотонного пучка используется излучение при осевом каналировании электронов с энергией 30-50 МэВ в совершенном кристалле, а два мозаичных кристалла обеспечивают монохроматизацию пучка излучения и дискриминацию фона тормозного излучения в месте расположения объекта облучения. Приведены результаты моделирования характеристик получаемых в такой схеме пучков монохроматического излучения на электронных ускорителях средних энергий (30-50 МэВ) и сопоставление характеристик получаемых пучков с требуемыми для медицинских приложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Freudenberger J., Hell E., Knupher W. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A., 2001, Vol.466, P.99
2. И.Е. Внуков, Ю.В. Жандармов, Р.А. Шатохин // Вестник Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина., 2008, Т. 808, вып.2(38), С. 25.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ МИКРОБЛОКОВ НА ПРОЦЕСС
КОГЕРЕНТНОГО РОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПОЗИТРОННЫХ ПАР
В КРИСТАЛЛАХ

Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Е.А. Дворецкая, С.А. Лактионова,
Р.А. Шатохин

Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, Белгород, Россия

Процесс когерентного рождения электронно-позитронных пар фотонами в ориентированных кристаллах может быть использован для получения циркулярно-поляризованных фотонных пучков с помощью метода Кабибо /1/. В экспериментах /2,3/ по исследованию рождения электронно-позитронных пар в кристаллах пиролитического графита с размерами блоков ~1-5 мкм результаты измерений оказались на ~10% меньше, чем это следует из теории когерентного рождения пар в совершенных кристаллах. Для проверки возможности проявления эффекта подавления когерентных электромагнитных процессов в мозаичных кристаллах, обусловленного конечностью размеров микроблоков в таких образцах при выполнении условия $l_0 < l_c \sim \delta^{-1} / 4,5 /$, проведено моделирование процесса рождения пар в мозаичном кристалле с учетом и без учета конечности размеров блоков. Обсуждается вклад анализируемого эффекта в результаты измерений /2,3/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Cabibbo N. et al. // Phys. Rev. Lett., 1962, V. 9, P.435
2. Berger C. et al. // Phys. Rev. Lett., 1970, V. 25, P.1366
3. Eisele R.L et al. // Nucl. Instr. and Meth., 1973, V.113, P.489.
4. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, Изд. АН АРМ ССР, Ереван, 1969, 459с.
5. Бакланов Д.А. и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011, №.4, С.13.

Секция III

**РАСSEЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ
ЧАСТИЦ**

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМОВ МЕТАЛЛОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ
ФУЛЛЕРИТА

А.А. Ермоленко¹⁾, Г.В. Корнич¹⁾, А.И. Бажин²⁾, С.В. Чертопалов²⁾

¹⁾ Запорожский национальный технический университет,
Запорожье, Украина

²⁾ Донецкий национальный университет, Донецк, Украина

С помощью метода классической молекулярной динамики выполнено моделирование низкоэнергетического взаимодействия атомов меди, серебра и золота с поверхностью фуллерита.

В качестве потенциалов взаимодействия были выбраны: многочастичный дальнедействующий потенциал AIREBO /1/ для описания взаимодействий между атомами углерода, многочастичный потенциал /2/ для описания взаимодействия между атомами металлов, потенциал Леннарда-Джонса для описания взаимодействий атомов металла с атомами углерода.

Моделировалась нормальная бомбардировка поверхности фуллерита атомами меди, серебра и золота с энергией до 500 эВ. Начальные координаты бомбардирующего атома для каждого из одиночных актов бомбардировки генерировались при помощи двумерной псевдослучайной последовательности.

Произведён анализ выхода расплывённых соединений, коэффициентов распыления, прилипания и обратного рассеяния. Исследовано изменение структуры мишени в процессе распыления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Stuart S.J., Tutein A.B. and Harrison J.A. // Journal of Chemical Physics. 2000. V. 112. P. 6472.
2. G. Ackland, V. Vitek // Physical Review B, 1990, V. 41, № 15, P. 10324.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПЫЛЕНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ КРЕМНИЯ
ДИАМЕТРОМ (1–4) НМ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ОДНОАТОМНЫМИ
И КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ МЕТОДОМ КЛАССИЧЕСКОЙ
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

П.Ю. Григорьев, Е.Е. Журкин
Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

Интерес к изучению распыления нанокластеров обусловлен, в частности, развитием разрушающих методов анализа нанодисперсных материалов, а также возможностью десорбировать нанокластер пучком кэВ-ных частиц /1/. С помощью компьютерного моделирования методом классической молекулярной динамики исследованы распыление и десорбция нанокластеров кремния диаметром от 1 до 4 нм при облучении ионами Si_1 и кластерами Si_{12} с энергией 1–12 кэВ. Показано, что при бомбардировке нанокластера одноатомными ионами величина коэффициента распыления выше, чем в случае плоской поверхности кристалла, главным образом за счёт увеличения вклада кластеризованной составляющей спектра вторичной эмиссии. При этом практически отсутствует корреляция характеристик вторичной эмиссии с прицельным параметром удара частицы-снаряда. В случае кластерной бомбардировки кластеризованная составляющая спектра распыленных частиц доминирует, как правило, при больших прицельных параметрах (т.е. при периферическом ударе), а выход распыления и вероятность десорбции существенно возрастают (по сравнению режимом бомбардировки одноатомными частицами).

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Baranov I.A., Della_Negra S., Domaratsky V.P. et al. // J. Nanosci. Nanotechnology, 2009, V.9, № 7, P. 4085

РАСПЫЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИОНАМИ ЦЕЗИЯ:
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
ВНЕДРЕННОГО ЦЕЗИЯ

Ю.А. Кудрявцев¹⁾, Р. Азомза¹⁾, В.М. Король²⁾

¹⁾ Cinvestav-IPN, México DF, México

²⁾ Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ионное облучение поверхности приводит, в числе прочего, к имплантации первичных ионов в приповерхностную область мишени. Изменение состава поверхности играет критическую роль в процессе образования вторичных ионов, поэтому для количественного анализа материалов методом ВИМС важно как можно точнее знать состав поверхности травления.

В данной работе изучалось распыление мишеней Si и GaAs ионами Cs⁺. Экспериментальные данные, приведенные в литературе, демонстрируют чрезмерный разброс значений концентрации имплантированного цезия для близких режимов травления, вызванный, по-видимому, экспериментальными ошибками. Мы предложили новый метод определения концентрации ионов цезия, имплантированных в приповерхностный слой мишени в процессе распыления цезиевым пучком. Метод основан на сравнении выхода кластерных ионов Cs₂⁺, CsK⁺, CsNa⁺ при распылении мишеней, имплантированных калием и натрием. Мы предполагали полную ионизацию этих кластеров в процессе распыления, основываясь на теоретических расчетах их потенциалов ионизации.

Экспериментально определенная концентрация внедренного цезия оказалась в хорошем соответствии с предсказаниями существующей теоретической модели. Экспериментально определенное изменение работы выхода мишеней, бомбардируемых ионами цезия, позволило нам предложить физическое объяснение наблюдаемым закономерностям.

ИОННО-ЛУЧЕВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И
МОРФОЛОГИИ СТЕКЛОУГЛЕРОДАН.Н. Андрианова¹, А.М. Борисов¹, Ю.С. Виргильев²,Е.С. Машкова¹, Д.В. Петров¹, Е.А. Питиримова³¹НИИЯФ МГУ, Москва, Россия²ФГУП НИИГрафит, Москва, Россия³Физический факультет ННГУ имени Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия

Фуллереноподобная структура стеклоуглеродов может быть разупорядочена ионной бомбардировкой /1/. Облучение стеклоуглеродов с температурой исходной термообработки 2000 и 2500 °С ионами Ag^+ энергии 30 кэВ при температурах мишени $T > T_a \sim 130$ °С приводит к динамическому отжигу радиационных нарушений, проявляющемуся в виде ступенчатого роста коэффициента γ кинетической ионно-электронной эмиссии. Проведенное экспериментальное исследование модифицирования стеклоуглерода марки СУ-2500 при высоких флюенсах (10^{18} - 10^{19} ион/см²) облучения ионами Ag^+ энергии 10 – 30 кэВ и температурном интервале от 20 до 400 °С позволило путем анализа температурных зависимостей γ оценить критический уровень радиационных нарушений ν_a (в числе смещений на атом СНА), вызывающий разупорядочение поверхностного слоя СУ-2500. Для комнатной температуры величина $\nu_a \approx 60$ СНА. При достаточно больших температурах (400 °С) и энергии ионов (≥ 15 кэВ) наблюдается графитация поверхностного слоя, о чем свидетельствуют также данные дифракции быстрых электронов на отражение. Данные растровой электронной микроскопии показывают, что структурные изменения приводят к существенным различиям ионно-индуцированной морфологии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Борисов А.М., Виргильев Ю.С., Машкова Е.С. // Поверхность. Рентген-, синхротр. и нейтр. исслед. 2008. № 1. С.58-74.

ШИРИНА РАВНОВЕСНОГО ЗАРЯДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ТВЕРДОЙ И ГАЗООБРАЗНОЙ СРЕДАХ

Н.В. Новиков, Я.А. Теплова
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Рассматриваются ширины зарядовых распределений d ионов с зарядом ядра Z :

$$d^2 = \sum_k (k - q_{eq})^2 F_k, \quad k=0, 1, 2 \dots \quad (1)$$

где q_{eq} - равновесный заряд, F_k - равновесные зарядовые фракции в твердых и газообразных средах [1]. Предлагается параметризация $d(q_{eq}/Z)$ в виде

$$d(q_{eq}/Z) = C \{ 1 - \exp[-(q_{eq}/Z)^\alpha] \} \{ 1 - \exp[-(1 - q_{eq}/Z)^\beta] \}. \quad (2)$$

Установлено, что величины α и β слабо зависят от Z и заряда ядра атома мишени Z_t ($\alpha=0.40$, $\beta=0.75$ в газе и $\alpha=0.23$, $\beta=0.32$ в твердой среде), а величина параметра C в (2) меняется от Z и Z_t .

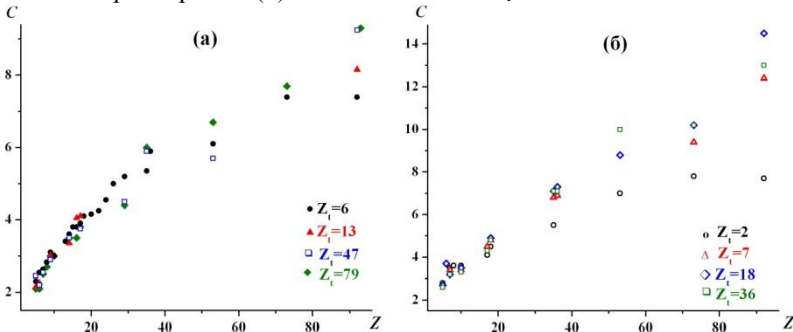


Рис.1 Величина параметра C в твердой (а) и газообразной (б) средах.

С увеличением Z и Z_t ширины равновесных зарядовых распределений тяжелых ($Z > 4$) ионов как в твердой, так и в газообразной средах увеличиваются (Рис.1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Novikov N V and Teplova Ya A // Database on charge – changing cross sections in ion - atom collision.
2. <http://cdfc.sinp.msu.ru/cgi-bin/select.cgi?base=cccs&advanced=on>

ЗАРЯДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ АЗОТА, ОТРАЖЕННЫХ ОТ МЕДНОЙ И ГРАФИТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н.В. Новиков, Я.А. Теплова, Ю.А. Файнберг
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Исследуются энергетические и зарядовые распределения ионов азота, отраженных от поверхности при скользящем угле падения. Считается, что рассеянный ион испытал достаточно большое количество столкновений для установления равновесного зарядового распределения.

Для оценки равновесных зарядовых фракций F_q быстрых ионов (с зарядом q и зарядом ядра Z) в твердой среде используется система уравнений перезарядки и метод [1], основанный на интерполяции по заряду ядра атома мишени Z_t экспериментальных сечений в газах с их последующей корректировкой на “эффект плотности”. Для этого используется коэффициент $C_{g-s}(Z, Z_t) > 1$, который увеличивает все сечения потери и уменьшает все сечения захвата электрона в газе.

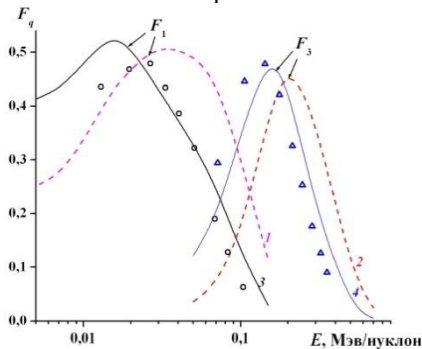


Рис.1 Относительное количество ионов N^+ и N^{3+} в равновесном зарядовом распределении в графите. Оценки в “газовом” приближении $C_{g-s}(Z, Z_t)=1$: 1 – ионы N^+ ; 2 – ионы N^{3+} . Оценки с учетом корректировки на “эффект плотности” $C_{g-s}(Z, Z_t)=1.5$: 3 – ионы N^+ ; 4 – ионы N^{3+} . Экспериментальные данные: (o) /2/, Δ /3/.

Для ионов азота в графите (Рис.1) наилучшее согласие с экспериментальными данными достигается при $C_{g-s}(Z, Z_t)=1.5$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Файнберг Ю.А. и др. // Поверхность. 2012. N3. С.5.
2. Smith P.L., Whaling W. // Phys. Rev. 1969. V.188. P.36.
3. Girardeu R. et al. // J. Phys. B 1971. V.4. P.1743.

РОЛЬ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ ЧАСТИЦ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

И.В. Лысова, А.В. Степанов

Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я.
Яковлева, Чебоксары, Россия

Методом молекулярной динамики исследуется появление структурных дефектов при каналировании частиц в углеродных нанотрубках. Используются два подхода: в одном дефектообразование учтено с помощью модифицированного потенциала REBO /1,2/, другой подход основан на применении потенциалов, учитывающих линейное, угловое и торсионное взаимодействия /3/. Определены границы применимости каждой из моделей. Исследованы зависимости образования дефектов от энергий частиц, типы дефектов, потери энергии, возникающие при этом в сравнении со случаями бездефектных УНТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ito A., and Nakamura H. // Communications in computational physics. 2008, Vol. 4, No. 3, pp. 592-610
2. Brenner Donald W et.al // J. Phys.: Condens. Matter. 2002, No.14, pp. 783–802
3. Вахрушев А.В., Липанов А.М., Суетин М.В. // Альтернативная энергетика и экология. 2007. №1 С. 13-20.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ, ОБЛУЧЕННЫХ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, К.А. Михайлов
Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Исследование воздействия мощных ионных пучков (МИП) на модельные материалы - различные сплавы на основе меди, включающие в свой состав компоненты с различной летучестью, представляет как научный, так и практический интерес. Оно позволит уточнить механизмы модификации конструкционных сплавов сложного состава под действием МИП.

В работе исследуются изменения морфологии поверхности и состава приповерхностных слоев при воздействии МИП на латунь ЛС 59-1 и бронзу БрОС 10-10, которые имеют в своем составе легкоплавкие и легколетучие элементы – цинк, свинец, олово.

Облучение проводилось на ускорителе «Темп» протон-углеродным пучком со средней энергией 300 КэВ, длительностью 60 нсек, в диапазоне плотностей тока 30 -150 А/см² при варьировании числа импульсов облучения от 1 до 5. Поверхность облученных медных сплавов исследовали с помощью растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, рентгеновского микроанализа

Исследование изменения рельефа поверхности и состава латуни и бронзы при воздействиях МИП показало, что образование кратеров происходит, как правило, в местах локализации включений свинца, имеющих характерный размер порядка единиц микрометров. Несмотря на то, что свинец имеет более низкое давление насыщенного пара по сравнению с цинком и соответственно, создает меньший импульс отдачи при быстром испарении, его малая пространственная локализация обеспечивает формирование кратера при плавлении сплава. Более равномерно распределенный цинк способствует формированию сглаженных кратеров на поверхности латуни ЛС59-1 после облучения.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ В ЗОНЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Т.В. Панова, В.С. Ковивчак, Г.И. Геринг, Д.О. Доронин
Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Использование мощных ионных пучков (МИП) для получения мелкодисперсных структур сдерживается, главным образом, из-за отсутствия данных о закономерностях формирования структурно-фазового состояния приповерхностных слоев металлов и сплавов при такой обработке. Воздействие МИП сопровождается высокоскоростным и неоднородным разогревом материала, приводящим к возникновению упругих напряжений и деформации мишени. Результатом такого воздействия являются искажения кристаллической решетки вследствие пересыщения легирующими элементами, примесями и дефектами структуры, измельчение структурных элементов, возникновение упругих искажений в решетке и т.д. В настоящей работе с помощью методов рентгеновской дифрактометрии, оптической и растровой электронной микроскопии проведен послойный анализ изменения микроструктуры в чистых металлах (медь, алюминий и никель) и их сплавах, облученных мощным ионным пучком наносекундной длительности. Установлено, что для всех образцов, используемых в эксперименте, облучение МИП приводит к формированию многослойной структуры. Исследование микротвердости показало, что ее распределение по глубине имеет немонотонный характер, что также указывает на изменение микроструктуры в зоне модифицирования МИП. По морфологическому признаку приповерхностный слой условно можно разделить на три зоны. Формирование каждой зоны зависит как от условий облучения МИП, так и от теплофизических характеристик и исходного состояния исследуемых материалов. В работе проводится сравнительный анализ процессов, протекающих при формировании каждого из слоев.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ СИЛИКАТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.Н. Шилобреева¹⁾, В.И. Зиненко²⁾, В.В. Сарайкин³⁾, Л.Л. Кашкаров¹⁾,
Ю.А. Агафонов²⁾, В.С. Бронский⁴⁾

¹⁾Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, Москва, Россия

²⁾Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Черноголовка, Московская область, Россия

³⁾Научно-исследовательский институт физических проблем им. Ф.В.Лукина, Москва, Россия

⁴⁾Национальный Исследовательский Ядерный Университет "МИФИ"

Силикаты, находящиеся как в аморфном, так и кристаллическом состоянии, являются важной составляющей безатмосферных космических объектов. В последние годы наблюдается значительный интерес к исследованию влияния ионизирующего космического излучения на модификацию силикатов. В данной работе приводится обобщение имеющихся в литературе и полученных авторами экспериментальных данных изучения модификации силикатов под воздействием ускоренных заряженных частиц, имитирующих отдельные виды космических лучей. Особое внимание уделено исследованию перераспределения изотопов элементов в приповерхностных слоях, введенных ионной имплантацией с последующим облучением ускоренными ионами H^+ , He^+ , Ar^+ . Это явление и возможные его механизмы рассмотрены на примере изотопов железа ($^{54}Fe+$ и $^{56}Fe+$), имплантированных в аморфный кварц и кристаллический кремний. Обсуждаются результаты численного моделирования поведения изотопов железа (^{54}Fe и ^{56}Fe), полученные авторами с использованием программ SUSPRE-2001 и SRIM-2010.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 10-05-00253).

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ЭФФЕКТ В КРЕМНИИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ P И PF₄ РАЗЛИЧНЫХ ЭНЕРГИЙ

К.В. Карабешкин, П.А. Карасёв, А.И. Титов
Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет,
Санкт-Петербург, Россия

Настоящая работа посвящена сравнению накопления устойчивых дефектов при облучении кремния ионами P⁺ и PF₄⁺ различных энергий при комнатной температуре. Образцы (100) Si, легированного бором, облучались при комнатной температуре ионами в диапазоне энергий 0.6 – 3.2 кэВ/а.е.м. Распределения по глубине структурных нарушений измерялись методом резерфордовского обратного рассеяния.

Экспериментально обнаружено, что внедрение в Si ионов PF₄⁺ приводит к при прочих равных условиях к существенному росту числа радиационных нарушений по сравнению со случаем облучения ионами P⁺. За этот эффект могут быть ответственны два механизма. (1) Увеличение эффективности генерации первичных смещений из-за формирования нелинейных энергетических пиков в областях, где перекрываются каскады смещений компонентов кластерного иона. (2) Рост эффективности связывания мобильных точечных дефектов в комплексы устойчивых нарушений из-за нелинейности процессов вторичного дефектообразования. Первый из механизмов может быть существенным у поверхности. По мере того как каскады смещений компонентов кластерного иона при их продвижении вглубь кристалла удаляются друг от друга, процессы нелинейного образования кластеров дефектов должны давать всё больший вклад в молекулярный эффект.

Проводится анализ экспериментальных данных и оценка вкладов каждого из механизмов с использованием модели, предложенной авторами в /1/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Titov A.I., Karaseov P.A., Azarov A.Yu., Kucheyev S.O., *NIM B* 267, 2701, 2009.

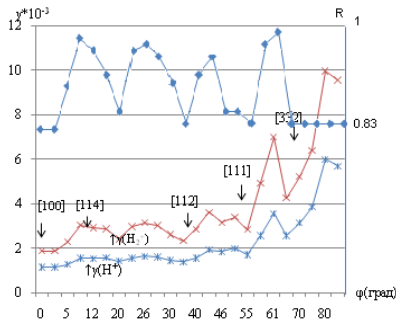
ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЭМИССИИ ОЖЕ-ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ АТОМАРНЫХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ

В.Ю. Китов¹⁾, Э.С. Парилис²⁾

¹⁾Королёвский колледж космического
машиностроения и технологии, Королёв, Россия

²⁾Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США

Молекулярный эффект в ионно-электронной эмиссии был исследован в /1/. Снижение выхода (в расчете на один атом, при той же скорости) при бомбардировке молекулярными ионами было объяснено механизмом выметания электронов /2/. В /3/ был рассчитан ориентационный эффект в выходе $L_{2,3} \rightarrow VV$ оже-электронов из монокристалла $Al(100)$ под действием H^+ . В настоящей работе рассчитана зависимость выхода этих электронов от угла падения ϕ ионов H_2^+ . Пучки H_2^+ с энергией 40 кэВ и H^+ с энергией 20 кэВ поворачиваются относительно оси $\langle 110 \rangle$ грани (100) Al . Показано, что эмиссия оже-электронов под действием молекулярных ионов обнаруживает аналогичные молекулярный $R = \gamma(H_2^+)/2\gamma(H_1^+)$ и ориентационный эффекты, показанные на рисунке.



ЛИТЕРАТУРА

1. Borisov A.M., Mashkova E.S., Parilis E.S. // Vacuum, 2002, Vo. 66/8, p.145.
2. Baundin K., Brunelle A., Della-Negra S., Depauw J., Le Beyec Y., Parilis E. // Nucl. Inst. And methods B., 1996, № 47, p.117.
3. Китов В.Ю., Парилис Э.С. // Поверхность, 1984, №6, с.22.

ПОРОГОВЫЙ ХАРАКТЕР НАКОПЛЕНИЯ ИОНОВ ДЕЙТЕРИЯ В ПАЛЛАДИИ ПРИ ВЫСОКОДОЗНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

А.Ю. Дидык¹⁾, Р. Вишнеvский²⁾, В.С. Куликаускас³⁾¹⁾Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных реакций имени Г.Н.Флерова, Дубна, Россия²⁾Narodowe Centrum Badan Jadrowych, Otwock-Świerk, Poland³⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Pd-фольги, с толщиной 50 μm были изготовлены методом холодной прокатки из монокристаллических слитков. Имплантация в Pd-образцы была проведена ионами дейтерия с энергией 25 кэВ при флюенсах 1.2×10^{22} , 1.8×10^{22} и $2.3 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$. Распределение имплантированного дейтерия и сопутствующего водорода по глубине в Pd-фольгах было измерено методом регистрации ядер отдачи на ускорителе ЭГ-5. Установлено, что до доз имплантации $\sim 1.8 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$ распределение дейтерия затянато в глубину Pd-фольг и распределение значительно превышает пробег ионов дейтерия и гелия в ERD-анализе. Максимальная концентрации дейтерия оказывается на уровне 2-3 ат.%. Интегральная концентрация дейтерия в промеренном слое не превышает $0.05 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$, что существенно меньше дозы имплантации [1, 2]. ERD-исследования имплантированных дейтерием Pd-образцов до дозы $2.3 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$ позволили установить, что интегральная концентрация дейтерия достигает $C_D > 2.87 \times 10^{21} \text{ м}^{-2}$ в промеренном слое при максимуме концентрации ≈ 17 ат.% на глубине $1.25 \times 10^{22} \text{ ат./м}^2$. Измерения выполненные сразу после имплантации и через один год после позволили установить, что десорбции дейтерия не происходило. Это свидетельствует о том, что дейтерий находится в образцах как в виде дейтерида палладия или же в дейтерием наполненных порах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Didyk A.Yu., Wiśniewski R., Wilczynska T., Kitowski K., Hofman A.. Письма в ЭЧАЯ, 2012, № 1(171), с.133-146.
2. Didyk A.Yu., Wiśniewski R., Wilczynska T., Kitowski K., Hofman A., Kulikauskas V., Shiryaev A.A., Zubavichus Ya.V. Письма в ЭЧАЯ, 2012, № 1(171), с.125-132.

ПОВЕДЕНИЕ ДЕЙТЕРИЯ, ИМПЛАНТИРОВАННОГО В Zr, Ti и Al₂O₃,
ПОСЛЕ ВЫСОКОДОЗНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ХРАНЕНИИ

А.Ю. Дидык¹⁾, Р. Вишневецкий²⁾, В.С. Куликаускас³⁾

¹⁾Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных
реакций имени Г.Н.Флерова, Дубна, Россия

²⁾Narodowe Centrum Badan Jadrowych, Otwock-Świerk, Poland

³⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Zr и Ti фольги и монокристалл Al₂O₃, были имплантированы ионами дейтерия с энергией 25 кэВ при флюенсе $2.3 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$. Распределение имплантированного дейтерия и сопутствующего водорода по глубине во всех фольгах и Al₂O₃ было измерено методом регистрации ядер отдачи на ускорителе ЭГ-5 как непосредственно сразу после, так и по прошествии одного года после имплантации. Установлено, что во всех образцах эти распределения имеют затянутый вглубь образцов характер, значительно превышающий пробег ионов дейтерия и гелия в ERD-анализе [1]. Были выполнены рентгеноструктурные исследования имплантированных образцов металлов (Zr и Ti), которые позволили установить наличие дейтеридной фазы вида DZr и DTi. С применение малоуглового рассеяния синхротронного излучения (SAXS) были обнаружены рассеивающие центры, по-видимому обусловленные образованием газонаполненных пор [1]. Измерения, выполненные через один год после имплантации показали, что профили распределения и концентрация дейтерия сохранились. Этот факт подтверждает то, что дейтерий находится в образцах в виде дейтеридов и (или) в газонаполненных порах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Didyk A.Yu., Wiśniewski R., Wilczynska T., Kitowski K., Hofman A., Kulikauskas V., Shiryayev A.A., Zubavichus Ya.V. Письма в ЭЧАЯ, 2012, № 1(171), с.125-132.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РАБОТЫ ВЫХОДА
ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ С ПОВЕРХНОСТЕЙ Мо
ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ Ba^+ и Cs^+

З.А. Исаханов, Б.Э. Умирзаков, З.Э. Мухтаров, У.Н. Раззоков
Институт электроники им.У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Эксперименты проводились для образцов молибдена, имплантированных ионами Ba^+ и Cs^+ . Методика эксперимента и экспериментальные приборы подробно описаны в [1]. При низких энергиях ($E_0=0,5\div 1$ кэВ) и высоких дозах ионов ($D\geq 10^{16}$ см⁻²) поверхность Мо покрывается пленкой атомов легирующих элементов толщиной $d=0,5-1$ монослой и работа выхода уменьшается до минимума. С ростом энергии ионов поверхностная концентрация активных элементов уменьшается. В этом случае, проводя постимплантационный отжиг можно уменьшить $e\phi$ до минимума. Получены зависимости $e\phi$ от температуры нагрева Мо, легированных ионами Ba^+ и Cs^+ с разными энергиями, при дозе $D\sim 6\cdot 10^{16}$ см⁻². Прогрев при каждой температуре продолжался в течение 30 минут. Измерения проводились после остывания мишени. Изменение $e\phi$ при термообработке зависело от энергии бомбардирующих ионов. При низких энергиях ионов значение $e\phi$ до $T\approx 700-800$ К практически не меняется. Дальнейшее увеличение температуры для Мо, легированного ионами Cs^+ , приводило к быстрому росту $e\phi$ до 3,5-4эВ, а для Мо легированного ионами Ba^+ кривая $e\phi(T)$ проходит через небольшой минимум в области $T=900-1000$ К. По видимому, в случае Ba^+ на поверхности образуется пленка толщиной больше, чем $d=0,5-1$ монослоя. После прогрева при $T=900-1000$ К из-за частичного испарения Ba с поверхности, толщина пленки уменьшается до оптимальной. В интервале $T=1100-1600$ К работа выхода возрастает от ~ 2 эВ до ~ 4 эВ. При высоких энергиях ионов кривая $e\phi(T)$ проходит через минимум: в случае Cs^+ при $T=850-900$ К, а в случае Ba^+ при $T=1000-1100$ К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев А.А., Исаханов З.А., Мухтаров З.Э., Рузибаева М.К.// ЖТФ.2010. Т.80. Вып.1. С.110

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ag^+ НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК ХРОМА

Е.А. Пителимова, Ю.А. Данилов
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Исследовано влияние облучения на свойства пленок хрома используемых в качестве резистивных элементов. Слои Cr толщиной ~ 50 нм конденсировались на пластины GaAs. Имплантация проводилась ионами Ag^+ с энергией 80 кэВ дозами облучения $10^{15} - 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Изменение спектров отражения позволяет на дозовой зависимости Cr пленок выделить несколько диапазонов. Коэффициент отражения света R при дозах $< 10^{15} \text{ см}^{-2}$ увеличивается по сравнению с исходными пленками в наибольшей степени в области 2,2 – 2,8 эВ. Диффузная составляющая отражения света не отличается от коэффициента диффузного отражения исходных пленок и составляет 0,036 – 0,039 независимо от длины волны света. В диапазоне доз $10^{15} - 5,1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ коэффициент отражения света уменьшается и приближается с ростом дозы к значениям $R_0(h\nu)$ для исходных пленок, в области $h\nu < 2,2$ эВ $R(h\nu) < R_0(h\nu)$. Коэффициент диффузного отражения монотонно уменьшается от исходного значения до 0,027 – 0,030 для дозы $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и 0,023 – 0,026 для дозы $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. В интервале доз $5 \cdot 10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$ коэффициент отражения остается близкий к значениям R_0 для энергий кванта $< 1,8$ эВ и значительно уменьшается для высокоэнергетической части спектра. Спектр отражения при дозе 10^{16} см^{-2} может быть получен из спектра $R_0(h\nu)$ исходных пленок подавлением широкого пика отражения 2,2 – 2,8 эВ. Коэффициент диффузного отражения для этого диапазона не меняется с изменением дозы ионов. При дозах $> 10^{16} \text{ см}^{-2}$ во всем изученном диапазоне длин волн коэффициент отражения уменьшается. Резко при этом увеличивается и пропускание пленок (до более чем 0,7). Характер модификации свойств пленок во всем интервале доз объясняется изменением размеров зерен хрома.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИСЛОКАЦИЙ С РАДИАЦИОННЫМИ
ДЕФЕКТАМИ В АУСТЕНИТНЫХ СПЛАВАХ FE-NI-CR

А.В. Бакаев¹), П.Ю. Григорьев¹), Е.Е. Журкин¹), Д.А. Терентьев²)

¹СПбГПУ, Санкт-Петербург, Россия

²SCK-CEN, Мол, Бельгия

Известно, что аустенитные сплавы устойчивы к воздействию радиационного облучения и рассматриваются как перспективные материалы для определённых компонентов нового поколения ядерных реакторов.

Понимание механизмов деградации механических свойств сталей при нейтронном облучении необходимо для безопасной эксплуатации ядерных реакторов. Экспериментальное нейтронное облучение и анализ образцов – крайне дорогостоящий процесс. В настоящее время, численное моделирование, наравне с экспериментом, широко используется для изучения механизмов влияния радиационного облучения на свойства материалов.

В данной работе проведено моделирование взаимодействия радиационных дефектов (таких как призматические дислокационные петли, тетраэдрические дефекты упаковки, полости) с дислокациями /1/ с помощью метода классической молекулярной динамики. При изучении сплава Fe₇₀Ni₁₀Cr₂₀ использовалась модель межатомного взаимодействия /2/. Получены значения величин приложенной внешней нагрузки, необходимой для прохождения дислокации через дефект, а также охарактеризованы механизмы взаимодействия.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Terentyev D., Bacon D.J., Osetsky Yu.N.// Phil. Mag., 2010, Vol.90, №7-8, P.1019
2. Bonny G. et al. // Modelling and simulation in materials science and engineering, 2011, №19(8), #085008.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ДЭНЭ СИЛИЦИДООБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ

С.Ж. Ниматов, Т. Юсупов

Ташкентский государственный технический университет им.А.Р. Беруни,
Ташкент, Узбекистан

Осаждение пленок с помощью низкоэнергетических ионных пучков обладает рядом полезных особенностей по сравнению с другими технологиями тонкопленочной микроэлектроники. При осаждения из ионных пучков ионы имплантируются на небольшую глубину, а поверхностные дефекты, созданные соударением ионов, действуют как центры преимущественного зародышеобразования. Число зародышей увеличивается, предотвращается агломерация адсорбированных атомов в крупные островки, растут сплошные, мелкозернистые покрытия. Цель исследования является отработка методики, и оценка общих закономерностей взаимодействия низкоэнергетических ионов с монокристаллом важным экспериментальным подспорьем которой является высокая реакционная способность и простота получения ионных пучков низкой энергии. Экспериментально получены режимы эпитаксиального роста двумерных слоев Li, Na, Rb на подложках Si(111) из соответствующих пучков положительных ионов с энергией до 1 КэВ. Показано, что на поверхности образца возможен рост соответствующих силицидных фаз, каждой из которых характерны определенные дозовые, энергетические и температурные режимы образования и сохранения. Совершенство структуры поверхности в процессе образования мономолекулярных слоев силицидов щелочных металлов при низкоэнергетической ионной бомбардировке исследовано разработанным ранее /1/ методом отношения интенсивностей рефлекса и фона картин ДМЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руми Д.С., Ниматов С.Ж., Гарафутдинова И.А., Садыков Р.Д., Джамалетдинов И.Х., Руденко А.И., Шмулевич И.А. Авт.св. № 1543986, Открытия. Изобретения. 1990.-№ 6. С.266.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ИОННОГО ПОТОКА НА ЭФФЕКТИВНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ РАСПЫЛЕНИЯ МИШЕНИ С ПОВЕРХНОСТНЫМ РЕЛЬЕФОМ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

В.И. Кристя, Йе Наинг Тун
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Калуга, Россия

При взаимодействии плазмы тлеющего разряда с поверхностью электрода в газоразрядных приборах происходит ее распыление потоками ионов, ускоряемых в приэлектродном слое разряда, и быстрых атомов, образующихся при перезарядке ионов на атомах рабочего газа. При этом, в отличие от случая бомбардировки поверхности твердого тела пучком ионов в вакууме, особенности структуры поверхностного слоя электрода могут оказывать заметное влияние на движение ионов. В частности, наличие поверхностного рельефа может приводить к нарушению однородности потока ионов и их энергетической сепарации на элементах рельефа /1-3/.

В данной работе рассчитано энергетическое распределение ионов и быстрых атомов в тлеющем разряде у поверхности электрода с периодическим поверхностным рельефом малой амплитуды и найдена обусловленная пространственной и энергетической сепарацией ионов неоднородность эффективного коэффициента распыления электрода, а также изучено влияние характеристик рельефа на степень его неоднородности.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Аитов Р.Д., Бондаренко Г.Г., Кристя В.И. // Поверхность, 1997, №1, С.11.
- 2 Woodworth J.R., Aragon B.P., Hamilton T.W. // Appl. Phys. Lett. 1997, V. 70, P. 1947.
3. Kristya V.I. // Glow Discharges and Tokamaks. - New York: Nova Science Publishers, 2011, P. 329.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ ВТОРИЧНО-ИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

П.И. Диденко

Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина

Исследования минералов урановых месторождений: ильменит, браннерит, уранинит, пирит и кварц проводились путем измерения масс-спектров вторичных ионов и энергетических спектров вторичных ионов.

Ильмениты представляют твердые растворы переменного состава (с различным содержанием гематита Fe_2O_3), в которых железо и титан изоморфно замещают. Содержание железа в браннерите невелико; титан содержится преимущественно в составе фазы рутила. Титан и уран в браннерите способны образовывать оксиды переменного состава в широком диапазоне содержания кислорода. Обнаружено перераспределение кислорода между локальным атомным окружением атомов железа и титана. Окислительно-восстановительные реакции с участием железа за счет перераспределения кислорода оказывают влияние на отношение выхода вторичных ионов ${}^i\text{TiO}^+ / {}^i\text{Ti}^+$, ${}^i\text{TiO}_2^+ / {}^i\text{Ti}^+$ (${}^i\text{FeO}^+ / {}^i\text{Fe}^+$, ${}^i\text{FeO}_2^+ / {}^i\text{Fe}^+$).

Масс-спектрометрическое исследование кварца приобретает актуальность в связи с экологическими проблемами. Наночастицы кварца составляют часть наиболее опасных атмосферных аэрозолей. Результаты исследований показали, что модификации кварца дают аэрозольные частицы разной степени патогенности. Основную опасность представляют не примеси, переносимые аэрозольной частицей, пусть даже токсичные, а наличие в её оболочке болтающихся связей и других поверхностных дефектов, наследующих структуру матричного материала. Они при определенных условиях принимают активное участие в формировании свободных радикалов. Поверхностный слой аэрозольных частиц кварца дает ценную информацию о природе его реактивности.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ
ПРИМЕСЕЙ, ИХ ХИМИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И ПРОФИЛЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ПОЛУПРОВОДНИК-
МЕТАЛЛ МЕТОДАМИ ЭОС И ВИМС

А.А. Абдувайитов

Ташкентский Государственный технический университет им. Абу
Райхана Беруни.
Ташкент, Узбекистан

Исследовались состав неконтролируемых примесей полупроводника кремния и контактной пленки алюминия, а также профилей распределения ряда примесных элементов (С, О, Na, К) от поверхности алюминиевой пленки в глубину подложки кремния.

По сдвигам Оже-пиков примесных атомов полупроводника Si и металла Al в спектре Оже-электронов изучались химические состояния атомов примесей, находящихся под металлической контактной областью, а также атомов кремния и алюминия. Наблюдая динамику изменения формы низкоэнергетического оже-пика алюминия с энергией 68эВ (оже-переход LVV) по мере травления поверхности контактной пленки алюминия ионной бомбардировкой, мы установили, что в области пленки, близкой к подложке кремния, обнаруживаются сателлитные пики основного низкоэнергетического оже-пика алюминия с энергиями 64 и 58 эВ. Толщина алюминиевой контактной пленки была равна 1 мкм. Выяснено, что это связано с присутствием в области контактной пленки определенной доли атомов алюминия, вступивших в химические соединения с атомами кислорода, имеющимися в области раздела полупроводник- металл, с образованием AlO, Al₂O₃.

На масс-спектрограммах отрицательно заряженных частиц, расплывшихся с нижних слоев алюминиевых контактных пленок, обнаружены максимумы, соответствующие по массам химическим соединениям AlO, Al₂O₃

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ МДП-ПРИБОРОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

В.В. Андреев¹⁾, Г.Г. Бондаренко²⁾,
М.С. Васютин¹⁾, В.Г. Дмитриев¹⁾, А.В. Романов¹⁾
¹⁾МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калужский филиал,
Калуга, Россия
²⁾МГИЭМ, Москва, Россия

В данной работе проведено исследование влияния низкоэнергетического электронного облучения на формирования и заполнения центров захвата носителей в многослойных диэлектрических плёнках полупроводниковых приборов со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП).

Для изучения влияния воздействия электронного облучения на характеристики полупроводниковых приборов с использованием растрового электронного микроскопа было проведено облучение образцов электронами с энергией от 10 до 20 кэВ с флюенсом $10^{-14} \div 5 \cdot 10^{-14} \text{ см}^{-2}$. Оценка изменения зарядового состояния МДП-структур проводилась с использованием метода управляемой токовой нагрузки, заключавшегося в изменении амплитуды и полярности токового воздействия, прикладываемого к МДП-структуре по специальному алгоритму, и измерении временной зависимости напряжения на образце.

Показано, что после отжига МДП-структур, облучённых электронами, при температуре 200 °С практически полностью устраняются радиационные дефекты, ответственные за увеличение плотности поверхностных состояний. При этом после отжига сохраняются термостабильные компоненты положительного и отрицательного зарядов, созданных в диэлектрике электронным облучением.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы ГК № 16.740.11.0151 и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-02-97533).

ЛОКАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ПРЕЦИЗИОННЫХ
СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Fe-Si-Al, ПОДВЕРГНУТЫХ
МАГНИТОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

А.А. Вирюс¹⁾, Т.П. Каминская²⁾, М.Н. Шипко³⁾, М.А. Степович^{3), 4)}

¹⁾Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка
Московской обл., Россия

²⁾МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³⁾Ивановский филиал Российского государственного торгового-
экономического университета, Иваново, Россия

⁴⁾Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
Калуга, Россия

Методами растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, атомной силовой микроскопии, а также рентгенофазовым и ядерным гамма-резонансным методами изучено влияние слабых (10-100 кА/м) низкочастотных (10-20 Гц) импульсных магнитных полей на физико-механические свойства прецизионных сплавов Fe-Si-Al, используемых в изделиях специального машиностроения и точной механики.

Локальный анализ состава и структуры материалов показал, что в результате магнитоимпульсной обработки трещиностойкость увеличивается примерно в 3 раза. Причиной этого упрочнения может являться воздействие импульсов магнитного поля на спиновую систему материала, вследствие чего возникают добавочные упругие напряжения, стимулирующие снижение концентрации вакансий, переползание дислокаций и дополнительное упорядочение сплава.

Исследования проведены при финансовой поддержке НИР, проводимых в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (проект № 7.5341.2011) и Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Калужской области (проект № 12-02-97519).

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В TiN И ZrNb МЕТОДОМ ЭОС.

А.А. Абдувайитов, М.К. Рузибаева

Ташкентский Государственный технический университет им. Абу Райхана Беруни, Ташкент, Узбекистан

Некоторые детали машин подвергаются интенсивным вибрациям, ударам и знакопеременным нагрузкам. От лопаток паровых турбин и авиационных двигателей, лопастей винтов вертолётов, деталей шахтного оборудования требуется высокая усталостная прочность, стойкость против эрозии и коррозии. Поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания находятся в условиях интенсивного трения. Поэтому рабочие поверхности инструментов и деталей машин должны обладать высокой твёрдостью, химической стойкостью, теплостойкостью, усталостной прочностью, коррозионной стойкостью, а также стойкостью к окислению при высоких температурах. В данной работе изучены элементный состав и химическое состояние TiN и ZrNb, которые влияют на электрофизические и механические свойства этих сплавов.

Анализ оже-спектров показал, что в составе TiN присутствует ряд примесных элементов (S, Cl, C, Cr, O, Mn, Ni) в малых концентрациях. В оже-спектре TiN наряду с тремя основными пиками Ti (367эВ, 418эВ, 451эВ) и пиком N (379 эВ), наблюдается ярко выраженный пик кислорода. По-нашему мнению причиной этого является диффузия атомов O из объема на поверхность при высокотемпературном нагреве. Кроме того атомы кислорода образуют на поверхности химическое соединение TiO₂, пик которого обнаруживается в низкоэнергетической части оже-спектра.

Изучение концентрации основных и примесных атомов и их химический состояний в оже-спектрах при электронной бомбардировке образцов TiN и ZrNb показало, что примеси Cr, Mn отрицательно влияют на твердость и химическую стойкость указанных материалов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ МДП-СТРУКТУР

А.А. Столяров, Д.В. Андреев, И.В. Соловьев
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калужский филиал,
Калуга, Россия

В данной работе проведено исследование воздействия ионизирующих излучений на структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) и приборы на их основе, через диэлектрик которых протекает постоянный емкостной или туннельный ток, обусловленный сильнополевой по Фаулеру-Нордгейму инжекцией электронов в диэлектрик. Исследование радиационного излучения проводится по изменению временной зависимости напряжения на структуре в процессе облучения /1/.

Показано, что ионизационные процессы, протекающие в диэлектрических пленках МДП-структур, можно использовать для регистрации радиационных излучений. Установлено, что с возрастанием толщины диэлектрической пленки увеличивается чувствительность МДП-структуры к радиационному облучению, но при этом для поддержания инжекционного режима требуются более высокие напряжения. Для учета полевой зависимости ионизационного тока при регистрации радиационных излучений измерения необходимо проводить при нескольких амплитудах постоянного тока, протекающего через подзатворный диэлектрик.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы ГК № 16.740.11.0151 и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-02-97533).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин Д.С. Моделирование воздействия ионизирующих излучений на МДП-структуры с наноразмерными диэлектрическими пленками // Физика и химия обработки материалов. 2011. № 5. С.18-25.

ЭФФЕКТ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДОВ ПРИ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Н.В. Алов

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

Облучение поверхности оксидов ионами инертных газов низких энергий приводит, как правило, к восстановлению поверхности. При больших дозах ионного облучения для некоторых оксидов наблюдается эффект металлизации, т.е. образование тончайшего металлического слоя (несколько нанометров) на исходной диэлектрической поверхности. Цель настоящей работы – исследование методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии металлизации поверхности высших оксидов WO_3 , Ta_2O_5 , MoO_3 , Nb_2O_5 при облучении ионами инертных газов (Ar^+ , He^+) с энергией 1 и 3 кэВ.

Установлено, что в результате облучения ионами Ar^+ с энергией 3 кэВ при дозе насыщения на поверхности оксидов образуется 44% W, 12% Ta и 2% Mo. Образование Nb не обнаружено. Как видно, степень металлизации поверхности оксидов заметно понижается в ряду WO_3 , Ta_2O_5 , MoO_3 , Nb_2O_5 . Эффект ионно-лучевой металлизации поверхности сильнее выражен для оксидов металлов VI периода по сравнению с оксидами металлов V периода.

Обнаружено, что облучение легкими ионами He^+ с энергией 1 и 3 кэВ приводит к металлизации поверхности оксида WO_3 : при дозе насыщения на поверхности образуется 2% W (1 кэВ) и 10% W (3 кэВ). Отметим, что степень металлизации поверхности оксида WO_3 увеличивается в 5 раз при увеличении энергии ионов He^+ в 3 раза. Она также намного меньше, сопоставима и заметно превышает степень металлизации поверхности оксидов WO_3 , Ta_2O_5 и MoO_3 соответственно в результате облучения ионами более тяжелого инертного газа Ar^+ (3 кэВ).

Обсуждаются природа и механизмы эффекта металлизации поверхности оксидов при облучении ионами инертных газов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИИ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

В.Н. Кудияров, А.М. Лидер, Н.С. Пушилина
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, Томск, Россия

Водород оказывает существенное влияние на свойства металлов и сплавов. Особо остро стоит проблема водородного охрупчивания для конструкций и изделий, работающих в агрессивных средах. В ряде работ [1,2] исследовано, что воздействуя при комнатной температуре на систему металл-водород ионизирующим излучением можно стимулировать миграцию и выход водорода. Тем самым появляется возможность низкотемпературного удаления водорода из металлов.

Целью работы являлось изучение перераспределения водорода в образцах титана ВТ1-0 после воздействия рентгеновским излучением. Исследование проводилось методом спектрометрии плазмы тлеющего разряда [3]. Анализ профилей распределения водорода в образцах до и после воздействия показал, что облучение вызывает миграцию водорода из объема материала в приповерхностную область.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тюрин Ю.И., Чернов И.П. Радиационно-стимулированный выход водорода из твердых тел: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.-252 с.
2. Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Тюрин Ю.И. Методы исследования систем металл-водород. - М.: Энергоатомиздат, Томск: STT, 2004. - 270 с.
3. Thomas Nelis, Jozsef Pallosi. Glow Discharge as a Tool for Surface and Interface Analysis. Applied Spectroscopy Reviews, 41: 227–258, 2006.

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНОВ Co НА РАЗМЕРЫ НАНОКРИСТАЛЛОВ CoSi₂, СОЗДАНЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ Si

М.Т. Нормурадов, Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова,
Д.М. Мурадкабилов, Н.А. Курбанов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Ранее авторами установлено, что при имплантации ионов Co в Si при низких дозах облучения ($D \leq 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) на поверхности формируются отдельные нанокластерные фазы смешанного состава Co + CoSi + CoSi₂. После отжига (лазерный + температурный) формируются нанокристаллические фазы CoSi₂, размеры которых зависят от энергии и дозы облучения.

В данной работе с использованием методов оже - электронной спектроскопии и растровой электронной микроскопии определены поверхностные размеры CoSi₂/Si, созданные имплантацией ионов Co в Si в сочетании с отжигом. В таблице приведены размеры (d – диаметр поверхности, h – толщина нанокристаллов, v – расстояние между центрами нанокристаллов) и температура полной кристаллизации T_к нанокристаллов CoSi₂, полученных имплантацией ионов Co⁺ в Si с разными энергиями и дозами.

Табл. Характерные размеры нанокристаллов CoSi₂ и их температура формирования

E ₀ , кэВ	D, см ⁻²	T _к , К	d, нм	h, нм	v, нм
0,5	10 ¹⁵	950	18 – 20	30 – 35	45 – 50
1	5·10 ¹⁴	950	10 – 15	30 – 40	45 – 50
	10 ¹⁵	1000	15 – 18	30 – 40	45 – 50
	5·10 ¹⁵	1050	25 – 30	30 – 40	45 – 50
3	10 ¹⁵	1100	12 – 15	45 – 50	40 – 45
5	10 ¹⁵	1150	10 – 12	50 – 60	40 – 45

Из таблицы видно, что при D = const с ростом энергии ионов поверхностные размеры нанокристаллов монотонно уменьшаются, а их толщина увеличивается. При E₀ = const с ростом D происходит существенное увеличение d.

AV INITIO ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗГИБОВ УГЛЕРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК

Ю.Г. Коробова¹⁾, Д.И. Бажанов¹⁾
¹⁾МГУ, Москва, Россия

В последнее время широкий интерес вызывают исследования углеродных материалов, в частности на основе sp^1 -связи углеродных атомов (линейных углеродных цепочек). Они могут либо формировать кристаллическую решетку, в узлах которой вместо атомов находятся углеродные цепочки /1/, либо существовать в виде отдельных волокон /2/ и плёнок /3/. Во всех случаях углеродные цепочки изогнуты, поэтому возникает вопрос о природе структурных изгибов. Проведённые теоретические исследования методами теории функционала электронной плотности показывают, что для формирования и стабилизации экспериментально наблюдаемых изгибов углеродных цепочек необходимо присутствие примесей (Н, F, O) в камере во время синтеза линейно-цепочечного углерода. Изгиб углеродной цепочки формируется в процессе адсорбции атомов примеси на цепочку. Показано, что атомам примеси энергетически выгодно формировать изгиб, а не занимать другие позиции адсорбции. Определён оптимальный угол изгиба углеродных цепочек. Проведена оценка стабильности изогнутых углеродных цепочек в зависимости от длины линейных фрагментов. Показано, что формирование изгиба приводит к образованию узкой запрещённой зоны вблизи уровня Ферми ($\sim 0.6\text{эВ}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kudryavtsev Yu., Evsyukov S., Guseva M., Babaev V. et al., //, Carbon, 1992, V. 30, p. 213.
2. Бабаев В.Г., Хвостов В.В., Гусева М.Б., Савченко Н.Ф. и др., //, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2007, Т.5, стр. 89.
3. Franco Cataldo, //, Polyynes Synthesis, Properties, and Applications, New York, CRC Press Taylor & Francis Group, 2006, 506p.

МЕХАНИЗМЫ ФОКУСИРОВКИ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ
КЛАСТЕРОВ МЕДИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТАГ.В. Корнич¹⁾, Г. Бетц²⁾, В.И. Шульга³⁾¹⁾ЗНТУ, Запорожье, Украина²⁾Technische Universitaet Wien, Wien, Austria³⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В результате МД моделирования был получен эффект азимутальной фокусировки распыленных частиц (мономеров и димеров) с периодом 60 градусов при нормальной бомбардировке нанокластеров меди, расположенных на гексагональной поверхности графита (0001) ионами Ar, Xe /1,2/, Cu₂ /3/ с начальными энергиями 100 - 400 эВ.

В настоящей работе на основе молекулярно-динамической модели /3/ рассмотрено распыление кластеров меди, состоящих из 13, 27, 39, 75 и 195 атомов на поверхности графита димерами Cu₂ с энергиями 50 - 200 эВ/атом. Получено, что увеличение размера кластера от 13 атомов и больше приводит к сдвигу азимутального распределения распыленных единичных атомов на 30 градусов, что обусловлено изменением среднего расстояния отлетающих распыленных атомов меди от подложки и, как результат, изменением относительного вклада структуры кластера и подложки в фокусировку распыленных атомов. Отметим, что кластер Cu₁₃ практически не изменяет свою атомную структуру при нанесении его на подложку графита в отличие от более крупных кластеров, изменяющих свою структуру в соответствии со структурой подложки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Kornich G.V., Betz G., Zaporojtchenko V.I., Bazhin A.I., Faupel F. // Nucl. Instr. and Meth., 2005, 227, 261.
2. Kornich G.V., Betz G., Zaporojtchenko V., Pugina K.V. // Surf. Sci., 2007, 601, 209.
3. Kornich G.V., Betz G., Kornich V.G., Shulga V.I., Yermolenko O.A. // Nucl. Instr. and Meth., 2011, B269, 1600.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ЭНЕРГИЯМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ В УНТ

И.В. Лысова, А.Н. Михайлов

Чувашский государственный педагогический университет
им. И.Я. Яковлева, Чебоксары, Россия

В данной работе методом молекулярной динамики моделируется каналирование таких молекул как: H_2 , H_2O , HCl , H_2N . Исследуются распределения по энергии на выходе из УНТ для различных частиц, их начальных энергий и углов, от свойств УНТ. Рассматриваются условия, при которых УНТ можно использовать для пространственного разделения частиц, прошедших через трубку.

Классические траектории частиц изучаются на основе решения уравнений движения в поле потенциала, создаваемого всеми атомами стенок нанотрубки,

$$M \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = - \sum_n \frac{\partial U(\vec{r} - \vec{r}_n)}{\partial \vec{r}} + \vec{f}(\vec{r}, \vec{v}),$$

где $U(\vec{r})$ - потенциал взаимодействия каналирующей частицы с отдельным атомом стенки УНТ; $\vec{f}(\vec{r}, \vec{v})$ - диссипативная сила, учитывающая торможение частицы за счет потерь в электронном газе. Потери энергии на электронах рассчитывались в приближении локальной электронной плотности на основе экспериментальных данных для твердого тела. Для описания взаимодействия частицы с атомами УНТ и самих атомов УНТ друг с другом применялись известные модельные потенциалы, как одночастичные, так и многочастичные, широко используемые в подобных расчетах.

ФОРМИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ КОМПОЗИЦИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ

Г.А. Вершинин¹⁾, К.Н. Полещенко¹⁾, Г.И. Геринг¹⁾,
Е.Е. Тарасов²⁾, П.П. Кокухин²⁾

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

²⁾ Омский государственный технический университет, Омск, Россия

Целью данной работы являлось формирование градиентных композиций с высокой концентрацией легирующих элементов в поверхностном слое металло-керамических твердых сплавов при комбинированной ионно-лучевой обработке. Эти материалы широко применяются в качестве конструктивных элементов изделий, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. При обычной высокодозовой ионной имплантации генерируется избыточное количество дефектов, являющихся потенциальными очагами поверхностного коррозионного разрушения облучаемого материала. Распределение внедряемых ионов по глубине мишени в этом случае, в силу различных причин, очень неоднородное, а их концентрация в тонком поверхностном слое $0,1 \div 0,2$ мкм, определяемая предельно допустимой дозой насыщения, составляет порядка 10% ат. ед., что оказывается недостаточной для существенного повышения сопротивляемости рабочих поверхностей изделий воздействию агрессивных газовых сред. Повышение концентрации легирующих элементов при комбинированном ионно-лучевом воздействии на материалы можно обеспечить путем предварительного импульсного облучения мощными ионными пучками (МИП) с последующей высокодозовой ионной имплантацией. Использование МИП в этом случае служит для формирования «барьерных слоев», препятствующих миграции внедряемых атомов вглубь обрабатываемого материала, что обеспечивает более высокую их концентрацию в тонком поверхностном слое. Экспериментально установлено, что формирование таких слоев способствует повышению коррозионной стойкости металлокерамических сплавов.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭМИССИИ ОЖЕ-ЭЛЕКТРОНОВ С ПОВЕРХНОСТИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ПУЧКОМ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ

А.А. Абдувайитов, М.К. Рузибаева
Ташкентский Государственный технический университет
им. Абу Райхана Бируни. Ташкент, Узбекистан

В обзорной и оригинальной работах сообщалось, что спектр оже-электронов, эмитированных твердым телом при ионной бомбардировке, резко отличается от такового при электронной бомбардировке. Однако в понимании механизма этих особенностей оже-спектров при ионной бомбардировке до настоящего времени нет единого мнения.

Нами проведено исследование эмиссии оже-электронов при бомбардировке поверхности кремния пучком ионов Ag^+ и K^+ и электронов в области 3-15 кэВ. Эмиссия оже-электронов изучалась в зависимости от энергии и угла падения ионов и электронов. В составе монокристаллов кремния и алюминия обнаружен ряд примесных элементов (С, Аг, О, и др.) в малых концентрациях ($< 0,1\%$). Обнаружено изменение форм низкоэнергетических оже-пиков Al с энергией 68эВ и Si с энергией 91эВ. Среди обнаруженных примесных элементов С, О считаются вредными примесями алюминия. Интенсивности оже-пиков этих элементов в спектре сильно зависят и от угла падения пучка электронов.

Форма спектров при электронной и ионной бомбардировках существенно различается. Для ионного возбуждения кремния характерны уширение и раздвоение оже-пика. Кроме того, в ионном оже-спектре обнаруживаются сателлитные пики, механизмы появления которых нам пока не удалось объяснить. Для более четкого понимания обнаруженных явлений (раздвоения оже-пика Si с энергией 91 эВ, в частности) нами проведены расчеты сдвига оже-пика в спектре оже-электронов в конфигурации $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3s^2 3p^2$. Расчет энергии оже-перехода проводился в приближении Хатри-Фока с учетом релятивистских поправок.

ВЛИЯНИЕ РОСТОВЫХ ДИВАКАНСИЙ НА КЛАСТЕРНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ГАЛЛИЯ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ GaN ИОНАМИ ЦЕЗИЯ

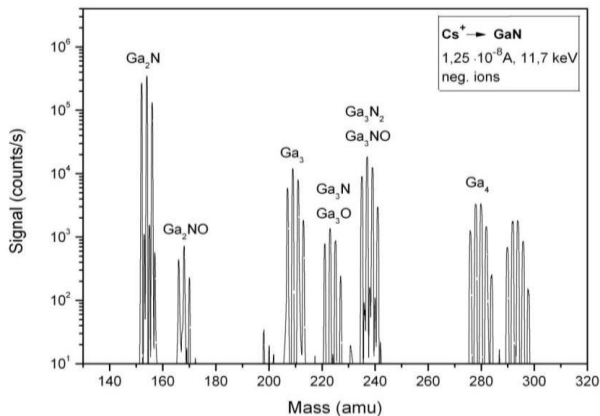
Б.Г. Атабаев¹⁾, В.Н. Гирянский¹⁾,

А.П. Коварский²⁾, Д.Ю. Казанцев²⁾, Д.А. Николаев²⁾

¹⁾Институт электроники АН РУз, Ташкент, Узбекистан

²⁾ФТИ им. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Анализ экспериментальных масс-спектров кластерного распыления нитрида галлия, полученных на ионно-зондовом масс-спектрометре IMS 7f «САМЕСА» показал, что наряду с решеточными молекулярными отрицательно-ионными кластерами GaN, Ga₂N₂ и Ga₂N наблюдается эмиссия димеров, тримеров и тетрамеров галлия. Это связано с энергией связи этих кластеров, т.е. с их стабильностью, поскольку сродство к электрону для них примерно одинаково и совпадает с зоной проводимости. Последнее обстоятельство объясняет низкий ионный выход кластеров. Высокая интенсивность отрицательно-ионного распыления кластеров галлия нами впервые объясняется кластеризацией ростовых дивакансий, декорируемых островками металла.



Масс-спектр GaN при распылении ионами цезия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНО-ИОННОЙ ЭМИССИИ ПРИМЕСЕЙ GaN/SiC В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА

Б.Г. Атабаев¹⁾, А.А. Лебедев²⁾, И.Г. Атабаев³⁾,
Р. Джаббарганов¹⁾, В.Н. Гирянский¹⁾, Б. Зияев¹⁾

¹⁾ Институт электроники АН РУз, Ташкент, Узбекистан

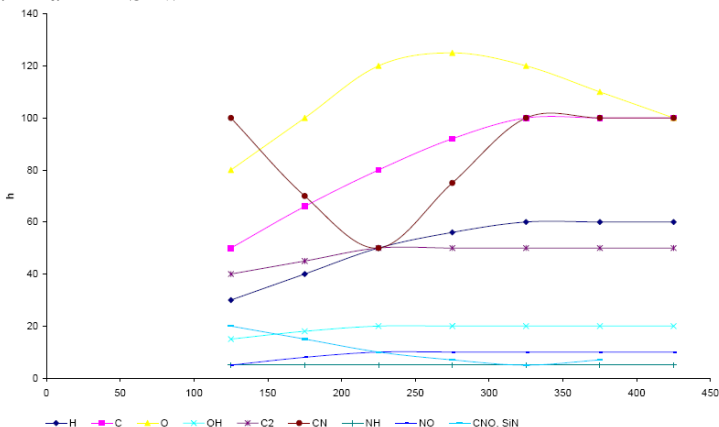
²⁾ ФТИ им. Иоффе, Санкт-петербург, Россия

³⁾ Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Показано, что выходы распыления таких примесей как NH, NO и OH слабо зависят от температуры. Выходы примесей H, C2, C и O также имеют сходный характер. Выход CN имеет другой характер – в графике температурной зависимости наблюдается минимум при 225 °С с выходом на насыщение при 325 °С. Выходы CNO уменьшаются в 2 раза до 325 °С и далее стабилизируются.

Анализ сравнения температурных зависимостей адсорбированных, решеточных и примесных ионов показывает, что пик Ga коррелирует с пиками кислорода и углерода.

При максимуме пика кислорода наблюдается минимум пика CN и уменьшение пика CNO, который, в свою очередь, можно идентифицировать как пик SiN.



Температурные зависимости состава адсорбированных примесей на поверхности GaN

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВТОРИЧНО-ИОННОЙ ЭМИССИИ КЛАСТЕРОВ GaN/SiC ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ИОНАМИ ЦЕЗИЯ

Б.Г. Атабаев¹⁾, В.Г. Бекетов^{2),3)}, Р. Джаббарганов¹⁾,
В.Н. Гириянский^{1),3)} Ф.Р. Юзикаева¹⁾, А. Урунов¹⁾

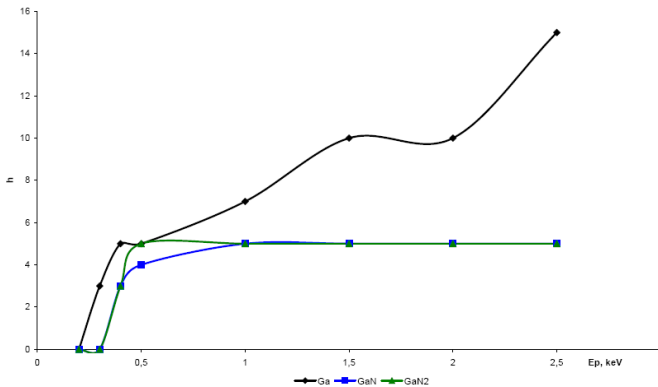
¹⁾ Институт электроники АН РУз, Ташкент, Узбекистан

²⁾ Российский Государственный Университет нефти и газа
им. И.М. Губкина, Москва, Россия

³⁾ Филиал Российского Государственного Университета нефти и газа
им. И.М. Губкина в Ташкенте, Ташкент, Узбекистан

Нами проведено экспериментальное исследование энергетической зависимости атомарного Ga и кластерного GaN и GaN₂ распыления ионами цезия при бомбардировке под углом в 45 градусов. Показано, что пороги эмиссии кластеров GaN и GaN₂ совпадают, и составляют 250 эВ и подтверждает очень важный теоретический вывод о кластерном распылении атомов галлия совместно с атомами азота за счет очень высокой энергии связи Ga-N и прямого образования и последующей кластеризации дивакансий на поверхности нитрида галлия.

Таким образом, теоретическое и экспериментальное исследования показали, что пороговое атомарное распыление происходит по механизму прямого выбивания или рекойлинга, а пороговое кластерное распыление по рекомбинационному механизму.



Энергетические зависимости атомарного и кластерного распыления GaN при бомбардировке ионами Cs⁺

К ВОПРОСУ ОБ ЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВ В КАТОДНОМ ПЯТНЕ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуоров, Х.Х. Кадыров, И.Х. Худойкулов.
Институт электроники АН РУз, Ташкент, Узбекистан.

Рассмотрены условия реализации F-эмиссии в КП вакуумного дугового разряд. F-эмиссия обусловлена электрическим полем у поверхности катода в КП, и определяется уравнением Мак-Коуна [1], а плотность тока уравнением Фаулера-Нордгейма [2]

$$\frac{j_e}{j_i} = \frac{50,5 U_c^{0,5} A_c^{0,5}}{\varphi} \exp \left[- \frac{6,95 \cdot 10^7 \varphi^3 / 2\theta(y)}{E_c} \right] \quad (1)$$

Зависимость отношения j_e/j_i от φ и E_c очень сильная. Преобразуя и логарифмируя (1) получим необходимое, условие КП с F типом эмиссии электронов:

$$E_{on} = \frac{2,97 \cdot 10^7 \varphi^3 / 2\theta(y)}{0,57 + 0,5 (lg U_c + lg A_c) - lg \varphi} \quad (\text{В см}^{-1}) \quad (2)$$

Дополняющим условием к (2) является выполнения атомно-ионного баланса,

$$\frac{\lambda_a (\text{эВ})}{T_{ин} (\text{К})} = \frac{lg A - lg B - 2lg E_{on}}{5,04 \cdot 10^3} \quad (3)$$

Из (3) следует с ростом теплоты испарения атома пропорционально растёт температура катода при которой формируется E_{on} . Третье условие, на основе эффекта Ноттингама [3], из выражения (3), подставив

$T_{ин} = \frac{5,05 \cdot 10^{-5} \cdot E_c}{\varphi^{0,5}}$ получаем

$$\lambda_a = \frac{1,12 \cdot 10^{-8} E_{on} (lg A - lg B - 2lg E_{on})}{\varphi^{0,5}} (\text{эВ}) \quad (4)$$

определяющее теплоту испарения атома, при котором имеет место F эмиссия электронов в КП вакуумной дуги. Так как $E_{on} \sim \varphi^{3/2}$, то согласно (3), $\lambda_a \sim \varphi$. И так F- эмиссия электронов в КП возможна лишь для катодов с $\lambda_a \leq 1,5 - 1,6 \text{эВ}$. Это щелочные металлы Zn, Cd и Hg. Большинство металлов имеет $\lambda_a > 2 - 2,5 \text{эВ}$, и для них характерна T-F эмиссия электронов в КП вакуумной дуги.

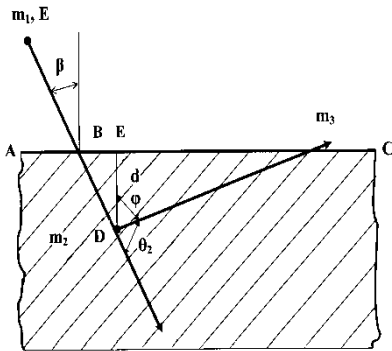
ЛИТЕРАТУРА

- 1 Барухов М.Ю. Бек-булатов И.Х., Лукашевич Л.Л. и др. //ЖТФ. 1972. Т.7. С. 1504-1508.
- 2 Еминсон М.И., Васильев Г.Э. Автоэлектронная эмиссия. /Под ред. Зернова Д.В. М: 1958.
- 3 Nottingham W.B. //Phys. Rev. 1941. V. 59. P. 906.

ГЛУБИНА ВЫХОДА РАСПЫЛЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ НАКЛОННОМ УГЛЕ ПАДЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПУЧКА

А.Н. Пустовит
ИШТМ РАН, Черноголовка, Россия

Для анализа поверхности, основанного на распылении, большое значение имеет глубина выхода (ГВ) вторичных частиц [1]. В работе представлены расчеты ГВ вторичных частиц для наклонного угла падения первичного пучка.



Кинематическая схема для расчета ГВ вторичных частиц, представлена на рисунке. Атом (m_1) с энергией E падает на мишень (масса атомов m_2) под углом β относительно нормали к поверхности образца, содержащего атомы примеси с массой m_3 . Первичный атом выбивает атомы образца из положения равновесия под углом θ_2 относительно направления своего движения и сообщает ему энергию E_x . Максимальная ГВ (d) для атома примеси (с параметрами m_3 , E_x и θ_2) с которой он еще может покинуть образец, определяется, как $d=R_{p32}(E_x)\cos(\pi-\beta-\theta_2)$, где $R_{p32}(E_x)$ – средний пробег атома примеси в мишени (m_2) для энергии E_x . Установлено, что в этом случае ГВ атома примеси в мишени можно вычислить из уравнения:

$$1/d = 1/(R_{p12} \cos \beta) + 1/(R_{p32} \cos(\pi-\beta-\theta_2)), \quad (1)$$

где R_{p12} и R_{p32} - средние пробеги первичного и примесного атомов в мишени для энергии E .

Обсуждаются условия применимости уравнения (1) и различные варианты влияния R_{p12} и R_{p32} на глубину выхода распыленных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Виттмак К. // В кн. Распыление под действием бомбардировки частицами. Выпуск III, под ред. Бериша Р. и Виттмака К., М.: Мир, 1998, с.237.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙТЕРИЯ И ВОДОРОДА В МНОГОСЛОЙНЫХ
СТРУКТУРАХ ИЗ Nb-ФОЛЬГ И ВТСП-ПЛЕНКАХ ПОСЛЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ D⁺-
ПЛАЗМЫ

А.Ю. Дидык¹⁾, Р. Вишнеvский²⁾, В.С. Каликаукас³⁾

¹⁾Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных
реакций имени Г.Н.Флерова, Дубна, Россия

²⁾Narodowe Centrum Badan Jadrowych, Otwock-Świerk, Poland

³⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Образцы в виде плотно прижатых сборок из двух Nb-фольг и расположенными между ними одной или двумя ВТСП-пленками, сложного состава, были облучены последовательно сериями импульсов дейтерия на установке «Плазменный фокус» ПФ-4 (ФИАН). Для создания ударных волн использовали воздействие высокоскоростной кумулятивной струи D⁺-плазмы. Параметры ПФ-4 и условия воздействия D⁺- плазмы и после-радиационных исследований описаны в [1]. Число импульсов D⁺ плазмы на сборку фольг варьировалось. Параметры, характеризующие сверхпроводящие ВТСП-пленки также контролировались после облучения.

Проведенные ERD-исследования всех фольг с обеих сторон показали, что ионы дейтерия проникают на всю толщину передней и в поверхность последней Nb-фольг, а также и через многослойные ВТСП структуры, а исходно присутствующий в образцах водород перераспределяется. Измеренные глубинные профили распределений и интегральные концентрации дейтерия и водорода с обеих сторон каждой из фольг представлены. Модели, описывающие обнаруженные эффекты сверхглубокого проникновения дейтерия и перераспределения водорода обсуждены [1, 2].

Литература

- 1 Didyk A. Yu.. Physics of Particles and Nuclei Letters, 2012, Vol. 9, No. 2, pp.186–191.
- 2 Дидык А.Ю., Иванов Л.И., Крохин О.Н. и др. ДАН, 2012. Т. 442, № 3, С.1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ
АМОРФИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ Na⁺

С.Ж. Ниматов, Д.С. Руми

Ташкентский государственный технический университет им.А.Р. Беруни,
Ташкент, Узбекистан

Исследование аморфизации поверхности твердых тел при ионной бомбардировке последние десятилетия сохраняет актуальность как для решения фундаментальных, так и прикладных задач. Ионный пучок наиболее удобный инструмент для внешнего воздействия на поверхность, с помощью которого можно осуществить контролируемую аморфизацию на наноразмерном уровне. Определение оптимальных энергетических и дозовых условий ионной бомбардировки, при которых не происходит разрушение порядка на поверхности подложки, либо, напротив, происходит полная аморфизация её наночастков, имеет большое значение для технологии эпитаксиальной имплантации реактивных ионов. Наименее разрушающим, простым и универсальным методом таких исследований *in situ* является дифракция электронов низких энергий одновременно в варианте электронографии и динамики интенсивностей рефлекса и фона (ДЭНЭ Р/Ф). Выбор объектов “поверхность-ион” в работе обусловлен широким использованием Si(111) и щелочных металлов в технике, а также относительной простотой получения и эксплуатации пучков щелочных ионов в частности Na⁺. Показано, что при бомбардировке Si(111) ионами Na⁺ в области энергий до 200 эВ разрушение её поверхности не происходит, а в области энергий бомбардировки 200÷500 эВ разрушение несущественно. Деградация интенсивности дифракционной картины при малых энергиях связано с возмущением решетки поверхностного слоя имплантированными ионами. Момент наступления полной аморфизации поверхности Si(111) под действием низкоэнергетического облучения ионами Na⁺ сложным образом зависит от энергии и дозы и в совокупности с другими условиями определяют режим сохранения порядка на поверхности или его нарушения.

СПЕКТРЫ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭНЕРГИЙ РАСПАДА И
СТАБИЛЬНОСТЬ НИОБИЙ-УГЛЕРОДНЫХ КЛАСТЕРОВ,
РАСПЫЛЕННЫХ С ПОВЕРХНОСТИ КАРБИДА НИОБИЯ ИОНАМИ
КСЕНОНА

Н.Х. Джемилев, С.В. Верхотуров, В.В. Соломко, С.Е. Максимов
Институт электроники АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Представлены результаты исследования эмиссии и фрагментации положительных ниобий-углеродных кластеров, синтезированных при бомбардировке ионами Xe^+ поверхности NbC. Исследования каналов фрагментации и вероятностей распадов распыленных ниобий-углеродных кластеров были проведены в бесполовых зонах масс-спектрометра [1]. Спектры кинетических энергий осколочных ионов (KER-distributions) были измерены по методике [2] во второй бесполовой зоне масс-спектрометра во временном диапазоне 10^{-5} - 10^{-3} с после эмиссии. На основе проведённых KER-измерений были рассчитаны энергии активации распада (диссоциации) данных кластеров с использованием модели «испарительного ансамбля» [3] и теории мономолекулярных реакций [4]. Показано, что численные значения энергий диссоциации, определённые в рамках обеих расчётных методик, близки между собой. Сделан вывод об эффективности использования метода ВИМС для генерации кластерных структур различной стехиометрии и определения их энергий диссоциации с использованием альтернативных расчётных методик в рамках единого эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ekkerman A.D., Dzhemilev N.Kh., Rotstein V.M. //Surf. and Interf.Anal. 1990. V.15. P.587.
- 2 ekkerman A.D., Dzhemilev N.Kh., Verkhoturov S.V., Veryovkin I.V., Adriaens A. //Mikrochim. Acta. 1998. V.15 P.371.
- 3 lots C.E.//Z.Phys.D. 1987. V.5. P.83; 1991. V.21. P.335.
- 4 П.Робинсон, К.Холбрук. Мономолекулярные реакции. М: Мир. 1975.

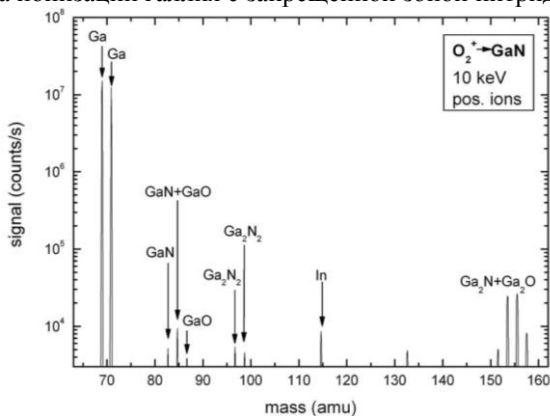
ВЛИЯНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ И ИОНИЗАЦИИ КЛАСТЕРОВ НА МОЛЕКУЛЯРНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ GaN

Б.Г. Атабаев¹⁾, В.Н. Гирянский¹⁾, М.А. Пермухамедова¹⁾,
А.П. Коварский²⁾, Д.Ю. Казанцев²⁾, Д.А. Николаев²⁾

¹⁾ Институт электроники АН РУз, Ташкент, Узбекистан

²⁾ ФТИ им. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Анализ экспериментальных масс-спектров кластерного распыления нитрида галлия, полученных на ионно-зондовом масс-спектрометре IMS 7f «САМЕСА» показал, что их интенсивность с ростом числа атомов в кластере увеличивается. Нами предложена модель прямого кластерного распыления, согласно которой возрастание интенсивностей пиков GaN, Ga₂N₂ и Ga₂N связано с энергией связи этих кластеров, т.е. с их стабильностью, поскольку потенциал ионизации у всех трёх молекул примерно одинаков и совпадает с зоной связанных состояний. Последнее обстоятельство объясняет низкий ионный выход кластеров. Высокая интенсивность ионного распыления металла объясняется большой вероятностью выживания кинетически ионизованных атомов за счёт резонанса потенциала ионизации галлия с запрещённой зоной нитрида галлия.



Масс-спектр GaN при распылении ионами кислорода

ATOMISTIC SIMULATION of MOLECULAR ION IRRADIATION of GaN:

M.W. Ullah¹), A.Kuronen¹), F. Djurabekova¹), K.Nordlund¹), A.I.Titov²), and P.A. Karaseov*²)

¹) University of Helsinki, Finland

²) State Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

The molecular dynamics code PARCAS was used for simulation of ion irradiation of GaN. Wurtzite-structured GaN cells were constructed with an open surface in the 0001 direction. The cohesion of the molecule was described by Lennard-Jones potentials, the substrate was modeled using a Tersoff-like many-body interatomic potential. The ion (or molecular ion) was placed above the simulation cell surface, and directed towards the surface at an angle tilted 7° with respect to the sample normal. After each irradiation simulation, the damage was analyzed using Voronoy polyhedra centered on each initial atom position. Polyhedra with no atom were labeled vacancies, polyhedra with 2 or more atoms interstitials, and polyhedra with one atom of the opposite type to the initial one antisites.

The single specie irradiation results show that even though GaN is a semiconductor, there is fairly strong in-cascade damage recombination in the material. Molecular projectiles produce more point defects than one can expect from linear combination of atoms comprising molecule. This effect increases with the number of atoms in molecule.

The quantitative results of cumulative studies show that for single light (P and F) atom irradiations, damage increases roughly linearly with increasing fluence. Most interesting is that the damage for the molecular projectile is clearly higher than that for the single ions. This is indication that there is a nonlinear cluster effect in the damage production for the molecular ion due to the higher cascade density, in good qualitative agreement with the experiments.

Work was supported by RFBR (grant 10-08-91751) and Academy of Finland under the ENIGAZ project. Grants of computer time from the Center for Scientific Computing in Espoo, Finland, are gratefully acknowledged.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ТОРМОЗНОЙ
СПОСОБНОСТИ ВЕЩЕСТВА В ТЕОРИИ ОТРАЖЕНИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

А. И. Толмачёв

Российский новый университет, Москва, Россия

При многократном рассеянии заряженных частиц в твердом теле частицы теряют энергию за счет упругих столкновений с неподвижными атомами мишени. Средняя энергия, переданная в одном столкновении атому мишени, определяет величину тормозной способности вещества, которая зависит от отношения масс частицы и атома, потенциала взаимодействия и является немонотонной функцией энергии /1/. Обычно тормозная способность находится путем численных расчетов и представляется в виде графиков и таблиц. В данной работе энергетическая зависимость тормозной способности вещества получена в для модельного потенциала взаимодействия – усеченного кулоновского потенциала, совпадающего с кулоновским потенциалом внутри атома при $r \leq r_0$ и равным нулю при $r \geq r_0$, где r_0 – радиус обрезания /2,3/. Для усеченного кулоновского потенциала задача о тормозной способности вещества допускает строгое аналитическое решение, как классическое, так и квантовомеханическое, что позволяет проанализировать и сравнить результаты в широком диапазоне энергий и отношений масс взаимодействующих частиц.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Машкова Е. С., Молчанов В. А. Применение рассеяния ионов для анализ твердых тел. М.: Энергоатомиздат, 1995. 175 с.
- 2 Мотт Н., Месси Г. Теория атомных столкновений. Пер. с англ. под ред. Никитина Е. Е. М.: «Мир», 1969. 756 с.
- 3 Толмачёв А. И. // Поверхность, 1992, вып. 8, с. 27.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЗИЧЕСКОЕ РАСПЫЛЕНИЕ
ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННОГО ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТАН.Н. Андрианова¹, А.М. Борисов¹, Ю.С. Виргильев²,Е.С. Машкова¹, В.С. Севостьянова¹, В.И. Шульга¹¹НИИЯФ МГУ, Москва, Россия²ФГУП НИИГрафит, Москва, Россия

Исследовано влияние температуры на распыление базисной грани высокоориентированного пирографита марки УПВ-1Т при нормальном падении ионов. При облучении ионами Ag^+ с энергиями в десятки кэВ наблюдаются сильные температурные зависимости ионно-индуцированных структурных и морфологических изменений [1]. При температурах мишени $T = 90, 250$ и $400^\circ C$ проведены циклы высокодозового облучения ионами Ag^+ энергии 30 кэВ с гравиметрическим контролем и определением коэффициента распыления Y . Найдено, что коэффициенты высокодозового ($\sim 10^{19}$ ион/см²) распыления при $T = 250$ и $400^\circ C$ в пределах погрешности измерений $Y \approx 2$ ат/ион и в два раза больше Y при $T = 90^\circ C$. Растровая электронная микроскопия показывает, что найденные различия могут быть связаны с характером ионно-индуцированной морфологии. Облучение при температурах 250 и $400^\circ C$ приводит к сетчатой микроструктуре со столбчато-игольчатыми морфологическими элементами высотой порядка единиц микрометров, тогда как при температуре $90^\circ C$ поверхность остается близкой к плоской. Моделирование по программам TRIM.SP и OKSANA показало, что коэффициенты распыления гладкой поверхности разупорядоченного графита близки друг к другу, а также и экспериментальному значению Y при $T = 90^\circ C$. Двукратное увеличение Y при $T = 250$ и $400^\circ C$ соответствует моделированию с учетом двумерного синусоидального рельефа по программе OKSANA.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Andrianova N.N., Borisov A.M., Mashkova E.S., Parilis E.S., Virgiliev Yu.S. // Nucl.Instrum.Methods in Phys.Res. B. 2009. V. 267. P. 2761-2764

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА
АВТОЭЛЕКТРОННУЮ ЭМИССИЮ УГЛЕРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾, В.В. Борисов¹⁾,
Ю.С. Виргильев²⁾, Е.С. Машкова¹⁾, В.С. Севостьянова¹⁾,
М.А. Тимофеев¹⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ ФГУП НИИграфит, Москва, Россия

Изучена автоэлектронная эмиссия (АЭЭ) поверхностей высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) марки УПВ-1Т и стеклоуглерода марки СУ-2000 после облучения ионами Ag^+ энергии 30 кэВ при различных температурах и углах падения ионов на мишени. Облучение базисной грани УПВ-1Т приводит в интервале температур мишени от комнатной до 400 °С к изменениям структуры и морфологии поверхности. Установлено, что развивающийся при нормальном падении ионов на мишень рельеф в виде колоний наноразмерных конусов при температуре текстурного перехода $T_t \approx 150$ °С практически не изменяет характерную низкую АЭЭ базисной грани ВОПГ [1]. Низковольтная АЭЭ обнаружена при температурах $T > T_t$ ионно-индуцированного восстановления текстуры УПВ-1Т. Для мидиевидной морфологии, образующейся при облучении при $T \approx 400$ °С, пороговое значение АЭЭ составило 17 В/мкм. Ионно-индуцированный рельеф, развивающийся при наклонном облучении в виде квазипериодической системы сросшихся хребтов с игольчатыми вершинами, способствует увеличению автоэлектронной эмиссии и уменьшению пороговой напряженности поля. Аналогичное наклонное облучение привело к появлению низковольтной АЭЭ для СУ-2000.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Авилкина В.С., Андрианова Н.Н., Борисов А.М., Борисов В.В., Виргильев Ю.С., Машкова Е.С., Тимофеев М.А. // Прикладная физика, 2010, № 3, С.42-46.

О ВЗАИМОСВЯЗИ СИЛЬНО БЛОКИРОВАННЫХ И
ПЕРЕФОКУСИРОВАННЫХ АТОМОВ ПРИ ЭМИССИИ
С ПОВЕРХНОСТИ ГРАНЕЙ (001) Ni и (001) Au

Н.В. Носов, В.Н. Самойлов

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

В настоящей работе исследованы особенности фокусировки атомов, распыленных с поверхности граней (001) Ni и (001) Au, по азимутальному углу с разрешением по полярному углу и энергии. Существенный вклад в распыление сильно блокированных атомов, эмитированных под углами $\vartheta < \vartheta_0$ (где ϑ_0 – начальный, а ϑ – конечный полярный угол вылета) был обнаружен в /1/ и исследован нами в ряде работ. Обнаружены области полярного и азимутального углов ϑ и φ и энергии, для которых сигнал распыленных атомов на 100% формируется за счет эмитированных атомов, перефокусированных через центр линзы. Например, все атомы, распыленные с грани (001) Ni под углами ϑ [56,3°, 57,8°] и φ [82,5°, 85,5°] с энергией $10,0 \pm 0,4$ эВ, вылетали под начальными углами φ_0 [112,8°, 116,4°]. Анализ показал, что все эти перефокусированные атомы (см. также /2/) являются сильно блокированными. Обнаружено, что для энергий от $9,0 \pm 0,4$ эВ до $25,0 \pm 0,4$ эВ все перефокусированные атомы являются сильно блокированными при ϑ [56,3°, 57,8°] и φ [82,5°, 85,5°]. Обратное для этих энергий также верно: все сильно блокированные атомы являются перефокусированными через центр линзы. Они на 100% формируют наблюдаемый сигнал. Для энергии от $55,0 \pm 0,4$ эВ и тех же углов наблюдения все перефокусированные атомы являются сильно блокированными, но не все сильно блокированные атомы являются перефокусированными через центр линзы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Самойлов В.Н. // Известия АН СССР, сер. физич., 1990, т. 54, № 7, с. 1283-1287.
- 2 Корсакова О.С., Алешкевич В.А., Самойлов В.Н., Никитин А.М. // Поверхность, 1997, № 2, с. 77-92.

ЭФФЕКТ ПЕРЕФОКУСИРОВКИ ПО АЗИМУТАЛЬНОМУ УГЛУ ПРИ ЭМИССИИ АТОМОВ С ПОВЕРХНОСТИ ГРАНЕЙ (001) Ni и (001) Au

В.Н. Самойлов, Н.В. Носов

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

В настоящей работе исследованы особенности фокусировки атомов, распыленных с поверхности граней (001) Ni и (001) Au, по азимутальному углу φ . Эффект перефокусировки эмитированных атомов через центр линзы, состоящей из двух атомов – ближайших к эмитируемому атому соседей в плоскости поверхности, был обнаружен и исследован в /1/, но расчеты были проведены для фиксированных начальных энергий E_0 эмитируемых атомов. В направлении на центр линзы происходит формирование максимума интегрального азимутального распределения распыленных атомов за счет “собственных” и “несобственных” по азимутальному углу распыленных атомов, симметрично по начальному углу вылета φ_0 . Для “собственных” атомов интервал углов наблюдения φ включает в себя значения начальных углов вылета φ_0 . “Несобственные” распыленные атомы сфокусировались по азимутальному углу в этот интервал углов наблюдения φ . Для несимметричного относительно центра линзы интервала углов φ фокусировка “несобственных” атомов происходит за счет фокусированных атомов, рассеянных на ближайшем атоме линзы, и перефокусированных атомов, рассеянных на дальнем атоме линзы. При смещении интервала углов φ в сторону от центра линзы интервал углов φ_0 , при которых происходил вылет атомов, перефокусированных через центр линзы, сдвигается от центра линзы в азимутальном направлении к дальнему атому линзы, на котором происходит их рассеяние, в согласии с распределениями, полученными в /1/.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Корсакова О.С., Алешкевич В.А., Самойлов В.Н., Никитин А.М. // Поверхность, 1997, № 2, с. 77-92.

КИНЕТИКА ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ И ИХ АГРЕГАТОВ НА
ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНКИ LiF/Si(111)

Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, У.Б. Шаропов, М.К. Курбанов,
К.У. Назаркулова
Институт Электроники, Ташкент, Узбекистан

Методом спектроскопии полного тока исследованы дозовые зависимости кинетики генерации F-центров и их агрегатов в вакуумно-напыленной тонкопленочной системе LiF/Si(111) после облучения медленными электронами с энергией 80эВ. Облучение проводилось в двух режимах: во время (*in situ*) роста покрытия и после (*post*) его формирования.

В случае *post* агрегация F-центров протекает путем создания V_n , Li_4 , F_2^+ , F_2 , F_3 , X-центров. С увеличением дозы электронного облучения в случае *post* увеличивается концентрация F_2 -центров, а концентрация Li_4 , F_2^+ -центров падает. Лишний электрон захватывается F_2^+ -центром, создавая стабильный нейтральный F_2 -центр. Li_4 и F_2^+ -центры, в основном, образуются в начале облучения (до $\sim 10^{13}$ эл/см²). В случае *in situ* образуются F_2^+ , F_3^+ , F_3 , F-центры. В начале набора дозы концентрация этих центров в пленке увеличивается, после они незначительно снижаются. Далее с увеличением дозы облучения их интенсивность не изменяется. В случае *in situ* больших агрегатных дефектов (X и коллоидные центры) не наблюдаются. Очевидно, что в этом случае в течение набора дозы поверхность пленки постоянно обновляется новым слоем (идет напыление пленки во время облучения), что препятствует коалесценции F-центров и, таким образом, образованию больших агрегатных центров.

Таким образом, облучение ионных кристаллов электронами приводит на поверхности и в объеме образца последовательное образование одиночных центров, до их коалесценции в агрегатные центры. Показано, что с увеличением энергии облучающих электронов в пленке создаются нанокластеры Li_4 и ионизованные центры F_3^+ , F_2^+ .

ИЗУЧЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНО-ИОННЫХ КЛАСТЕРОВ SiC ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ИОНАМИ Cs⁺

Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, У.Б. Шаропов, М.К. Курбанов,
Н.Г. Саидханова

Институт Электроники, Ташкент, Узбекистан

Процесс ионного распыления находит широкое применение в современной технологии изготовлении полупроводниковых приборов и микросхем. Методом вторично-ионной масс-спектрометрии исследованы энергетические, температурные зависимости отрицательно-ионных кластеров SiC при бомбардировке ионами Cs⁺. Также изучены зависимости выхода кластерных ионов от плотности тока бомбардирующих ионов цезия.

Результаты экспериментов показали, что картина вторичной отрицательно-ионной эмиссии SiC достаточна сложна. С увеличением энергии бомбардирующих ионов, выход кластерных ионов растет быстрее, чем интенсивность атомарных ионов. Мы обнаружили наличие порогового значения энергии бомбардирующих ионов, ниже которого интенсивность образования отрицательно-ионных многоатомных кластеров резко падает. Это, в частности, позволило получить информацию об относительных изменениях выхода многоатомных ионов с увеличением энергии первичных ионов в интервале 0,1-3,0 кэВ. На основе этого изучены закономерности образования отрицательно заряженных кластерных ионов при значениях энергии первичных ионов, которые почти на порядок ниже энергий, необходимых для исследования закономерностей образования положительно заряженных кластерных ионов.

Результаты исследования зависимости выхода кластерных ионов от температуры поверхности SiC при бомбардировке ионами Cs⁺ показывают, что на поверхности происходит термодесорбция легкосвязанных частиц из физически адсорбированных состояний, а при более высоких температурах и из хемосорбированных состояний. Также происходит диссоциация химических соединений и окислов образованных на распыляемой поверхности.

МНОЖЕСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКОЙ

Б.Л. Оксенгендлер, С.Е. Максимов, Н. Тураева, Н.Ю. Тураев
Институт электроники АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Предложен новый метод статистического анализа, предназначенный заполнить пробел между такими подходами к распылению частиц при ионной бомбардировке, как линейные каскады и θ -вспышка (Р.Бериш, 1984). Идея метода восходит к работе Ферми (1950) по множественной генерации мезонов. Согласно такому подходу, энергия при взаимодействии облучающей частицы с поверхностью «мгновенно» выделяется, и возбуждение передаётся атомам и электронам энергизованной области, Возбуждённые частицы быстро заполняют фазовый объём системы, где устанавливается статистическое равновесие. В результате квантовомеханическое выражение для вероятности одновременного возбуждения N частиц заменяется отношением статистических весов $S(N)$. В задаче о возбуждении и вылете из твёрдого тела n атомов и p электронов получаем:

$$S(n, p) = \frac{\left(\frac{\pi}{2}\right)^{\frac{3}{2}(n+p)} \left(\frac{M}{m}\right)^n m^p \frac{3}{2} \Omega^{n+p} \exp(-nE_a - pE_e) \frac{3}{2}^{\frac{3}{2}(n+p)-1}}{\left(\pi^3 \hbar^3\right)^{\frac{3}{2}(n+p)} \Gamma\left(\frac{3}{2}(n+p)\right)}$$

Здесь Ω – геометрический объём системы, E_a и E_e – барьеры возбуждения атома и электрона, M и m – их массы, $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция. Вероятность одновременного вылета n атомов и p электронов:

$$W(n, p) = S(n, p) / \left[\sum_{n,p} S(n, p) \right]$$

Отсюда получается средний выход для атомов и электронов: $\bar{n} = \sum_{n,p} n W(n, p)$ и $\bar{p} = \sum_{n,p} p W(n, p)$. Последние выражения, содержащие информацию о твёрдом теле и облучающем агенте, надлежит сравнивать с экспериментом.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭМИССИОННЫХ ПИКОВ ИК-ДИАПАЗОНА ОТ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК НА ПОВЕРХНОСТИ ЦИРКОНИЯ

Е.Ю. Брикуля, Н.В. Волков И.В. Олейников
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Одна из задач определения состояния защитных оксидных пленок основана на однородности их образования на поверхности металлов. В случае нарушения сплошности образования и роста оксидных пленок стойкость материалов к коррозионным процессам значительно снижается. В этой связи для выявления нарушения сплошности защитной пленки, формирующейся на металлической поверхности при различных режимах ионного облучения был разработан алгоритм для обработки измеряемых инфракрасных спектров (ИК - спектров).

Результаты обработки ИК-спектров от образцов с помощью предложенного алгоритма позволили определить резонансные линии поглощения и идентифицировать их соответствующим химическим соединениям (ОН, H_2O , ZrO) на образцах всех плавок.

Методом ИК-спектроскопии показана принципиальная возможность выявления в оксидных пленках неоднородных локальных участков в виде трещин, пор (рис.1) с размерами более 10–50 мкм, содержащих химические соединения типа $Me-O$, $Me-OH$, H_2O .

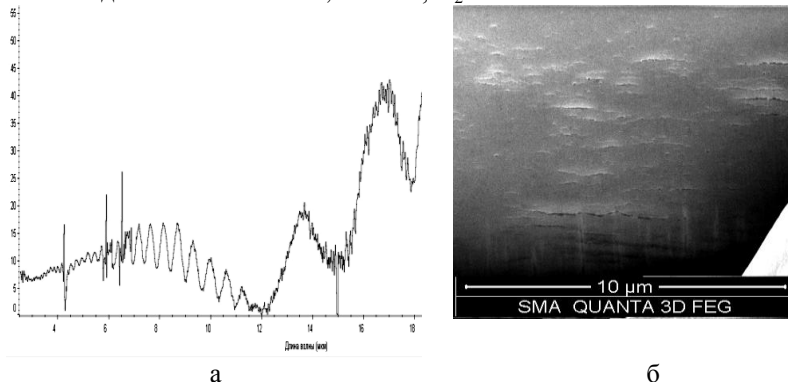


Рис.1. ИК-спектр на отражение от системы «оксидная пленка–металлическая подложка» циркониевого сплава Э110. а – ИК-спектр на отражение от пленки толщиной 23 мкм, б – фотография поперечного строения оксидной пленки, выявляются трещины с размерами 0,20×0,04 – 5,12×0,26 мкм

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИРКОНИЕВЫХ
ОБОЛОЧЕК РАДИАЛЬНЫМ ПУЧКОМ ИОНОВ Ar^+

Б.А. Калинин, Н.В. Волков, Р.А. Валиков, А.С. Яшин, В.И. Стаценко
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Известно, что коррозионная и эрозионная стойкость, сопротивление разрушению, износу оболочек твэлов определяются структурно-фазовым состоянием (СФС) приповерхностных слоев циркониевых сплавов, которые могут значительно изменяться с помощью радиационно-пучковых технологий (РПТ) /1/.

С целью снижения коррозионных процессов и замены финишной обработки (механической шлифовки) проведены эксперименты по выявлению влияния различных режимов ионной обработки радиальным пучком ионов Ar^+ с широким энергетическим спектром (очистка, полировка) на состоянии оболочек и их коррозионные свойства.

Эксперименты проводились на трубках из сплава Э110 длиной 500 мм ($\text{Ø}9,15$). Режимы очистки выбирался из условия распыления слоя толщиной до 1 мкм, а полировка выбиралась из условия выравнивания рельефа поверхности. Затем образцы проходили автоклавные испытания (350°C , 16,5 МПа) в течение 1000, 2000 и 3000 часов.

Анализ состояния поверхности показал, что после ионной полировки шероховатость поверхности снижается с 1,2–1,8 мкм до 0,3–0,5 мкм, а после легирования внешней поверхности атомами алюминия коэффициент трения уменьшается до 0,3.

В результате коррозионных испытаний установлено, что ионная обработка, как правило, снижает толщину оксидной пленки, особенно это проявляется при больших временах автоклавных испытаний.

Причем режим ионной очистки дает большее снижение роста пленки по сравнению с режимом ионной полировки. В рамках линейного приближения зависимости толщины пленки от времени испытаний $x(t)$ показывает снижение скорости роста оксидной пленки после ионно-лучевой обработки с величины 0,0004 мкм/ч, характерной для образцов в штатном состоянии (после механической шлифовки), до 0,0002 мкм/ч для образцов после ионной очистки и 0,00015 мкм/ч для образцов после ионной полировки.

ЛИТЕРАТУРА

Калин Б.А. // Известия ТПУ-2000. Т.303. Вып.2. С.46-58.

ИЗУЧЕНИЕ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ Ti, Fe, Cu, Mo и W ПОД
ОБЛУЧЕНИЕМ ПУЧКОМ ИОНОВ He⁺ и Ar⁺ С ШИРОКИМ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРОМ

Н.В. Волков
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Как известно, во многих электрофизических приборах элементы конструкций обладают сложным рельефом поверхности и подвергаются воздействию заряженных частиц (разных энергий и масс) в течение длительного срока эксплуатации. Это с одной стороны приводит к изменению электрофизических свойств поверхности (приповерхностных слоев), а с другой стороны ограничивает срок службы самих приборов из-за нарушения геометрии поверхности конструктивных элементов.

В этой связи были проведены эксперименты по изучению угловой зависимости эрозии поверхности ряда материалов Be, Ti, Fe, Cu, Mo, W под воздействием потоков ионов инертных газов (H⁺, He⁺ и Ar⁺) с широким энергетическим спектром (средняя энергия $\langle E \rangle = 10$ кэВ) при углах облучения $\alpha = 20-70^\circ$.

Показано, что при одновременном облучении легкими ионами (H⁺, He⁺) образцов Be и W формируется развитый рельеф поверхности, образуются микроскопические поры. При высокой температуре облучения ($T \approx 500$ °C) поверхность имеет волнистый характер, и ее параметры незначительно изменяются в зависимости от различного содержания ионов He⁺, Ar⁺ в пучке.

Из анализа зависимости величин коэффициентов распыления металлов от угла облучения α пучком ионов H⁺, He⁺ и Ar⁺ с широким энергетическим спектром получены угловые зависимости изменения коэффициентов распыления $S_p(\alpha)$ образцов от энергии ионов (величины средней энергии $\langle E \rangle$ и ширины энергетического спектра ΔE), которые могут быть представлены в виде выражения:

$$\frac{S_p(\alpha)}{S_p(\alpha=0)} = a_0 \cos^{n_1} \alpha \times \exp \left[a_1 \left(\frac{\Delta E}{\langle E \rangle} \right)^{n_2} \times \left(\cos^{n_3} \alpha \right)^{n_3} \right],$$

где a_0 , a_1 – коэффициенты, зависящие от материала мишени; n_1 , n_2 , n_3 – показатели степеней, зависящие от типа ионов; ΔE – ширина энергетического распределения ионов в пучке, $\langle E \rangle$ – средняя энергия ионов в пучке.

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ

СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК КРЕМНИЯ НА ИЗОЛЯТОРЕ, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ БОЛЬШИМИ ДОЗАМИ ИОНОВ H^+ И ОТОЖЖЕННЫХ В МИЛЛИСЕКУНДНОМ ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

И.Е. Тыщенко, В.А. Володин, В.П. Попов

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

Структуры кремний-на-изоляторе (КНИ) с толщиной отсеченного слоя кремния 400 нм и толщиной захороненного слоя SiO_2 280 нм были имплантированы ионами водорода с энергией 24 кэВ дозой $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ из плазмо-имерсионного источника. Последующий отжиг проводился при температуре 600-1100° С миллисекундной импульсной лампой длительностью импульса 20 мс. Масс-спектрометрия вторичных ионов (SIMS), атомно-силовая микроскопия (AFM), высокоразрешающая электронная микроскопия (ХТЕМ), спектроскопия комбинационного рассеяния света и фотолюминесценция использовались для исследования свойств сформированных структур.

Обнаружено формирование водородных пузырей на поверхности КНИ слоя сразу после имплантации ионов H^+ . Их размеры имели немонотонную зависимость от температуры последующего отжига. В спектрах Raman наблюдались пики, обусловленные поперечными оптическими фононами в аморфном кремнии и нанокристаллической фазе Si. Нанокристаллическая структура сохранялась вплоть до температуры отжига 1000° С. При этом размеры нанокристаллов увеличивались от 2 до 5 нм, а доля нанокристаллической фазы составляла 70 %. Полученные с помощью SIMS профили распределения водорода показывают, что даже после отжига при 1000° С в приповерхностном слоя кремния концентрация водорода составляет около 20 ат.% от исходного значения. Полученные данные объясняются замедленной эволюцией водородных пузырей при импульсном отжиге, препятствующей процессу кристаллизации имплантированного слоя кремния.

СТРУКТУРЫ КРЕМНИЙ-НА-ИЗОЛЯТОРЕ С ИОННО-МОДИФИЦИРОВАННЫМ ЗАХОРОНЕННЫМ СЛОЕМ SiO₂

И.Е. Тыщенко

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

Основным ограничением области практического применения структур кремний-на-изоляторе (КНИ) является накопление "аномально положительных зарядов" в диэлектрике. Накопление таких зарядов часто приводит к деградации изолирующего SiO₂, а также влияет на параметры приборов, сформированных в верхнем слое КНИ, путем ограничения их стабильности во времени и снижения их радиационной стойкости. Имплантация SiO₂ большими дозами ионов с последующей высокотемпературной обработкой может существенно изменить его структурный и дефектный состав и изменить свойства ловушек носителей заряда. Поэтому в данной работе представлен метод модификации захороненного слоя SiO₂ КНИ структур имплантацией ионов Si⁺, Ge⁺, F⁺ и N⁺ и изучены электрофизические свойства КНИ структур с ионно-модифицированным захороненным диэлектриком.

Показано, что имплантация ионов Si⁺ и Ge⁺ дозами выше 10¹⁶ см⁻² сопровождается снижением фиксированного заряда в окисле и практически не влияет на величину плотности поверхностных состояний на границе срачивания.

Имплантация захороненного слоя SiO₂ ионами F⁺ или N⁺ приводит к генерации ловушек отрицательных зарядов вблизи границы срачивания КНИ структуры. Показано, что в случае ионов F⁺ ключевым параметром, ответственным за плотность отрицательного встроенного заряда является доза ионов фтора. Эффект энергии ионов оказывается существенным в случае имплантации ионов N⁺, в то время как в случае F⁺ энергия ионов играла менее заметную роль. Полученные данные обсуждаются в рамках особенностей взаимодействия имплантированных атомов в матрице SiO₂.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КРЕМНИЕВЫХ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В КОМПРЕССИОННОЙ ПЛАЗМЕ

В.В. Углов¹⁾, Н.Т. Квасов²⁾, В.М. Асташинский³⁾,
Ю.А. Пегухов²⁾, А.М. Кузьмицкий³⁾, И.Л. Дорошевич²⁾,
С.В. Ластовский⁴⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾ Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

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

⁴⁾ Научно-практический центр НАНБ по материаловедению,
Минск, Беларусь

Ранее мы сообщали об аномально высокой фотовольтаической активности легированных кремниевых структур, обработанных компрессионной плазмой.

В настоящем докладе приводятся экспериментальные результаты исследования радиационной стойкости фотовольтаических элементов, созданных на основе кремния КДБ-0,3.

В данных структурах была сформирована развитая поверхность из кремниевых наночастиц размером 50-80 нм. Облучение проводилось на линейном ускорителе электронов «Электроника У-003». Измерялись уровни фото-ЭДС и ВАХ структур. Проводилась оценка уровня радиационных повреждений в кремниевых наночастицах. Установлен скачкообразный характер измерения фото-ЭДС в зависимости от флюенса облучения. Обсуждаются механизмы формирования разности потенциалов в структурах и ее спектральная зависимость. Исследовалось также влияние отжига на фотовольтаический эффект в образцах и проводился анализ дифрактограм структур.

МИКРОСТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СИЛИЦИДНОГО СЛОЯ, СФОРМИРОВАННОГО ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ НА СИСТЕМУ Zr-Si

В.М. Асташинский¹⁾, Р.С. Кудакин²⁾, Ю.А. Петухов²⁾,
А.М. Кузьмицкий¹⁾

¹⁾Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Силициды циркония обладают ценными электрическими свойствами, такими как низкий барьер Шотки (~0.6 эВ) и низкое сопротивление (35-40 мкОм/см).

Компрессионные плазменные потоки (КПП) являются концентрированными потоками энергии и характеризуются уникальными энергетическими и временными параметрами: плотность энергии 3-30 Дж/см², время воздействия 100 мкс. В данной работе исследуется микроструктура и фазовый состав силицидного слоя, сформированного при воздействии КПП на систему “циркониевое покрытие (1 мкм) – кремниевая подложка”.

Исследования фазового состава методом рентгеноструктурного анализа показали, что образуется силицид $ZrSi_2$. Исследования микроструктуры методом растровой электронной микроскопии показали наличие дендритов кремния (радиус кривизны вершины 0,2-0,5 мкм, расстояние между ветвями первого порядка 1 мкм), равномерно распределенных в модифицированном слое (глубина 1-3 мкм). В междендритном пространстве локализуется наноразмерная эвтектика (характерный размер фаз 50-100 нм) с неправильными контурами сечений фаз и их неупорядоченным расположением, состоящая из кремния и силицида циркония. Природа возникновения дендритов связана с концентрационным переохлаждением, имеющим место из-за слабой растворимости металлов в кремнии. При образовании дендритов междендритное пространство обогащается цирконием и в результате охлаждения образуется эвтектика.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ TiZrAlN, СФОРМИРОВАННЫХ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

В.В. Углов¹⁾, Г. Абади²⁾, И.А. Солодухин¹⁾, С.В. Злоцкий¹⁾,
А.Ю. Ровбуть¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾ Институт Ф', Университет Пуатье, Пуатье, Франция

Работа посвящена исследованию стойкости структуры и фазового состава четверных нитридных покрытий TiZrAlN при облучении ионами H_2^+ и He^{2+} . Покрытия толщиной 300 нм были осаждены методом магнетронного распыления на подложки из монокристалла Si (001). Концентрация Al в покрытиях варьировалась от 7.1 до 36.4 ат.% при отношении концентраций Ti:Zr, составляющим ~ 1 . Облучение покрытий проводилось ионами H_2^+ (30 кэВ) и He^{2+} (180 кэВ) с дозами $1 \cdot 10^{16}$ и $5 \cdot 10^{16}$ см⁻². Результаты рентгеноструктурного анализа сформированных покрытий свидетельствуют о формировании твердого раствора (Ti,Zr,Al)N. При этом структура пленок изменяется с ростом концентрации Al от кристаллической до наноструктурированной, а затем превращается в аморфную. Эти структурные изменения сопровождаются переходом от текстуры (111) к (200) при малых концентрациях Al. При концентрации Al больше 13 ат.% дополнительно формируется фаза h-AlN. Установлено, что облучение ионами H_2^+ не приводит к изменению структуры покрытий TiZrAlN. Выявлено повышение степени макро- и микродеформации покрытий при увеличении дозы облучения, обусловленное процессами дефектообразования. Воздействие ионами He приводит к трансформации нанокристаллической и аморфной структуры в кристаллическую. Однако в случае концентрации Al равной 36.4 ат.% структура покрытия после облучения остается аморфной. Обнаружено, что с увеличением дозы ионов He, степень микро- и макродеформации в покрытиях уменьшается, что обусловлено их радиационным отжигом.

КОНВЕКТИВНЫЙ МАССОПЕРЕНОС В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ
ТИТАНА, ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ
КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

В.В. Углов¹⁾, В.И. Шиманский¹⁾, Н.Н. Черенда¹⁾,
В.М. Асташинский²⁾, Н.Т. Квасов³⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

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

³⁾Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

В /1/ было показана возможность использования компрессионных плазменных потоков (КПП) для легирования поверхностных слоев титана атомами переходных металлов (хром, молибден, цирконий). С этой целью на предварительном этапе на поверхность титанового сплава ВТ1-0 наносилось покрытие толщиной около 1 мкм. Результаты элементного анализа показали, что после воздействия КПП модифицированные слои характеризуются равномерным распределением атомов легирующих элементов по всей глубине расплавленного слоя, которая составляет 10 – 20 мкм при плотности поглощенной энергии 15 – 30 Дж/см². Для объяснения полученных результатов использована модель конвективного массопереноса, основным механизмом глубокого проникновения примеси в которой является макроскопическое движение расплава, вызванное давлением плазменного потока и действием силы Лоренца, обусловленной наличием собственного магнитного поля плазменного потока. Оценки, сделанные на основе уравнения Навье-Стокса, показали, что скорость движения расплава в этом случае составляет ~ 10 м/с, что обеспечивает проникновение примесных атомов на глубину расплавленного слоя и их равномерное распределение.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 В.В. Углов и др. // Перспективные материалы. – 2010. – № 1. – С. 24–32.

ПОДАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В КРЕМНИИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ ПОСРЕДСТВОМ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО БЕТА-ОБЛУЧЕНИЯ

А.А. Дмитриевский¹⁾, Н.Ю. Ефремова¹⁾, П.А. Косырев¹⁾,
А.Р. Ловцов¹⁾, А.В. Шуклинов²⁾

¹⁾ ТГУ имени Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

²⁾ УИЦ «Нанотехнологии и наноматериалы» ТГУ имени Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

Фазовые превращения (ФП) в кремнии, наблюдаемые при локальном нагружении, приводят к существенным изменениям физических свойств, вплоть до перехода в проводящее состояние /1/. Эволюция фазового состава при различных условиях нагружения достаточно хорошо изучена /2/. Однако остаются открытыми вопросы, связанные с влиянием радиационных полей на процесс формирования «новых» фаз кремния под индентором.

В работе развита методика *in situ* исследования ФП Si-I → Si-II посредством измерения электрического сопротивления при внедрении индентора в узкую щель между тонкими медными пленками (пленки одновременно служат омическими контактами), напыленными на поверхность кремния, предложенная в /1/. Обнаружено подавление эффективности ФП Si-I → Si-II при облучении образцов кремния (КЭФ-4,5) бета-частицами (⁹⁰Sr + ⁹⁰Y источник) с флюенсом $F = 2,34 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Методом микрорамановской спектроскопии обнаружено уменьшение эффективности образования под индентором фаз Si-III, Si-XII и a-Si, индуцируемое бета-облучением в аналогичных условиях (интенсивность $I = 1,3 \times 10^5 \text{ см}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (Гос. контракт: П892).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Gridneva I.V., Milman Yu.V., Trefiliv V.I. // Phys. Stat. sol. (a), 1972, № 14, P. 177.
- 2 Dominich V., Gogotsi Y. // Rev. Adv. Mater. Sci., 2002, № 3, P. 1.

ВРЕМЯПРОЛЕТНАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ ДЛЯ ИСТОЧНИКА ГАЗОВЫХ КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ

А.А. Андреев²⁾, Ю.А. Ермаков¹⁾, А.Е. Иешкин^{1),3)},

А.С. Патракеев¹⁾, В.С. Черныш^{1),3)}

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ООО Тензор, Москва, Россия

³⁾Физический факультет МГУ, Москва, Россия

Описано применение времяпролетной методики для изучения распределения по массам частиц, формируемых источником газовым кластерных ионов. Ускоритель газовых кластерных ионов, созданный в НИИЯФ МГУ, описан в /1/.

Формирование кластеров происходит при расширении рабочего газа аргона через сверхзвуковое сопло; подача аргона осуществлялась в режиме импульсов продолжительностью 5 - 15 мкс с помощью импульсного клапана. С помощью времяпролетной методики измерения изучены спектры масс кластерных ионов в различные моменты времени в течение периода напуска рабочего газа в зависимости от его давления. Показано, что образуются кластерные ионы, размеры которых лежат в диапазоне от 200 до 3500 атомов аргона, при этом возможно формирование кластеров на протяжении всего периода действия импульсного клапана.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андреев А.А., Ермаков Ю.А., Иешкин А.Е., Патракеев А.С., Черныш В.С. Ускоритель газовых кластерных ионов. // Нанотехнологии: разработка, применение. 2011, т.3, № 1, с.3.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ АТОМОВ Co В ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ
КСЕНОНА КРЕМНИИ ПРИ ИОННО-АССИСТИРОВАННОМ
НАНЕСЕНИИ НА НЕГО ТОНКИХ Co ПЛЕНОК

О.М. Михалкович, И.С. Ташлыков
БГПУ им. М.Танка, Минск, Беларусь

Одним из перспективных методов модифицирования свойств поверхности является осаждение покрытий, ассистированное собственными ионами (ОПАСИ). Ионная имплантация ксенона в кремний широко применяется, т.к. позволяет управлять повреждением его структуры. Малоизученным остается процесс массопереноса в кремнии атомов Co покрытия, нанесенного методом ОПАСИ, и влияние предварительной имплантации ксенона в кремний на диффузионные процессы в нем при последующем нанесении покрытий. Элементный послыйный анализ конструкций покрытие/подложка выполняли используя ROP ионов He⁺ с геометрией рассеяния $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=12^\circ$, $\theta_3=168^\circ$, $\Delta E=25$ кэВ и компьютерное моделирование экспериментальных спектров ROP по программе RUMP. Для изучения локализации атомов покрытия в (100)-кремнии применяли каналирование ионов He⁺.

Атомы Co в приповерхностной области подложки локализуются преимущественно (85-90%) в междоузлиях. Локализация атомов Co в решетке Si не является постоянной по глубине. На глубине ~ 780 нм доля междоузельных атомов Co уменьшается до 50-60 %. Установлено, что предварительное облучение кремния ионами Xe⁺ с E = 10 кэВ и дозами (Ф) от 1×10^{14} см⁻² до 2.7×10^{15} см⁻² вызывает рост доли атомов Co в замещающих положениях на всей глубине проникновения и имеет выраженную дозовую зависимость. При облучении кремния ионами Xe⁺ наблюдается уменьшение доли междоузельных атомов Co с 86 % до 30 % при увеличении (Ф) от 1×10^{14} см⁻² до 2.7×10^{15} см⁻² на глубине проникновения ~ 90 нм, а на глубине ~ 780 нм - с 60 % до 16 % соответственно. Полученные экспериментальные результаты подтверждают возможность управления процессами массопереноса в Si введением в его структуру радиационных дефектов.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ Pd/Fe СТРУКТУР, СФОРМИРОВАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИМ АТОМНЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

И.С. Ташлыков¹⁾, В.В. Гульев²⁾

¹⁾ Белорусский государственный педагогический университет,
Минск, Беларусь

²⁾ Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь

В данной работе обсуждаются экспериментальные результаты по изучению элементного состава приповерхностных слоев Pd/Fe структур, сформированных осаждением палладиевого покрытия на подложку из Fe (99,5%) методом динамического атомного перемешивания. В качестве ассистирующих ионов использовались ионы Ar с энергией 6 кэВ. Интегральный поток ассистирующих ионов изменялся в интервале от $0,7 \cdot 10^{16}$ до $1,6 \cdot 10^{16}$ ион/см². Плотность ионного тока при осаждении покрытия менялась в интервале от 9 до 20 мкА/см², параметр I/A (отношение числа I ассистирующих ионов к числу A атомов осаждаемого покрытия) – от 0,06 до 0,13. Осаждение покрытия происходило при вакууме в мишенной камере $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ Торр. Элементный состав приповерхностных слоев сформированных структур изучался методом РОР ионов гелия в сочетании с компьютерным моделированием.

Исследование элементного состава показало, что сформированные структуры содержат атомы осаждаемого металла Pd (30-47 ат.%), атомы Ag (0,5-1,2 ат.%) и атомы Fe из подложки (рис.). Толщина Pd/Fe структур составляет ~ 40 нм. При формировании Pd/Fe структур наблюдается проникновение атомов Fe в пленку Pd вследствие атомного перемешивания, проникновение атомов Pd в подложку вследствие радиационно-стимулированной диффузии, а также распыление пленки палладия.

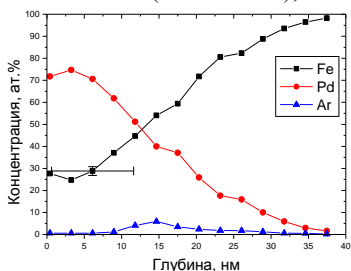


Рис. Профили распределения компонентов по глубине в Pd/Fe

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА НА МОДИФИЦИРОВАННУЮ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ ПОВЕРХНОСТЬ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА

Н. С. Пушилина¹⁾, Е.В. Березнеева¹⁾, И.П. Чернов¹⁾, М.Х. Кренинг¹⁾,
А.М. Лидер¹⁾, В.Н. Кудияров¹⁾, С.В. Иванова²⁾

¹⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Томск, Россия

²⁾ Институт промышленных ядерных технологий НИЯУ МИФИ,
Москва, Россия

В работе [1] было показано, что облучение импульсным электронным пучком (ИЭП) при плотности энергии от 15 до 25 Дж/см², энергии электронов 18 кэВ приводит к увеличению (до 40 %) микро- и нанотвердости сплава Zr1%Nb. Наличие модифицированных поверхностных слоев на циркониевых сплавах может оказывать существенное влияние на процессы взаимодействия материалов с водородом. В настоящей работе исследовано влияния водорода на сплав Zr1%Nb с модифицированной поверхностью. Показано, что эффект снижения сорбции водорода модифицированной поверхностью циркониевого сплава, обусловлен образованием специфической закалочной структуры в результате воздействия ИЭП. После наводороживания из газовой фазы поверхностное упрочнение наблюдается как для исходных образцов, так и для образцов, облученных импульсным электронным пучком. Отличительной чертой модифицированных образцов является то, что увеличение твердость наблюдается для глубин порядка 1,7 мкм, в то же время циркониевый сплав в исходном состоянии после насыщения водородом характеризуется высокой твердостью и на глубинах свыше 2,5 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Лидер А.М., Тюрин Ю.И., Пушилина Н.С., Иванова С.В. Водородопроницаемость сформированных электронной обработкой защитных покрытий циркониевых сплавов // Поверхность. Рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования, 2010, № 3, с. 96 – 102

СВОЙСТВА НАНЕСЁННЫХ МАГНЕТРОННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ TiO_x ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Д.В. Березнеев¹⁾, Е.В. Березнеева¹⁾, И.П. Чернов¹⁾
И.А. Шулепов¹⁾, С.В. Иванова²⁾

¹⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾ Институт промышленных ядерных технологий
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

В работе рассмотрено влияние TiO_x покрытий нанесенных методом магнетронного напыления на поверхность циркониевых сплавов при следующих параметрах: токи 7,1..7,2 А и 10 А; напряжения 410..425В, 700В; давления рабочего газа 6,7..7,1·10⁻² Па, 14·10⁻² Па и времени обработки 1 и 23 минуты.

Установлено, что покрытие TiO_x обладает повышенной нано и микротвердостью. После нанесения покрытия наблюдается уменьшение размеров блоков когерентного рассеяния ~ в 10 раза. Происходит рост внутренних упругих напряжений в циркониевом сплаве ~ в 2 раза.

Исследовано воздействие водорода на сплав Zr1%Nb. Скорость сорбции после нанесения на поверхность образцов окиси титана уменьшается в 9 раз, а проникновение водорода в объеме сплава снижается в 6-9 раз в зависимости от режимов обработки по сравнению с исходным материалом. Наводороживание приводит к гидридообразованию, причем в сплаве с покрытием из окиси титана гидридов ~ на 5% ,больше чем в сплаве без покрытия. По видимому, образовавшийся гидридный слой является защитным, захватывая водород, он препятствует его проникновению в объем материала.

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Е.В. Березнеева¹⁾, Д.В. Березнеев¹⁾, Н. С. Пушилина¹⁾, И.П. Чернов¹⁾,
А.М. Лидер¹⁾, Ю.П. Черданцев¹⁾, Г.Е. Ремнев¹⁾, С.В. Иванова²⁾

¹⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾ Институт промышленных ядерных технологий
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Исследовано воздействие импульсного ионного пучка (ИИП) с параметрами: длительность импульса 80 нс, энергия 200 кэВ и плотность тока 120 А/см^2 , энергия импульса $\sim 1,5 \text{ Дж/см}^2$ на сплав Zr1\%Nb . Установлено [1], что модификация ИИП приводит к упрочнению циркониевого сплава на глубину $\sim 2 \text{ мкм}$ что, по-видимому, обусловлено структурными изменениями поверхностного слоя. Они характеризуются формированием перекристаллизационного слоя, препятствующего развитию существующих микротрещин, движению дислокаций. За счет растворенного и адсорбированного углерода и перемешивания компонент поверхностного слоя образуются карбиды. Все эти факторы способствуют увеличению микротвердости. В работе, установлено, что модификация ИИП приводит к росту величины внутренних напряжений, размеры областей когерентного рассеяния уменьшается в 2 раза после воздействия ИИП.

Изучено влияние водорода на сплав Zr1\%Nb облученный ИИП. Выявлено, что такое воздействие снижает образование гидридных фаз, скорость сорбции и проникновение водорода в объем \sim в 4 раза по сравнению с исходным материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березнеева Е.В., Березнеев Д.В., Н.А., Ремнев Г.Е., Черданцев Ю.П., Степанова О.М. Исследование воздействия импульсного ионного пучка на циркониевые сплавы // Известия вузов. Физика. - 2011 - Т. 54 - №. 11/2 - С. 181-185

МИКРОСТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ЦИРКОНИЕВОГО
СПЛАВА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНЫМ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Н. С. Пушилина¹⁾, И.П. Чернов¹⁾, Н.Н. Коваль²⁾, Е.В. Березнеева¹⁾,
С.В. Иванова²⁾, А.М. Лидер¹⁾, Ю.П. Черданцев¹⁾

¹⁾ Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, Томск, Россия

²⁾ Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

³⁾ Институт промышленных ядерных технологий
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

В настоящей работе исследованы структурно-фазовые изменения поверхности сплава $Zr_{1\%}Nb$ в результате облучения сильноточным импульсным электронным пучком (ИЭП). Воздействие ИЭП с плотностью энергии 15-20 Дж/см² модифицирует поверхностный слой циркониевого сплава на глубину ~ 10 мкм. В поверхностном слое циркониевого сплава происходит образование мартенсита сложной морфологии. Детальное исследование тонкой структуры показало, что мартенситные пластины целиком заполняют зерно. Размеры пластин от 0,1 до 0,3 мкм (преимущественно 0,1 мкм). В свою очередь, мартенситные пластины имеют собственную морфологию, в их структуре наблюдаются скопления наночастиц размером порядка 15 нм. Особенность сформировавшейся структуры является наличие в пластинах двойников. Ширина двойниковых прослоек составляет от 60 до 170 нм. Результаты рентгеноструктурного анализа подтверждают и дополняют электронно-микроскопические исследования. Параметры решетки фазы Zr после облучения составляют $a = 3,2262 \text{ \AA}$ и $c = 5,1376 \text{ \AA}$. Уменьшение параметров решетки циркония после облучения связано с образованием мартенситной фазы $\alpha'Zr$. α' -Фаза имеет слегка искаженную гексагональную плотноупакованную решетку. При этом в облученных образцах наблюдается существенное (более чем в 5 раз) уменьшение размеров блоков когерентного рассеяния.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАСПЛАВЛЕННЫХ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

А.Б. Крамченков, М.И. Захарец, А.Н. Бугай, В.Е. Сторижко
Институт прикладной физики НАН Украины, Сумы, Украина

Поверхность расплавленного металла представляет собой интересный объект исследования с точки зрения кинетики процессов плавления и отвердевания, а также сегрегации примесей на поверхность расплава.

Метод резерфордовского обратного рассеяния (РОР) позволяет проводить экспериментальные исследования поверхностей металлических сплавов *in situ* в высоковакуумной камере. Метод РОР дает возможность количественного профилирования компонентов расплава и, при наличии надлежащей системы сбора данных, проводить исследования в режиме реального времени (real-time).

В работе представлены результаты первых экспериментов по исследованию поверхностей металлических расплавов на аналитическом ускорительном комплексе /1/ ИПФ НАН Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Е. Сторижко, А.А. Дрозденко, В.И. Мирошниченко, А.Г. Пономарев. // Труды XV международной конференции по электростатическим ускорителям и пучковым технологиям, 6—8 июня 2006 г., Обнинск, ГНЦ РФ ФЭИ, 2007 г., с. 88-97.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ZnO В СТРУКТУРЕ SiO₂/Si МЕТОДОМ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ Zn

В.В. Привезенцев¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾, А.Б. Путрик³⁾, Д.В. Петров²⁾,
П.Н. Черных²⁾, А.Н. Макунин²⁾, А.А. Шемухин²⁾

¹⁾ Физико-технологический институт РАН, Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ им. Д.В. Скобельцина, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,
Россия

Свойства наночастиц (НЧ) окислов металлов в различных матрицах могут быть перспективны с точки зрения их использования в устройствах оптоэлектроники. Представлены результаты исследования формирования НЧ ZnO в структуре SiO₂/Si, легированной ионами Zn.

Пластины CZ-n-Si(100) были окислены с сухом кислороде в течение 2 час до толщины окисла 200нм. Затем они были имплантированы ионами с дозой $D=2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ионами $^{64}\text{Zn}^+$ с энергией $E=100 \text{ кэВ}$. После имплантации структуры SiO₂/Si были последовательно изохронно в течение 1 часа отожжены в N₂ при $t=400^\circ\text{C}$, а затем в O₂ при $t=600, 800$ и 1000°C .

Методом резерфордовского обратного рассеяния (РОР) ионов He⁺ с энергией 1,5МэВ с использованием техники каналирования были получены профили распределения импланта Zn в SiO₂. Топография поверхности образцов исследовалась в помощью сканирующего туннельного микроскопа Solver P47 (NT-MDT) в режиме атомно-силовой микроскопии (АСМ). Также использовался растровый электронный микроскоп LYRA 3 (TESCAN) в сочетании с рентгеновским энерго-дисперсионным микроанализом.

Полученные результаты указывают на формирование в приповерхностном слое SiO₂ после имплантации НЧ. В процессе отжига эти НЧ изменяют свои размеры. Методом рентгеновской дифрактометрии в скользящей геометрии установлено, что, полученные после имплантации НЧ металлического Zn при отжигах трансформируются в НЧ соединений цинка с кислородом и кремнием: ZnO, ZnSiO₃ и Zn₂SiO₄.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ НА СОСТАВ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК CdTe

З.А. Исаханов, Б.Э. Умирзаков, М.К. Рузибаева, У.Н. Раззоков
Институт электроники им.У.А.Арифова АН РУз,
Ташкент, Узбекистан

Развитие современной электронной промышленности тесно связано с получением новых материалов с заданными свойствами. В последние годы для создания многокомпонентных гетероэпитаксиальных нанопленок на поверхности полупроводниковых пленок, часто используется метод ионной имплантации в сочетании с отжигом. Основной целью данной работы является изучение состава, структуры и свойств трехкомпонентных нанопленок созданных на поверхности пленок CdTe методом имплантации ионов бария с энергией $E_0 \leq 5 \text{кэВ}$ и дозой $D \geq 10^{16} \text{см}^{-2}$. Технологическая обработка и исследования физических свойств исследуемых образцов с использованием методов ОЭС, УФЭС и ДБЭ проводился в условиях сверх высокого вакуума. Непосредственно после ионной имплантации наблюдались разупорядочение приповерхностного слоя, обогащение поверхности атомами Ва и Cd, резкое уменьшение удельного сопротивления поверхности. Постимплантационная обработка проводилась с использованием термического прогрева или лазерным отжигом. В частности прогрев ионно-легированного образца при $T \approx 750\text{-}800\text{К}$ приводит к кристаллизации приповерхностного слоя и образованию соединения типа $\text{Cd}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Te}$. Изменяя дозы ионов, значение x можно было варьировать в пределах $0,1 \div 0,5$. Толщина слоя в зависимости от энергии ионов лежали в пределах $40\text{-}100\text{\AA}$. При этом между пленком CdTe и $\text{Cd}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Te}$ формируется переходной слой с $\theta = 50\text{-}100\text{\AA}$. Ширина запрещенной зоны E_g трехкомпонентного соединения немного (на $0,15\text{-}0,6$) отличалась от E_g теллурида кадмия.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Ю.С. Бордулев¹⁾, Р.С. Лаптев¹⁾, А.М. Лидер¹⁾, Г.В. Гаранин¹⁾.

¹⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Первоначально, установка для исследования временного распределения позитронов в твёрдых телах была выполнена по традиционной схеме с использованием быстрых интегральных дискриминаторов [1]. Временное разрешение такой схемы с использованием источника Na^{22} с активностью 8 мКи составляло 700-750 пс. Было установлено, что существенный вклад в спектр вносят некоррелированные старт-стоп события. Для улучшения временного разрешения предложена новая схема установки с использованием быстро-медленных совпадений, а также изготовлен новый источник позитронов.

В качестве источника позитронов использован радиоизотоп Ti^{44} , изготовленный в ЗАО «Циклотрон», с активностью 24,5 мКи. Для реализации предложенной схемы был разработан усилительный блок, который представляет собой модуль NIM двойной ширины.

Были проведены настройка и калибровка отдельных составляющих спектрометра, а также оптимизация временного разрешения. В результате временное разрешение установки было существенно улучшено. Полученное временное разрешение спектрометра соответствует максимально возможному разрешению, используемых детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Krause-Rehberg R., Leipner H.S., Positron Annihilation in Semiconductors. – Berlin: Springer-Verlag, 1999. - 397 p.

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАТОНКИХ СЛОЕВ КРЕМНИЯ НА САПФИРОВОЙ ПОДЛОЖКЕ С ПОМОЩЬЮ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Ю.В. Балакшин¹⁾, С.А. Голубков²⁾, Н.Н. Егоров²⁾,
А.С. Патракеев¹⁾, В.С. Черныш¹⁾, А.А. Шемухин¹⁾
¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
²⁾НИИМВ, Зеленоград, Россия

Технология кремний на сапфире (КНС) рассматривается как одна из перспективных для изготовления быстродействующих, радиационно-стойких интегральных схем (ИС) с повышенной плотностью элементов. Для производства ИС необходимо создание КНС-структур с толщиной эпитаксиального слоя 100 нм, однако такие структуры содержат большое количество кристаллических несовершенств. Уменьшить плотность дефектов кристаллизации возможно с помощью ионной имплантации и последующего высокотемпературного отжига. Данная работа направлена на изучение влияния параметров ионного облучения на процесс рекристаллизации. Показана возможность получения тонкопленочных КНС структур

Были проведены эксперименты по имплантации ионов кремния в образцы с толщиной кремниевой пленки 300 нм с энергиями ионов 200 кэВ. Доза имплантации варьировалась от 10^{14} до 10^{15} ион/см². Облучение проводилось при различных температурных режимах. Давление в камере в процессе бомбардировки не превышало 4×10^{-6} мбар.

Контроль кристаллической структуры исходных КНС-структур, после имплантации и рекристаллизационного отжига осуществлялся с помощью рентгеноструктурного анализа: метод кривой качания и с помощью резерфордского обратного рассеяния (РОР) в сочетании с каналированием.

В работе проведен анализ влияния энергии и дозы имплантации, проведенной в различных температурных режимах. Обсуждаются механизмы рекристаллизационного отжига.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАДИАЦИОННОГО
УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ ЭП-823 ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ Ni^{++} С
ЭНЕРГИЕЙ 7 МэВ

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

Ферритно-мартенситные хромистые стали обладают высокой коррозионно-радиационной стойкостью и рассматриваются как перспективные конструкционные материалы активных зон реакторов IV поколения с жидкометаллическим теплоносителем. Для них актуальна проблема низкотемпературного радиационного охрупчивания (НТРО) при относительно низких температурах облучения ($< 0,4T_m$).

Основной характеристикой охрупчивания сталей является радиационно-индуцированный сдвиг температуры вязко-хрупкого перехода $\Delta T_{ВХ}$. В многочисленных экспериментах наблюдалась для 9-12% хромистых сталей линейная связь между $\Delta T_{ВХ}$ и приростом в результате облучения условного предела текучести $\Delta\sigma_{0,2}$. В свою очередь, $\Delta\sigma_{0,2}$ пропорционально соответствующим изменениям микротвердости ΔH_μ и для ферритных сталей получено соотношение: $\Delta\sigma_{0,2}$ (МПА) = 3,06 ΔH_μ ($\kappa\Gamma/\text{мм}^2$). Таким образом, измеряя относительные изменения микротвердости, можно изучать радиационное упрочнение материалов после ионного облучения.

В данной работе представлены результаты измерения изменений микротвердости ферритно-мартенситной стали ЭП-823 (16Х12МВСФБР) после облучения ионами Ni^{++} с энергией 7 МэВ в интервале флюенсов от $2,7 \times 10^{20}$ до 6×10^{20} ион/ м^2 при температурах 350-600°C. Наблюдавшаяся температурная зависимость упрочнения стали ЭП-823 коррелирует с результатами компьютерного эксперимента, проведенного на основе нейросетевой модели изменения механических свойств 12% хромистых сталей ферритно-мартенситного класса после нейтронного облучения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №11-02-97519 - р_центр_a).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАТНОГО РАССЕЙЯНИЯ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 6,6 МЭВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЙТЕРИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

С.С. Зырянов, А.В. Кружалов, Ф.Г. Нешов, О.В.Рябухин
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
Екатеринбург, Россия

Обратное рассеяние протонов при энергии выше кулоновского барьера обладает повышенной чувствительностью к легким элементам и поэтому является эффективным методом решения многих задач современного материаловедения. Данные о рассеянии протонов дейтонами довольно ограничены. В работе предпринята попытка получения сечений рассеяния протонов с энергией 6,6МэВ на угол 160° .

Измерение сечений упругого рассеяния протонов на дейтерии проводилось методом «толстых» мишеней. В качестве мишеней использовали монокристаллы дейтерида лития, выращенные на кафедре экспериментальной физики Уральского федерального университета (УрФУ). Облучение проводили на циклотроне УрФУ. Регистрацию рассеянных протонов осуществляли стандартным способом с помощью поверхностно-барьерного детектора. Так как дейтерид лития очень гигроскопичен, эксперименты проводили на свежем сколе кристалла в вакууме непосредственно в исследовательской камере. Абсолютные значения сечений рассеяния были получены относительно сечений рассеяния на литии-7, частичный спектр которого надежно регистрировался в высокоэнергетичной части. Данные настоящей работы находятся в хорошем согласии с данными, полученными на газовых [1] и тонких твердотельных [2] мишенях. С помощью разработанной методики проведено исследование начальных стадий дейтерирования титана и циркония.

- 1 Kocher D.C., Clegg T.B., //Nucl. Phys. A132 (1969) 455.
- 2 DeSimone D.J., Haertling C., Tesmer J.R., Wang Y.Q., //Nucl. Instr. And Meth. B261 (2007) 405.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО ЭФФЕКТА ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ
ИЗОТОПОВ ЛИТИЯ В ОРГАНИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫЮ.А. Кудрявцев¹⁾, Р. Азомоза¹⁾, В.М. Король²⁾¹⁾ Cinvestav-IPN, México DF, México²⁾ Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, Россия

В докладе представлены данные исследования имплантации изотопов 6Li и 7Li в органические кристаллы: NaCl , KCl и KBr . Имплантация проводилась с энергией 80 кэВ, доза имплантации составляла 10^{15} ион/ см^2 для обоих изотопов.

Распределение имплантированных ионов лития определялось методом Вторичной Ионной Масс Спектрометрии (ВИМС) с использованием ионного микрозонда ims-6f фирмы Cameca (Франция). Сравнивались два разных режима анализа: 1) распыление поверхности ионами кислорода O_2^+ с энергией 7.5 кэВ (3.75 кэВ на атом) и регистрация атомарных положительных вторичных ионов, и 2) распыление поверхности ионами Cs^+ с энергией 5кэВ и регистрация CsLi^+ кластерных ионов. В обоих режимах внешняя электронная пушка использовалась для компенсации поверхностного заряда, появляющегося на поверхности при ионном облучении.

Экспериментально обнаружен изотопный эффект при имплантации: более легкий изотоп лития 6Li имеет меньший пробег, чем более тяжелый 7Li . Разница в пробегах достигает 38нм (KBr). Обнаруженный изотопный эффект мы сравниваем также с аналогичным эффектом, наблюдавшимся ранее для Si и Ge .

Пробег изотопов лития рассчитывался также при помощи компьютерного моделирования методом Монте-Карло (программа SRIM-2007). Обнаруженное значительное расхождение экспериментальных и расчетных пробегов вызвано большим вкладом электронного торможения в пробег легких частиц в твердом теле, не учитываемого программой SRIM.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ СООСАЖДЕННЫХ
ВОЛЬФРАМ-ДЕЙТЕРИЕВЫХ ПЛЁНОК

С.Е. Кривицкий¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾, В.М. Шарапов³⁾, В.В. Затекин²⁾,
А.М. Зимин¹⁾, С.В. Серушкин³⁾

¹⁾ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

³⁾ ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия

Проблема захвата и удержания трития в материалах компонентов термоядерного реактора ИТЭР, обращенных к плазме, является одной из важнейших как с точки зрения баланса изотопов водорода в камере токамака, так и радиационной безопасности. Одним из основных процессов является соосаждение трития с продуктами эрозии плазмоактивирующихся элементов, в том числе с вольфрамом. Данная работа посвящена исследованию влияния условий осаждения на кремниевую подложку плёнок, распыляемых с вольфрамовой мишени дейтериевой плазмой магнетронного разряда с энергией ионов 400 эВ. В качестве мишени использовалась вольфрамовая пластина чистотой 99,95 вес.%. Температура подложки во время осаждения составляла 200 °С.

Вольфрамовые плёнки вместе с захваченным при осаждении дейтерием исследовались методом резерфордовского обратного рассеяния. Содержание и распределение дейтерия в плёнке определялось методом ядер отдачи. Для интерпретации полученных спектров использовались также результаты взвешивания плёнки и измерения её толщины с помощью профилометра.

Показано, что в зависимости от условий облучения могут получаться пленки с чёткой границей кремний-вольфрам или перемешанные с подложкой слои. Они активно захватывают дейтерий (отношение $D/W \sim 0,2$), что значительно превышает равновесную растворимость водорода в вольфраме.

Состав, структура и толщина пленки зависят от расстояния между вольфрамовой мишенью и кремниевой подложкой.

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СИСТЕМЫ
Mo/СТЕКЛЯННАЯ ПОДЛОЖКА ФОРМИРУЕМОЙ ИОННО-
АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ МОЛИБДЕНА

А.И. Туровец¹⁾, О.Г. Бобрович²⁾, И.С. Ташлыков¹⁾

¹⁾ БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

²⁾ БГТУ, Минск, Беларусь

В работе представлены результаты исследования морфологии и смачиваемости поверхности Mo покрытий, осаждаемых в качестве тыльного контакта тонкопленочных солнечных элементов на стеклянную подложку при ионном ассистировании с $E=10$ кэВ в условиях самооблучения при различных интегральных потоках ионов (F).

Морфология поверхности систем изучалась, используя атомно-силовую микроскопию в контактном режиме и программу Surface Explorer для получения двух- и трехмерных изображений поверхности и определения ее шероховатости. Данные о гидрофильности поверхности образцов получали, измеряя равновесный краевой угол смачивания ($\Theta_{ш}$) на установке, представленной в /1/. Работу адгезии (W_a) рассчитывали по уравнению Дюпре-Юнга. Также для характеристики процесса смачивания был рассчитан коэффициент растекания f .

Значения характеристик свойств поверхности систем Mo/стеклянная подложка приведены в таблице.

Образец	Исх	1	2	3	4	5
$F, \cdot 10^{16}$ ат/см ²		1,2	3,2	5,2	8,1	11
$k = S_{\text{полн}}/S_{\text{проект}}$	1,001	1,003	1,006	1,003	1,003	1,003
R_a , нм	2.2	1,78	1,97	2,71	2,33	2.3
$\Theta_{ш}$, °	25,1	62,8	67,4	69,7	60,8	56,7
W_a , мН/м	138,56	105,92	100,54	97,93	108,14	112,58
f , мН/м	-6,94	-39,58	-44,96	-47,57	-37,36	-32,92

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Ташлыков И.С., Барайшук С.М. // Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2008, №1, с. 30-35.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАРГАНЦА В ПЛЕНКАХ $Zn_{1-x}Mn_xTe$ И $Zn_{1-x}Mn_xS$
МЕТОДОМ μ -PIXE

Д.И. Курбатов¹⁾, А.В. Климов¹⁾, А.С. Опанасюк¹⁾,
А.Г. Пономарев²⁾

¹⁾ Сумский государственный университет, Сумы, Украина

²⁾ Институт прикладной физики НАН Украины, Сумы, Украина

Задача экспериментального определения концентрации и распределения марганца является крайне актуальной для определения физических свойств полумагнитных твердых растворов типа $A_{2(1-x)}Mn_xB_6/1/$.

Пленки твердых растворов $Zn_{1-x}Mn_xTe$ и $Zn_{1-x}Mn_xS$ были получены методом сублимации в квазизамкнутом объеме /2/.

Исследование образцов проводилось с помощью ядерно-физических методов PIXE и μ -PIXE при начальной энергии пучка протонов 1.4 МэВ с помощью ядерного сканирующего микронзонда на базе электростатического ускорителя ИПФ НАН Украины (Сумы) /3/.

В результате проведенных исследований было определено распределение марганца по площади и объему пленок $Zn_{1-x}Mn_xTe$ и $Zn_{1-x}Mn_xS$, а также его атомная концентрация (рис. 1).

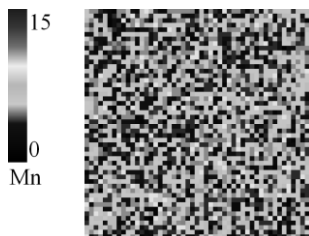


Рис. 1. Карта распределения марганца на участке пленки $Zn_{1-x}Mn_xTe$ размером 200×200 мкм

ЛИТЕРАТУРА

1. Yuan H.J. et. al. // J. Cryst.Growth, 2004, 271, 403.
2. Kurbatov D. et. al. // Solid State Sci., 2011, 13, 68.
3. Крамченков А.Б. и др. // Металлофиз.новейшие технол., 2008, 30, 453.

МИКРОСТРУКТУРА И СОСТАВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ПЛАТИНЫ НА УГЛЕРОДНЫЕ ПОДЛОЖКИ

В.В. Поплавский, А.В. Дорожко, В.А. Чумак
Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь

Представлены результаты исследований микроструктуры и состава каталитических слоев, формируемых осаждением платины на углеродные носители – графит МГ-1, стеклоуглерод СУ-2000 (ФГУП НИИГрафит) и углеродную бумагу AVCarb® Carbon Fiber Paper P50 (Ballard Material Products Inc.).

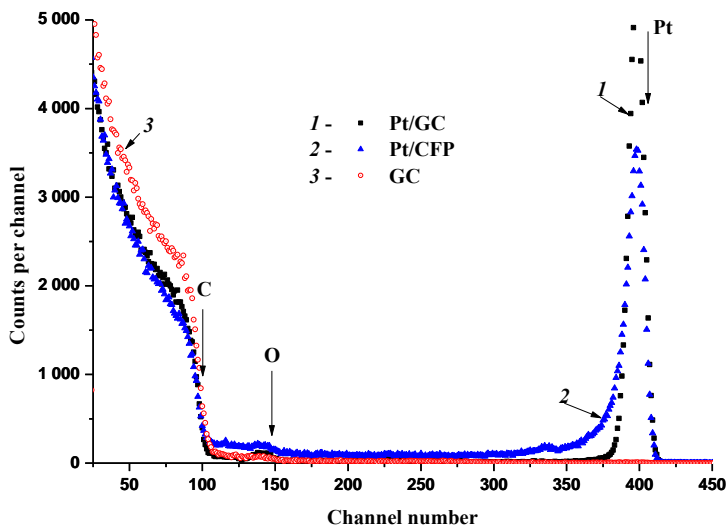


Рис. 1. Спектры РОР ионов ^4He ($E_0 = 1,3$ МэВ) от поверхностных слоев, сформированных осаждением Pt на стеклоуглерод (Pt/GC), углеродную бумагу (Pt/CFP), и от поверхности стеклоуглерода (GC)

Слои сформированы в режиме ИВАД, при котором осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с атомами поверхности подложки ускоренными ($U = 10$ кВ) ионами того же металла осуществляются соответственно из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного дугового разряда импульсного электродугового ионного источника.

Исследование слоев проведено методами СЭМ и РСМА (микроскоп JEOL JSM-5610LV) и РОР ионов ^4He ($E_0 = 1,3$ МэВ; ускорительный комплекс AN-2500, High Voltage).

РАЗВИТИЕ МЕТОДА СПЕКТРОМЕТРИИ ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В Al, Mg, Ti.

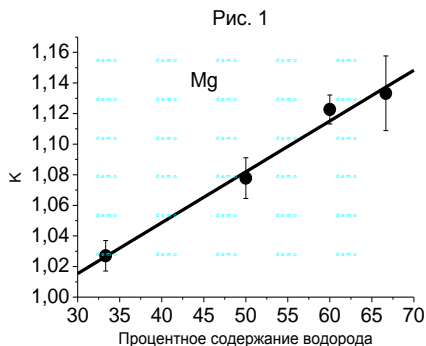
А.М. Борисов, В.Г. Востриков, Е.А. Романовский, Н.В Ткаченко
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Метод спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов (ЯОР) обладает следующими достоинствами: неразрушающий характер, экспрессность и высокая чувствительность к примесям легких элементов на матрице тяжелого элемента на глубине до 50 мкм, что делает его весьма удобным для исследования защитных покрытий на поверхности различных металлов.

При испытании защитных покрытий часто возникает задача по определению концентрации водорода в образце, которую обычный метод спектрометрии обратного рассеяния не способен решить в силу кинематических ограничений, связанных с рассеянием протонов на водороде, поэтому в настоящей работе для Al, Mg, Ti предложен новый метод на его основе.

При энергии протонов 7,5 МэВ и угле рассеяния 160° были проведены измерения для соединений AlH_x , MgH_x , TiH_x с различными показателями стехиометрии. Показано, что спектры ЯОР для исходных и наводороженных образцов подобны и отличаются по амплитуде при измерении на одинаковое число протонов, падающих на образцы. Вычислены величины отношений сумм отчетов в спектрах ЯОР для заданных диапазонов каналов (для исходных образцов – N_1 , для наводороженных – N_2).

По результатам расчетов и измерений спектров ЯОР получены градуировочные кривые отношений $K=N_2/N_1$ (рис.1). Найдено, что если в наводороженном слое концентрация водорода выше 30 ат.%, то точность определения концентрации водорода с помощью градуировочных кривых составляет 2 ат.%, что позволяет использовать эти данные для экспрессного определения концентрации водорода в образцах Al, Mg, Ti до глубины 50 мкм.



ВОЗДЕЙСТВИЕ Xe^+ ОБЛУЧЕНИЯ НА СОСТАВ ПОВЕРХНОСТИ CuInSe_2

И.С. Ташлыков¹⁾, Д.А. Сильванович¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾,
В.Ф. Гременок³⁾,

¹⁾БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

³⁾НПЦ НАНБ по материаловедению, Минск, Беларусь

Нами ранее изучалось дефектообразование при ионной бомбардировке кристаллов CuInSe_2 , используемых для солнечных элементов. Было установлено, что под воздействием ионов Xe^+ с $E = 40$ кэВ и потоками (Φ) от 10^{13} до 3×10^{15} см^{-2} структура CIS повреждается по гетерогенному механизму. Вместе с тем, при облучении ионами многокомпонентных мишеней из-за активации процессов переноса, селективного распыления возможно изменение состава на поверхности образцов. Поэтому в настоящей работе анализировались спектры РОР/К ионов гелия с $E_0 = 2.0$ МэВ, полученные от образцов CIS при нормальной геометрии, когда угол рассеяния составлял 168° и $\Delta E = 25$ кэВ. Поскольку для определения концентрации компонентов использовали $\langle 221 \rangle$ осевые спектры РОР, то в расчетах применяли метод итерации.

Экспериментальные результаты представлены в таблице, из которой следует, что с увеличением Φ происходит довольно значительное изменение состава поверхности мишеней. Концентрация (С) Cu уменьшается с ~ 46 до ~ 32 ат. %, а In и Se растёт с ~ 15 до ~ 19 и с ~ 39 до

С, ат. %	$\Phi, 10^{14} \text{ см}^{-2}$					
	Исходн.	1	3	10	30	
Cu	41 ± 4	46 ± 4	41 ± 3	36 ± 2	32 ± 2	
In	16 ± 2	15 ± 1	15 ± 1	19 ± 1	18 ± 1	
Se	43 ± 4	39 ± 3	44 ± 3	45 ± 2	50 ± 2	

~ 50 ат. % соответственно.

НАКОПЛЕНИЕ ГАЗОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ БЫСТРЫХ ИОНОВ И ПЛАЗМЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ ВОЛЬФРАМА

Б.И. Хрипунов¹⁾, Л.С. Данелян¹⁾, В.В. Затекин²⁾, В.С. Койдан¹⁾,
В.С. Куликаускас²⁾, С.Т. Латушкин¹⁾, В.Б. Петров¹⁾, А.И. Рязанов¹⁾,
В.Н. Унежев¹⁾

¹⁾ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Вольфрам является одним из перспективных материалов для облицовки первой стенки и дивертора термоядерного реактора. В данной работе приведены исследования эффектов связанных с накоплением гелия и дейтерия в вольфраме в результате облучения ионами и плазмой.

С помощью облучения поверхности вольфрама ионами высокой энергии (He^{++} , 3,2-4,0 МэВ) осуществляется моделирование воздействия термоядерных нейтронов на материал. Получены образцы с повреждениями на уровне 1-80 смещений на атом, которые были подвергнуты последовательному (до 7 раз) облучению в стационарной дейтериевой плазме на установке «Лента» с достижением каждый раз ионного флюенса около 10^{25} ион/м² при энергии дейтонов на поверхности 250 эВ.

Накопление гелия и дейтерия в материале исследовано с помощью обратного ядерного рассеяния и регистрации ядер отдачи. Определены профили распределения гелия имплантированного в поверхностный слой глубиной до 6 мкм, причем максимальные значения его концентрации в вольфраме составили 5-8 % ат. Определены также профили и концентрации дейтерия, в поверхностном слое после воздействия плазмы. Приведенные результаты получены в условиях динамики поверхности, связанной с эрозией (распылением) материала в плазме. Обнаружены изменения (повышение) накопления дейтерия в материале при наличии радиационных повреждений по сравнению с неповрежденным материалом.

Результаты данной работы подтверждают эффективность разрабатываемого комплексного экспериментального метода исследования материалов обращенных к плазме в термоядерных реакторах.

РАСТВОРЕНИЕ ПЛЕНКИ СЕРЕБРА В СТЕКЛЕ И ОБРАЗОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ СЕРЕБРА ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

О.А. Подсвиров¹⁾, А.И. Сидоров²⁾, Д.В. Чураев¹⁾

¹⁾Государственный политехнический университет, С.-Петербург

²⁾Государственный университет информационных технологий,
механики и оптики, С.-Петербург

Как показано в [1] при воздействии при комнатной температуре пучка электронов на стекло, содержащее ионы серебра, отрицательный объемный заряд, возникающий в стекле, приводит к полевой миграции ионов серебра из объема к поверхности. Термализованные электроны в стекле восстанавливают ионы серебра до атомарного состояния. Последующая термообработка стекла приводит к формированию в тонком приповерхностном слое стекла нанокристаллов серебра. При малой энергии электронов (5 – 10 кэВ) происходит даже выход атомов серебра на поверхность и образование на ней тонкой пленки серебра. Целью настоящей работы было изучение обнаруженного обратного эффекта: вытягивание внедренным электронным объемным зарядом ионов серебра из тонкой поверхностной серебряной пленки и их полевая миграция в объем чистого стекла с образованием нанокристаллов после последующей термообработки. Для этого необходима повышенная энергия пучка – 20 – 50 кэВ и определенные условия: доза и плотность тока при облучении.

В экспериментах использовались натриево-боро-силикатные стекла с пленкой серебра толщиной 100 нм.. Последующая термообработка при $t = 500$ °С в течение 1-2 часов приводит к формированию нанокристаллов серебра в стекле, что подтверждается появлением плазмонной полосы поглощения наночастиц серебра на спектре поглощения стекла.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Игнатъев, А.В. Нащекин, В.М. Неведомский, О.А. Подсвиров, А.И. Сидоров, А.П. Соловьев, О.А. Усов. // ЖТФ. 2011. Т. 81. В. 5. С. 75-80.

ЛЕГИРОВАНИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АТОМАМИ ХРОМА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

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

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

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

Силумины обладают рядом уникальных свойств, однако их широкое использование в качестве конструкционных материалов ограничивается низкими прочностными свойствами. Одним из возможных способов упрочнения поверхностного слоя данных сплавов является легирование дополнительными элементами, которое может быть осуществлено с помощью компрессионных плазменных потоков (КПП). Целью данной работы являлось исследование структурно-фазовых превращений в эвтектическом силумине (12,9 Si; 3,0 Mg; 0,7 Cu; 0,4 Ni; 0,1 Fe; ат. %) с нанесенным хромовым покрытием толщиной 2,5 мкм при последующем воздействии импульсами КПП с различной плотностью поглощенной энергии ($Q=12-27$ Дж/см²).

Обработка плазменными потоками приводит к плавлению поверхности образцов силумина, перемешиванию системы покрытие/подложка и формированию легированного слоя с мелкодисперсной структурой, содержащей интерметаллиды системы Al-Cr. Использование азота как плазмообразующего вещества обуславливает формирование поверхностных упрочняющих включений нитрида AlN. В диапазоне $Q=21-27$ Дж/см² на поверхности образцов происходит формирование пленки, состоящей из сферических хром-содержащих кластеров размером 100-300 нм.

Структурно-фазовые превращения обеспечивают увеличение микротвердости приповерхностного слоя 2-3 раза.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПЛЕНКИ TiN ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ АЗОТА

А.З. Хамдохов¹⁾, Р.Ш. Тешев¹⁾, З.М. Хамдохов¹⁾,
В.С. Куликаускас²⁾, П.Н. Черных¹⁾

¹⁾Кабардино-Балкарский государственный университет,
Нальчик, Россия

²⁾НИИ ядерной физики МГУ, Москва, Россия

Пленки нитрида титана получили широкое применение благодаря своим свойствам, а именно: химическая инертность, твердость, коррозионная стойкость. При этом их свойства сильно зависят от стехиометрического состава, который можно изменять с помощью внешних воздействий.

В связи с этим, целью нашей работы является выяснение структуры пленок нитрида титана после облучения ионами азота.

В нашем эксперименте покрытие на основе нитрида титана было получено электродуговым распылением титановой мишени в атмосфере азота на установке УВНИПА-1-001 с магнитной сепарацией плазменного потока. В качестве подложек использовались пластины кремния КДБ-20 с ориентацией (100).

Образцы облучались ионами азота с энергией 6 кэВ в течение 20 минут.

Источником ионов азота являлся источник с холодным катодом типа «Радикал», встроенный в смотровое окно вакуумной камеры. Изучение структуры покрытия проводилось с помощью метода обратного рассеяния.

Полученные экспериментальные данные подтверждают возможность получения пленок нитрида титана различного стехиометрического состава с помощью облучения ионами азота.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ТИТАНОВОЕ
ПОКРЫТИЕ – ТВЕРДЫЙ СПЛАВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПРЕССИОННЫМИ
ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

А.К. Кулешов¹⁾, Е.А. Крутилина¹⁾,
В.М. Асташинский²⁾, А.М. Кузьмицкий²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

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

Воздействие импульсными компрессионными плазменными потоками (КПП) в присутствии азота позволяет формировать в поверхностных слоях материалов нитридные фазы, что неоднократно было обнаружено в ранее проведенных исследованиях. В связи с этим в работе изучалось влияние давления азота (3 и 10 Торр) и количества импульсов (5 и 10) при обработке КПП (27 Дж/см^2 , 100 мкс) на структурно-фазовое состояние твердого сплава Т15К6 (79WC-15TiC-6Co, вес.%) с предварительно осажденным титановым покрытием. Согласно результатам рентгеноструктурного анализа, после обработки КПП в твердом сплаве происходит образование нитридных (W_2N и TiN) и карбонитридной (TiC_xN_y) фаз. По-видимому, это связано с обогащением азотом и титаном расплавленных поверхностных слоев исследуемой системы. Следует отметить, что интенсивность дифракционных линий, соответствующих указанным фазам, уменьшается с повышением давления азота и количества импульсов при других неизменных параметрах воздействия КПП. На рентгенограммах также обнаружены дифракционные максимумы, соответствующие пересыщенному вольфрамом твердому раствору $(\text{Ti,W})\text{C}$ и карбиду W_2C . После обработки КПП в указанных режимах микротвердость твердого сплава становится переменной по глубине величиной и в поверхностном слое ($\sim 0,4 \text{ мкм}$) возрастает более чем в 2,5 раз по сравнению со значением микротвердости для твердого сплава без титанового покрытия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР СИСТЕМЫ ВИСМУТ/МЕДЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КРЕМНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ПРИБОРОВ ОТ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

С.С. Грабчиков¹⁾, С.Б. Ластовский¹⁾, Ю.В. Богатырев¹⁾,
П.В. Панкратов¹⁾, А.Г. Пяткевич¹⁾, В.В. Углов²⁾

¹⁾НППЦ НАНБ по материаловедению, Минск, Беларусь

²⁾БГУ, Минск, Беларусь

В работе представлены результаты тестирования защитных свойств экранов на основе многослойных структур (МС) системы Bi/Cu при облучении электронами с энергией 4 МэВ биполярных кремниевых приборов. Экраны на основе МС были сформированы на подложках из меди $55 \times 55 \times 1$ мм. Образцы содержали: 12×30 мкм/ 10×3 мкм (№1); 196×6 мкм/ $194 \times 1,2$ мкм (№2); 18×75 мкм/ 16×6 мкм (№3) слоев Bi/Cu , соответственно. Приведенные толщины (d) образцов № 1;2;3 с подложкой и без нее соответственно равны 1,27; 2,24; 2,31 г/см² и 0,37; 1,36; 1,42 г/см².

Регистрация дозы прошедших экраны электронов и тормозного излучения проводилась по оценке концентрации вторичных радиационных дефектов, введенных в базовую p -область диодных n^+p -структур. Эффективность экранирования (K_s) оценивалась из соотношения D/D_0 , где D — доза облучения, полученная объектом за экраном; D_0 — доза, требуемая для введения такой же концентрации данного типа дефекта без экрана.

Показано, что с ростом толщины МС эффективность экранирования увеличивается. Значения K_s в образцах № 1, 2 и 3 равны 25, 160 и 150, соответственно. Для сравнения полученных результатов также были определены значения K_s для экранов из чистой Cu и Al со значениями d соответственно равными $0,89$ г/см² и $0,27$ г/см². Для Cu значение K_s равно 2,5, для Al — 1,4. Обнаружено, что при дозах электронного облучения 10^{16} см⁻² и значениях d (с учетом подложки) более 2 г/см² практически отсутствует дефектообразование в n^+p -структурах, прошедшие через такие экраны электроны и тормозное излучение существенно не влияют на функциональные способности биполярных кремниевых приборов.

МИКРОСТРУКТУРА СИСТЕМЫ «ЦИРКОНИЕВОЕ ПОКРЫТИЕ-КРЕМНИЙ», ОБРАБОТАННОЙ СИЛЬНОТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

Н.Н. Коваль¹⁾, Ю.Ф. Иванов¹⁾, Ю.А. Петухов²⁾, А.В. Калинин³⁾,
А.Д. Тересов¹⁾

¹⁾Институт сильноточной электроники СО РАН,
Томск, Россия

²⁾Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

³⁾Белорусский государственный университет,
Минск, Беларусь

Воздействие низкоэнергетических сильноточных электронных пучков (НСЭП) с высокой плотностью энергии (до 40 Дж/см²) и продолжительностью воздействия (до 200 мкс) на полупроводниковые материалы представляет значительный интерес с точки зрения создания многокомпонентных структур, обладающих уникальными электрофизическими свойствами. В настоящей работе представлены результаты исследований структурных изменений в системе «циркониевое покрытие-кремниевая подложка», обработанной НСЭП, длительностью 50-200 мкс и плотности передаваемой энергии – 8-12 Дж/см².

Обнаружено, что в результате воздействия электронных пучков с плотностью энергии 8-10 Дж/см² у границы раздела «цирконий-кремний» формируется слой эвтектики (с характерным размером выделений 40-50 нм). При увеличении плотности энергии до 12 Дж/см² в приповерхностном слое образуются дендриты кремния, области эвтектики с концентрацией циркония 19,4 ат.% и области силицидных кристаллитов, в которых концентрация циркония составляет 25,2 ат.%. Воздействие НСЭП приводит к формированию силицида $ZrSi_2$. При увеличении плотности энергии НСЭП от 8 до 12 Дж/см² расстояние между кристаллографическими плоскостями (131) силицида $ZrSi_2$ увеличивается от 2,299 до 2,306 Å, а при обработке серией из 3-5 импульсов с плотностью энергии 10 Дж/см² – уменьшается от 2,301 до 2,296 Å, что связано с тем, что фазообразование в этом случае определяется, главным образом, самодиффузией циркония и кремния в область силицида у границы раздела “покрытие-подложка”.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК GaAs, ОСАЖДЕННЫХ ИМПУЛЬСНОЙ ИОННОЙ АБЛЯЦИЕЙ

А.В. Кабышев, Ф.В. Конусов, Г.Е. Ремнев
Институт физики высоких технологий, г.Томск, Россия

GaAs обладает преимуществами по электрическим и фотоэлектрическим свойствам, по сравнению с Ge, Si и другими полупроводниками группы $A^{III}B^V$ /1–3/. В оптоэлектронных приборах часто используется слой GaAs, осажденные не только традиционными эпитаксиальными методами, но и поликристаллические и/или аморфные тонкие пленки, полученные импульсными методами осаждения /3, 4/. Осаждение пленок из плазмы, создаваемой мощным ионным пучком, не уступает по скорости роста и по качеству пленкам, синтезированным магнетронным и лазерным осаждением. В работе исследованы электрические и фотоэлектрические свойства пленок GaAs, осажденных на поликор из плазмы, сформированной ионным пучком. Зависимость электрических свойств от условий осаждения связана с изменениями соотношения между кристаллической и аморфной составляющими материала пленок и содержания собственных дефектов решетки в кристаллитах. Изменение характеристик при термическом отжиге обусловлено частичной пассивацией состояний дефектов, распределенных в запрещенной зоне GaAs, и их объединением в кластеры. Оптимальные свойства пленок реализуются после отжига в вакууме или на воздухе при температуре 600–800 К и последующей их сульфидной пассивации из раствора. Пассивация стабилизирует фотоэлектрические характеристики пленок и замедляет степень окисления поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бланк Т.В. // ФТП, 2007, Т. 41, № 11, С. 1281.
- 2 Авдеев С.М., и др. // ФТП, 2011, Т. 45, в. 8. С. 1056.
- 3 El Hadadi B. // Vacuum, 2005, V. 80, № 4, P. 272.
- 4 Ullrich B. // Appl.Phys.Lett., 2005, V.87, P.151115/1.

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КРЕМНИЯ ИОНАМИ ВОДОРОДАЮ.М. Покотило¹⁾, А.Н. Петух¹⁾, А.В. Гиро¹⁾,
А.С. Камышан²⁾¹⁾БГУ, Минск, Беларусь²⁾НИИ ПФП им. Севченко БГУ, Минск, Беларусь

Исследования проводились на промышленных (Mo-Si) диодах Шоттки, где базовым слоем являлся эпитаксиальный кремний, легированный фосфором с удельным сопротивлением $\rho=1,05 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и толщиной 5 мкм. Облучение ионами атомарного водорода H^+ с энергией 300 КэВ осуществлялось при комнатной температуре с планарной стороны через многослойный (Ag-Ni-Mo) контакт. Профили распределения концентрации электронов проводимости измерялись стандартным C - V -методом с частотой измерительного моста 1,2 МГц.

Установлено, что в базовом слое диодов Шоттки на глубине (0,2-0,4) мкм, соответствующей величине проецированного пробега ионов водорода, формируются низкоомные n^+ -слои, имеющие гауссов профиль полушириной 0,2 мкм. Показано, что этот эффект обусловлен трансформацией радиационных дефектов при декорировании их внедренными атомами водорода в мелкие Н-доноры. В зависимости от дозы имплантации образуются, по крайней мере, три типа Н-доноров. При дозе облучения $\leq 1 \cdot 10^{14} \text{ p}^+/\text{см}^2$ с последующей термообработкой образцов при $350 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 минут Н-доноры появляются, а при $450 \text{ }^\circ\text{C}$ полностью отжигаются. При дозе $1 \cdot 10^{15} \text{ p}^+/\text{см}^2$ сразу после облучения наблюдаются новые Н-доноры в концентрации $2,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, которые полностью отжигаются при $275 \text{ }^\circ\text{C}$. Последующая термообработка при $350 \text{ }^\circ\text{C}$ вводит Н-доноры в концентрации $6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а после отжига $450 \text{ }^\circ\text{C}$ остается еще около половины ($3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) более термостойких Н-доноров другого типа. В работе анализируется механизм трансформации Н-доноров.

ОБЛУЧЕНИЕ И ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ОКСИДА ЦИНКА С АНИОННЫМИ ВАКАНСИЯМИ

В.А. Никитенко, С.Г. Стоюхин, С.В. Мухин
Московский государственный университет путей сообщения, Москва,
Россия

Оксид цинка является известным материалом микро- и оптоэлектроники, а также широко используется в космической технике в условиях воздействия потока элементарных частиц и ионов /1,2/. Тем не менее микроструктура и свойства собственных и радиационных дефектов в ZnO — предмет постоянных дискуссий, особенно это касается анионных вакансий /2/.

В рамках решения данной проблемы изучены радиационные дефекты, созданные в гидротермальных монокристаллах ZnO-Li облучением их протонами ($E=7,7$ МэВ, доза 10^{15} см⁻²), электронами ($E=4$ МэВ, — $1,2 \cdot 10^{19}$ см⁻²) и ионами высоких энергий (кислород, углерод $E \approx 100$ МэВ, доза $1,3 \cdot 10^{14}$ см⁻²). Техника эксперимента основана на параллельном исследовании люминесценции и термостимулированных ($T=4 \div 300$ К) процессов переноса заряда в режиме ЭПР и импульсного нагрева кристаллов /1,2/.

Установлено, что анионные вакансии (F-центры) в ZnO являются центрами безызлучательной рекомбинации носителей заряда с энергией фотоионизации 2,3 эВ (сигнал фото-ЭПР с g-фактором для F⁺-центра: $g_{\parallel}=1,9948$ и $g_{\perp}=1,9963$). В виде F- и F⁺-состояний анионные вакансии являются хорошим репером электронных и дырочных процессов в ZnO. Обнаружены и описаны [F_{Li}]^x-центры.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Никитенко В.А. // Журнал прикладной спектроскопии. – 1992, т.57, №5-6, С.367.
- 2 Nikitenko V.A. // Proceeding of International NATO Workshop "Zinc Oxide – As a Material for Micro- and Optoelectronic Application" – St. Petersburg: Springer, p. 69

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ ФОСФОРА И БОРА В КРЕМНИЙ

А.М. Рахимов, Ж.Б. Хужаниёзов, А.С. Рысбаев, А.А. Рысбаев
Ташкентский Государственный Технический Университет, Ташкент, Узбекистан.

Наибольшей чувствительностью к температуре обладают датчики на основе монокристаллов кремния. Однако их основным недостатком является нелинейность температурной характеристики и наличие верхнего предела измерения температуры который составляет 350 – 400 К.

С целью создания датчика температуры на основе кремния, способного измерять более высокие температуры и обладающего линейной температурной характеристикой, мы выбрали $p-i-n$ – структуры. Для получения $p-i-n$ – структуры мы выбрали метод ионной имплантации, не подвергающий образец высокотемпературному прогреву. Для получения датчика с хорошими характеристиками мы создали максимальную степень легирования p - и n -слоев и резкую границу $p-i$ и $i-n$ -переходов. Для получения таких резких переходов нами проводилась имплантация ионов P^+ и B^+ в разные стороны очищенных монокристаллов $Si(111)$. Эксперименты проводились с образцами $Si(111)$ p -типа с удельным сопротивлением $\rho=3000$ и 6000 Ом-см, с толщиной от 0,1 до 1мм. При этом наиболее хорошие характеристики были получены при использовании образцов Si с толщиной 0,1 мм. Исходные образцы $Si(111)$ перед проведением ионной имплантации очищались термическим прогревом в два этапа: длительно при 1200 К и кратко-временно при $T=1500$ К. Ионы P^+ имплантировались в $Si(111)$ сначала с энергией $E_0=80$ кэВ, а затем с $E_0=20$ кэВ. Ионы B^+ имплантировались последовательно с энергией $E_0=80$ кэВ, затем с $E_0=25$ кэВ и с $E_0=10$ кэВ /1/. Полученный нами термодатчик обладает линейной характеристикой в области температур от 20 до 500 К.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Рысбаев А.С., //, Радиотехника и электроника, 2001, т. 46, № 9, с. 1148-1150.

ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ АЛЮМИНИЯ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾,
С.М. Барайшук³⁾, Ю.С. Яковенко³⁾, Д.М. Солодкий¹⁾

¹⁾ Белорусский госуниверситет информатики
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия,

³⁾ Белорусский государственный педагогический университет, Минск,
Беларусь

Управление смачиваемостью поверхности изделий из алюминия и его сплавов играет важную роль в целом ряде технологических процессов авиационной промышленности, радиотехники, а также защите изделий от обледенения. В данной работе рассматривается влияние композиционного состава на смачиваемость водой поверхности быстрозатвердевших алюминиевых фольг. Фольги алюминия высокой чистоты (99.98%), а также алюминия технической чистоты (АК9ч) и его бинарных сплавов с Сг и Zn были получены методом центробежной закалки. Смачиваемость поверхности фольг, контактирующей с цилиндром, изучали методом покоящейся капли, используя дистиллированную воду. Элементный анализ сплавов был выполнен методом резерфордского обратного рассеяния ускоренных ионов гелия. Установлено, что поверхность фольг чистого Al обладает гидрофобными свойствами. Присутствие в образцах легирующих примесей улучшает смачиваемость поверхности фольг. Поверхности сплавов обнаружили гидрофильные свойства. Получено, что для системы Al-Zn значение краевого угла смачиваемости меньше, чем для системы Al-Cr. Это указывает на различия в микроструктуре поверхности образцов. Действительно, легирующие элементы распределены по глубине фольг неравномерно. Фольги сплава Al-Zn характеризуются наибольшей степенью обеднения приповерхностных слоев. Полученные результаты демонстрируют возможность управления смачиваемостью поверхности фольг алюминия путем введения легирующих примесей.

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ
БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ Al-Cr И Al-Fe

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, О.В. Рябухин²⁾, С.С. Зырянов²⁾,
Ф.Г. Нешов²⁾, Д.Р. Байгимиров²⁾, В.Н. Алехнович³⁾, В.Г. Шепелевич⁴⁾

¹⁾ Белорусский госуниверситет информатики
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,

²⁾ Уральский федеральный университет им. Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия,

³⁾ Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск,

⁴⁾ Белорусский госуниверситет, Минск, Беларусь

Исследования модифицирования структуры сплавов алюминия современными методами высокоскоростной кристаллизации представляют как фундаментальный, так и практический интерес, поскольку получаемые метастабильные материалы обладают уникальными свойствами. Вопросы предотвращения водородного охрупчивания в алюминиевых материалах, используемых в газовых баллонах высокого давления, обуславливают актуальность изучения механизмов захвата легирующих примесей и водорода в быстрозатвердевших (БЗ) сплавах алюминия с переходными металлами. В настоящей работе представлены результаты изучения термической стабильности микроструктуры фольг сплавов Al-Cr, и Al-Fe, полученных методом центробежной закалки. Режимы отжига образцов были выбраны с учетом интервалов термодесорбции водорода, установленных для фольг данных систем /1/. Микроструктура сплавов была изучена с применением методов РОР и спектроскопии ЯО, а также ЭПР. Определенные структурные превращения в БЗ сплавах при их термической обработке позволяют выполнить анализ влияния легирующих элементов на кинетику десорбции водорода из алюминия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tashlykova-Bushkevich I.I., Itoh G., Shepelevich V.G., Shikagawa T. // Mater. Trans., 2011, V. 52, p. 895.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОПОРОШКОВ ГИДРООКИСИ Al и Ca.

А.М. Борисов¹⁾, В.Г. Востриков¹⁾, Л.Н. Лесневский²⁾, М.А. Ляховецкий²⁾,
Е.А. Романовский¹⁾, Н.В. Ткаченко¹⁾, В.Н. Тюрин²⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия,

²⁾МАИ, Москва, Россия

Пути решения проблемы увеличения срока службы твэлов из циркониевых сплавов ядерных реакторов нового поколения лежат в двух направлениях: 1) дальнейшая оптимизация технологии получения циркониевого сплава способного сопротивляться коррозии и наводороживанию; 2) модификация поверхностного слоя (ПС) имеющих сплавах.

Одним из способов модификации ПС является метод микродугового оксидирования (МДО) вентильных металлов (Al, Mg, Ti, Zr и т.д.). Формирование покрытия этим способом происходит в двухэлектродной электрохимической ячейке одним из электродов, в которой служит обрабатываемая деталь, а вторым, обычно, нержавеющей сталь. Эксплуатационные свойства формируемого покрытия зависят от вида и величины пропускаемого тока, состава и температуры электролита.

В работе исследован способ формирования МДО покрытия на циркониевом сплаве Э-110 в электролите, содержащем КОН-0,5г/л, K_2SiO_3 -10г/л и нанопорошки гидроокиси алюминия и кальция при различных режимных параметрах. Для определения состава и толщины покрытий использован метод спектроскопии ядерного обратного рассеяния [1]. Найдено, что характерной особенностью формирования покрытия с использованием нанопорошка гидроокиси алюминия является возможность получения относительно толстых покрытий толщиной от ~50 до ~90мкм при различных режимах оксидирования; формирование покрытия в электролите, содержащем нанопорошок гидроокиси кальция, показало возможность формирования покрытия толщиной от ~10 до ~20мкм при различных режимах оксидирования.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Беспалова О.В., Борисов А.М., Востриков В.Г., Романовский Е.А., Серков М.В. // Ядерная физика, 2009, т.72, Т10, с.1721-1729.

ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИКОПОДОБНЫХ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЦИРКОНИИ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

А.М. Борисов¹⁾, В.Г. Востриков¹⁾, Е.А. Романовский¹⁾,
Н.В. Ткаченко¹⁾, А.В. Виноградов²⁾, Б.Л. Крит²⁾,
С.В. Савушкина²⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ «МАТИ –РГТУ имени К.Э. Циолковского»

Приводятся результаты исследования элементного состава морфологии и структуры керамикоподобных покрытий, синтезированных на поверхности технического циркония при плазменном воздействии в электролитах методом микродугового оксидирования (МДО) /1/. МДО в течение 60...100 мин проводили в мягком и переходном анодно-катодных режимах при плотностях анодного тока 10...20 А/дм² и отношениях катодного тока к анодному 0,14...1 в силикатно-щелочном и силикатно-фосфатном электролитах при комнатной температуре. Напряжение наложения импульсов в переходном режиме составляло 100...800 В. Состав и структуру покрытий исследовали с помощью методов спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов энергии 7.7 МэВ и рентгеновского структурного анализа, морфологию покрытий – с помощью растровой электронной микроскопии. Установлено значительное влияние параметров МДО на пористую глобулярную структуру синтезированного оксидного покрытия. Обсуждаются возможности применения получаемых покрытий в качестве теплозащитных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Под общей ред. И.В.Суминова. В 2-х томах. Т.2. М.: Техносфера, 2011. 512с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ, ОБЛУЧЕННОЙ ПРОТОНАМИ В ЙОДНОЙ СРЕДЕ

С.С. Зырянов¹, А.В. Кружалов¹, М.В. Кузнецов², Ф.Г. Нешов¹,
О.В. Рябухин¹

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина,
Екатеринбург, Россия

²Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург Россия

Прогнозирование поведения конструкционных материалов в условиях интенсивных полей ионизирующих излучений в сочетании с воздействиями высокой температуры, газовой среды и других факторов сталкивается с необходимостью длительной выдержки материалов в указанных условиях для накопления радиационных повреждений и, после облучения, для уменьшения активности образцов. В связи с этим актуальными являются технологии имитации радиационного воздействия с использованием различных источников излучения.

В данной работе проведено облучение поверхности стали 1X18H10T протонами с энергией 5,7 МэВ в йодной среде с концентрацией йода $5 \cdot 10^{-6}$ г/см³, имитирующее воздействие нейтронного излучения и газовых продуктов деления на конструкционные материалы ядерного реактора. Облученная поверхность исследовалась методами резерфордовского обратного рассеяния и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии на предмет содержания йода и стехиометрии состава приповерхностного слоя.

Исследование поверхности показало, что при облучении формируется тонкий слой с высоким содержанием йода и кислорода, причем йод с кислородом находятся в связанном состоянии в виде аниона IO_3^- и в виде оксида I_2O_5 , а так же в молекулярном виде. На глубине 2-3 нм связанного йода почти не остается, содержание молекулярного йода такое же, как на поверхности. На глубине свыше 10 нм следов йода не обнаруживается, содержание элементов близко к исходному для данной марки стали, металлы находятся в неокисленной форме.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ
СЛОЕВ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
РЕЖИМАХ ЛЕГИРОВАНИЯ

С.С. Зырянов, С.Г. Купцов, Ф.Г. Нешов, О.В. Рябухин
Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н.Ельцина, Екатеринбург, Россия

Для повышения работоспособности механических деталей, работающих в тяжелых условиях (прокатные валки, штампы и др.) применяют электроискровое легирование (ЭИЛ). Процесс ЭИЛ сопровождается образованием переходных фаз, измельчением структурных составляющих, образованием структур с высокой гетерогенностью, что может влиять на прочностные свойства покрытия. Отработка режимов ЭИЛ требует контроля состава покрытия дополнительными методами.

В данной работе проведено изучение состава упрочняющих покрытий на основе сплава ВК-8 (карбид вольфрама с кобальтовой связкой), чистого вольфрама и гафния, нанесенных на железную подложку, в зависимости от режимов ЭИЛ по силе тока (5, 10 и 20 А) и напряжению (20, 40 и 60 В) с использованием методов ядерного обратного рассеяния протонов с энергией 6,6 МэВ и ренгенофлуоресцентного анализа. Кроме этого исследуемые образцы варьировались по числу нанесенных слоев упрочняющего покрытия.

В результате изучения состава покрытий обнаружено перемешивание, в различной степени, упрочняющего слоя с материалом подложки.

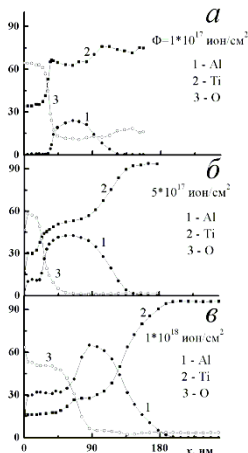
АНАЛИЗ МАССОПЕРНОСА В СТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБРАЗЦАХ ТИТАНА ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ АЛЮМИНИЯ ИСТОЧНИКА MEVVA-5.RU

Г.А. Вершинин¹⁾, Т.В. Вахний¹⁾, А.И. Суслов¹⁾,
И.А. Курзина²⁾, Ю.П. Шаркеев²⁾

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

²⁾Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Россия

В работе анализируются концентрационные профили распределения внедряемых ионов алюминия в зависимости от размера зерен исходных образцов титана и дозы имплантации. Облучение осуществлялось частотно - импульсным пучком ионов вакуумно – дугового источника Mevva-5.RU /1/ при флюенсе Φ , изменяющемся от 10^{17} до 10^{18} ион/см², ускоряющем напряжении 50 кВ, плотности ионного тока 6,5 мА/см², длительности импульса 250 мкс с частотой следования 10 с^{-1} при давлении в камере $9 \cdot 10^{-6}$ Торр и средней температуре образцов 623 К. Анализ состава приповерхностных слоев материала проводился методом ОЖЕ электронной спектроскопии.



На рисунке представлены концент-рационные профили элементов (в атомных %) в зависимости от флюенса для образцов титана со средним размером зерен 175 нм. В докладе наблюдаемые закономерности массопереноса в мишенях с различными размерами зерен анализируются в рамках ранее предложенной авторами двухстадийной модели формирования концентрационных профилей при высокодозной ионной имплантации полиэнергетическим пучком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерс А., Окс Е.М., Юшков Г.Ю.и др. // ЖТФ. 2006. Т. 76. № 10. С.57-61.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ P, B И ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЛАЗМЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ КРЕМНИЯ

Ж.Б.Хужаниёзов¹⁾, А.М.Рахимов¹⁾, А.С.Рысбаев¹⁾, Ш.Х.Джураев¹⁾,
А.А.Рысбаев²⁾

¹⁾Ташкентский Государственный Технический Университет,
Ташкент, Узбекистан.

²⁾Филиал Российского Государственного Университета
им. И.М.Губкина в г.Ташкенте

Явление перенормировки энергии объемного плазмона в переходном металле хорошо известно и достаточно подробно проанализировано в монографии Пайнса /1/, а также в работах /2-4/. В работе методами электронной спектроскопии и дифракции медленных электронов (ДМЭ) исследовано влияние имплантации ионов P⁺, B⁺ и щелочных элементов с энергией 0,5 ÷ 5 кэВ на кристаллическую и электронную структуру монокристалла Si(111). В частности, установлено, что имплантация ионов приводит к разупорядочению кристаллической структуры. Определены критические дозы имплантации, приводящие к полной аморфизации поверхностной слоя Si. Обнаружено также образование силицидов внедренных примесей. Имплантация ионов B и щелочных элементов приводит к уменьшению энергии плазменных колебаний валентных электронов кремния. Для определения спектра энергетических потерь первичного пучка в ионно-имплантированном Si мы исходили из двухжидкостной модели электронного газа. В работе приводится теоретическая интерпретация полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пайнс Д. Элементарные возбуждения в твердых телах /М.: 1965, 382 с.
- 2 Горбаченко В.Д., Жарников М.В., Максимов Е.Г., Рашкеев С.Н. // Журнал эксперим. и теоретической физики, 1985, т. 88, В 2, с. 677-691
- 3 Горбаченко В.Д., Жарников М.В., Максимов Е.Г., Молдосанов К.А. // Журнал эксперим. и теоретической физики, 1984, т. 86, В 2, с. 597-608.
- 4 Strum M. //Adv. Phys., 1982, v. 31, N 1, p. 1 -64

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА ПРИКАТОДНОЙ ПЛАЗМОЙ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуоров, Х.Х. Кадыров, И.Х. Худойкулов
Институт электроники АН Рuz.Ташкент, Узбекистан.

Изучение обработки плазмой вакуумно-дугового разряда образцов из сталей SUS304 и SUS430, показало, что микро твердость поверхности возрастает на 20-30%. Нанесение ПАВ приводит к увеличению твердости при высокой степени однородности твердости поверхности обработанного металла. На рис.1 микротвердость для образцов из стали 08КП. Микротвердость поверхности исходных образцов изменяется от 192 кг/мм^2 при нагрузке 5г до 131 кг/мм^2 при нагрузке 100г. Так при нагрузке 100г микротвердость увеличивается с 131 кг/мм^2 до 215 кг/мм^2 (микротвердость образцов, очищенных при жестком режиме – удельном заряде 25 Кл/см^2), т.е. на 65%, а при нагрузке 5 г- почти в два раза. В мягких режимах обработки (удельный заряд $8-10 \text{ Кл/см}^2$), при которых не происходит эрозия поверхности, увеличение микротвердости соответствует 8-17% при нагрузке 100г и 25-41% при нагрузке 5г.

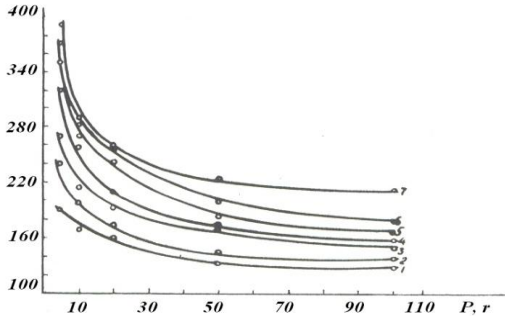


Рис.1.Зависимость мекротвердости от нагрузки при разных режимах обработки параметр очистки –уделный заряд, равный, Кл/см². 1-исход; 2-8,7; 3-12, 3; 4-14,0; 5-15,8; 6-19,8; 7-25,0.

Таким образом, поверхностные слои упрочняются значительно сильнее, чем более глубокие.

Обработка плазменным вакуумно-дуговым методом высокосортных сталей приводит к снижению коррозионной стойкости образцов, а низкосортных сталей, к более высокой коррозионную стойкости, чем образцы очищенные механически..

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ОТЖИГА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПЛЕНОК

Б.Е. Умирзаков, М.Р. Ахмеджанов, В.Х. Холмухамедова, С.Б. Данаев,
Ж.А. Якубов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Данная работа посвящена получению однородных нанопленок на основе диэлектрических пленок методом ионной имплантации. Все технологические обработки и исследования свойств нанопленок осуществлялись в одном и том же сверхвысоковакуумном приборе. В таблице приведены оптимальные режимы ионной имплантации и отжига, необходимые для образования трехкомпонентных диэлектрических нанопленок.

Таблица. Оптимальные режимы создания трехкомпонентных диэлектрических нанопленок

Ионы	E_0 , кэВ	D , см^2	Матрица	Оптимальный отжиг		Тип соединения	Толщина пленки, нм
				T, K	$W(\text{Дж} \cdot \text{см}^{-2}) + T'(K)$		
Ba^+	0,5	$4 \cdot 10^{16}$	CaF_2	1000	1,8; 900	$\text{Ca}_{0,4}\text{Ba}_{0,6}\text{F}_2$	4 – 5
	5	$8 \cdot 10^{16}$	CaF_2	1000	2; 900	$\text{Ca}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{F}_2$	7 – 8
Na^+	1	$6 \cdot 10^{16}$	CaF_2	950	–	$\text{Ca}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{F}_2$	5 – 6
	5	$6 \cdot 10^{16}$	CaF_2	1000	–	$\text{Ca}_{0,6}\text{Na}_{0,4}\text{F}_2$	9 – 10
Ba^+	1	$6 \cdot 10^{16}$	SiO_2	700-750	1,6; 750	$\text{Ba}_{0,4}\text{Si}_{0,6}\text{O}_2$	4 – 5
Na^+	1	$6 \cdot 10^{16}$	SiO_2	700	1,5; 750	$\text{Na}_{0,5}\text{Si}_{0,5}\text{O}_2$	5 – 6
Ba^+	1	$6 \cdot 10^{16}$	MgO	800	1,6; 800	$\text{Mg}+\text{Ba}+\text{O}$	5 – 6

Из таблицы видно, что после отжига (прогрев + лазерная обработка) CaF_2 , SiO_2 и MgO легированного ионами Ba^+ и Na^+ с низкой энергией ($E_0 = 0,5 - 5$ кэВ) и высокой дозой ($D \geq 10^{16} \text{ см}^2$) образуются трехкомпонентные нанопленки. В зависимости от энергии ионов толщина пленок изменяется в пределах 4 – 10 нм.

ФОРМИРОВАНИЕ ОДНО- И МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ GaAs ПРИ ИОННОЙ
БОМБАРДИРОВКЕ

Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, М.А. Миржалилова, Х.Х. Болтаев,
Р.Ч. Муминов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

В качестве объектов исследования были использованы эпитаксиальные пленки GaAs с толщиной $\theta \approx 800 - 1000 \text{ \AA}$, полученные МЛЭ. Перед ионной имплантацией исследуемые пленки обезгаживались при температуре ($T \approx 850 \text{ K}$) в условиях сверхвысокого вакуума ($P \leq 10^{-7} \text{ Па}$).

Имплантация проводилась ионами Ag^+ , Ba^+ и Na^+ с энергиями E_0 от 0,5 до 5 кэВ с вариацией дозы облучения в пределах $10^{14} - 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Исследования проводились с использованием методов оже - электронной спектроскопии, вторично-ионной масс-спектрометрии, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии, дифракции быстрых электронов и растровой электронной микроскопии.

Основные результаты можно сформулировать следующим образом:

1. Установлено, что при бомбардировке ионами Ag^+ в приповерхностной области GaAs при низких дозах ($D \leq 10^{15} \text{ см}^{-2}$) образуются нанокластерные фазы, обогащенные атомами As, а при высоких дозах ($D \geq 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) – нанопленки, обогащенные атомами Ga. В последнем случае формируется система типа Ga/GaAs.
2. Показано, что низкоэнергетическая имплантация ионов активных металлов (Ba^+ , Na^+ , Sr^+ , Mg^+) в сочетании с отжигом позволяет получать нанокристаллы и нанопленки типа Ga – Me – As. Изучены возможные механизмы образования этих наноструктур.
3. Разработана методика, позволяющая получить на основе GaAs нанопленки с монотонно изменяющейся (уменьшение или увеличение) шириной запрещенной зоны. Определена зависимость ширины запрещенной зоны от концентрации внедренной примеси и от толщины пленки.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ И ЕГО СОСТАВ ПРИ НАПЫЛЕНИИ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКОЙ

М.К. Рузибаева, С.Б. Донаев, А.А. Абдувайитов
Институт электроники им. У.А. Арифова Академии наук РУ,
Ташкент, Узбекистан

Для образования защитных покрытий требуется получать хорошо сцепленные с подложкой пленки, имеющие достаточно широкую переходную область. Интерес к наноструктурным пленкам с размерами кристаллов менее 100 нм связан с их высокими коррозионной, износо- и термостойкостью, улучшенными антифрикционными характеристиками. Нанесение таких защитных покрытий на обрабатывающие инструменты и детали машин значительно увеличивает их срок службы.

В данной работе экспериментально и теоретически исследовалась пленка TiN на $\alpha-Fe$. Определялись параметры переходного слоя пленка-подложка: толщина, элементный состав, степень искажения кристаллической решетки.

Проведено моделирование процесса формирования и роста многослойного покрытия системы TiN на $\alpha-Fe$. Составленная программа позволяет рассчитывать распределения атомов пленки в подложке и атомов подложки в пленке, а также полные потоки атомов пленки в подложку и наоборот. Расчеты были выполнены для напыления Ti и TiN на $\alpha-Fe$ при одновременной бомбардировке ионами азота и титана. Рассмотрен эффект каскадного перемешивания при двух значениях толщины пленки TiN на $\alpha-Fe$, показано, что этот эффект зависит от сорта иона, энергии и толщины пленки. Эффективность перемешивания для данной энергии ионов зависит от толщины наращиваемой пленки.

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА СОСТАВ И СТРУКТУРУ ПЛЕНОК MgO

А.К. Ташатов, Д.А. Ташмухамедова, Д. Буназаров, Б.Б. Мавлянов,
М.К. Шамшиддинов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

В последние годы ионная и электронная бомбардировка широко используются для модификации свойств поверхности, в частности для получения гетероструктур типа металл – диэлектрик – полупроводник. Данная работа посвящена изучению влияния электронной бомбардировки и бомбардировки ионами Ag^+ на состав и структуру поверхности диэлектрических пленок MgO.

Исследования проводились с использованием методов оже - электронной спектроскопии, спектроскопии характеристических потерь энергии электронов и ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии. Анализ спектров показал, что при бомбардировке ионами Ag^+ с $E_0 = 1$ кэВ начиная с $D = 10^{15}$ см⁻² происходит разложение MgO, разупорядочение поверхности и обогащение ее атомами Mg. Эти изменения наблюдаются до $D = 5 \cdot 10^{16}$ см⁻².

После прогрева при $T = 1100$ К поверхностные слои полностью кристаллизуются. При этом на поверхности MgO формируется монокристаллическая пленка Mg толщиной 5 – 6 Å, кристаллизованная в кубическую решетку. Между пленками MgO и Mg образуется переходной слой с толщиной ~ 20 – 25 Å, что в 4 – 5 раз больше толщины пленки Mg. В случае лазерного отжига толщина пленки Mg увеличивается до 8 – 10 Å, а толщина переходного слоя резко сужается и не превышает 5 – 10 Å. Однако при этой дозе, при оптимальной плотности энергии лазерного отжига не наблюдается полной однородной кристаллизации приповерхностных слоев, особенно на границе Mg/MgO. Дальнейший рост W приводит к испарению Mg с поверхности. Поэтому после лазерного отжига проводился кратковременный прогрев при $T = 1000 - 1100$ К. Разложение MgO при электронной бомбардировке происходит начиная с плотности тока 80 – 100 мкА/см².

О МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЕ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА

В.В. Углов¹⁾, Н.Т. Квасов²⁾, И.Л. Дорошевич²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

В последние годы ферромагнитные наночастицы стали объектом пристального внимания специалистов, разрабатывающих системы записи и хранения информации нового поколения. Однако, кристаллографическая структура и физические свойства этих объектов изучены крайне слабо (несмотря на большое количество публикаций по этой теме, начиная с работ Е.И. Кондорского, 1952 г.). Такая ситуация связана в первую очередь с отсутствием достоверных экспериментальных методик, позволяющих анализировать образцы таких размеров. В связи с этим наиболее эффективным средством исследования недоступных эксперименту объектов является компьютерное моделирование.

В настоящей работе представлены результаты исследования распределения намагниченности \vec{m} по объему ферромагнитных наночастиц в зависимости от радиуса R в отсутствие внешнего магнитного поля. Установлены область однородного намагничивания, характеризующаяся критическим радиусом a и распределение величины \vec{m} по объему наночастицы с учетом специфических свойств «дефектного» слоя. Обсуждается вопрос о возможном нарушении принципа Неймана в сферических наночастицах.

При анализе равновесного магнитного состояния рассматривалась полная магнитная энергия, в состав которой кроме обменной и дипольной составляющих входят энергии объемной E_V и поверхностной E_S магнитной анизотропий:

$$E_V = \int_V w_V(\vec{r}, \vec{m}) dx dy dz \quad \text{и} \quad E_S = \oint_S w_S(r, \vec{m}) dS,$$

где w_V и w_S – плотности соответствующих энергий.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАПЕЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ
ЛАЗЕРНОГО ЭРОЗИОННОГО ФАКЕЛА ПРИ НАНЕСЕНИИ
ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ МЕТОДОМ
ИЛО

А.А. Лозован, С.С. Александрова, С.В. Прищепов, Д.В. Чулков
ФГБОУВПО «МАТИ – РГТУ имени К.Э. Циолковского», Москва, РФ

Импульсное лазерное осаждение (ИЛО) позволяет очень точно управлять толщиной покрытия, производить напыление при низкой температуре подложки, напылять нанокристаллические и аморфные пленки с хорошей структурой. Для нанесения покрытий на внутренние поверхности длинных (порядка 1 м) труб малого диаметра (10-20 мм) по своим параметрам метод ИЛО не имеет альтернативы.

Вместе с тем главным недостатком ИЛО является генерация при испарении большинства металлов, полупроводников и диэлектриков в эрозионном факеле вместе с ионами и нейтральными атомами разного рода и размера частиц (капель, твердых частиц и кластеров). Для управления структурой формируемого покрытия необходимо контролировать генерацию этих частиц, во многих случаях считая ее недопустимой. Так наличие крупных частиц в осаждаемом потоке делает невозможным формирование качественных наноструктур, в то время как наличие кластеров или мелких частиц наноразмера иногда допустимо или даже желательно. При этом следует подчеркнуть, что параметры этих частиц (размеры, скорости перемещения, угловые распределения и др.), генерируемых указанными методами, существенно различаются.

В работе приводятся результаты исследований капельной компоненты эрозионного факела, осажденной на подложку при нанесении покрытий на внутренние поверхности труб. Анализ параметров капельной компоненты проводился с помощью разработанного программного комплекса, позволяющего автоматизировать процесс исследований.

ОБ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РОЛИ ДИФфуЗИИ И ИМПУЛЬСОВ ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ

Л.К. Израилева, Э.Н. Руманов
Институт структурной макрокинетики
и проблем материаловедения РАН
Черноголовка, РФ

Ранее [1] мы рассмотрели образование кластеров внедренных атомов и сопутствующие химические реакции в областях растягивающих напряжений. Подобные области могут возникать и вблизи треков частиц высокой энергии. При этом быстрый подъем температуры до нескольких тысяч градусов в треке ~ 10 nm [2] вызовет распространение импульсов сжатия в кристалл, которые за время $\sim 10^{-12}$ s сменяются импульсами растяжения. Здесь теоретически исследована роль этих импульсов и диффузии в процессах кластеризации смещенных облучением атомов. В результате возникает вывод, что «насыщение» кластеризации, обнаруженное в [2] по насыщению фотолюминесценции кластеров Si при дозе $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, может быть связано с перекрытием треков при этой дозе. В этом случае отдельные импульсы не образуются и, таким образом влияя на кластеризацию должны более медленные процессы диффузии.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Израилева Л.К., Руманов Э.Н.. Тезисы XLI Международной конференции ФВЗЧК, 2011, с.111.
- 2 Качурин Г.А., Черкова С.ГЧДШ. и др. ФТП. 2011. т.45, в.10, с.1363.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕРМОДЕСОРБЦИИ МОЛЕКУЛ ПОВЕРХНОСТИ ОКИСЛЕННОГО
ВОЛЬФРАМА

Г.Т. Рахманов¹⁾, И.М. Сайдумаров²⁾

¹⁾АН РУз, институт электроники, Ташкент, Узбекистан

²⁾ТГТУ, Ташкент, Узбекистан

Изучение поверхностной ионизации (ПИ) многоатомных частиц существенно расширяет представление как о самом явлении ПИ, так и существенно увеличивала возможности его практического использования, выявление основных закономерностей явления. Однако, при исследовании ПИ органических молекул обычно регистрируют ионных компонент термодесорбции. А выяснение термодесорбции нейтральных компонент порой остается недостаточно изученным. Для выяснение полной картины явления ПИ многоатомных частиц и происходящих гетерогенных реакций адсорбированных молекул необходимо знать и термодесорбции нейтральных компонент.

Эксперименты проводились в установке масс-спектрометрической регистрации ионных токов с давлением остаточных газов $p \sim 2 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$. Потоки частиц формировались из Кнудсеновской ячейки и направлялись в центральную часть эмиттера. Общее время измерения при каждой температуре не превышало 15-20 с. Температура рабочей части ленты определялась при помощи микрометра ВИМП-015М. Для снижения фоновых токов источник ионов охлаждался жидким азотом, т. е. Был использован «черная камера».

В настоящей работе приведены результаты исследования адсорбции, гетерогенных реакций молекул со сложной структурой, наряду с термодесорбции ионных компонент определены кинетических характеристики термодесорбции нейтральных частиц при адсорбции молекулы имипирамина, амитритилина, новокаина, лидокаина и тетроэтиламмоний хлорида на поверхности окисленного вольфрама.

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА КРЕМНИЙ-КОБАЛЬТ

М.В. Гомоюнова, Г.С. Гребенюк, И.И. Пронин
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт Петербург, Россия

В последние годы в связи с бурным развитием спинтроники повысился интерес к исследованию многослойных магнитных структур типа $(\text{Co/Si})_n$. Качество создаваемых на основе этих структур приборов во многом определяется резкостью межфазовых границ Co/Si и Si/Co . Однако если диффузионным процессам, протекающим в области интерфейса Co/Si , уделялось достаточно много внимания, фазовый состав и строение интерфейса Si/Co до сих пор остаются неизученными. В настоящей работе мы попытались восполнить этот пробел и впервые исследовали закономерности образования данного интерфейса как при нанесении сверхтонких слоев кремния на тонкую пленку кобальта, находящуюся при комнатной температуре, так и при отжиге этой слоистой структуры. Эксперименты проводились в условиях сверхвысокого вакуума (1×10^{-10} Торр) с помощью методов электронной оже-спектроскопии, дифракции медленных электронов, и фотоэлектронной спектроскопии высокого энергетического разрешения с использованием синхротронного излучения. В работе исследовались также магнитные свойства интерфейса, которые анализировались *in situ* методом магнитного линейного дихроизма в фотоэмиссии $\text{Co } 3p$ электронов. Показано, что диффузия атомов Si в пленку Co, протекающая при малых покрытиях, приводит к последовательному формированию сверхтонких слоев силицидов кобальта с монотонно уменьшающимся содержанием металла. Так, например, нанесение 3.6 \AA Si приводит к образованию «сэндвича», состоящего из слоев ферромагнитного силицида Co_3Si и немагнитных фаз Co_2Si и CoSi , толщина которых равна соответственно 5 \AA , 4.5 \AA и 0.8 \AA . Определена область термической стабильности ферромагнитной фазы, и показано, что она лимитируется трансформацией Co_3Si в немагнитные силициды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-02-00632) и Российско-Германской лаборатории в HZB BESSY.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ
ГЕРМАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ДЭНЭ

Ниматов С.Ж., Шакаров Ф.

Ташкентский государственный технический университет им.А.Р. Беруни,
Ташкент, Узбекистан

Эпитаксиальные структуры Ge на Si широко используются в современной опто-и микроэлектронике (фотодетекторы с квантовыми ямами, селективно легированные полевые транзисторы с n-и p-каналами и др.). В связи с тенденцией к сверхминиатюризации в электронной промышленности растет интерес к получению легированных пленок нано-и субнанометрового диапазона. Наиболее перспективным методом создания таких структур является твердофазная эпитаксия (ТФЭ). Методом дифракции электронов низких энергий с прецизионным измерением отношения интенсивностей рефлекса и фона (ДЭНЭ Р/Ф) определено влияние основных параметров приготовления подложек Si(111), напыления и отжига тонких (≈ 2 нм) α -Ge слоев на структурное совершенство выращенных эпитаксиальных пленок. Целью работы является определение оптимальных технологических режимов предэпитаксиальной подготовки подложек Si(111) *in situ* и термической ТФЭ Ge, обеспечивающих наилучшее структурное совершенство эпитаксиальных пленок нанометрового диапазона. Проведенные исследования показали, что наиболее совершенные в структурном отношении тонкие (порядка нескольких нанометров) покрытия Ge на Si(111) получались, когда производился кратковременное термическое травление подложки в сверхвысоком вакууме, ионная обработка с последующим высокотемпературным отжигом, затем напыление Ge из калиброванной навески и высокотемпературный быстрый отжиг аморфной пленки германия. Несмотря на то, что если даже для самых лучших покрытий Ge на Si(111) доля упорядоченной части эпитаксиальных структур не превышает несколько десятков процента, это все же больше чем для исходной подложки.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Стр.

А

Абади Г.	133
Абдрашитов С.В.	64
Абдувайитов А.А.	93, 96, 105, 179
Агафонов Ю.А.	82
Азомоза Р.	75,150
Александров В.А.	26, 27, 28
Александрова С.С.	182
Алексеев В.И.	44
Алехнович В.Н.	169
Алов Н.В.	98
Амрастанов А.Н.	13
Андреев А.А.	136
Андреев В.В.	94
Андреев Д.В.	97
Андрианова Н.Н.	76, 117, 118
Арустамов В.Н.	109, 176
Асташинский В.М.	131, 132, 134, 159, 161
Атабаев Б.Г.	106, 107, 108, 114, 121,122
Атабаев И.Г.	107
Афанасьев В.П.	46
Ахмеджанов М.Р.	177
Ашурупов Х.Б.	109, 176

Б

Бажанов Д.И.	101
Бажин А.И.	73
Байтмиров Д.Р.	169
Бакаев А.В.	89
Бакланов Д.А.	69, 70
Балакшин Ю.В.	147
Барайшук С.М.	168
Басков В.А.	17
Бекетов В.Г.	108
Белкова Ю.А.	15
Березнеев Д.В.	141
Березнеева Е.В.	139, 140, 141, 142
Бетц Г.	102

Бибик Н.В.	159
Биржевой Г.А.	148
Блажевич С.В.	58, 59, 60
Бобрович О.Г.	152
Богатырев Ю.В.	162
Богданов М.Р.	16
Богданов О.В.	23, 64
Богданов Р.И.	16
Болтаев Х.Х.	178
Бондаренко Г.Г.	94
Бордулев Ю.С.	146
Борисов А.М.	76, 117, 118, 155, 170, 171
Борисов В.В.	118
Бочек Г.Л.	68
Брикуля Е.Ю.	124
Бронский В.С.	82
Бугай А.Н.	143
Буназаров Д.	180
В	
Валиков Р.А.	125
Валько Н.	155
Васильев Г.П.	36
Васютин М.С.	94
Вахний Т.В.	174
Вершинин Г.А.	104, 174
Верхотуров С.В.	113
Винаков А.О.	69
Виноградов А.В.	171
Виргильев Ю.С.	76, 117, 118
Вирюс А.А.	95
Вишневский Р.	85, 86, 111
Внуков И.Е.	69, 70
Волков Н.В.	124, 125, 126
Володин В.А.	129
Волошин В.К.	36
Востриков В.Г.	155, 170, 171
Вохмянина К.А.	12
Высоцкий В.И.	4, 32, 34, 50
Высоцкий М.В.	32

Г

Гаранин Г.В.	22, 146
Геринг Г.И.	81, 104
Гиро А.В.	165
Гинзгеймер С.А.	13
Гирянский В.Н.	106, 107, 108, 114
Гладких Ю.П.	58, 59, 60
Головач Г.П.	33, 50
Голубков С.А.	147
Гомоюнова М.В.	185
Горбунова О.А.	62
Грабчиков С.С.	162
Гребенюк Г.С.	185
Гременок В.Ф.	156
Григорьев П.Ю.	74, 89
Гришин В.К.	45

Д

Дабагов С. Б.	13
Данелян Л.С.	157
Данилов Ю.А.	88
Деев А.С.	36, 68
Джаббарганов Р.	107, 108, 121, 122
Джемилев Н.Х.	113
Джураев Ш.Х.	175
Диденко П.И.	92
Дидык А.Ю.	85, 86, 111
Дмитриев В.Г.	94
Дмитриевский А.А.	135
Данаев С.Б.	177
Донаев С.Б.	179
Дорожко А.В.	154
Доронин Д.О.	81
Доросевич И.Л.	131, 181

Е

Евтеева Н.А.	22
Егоров Н.Н.	147
Ермаков Ю.А.	136
Ермоленко А.А.	73
Ефименко С.В.	50
Ефременко Д.С.	46

Ефремова Н.Ю.	135
Ж	
Жукова П.Н.	12, 61, 62
Журкин Е.Е.	74,89
З	
Затекин В.В	151, 157
Захарец М.И.	143
Зимин А.М.	151
Зиненко В.И.	82
Зияев Б.	107
Злоцкий С.В.	133
Зырянов С.С.	1149, 169, 172, 173
И	
Иванов В.С.	69
Иванов Д.А.	46
Иванов Ю.Ф.	163
Иванова С.В.	139,140,141, 142
Иешкин А.Е.	136
Израилева Л.К.	183
Иррибарра Э.Ф.	12, 44
Исаханов З.А.	87, 145
Й	
Йе Наинг Тун	91
К	
Кабышев А.В.	164
Кадменский А.Г.	39
Кадыров Х.Х	109, 176
Казаков А.В.	7
Казанцев Д.Ю.	106, 114
Калин А.В.	163
Калин Б.А.	125
Каминская Т.П.	95
Камышан А.С.	165
Капля П.С.	46
Карабешкин К.В.	83
Карасёв П.А.	83
Кашкаров Л.Л.	82
Квасов Н.Т.	131, 134, 181
Ким В.В.	17
Киприч С.К.	36
Кириллин И.В.	35
Китов В.Ю.	84

Климов А.В.	153
Коваль Н.Н.	142, 163
Коварский А.П.	106, 114
Ковивчак В.С.	80, 81
Козлов В.А.	9
Козловский В.В.	9
Койдан В.С.	157
Кокухин П.П.	104
Конусов Ф.В.	164
Корнилова А.А.	4
Корнич Г.В.	31, 73, 102
Коробова Ю.Г.	101
Король В.И.	75, 150
Косырев П.А.	135
Кощеев В.П.,	21
Крамченков А.Б.	143
Краснов Д.Н.	10
Кренинг М.Х.	139
Кривицкий С.Е.	151
Кристя В.И.	91
Крит Б.Л.	171
Кружалов А.В.	149, 172
Крутилина Е.А.	161
Кубанкин А.С.	12, 44
Кудактин Р.С.	132
Кудияров В.Н.	99, 139
Кудрявцев Ю.А.	75, 150
Кузнецов М.В.	172
Кузьмицкий А.М.	131, 132, 159, 161
Кулешов А.К.	161
Куликаускас В.С.	85, 86, 111, 144, 151, 156, 157, 160, 168
Кунашенко Ю.П.	6, 66
Куприянова Т.А.	14
Купцов С.Г.	173
Курбанов Н.А.	100
Курбанов М.К.	121, 122
Курбатов Д.И.	153
Курзина И.А.	174
Л	
Лактионова С.А.	69, 70
Лаптев Р.С.	146
Ластовский С.В.	131, 162

Латушкин С.Т.	157
Лебедев А.А.	107
Левшунова В.Л.	18
Лесневский Л.Н.	170
Ле Тхи Хоай	12,61
Лидер А.М.	22, 99, 139, 141, 142, 146
Лобко А.С.	57
Ловцов А.Р.	135
Лозован А.А.	182
Лубенченко А.В.	46
Лучков Б.И.	17
Лысова Г.В.	148
Лысова И.В.	79, 103
Ляховецкий М.А.	170

М

Мавлянов Б.Б.	180
Максимов С.Е.	113, 123
Максюта Н.В.	33, 34, 50
Мақунин А.Н.	144
Мальшевский В.С.	7
Маслов Н.И.	36, 51, 68
Машкова Е.С.	76, 117, 118
Миникаев Л.Р.	14
Миржалилова М.А.	178
Мисевич О.В.	57
Михайлов А.Н.	103
Михайлов К.А.	80
Михайлов Ф.Н.	28
Михалкович О.М.	137
Моргун Д.А.	21
Муминов Р.Ч.	178
Мурадкабилов Д.М.	100
Мухин С.В.	166
Мухтаров З.Э.	87

Н

Нажмудинов Р.М.	12, 44
Нагорных С.Н.	20
Назаркулова К.У.	121
Насонов Н.Н.	12, 44, 61
Насонова В.А.	62
Наумов С.В.	36
Нерябова В.С.	43

Нешов Ф. Г.	149, 169, 172, 173
Никитенко В.А.	166
Никитин Д.П.	45
Николаев Д.А.	106, 114
Ниматов С.Ж.	90, 112, 186
Новиков Н.В.	77, 78
Нормурадов М.Т.	100
Носков А.В.	58, 59, 60
Носов Н.В.	119, 120

О

Образцов С.М.	148
Овчинник В.Д.	36
Оксенгендлер Б.Л.	123
Олейников И.В.	124
Опанасюк А.С.	153

П

Павленков В.И.	20
Панкратов П.В.	162
Панова Т.В.	80, 81
Парилис Э.С.	84
Патракеев А.С.	136, 147
Пермухамедова М.А.	114
Петров В.Б.	157
Петров Д.В.	76, 144
Петух А.Н.	165
Петухов В.П.	53
Петухов Ю.А.	131, 132, 163
Пивоваров Ю.Л.	23, 64
Питиримова Е.А.	76, 88
Подсвиров О.А.	158
Покотило Ю.М.	165
Полезенко К.Н.	104
Полянский В.В.	44
Пономарев А. Г.	153
Поплавский В.В.	154
Попов В.П.	129
Потин С.М.	36
Похил Г.П.	5, 12, 18, 19
Привезенцев В.В.	144
Прищепов С.В.	182
Пронин И.И.	185
Пустовит А.Н.	110

Путрик А.Б.	144
Пушилина Н.С.	22, 99, 139, 141, 142
Пяткевич А.Г.	162

Р

Раззоков У.Н.	87, 145
Расулов А.М.	30
Рахимов А.М.	167, 175
Рахманов Г.Т	184
Ремнев Г.Е.	141, 164
Ровбуть А.Ю.	133
Романов А.В.	94
Романовский Е.А.	155, 170, 171
Рузибаева М.К.	96, 105, 145, 179
Руманов Э.Н.	183
Руми Д.С.	112
Русецкий А.С.	10
Рысбаев А.А.	167, 175
Рысбаев А.С.	167, 175
Рябухин О.В.	149, 169, 172, 173
Рязанов А.И.	157

С

Сабиров А.С.	29, 49
Савушкина С.В.	171
Саидханова Н.Г.	122
Сайдумаров И.М.	184
Самойлов В.Н.	119, 120
Самсонов А.М.	24
Сарайкин В.В.	82
Севостьянова В.С.	117, 118
Серба П.В.	7
Сергиенко В.И.	44
Серушкин С.В.	151
Сигфуссон Т.И.	10
Сидоров А.И.	158
Силенко А.Я.	11
Силкин В.М.	10
Сильванович Д.А.	156
Солдатенко Е.А.	122
Соловьев И.В.	97
Солодкий Д.М.	168
Солодухин И.А.	133
Соломко В.В.	113

Стаценко В.И.	125
Стельмах В.Г.	30
Степанов А.В.	25, 79
Степович М.А.	13, 14, 95
Столяров А.А.	97
Сторижко В.Е.	143
Стоюхин С.Г.	166
Суслов А.И.	174
Сыщенко В.В.	43
Т	
Тангишев Р.Р.	14
Тарасов Е.Е.	104
Ташатов А.К.	180
Ташлыклов И.С.	137, 138, 152, 156
Ташлыкова-Бушкевич И.И.	168, 169
Ташмухамедова Д.А.	100, 178, 180
Теплова Я.А.	15, 77, 78
Терентьев Д.А.	89
Тересов А.Д.	163
Тетельбаум Д.И.	18
Тешев Р.Ш.	160
Тимофеев М.А.	118
Титов А.И.	83
Ткаченко Н.В.	155, 170, 171
Толмачёв А. И.	116
Трофименко С.В.	8
Трутень В.И.	35
Тугаенко В.Ю.	17
Тулъев В.В.	138
Туляков Н.Ю.	100, 101
Тураев Н.Ю.	123
Тураева Н.	123
Туровец А.И.	152
Тухфатуллин Т.А	64
Тысченко И.Е.	129, 130
Тюрин В.Н.	170
Тюрин Ю.И.	10
У	
Углов В.В.	131, 133, 134, 162, 181
Умирзаков Б.Е.	87, 100, 145, 177, 178
Унежев В.Н.	157
Урунов А.	108

Ф

Файнберг Ю.А.	78
Федоров А.А.	57
Фикс Е. И.	23
Филиппов Г.М.	24, 25, 26, 27, 49
Филиппов М.Н.	14
Фокин А.С.	21

Х

Хабло В.А.	17
Хамдохов А.З.	160
Хамдохов З.М.	160
Холмухамедова В.Х.	177
Хрипунов Б.И.	157
Худойкулов И.Х.	109, 176
Хужаниёзов Ж.Б.	167, 175

Ч

Черданцев Ю.П.	141, 142
Чердынцев В.В.	5
Черенда Н.Н.	134, 159
Чернов И.П.	7, 139, 140, 141, 142
Черных П.Н.	144, 160
Черныш В.С.	4, 136, 147
Чертопалов С.В.	73
Чеченин Н.Г.	3, 39
Чулков Д.В.	182
Чумак В.А.	154
Чуманов В.Я.	39
Чураев Д.В.	158

Ш

Шакаров Ф.	186
Шамшидинов М.К.	180
Шарапов В.М.	151
Шаропов У.Б.	121, 122
Шаркеев Ю.П.	174
Шатохин Р.А.	69,70
Шемухин А.А.	144, 147
Шепелевич В.Г.	169
Шилобреева С.Н.	82
Шиманский В.И.	134
Шипко М.Н.	95

Широкоград Д. В.	31
Шпет Ю.В.	66
Штанов Ю.Н.	21
Шуклинов А.В.	135
Шулепов И.А.	140
Шулика М.Ю.	36
Шульга В.И.	102, 117
Шульга Н.Ф.	8, 35, 43
Щ	
Щагин А.В.	67
Ю	
Юзикаева Ф.Р.	108
Юсупов Т.	90
Я	
Ядгаров И.Д.	30
Яковенко Ю.С.	168
Якубов Ж.А.	177
Яловенко В.И.	36
Яшин А.С.	125
А	
Abdelmalik T.G.	56
Abo-Neima S.E.	38
Ali F.M.	38
В	
Badawi M.S.	52, 54, 55
Bogdanov O.V	63, 65
Д	
Deng H.	48
Diab S.M.	52
Djurabekova F.	115
Е	
el-Akad F.	38
el-Khatib A.M.	38, 52, 54
el-Mallah E.A.	52, 54
Elzaher M.A.	55
Г	
Gouda M.M.	54
К	
Karaseov P.A.	115
Korotchenko K.B.	47
Kovalev G.V.	37
Kuronen A.	115

M	
Motaweh H.A.	38, 56
N	
Nafee S.S.	52, 54
Naumenko G.A.	48
Nordlund K.	115
P	
Pivovarov Yu.L.	47, 63
Potylitsyn A.P.	48
S	
Sakr A.A.	38,55,56
Shevelev M.V.	48
Shkitov D.A.	48
T	
Takabayashi Yu.	47, 63
Thabet A.A.	55
Titov A.I.	115
Tukhfatullin T.A.	47, 63
U	
Ullah M.W.	115
W	
Wang X.	48

Научное издание

Тезисы докладов XLI международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами

Под общей редакцией проф. М.И. Панасюка

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

Редактор А.И. Пчелко