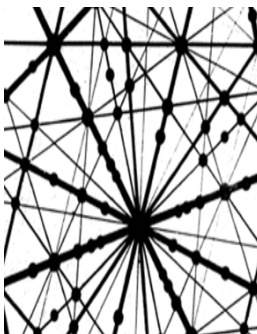


*Конференция посвящается
300-летию со дня рождения
великого русского учёного
Михаила Васильевича Ломоносова*

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

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

(Москва 31 мая – 2 июня 2011)



Москва 2011

УДК 539.1.01.08

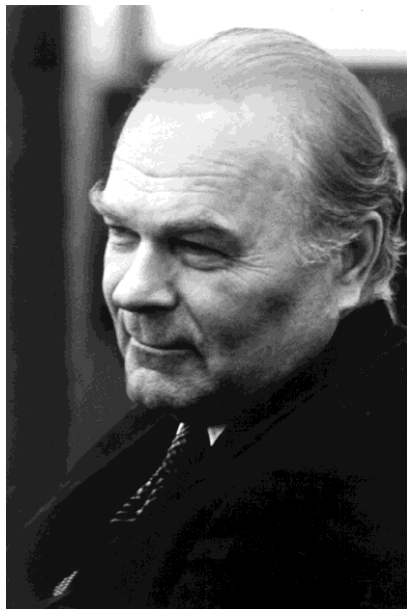
ББК 22.37.

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 XLI международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами / Под ред. проф. М.И. Панасюка. – М.: Университетская книга, 2011. – 211 с.
Сборник содержит тезисы докладов, отобранные оргкомитетом для представления на конференции.

Анатолий Филиппович Тулинов
(24.09.1924 – 17.01.2011)



Не стало Анатолия Филипповича Тулинова – выдающегося учёного-физика, основателя и бессменного председателя сорока предыдущих Конференций.

Анатолий Филиппович Тулинов родился 24 сентября 1924 года в Алтайском крае в большом сибирском селе Смоленское недалеко от Бийска. Его родители учительствовали. По поручению Наркомпроса отец организовывал в разных местах новые спецшколы для глухонемых детей, в связи, с чем семья несколько раз меняла место жительства. Будучи ребенком, Анатолий Филиппович жил некоторое время в небольшом городке Бердске (около Новосибирска). Через несколько десятков лет на этом месте был построен Институт ядерной физики Сибирского отделения АН. В тридцатые годы он в течение двух лет обучался в школе-интернате им. С.Т.Шацкого, которая располагалась в лесу около небольшого разъезда Обнинское Киевской ж.д. После войны как раз на месте этой школы был создан Физико-энергетический институт ядерного профиля, построена первая атомная электростанция и вырос город Обнинск. Непосредственно перед войной он жил в Серпухове, вблизи того места, где позже был построен 76 ГэВ ускоритель и был создан Институт физики высоких энергий. По

этому поводу Анатолий Филиппович любил шутить, что с ядерной физикой у него не просто профессиональная, но и какая-то мистическая связь.

Анатолий Филиппович относился к тому поколению, которое было опалено войной в самой жестокой степени. Годы призыва в армию более старшего поколения пришлось на начало войны, когда большие группы наших солдат попадали в плен. Призывники 1923 и 24 годов попали в полосу самых ожесточенных боев. Известно, что мужчин 1924 года рождения после войны в живых осталось не более 6 %.

Первый раз Анатолий Филиппович столкнулся с войной практически сразу после ее начала, будучи еще школьником. В первых числах июля 1941 года в Серпухове по линии комсомола были созданы из школьников старших классов отряды, которые были направлены в Брянскую и Смоленскую области на рытье противотанковых рвов. Работали по 12-14 часов в сутки. Немцы неоднократно бомбили детей-строителей, были потери. Все это продолжалось до начала октября, когда началось известное наступление немцев на Москву. Уходили практически вместе с отступающими войсками.

Затем было продолжение учебы, окончание средней школы, призыв в армию, учеба в пехотном училище, фронт, госпитали. Анатолий Филиппович непосредственно участвовал в боях на III Белорусском фронте. Сначала он был командиром взвода минометчиков, а затем взвода разведчиков. Бои шли за освобождение Белоруссии, Литвы, операции в восточной Пруссии. При штурме Кенигсберга Анатолий Филиппович был ранен и конец войны встретил в госпитале.

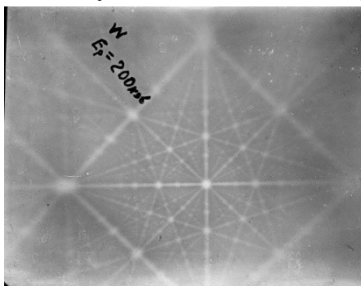
После демобилизации из армии в 1946 году Анатолий Филиппович поступил на физический факультет. Окончил факультет с отличием, после чего в 1952-55 был в аспирантуре (ядерное отделение, кафедра ускорителей, лаборатория ядерных реакций, руководитель - доцент С.С.Васильев). В диссертации, защищенной в 1955, им был разработан оригинальный для того времени метод исследования возбужденных состояний атомных ядер по углу вылета ядер отдачи.

После окончания аспирантуры в 1957-58 г.г. Анатолий Филиппович предложил и разработал полностью оригинальный метод измерения времени жизни возбужденных состояний ядер по отношению к γ -переходам, чувствительный к диапазону времен 10^{-12} - 10^{-14} сек.

Анатолия Филипповича постоянно занимал вопрос, как создать метод, с помощью которого можно было продвигаться на несколько порядков в сторону меньших значений времен и тем самым начать прямые измерения времени (τ) протекания ядерных реакций с испусканием не только γ -квантов, но и нуклонов. В 1964 у Анатолия Филипповича возникла плодотворная идея такого метода, связанная с использованием монокристаллов.

Если в качестве мишени использовать монокристалл, то в угловых распределениях продуктов реакций в направлении цепочек ядер должны возникать некоторые особенности - тени. Цепочка закрывает путь частицам в направлении оси кристалла. Форма теней должна зависеть от того, насколько составное ядро отошло от цепочки в поперечном направлении к ней. Скорость составного ядра известна из законов сохранения, поэтому его сдвиг определяется временем жизни составного ядра. Таким образом, если фиксировать форму тени, то можно извлекать из нее значение τ .

Оказалось, что до того времени эффект образования тени в угловом распределении продуктов реакции никто не наблюдал. Анатолий Филиппович первый выполнил ряд работ по их наблюдению и изучению. Работа по обнаружению эффекта теней была впоследствии зарегистрирована как открытие (№ 54 в Госреестре). Важно подчеркнуть, что открытие было сделано не путем осмысления обнаруженного экспериментально явления, а путем



предсказания, что заряженная частица, вылетающая из атома, находящегося в узле кристаллической решетки, не может двигаться в направлении атомной цепочки (плоскости), ее путь закрыт, должна быть тень в этом направлении. Эксперимент, специально, целенаправленно поставленный на 120 сантиметровом циклотроне, подтвердил это предсказанное явление. На рисунке показана картина теней, полученная на фотопластинке в широком угловом диапазоне (протонограмма). Хорошо видны тени и от цепочек атомов и от плоскостей.

Далее эта работа развивалась по двум направлениям. С одной стороны, усилия были направлены на реализацию идеи определения времени протекания ядерных реакций, а с другой, обнаружение эффекта теней позволило решать много интересных задач, связанных с прохождением заряженных частиц через монокристаллы и с вопросами физики твердого тела.

Результатом многолетней работы по первому направлению стало создание метода определения ультрамалых значений τ в ядерных реакциях (10^{-15} - 10^{-18} сек). Метод стали использовать во многих лабораториях разных стран. Возникло по существу новое направление - изучение того, как ядерная реакция протекает в реальном времени. Ранее временные характеристики определялись из энергетической ширины функции возбуждения реакции.

Наиболее эффективным использование нового метода оказалось в случае деления тяжелых ядер. Был проведен значительный цикл исследований деления ядер U^{235} и U^{238} под действием быстрых нейтронов (3-12 МэВ).

Еще более богатая информация о временных характеристиках деления была получена в реакциях с заряженными частицами. Всего было изучено деление около 20 тяжелых ядер, получена важная для физики деления информация и дополнительное указание на двугорбый характер барьера деления. Получены интересные новые данные о вязкости ядерного вещества в делящихся ядрах.

По направлению, связанному с взаимодействием заряженных частиц с веществом, также получены интересные результаты. Сформировалось новое научное направление - протонография, позволяющее изучать структуру кристаллов. Наиболее важная область применения протонографии - изучение тонких приповерхностных слоев кристаллов, их структуры, степени совершенства, количество и тип дефектов решетки, положение примесных атомов в ячейке кристалла.

Впервые на тонких кристаллах проведено исследование элементарного акта взаимодействия частицы, движущейся в кристалле вдоль кристаллографического направления. Этот акт - рассеяние на одной цепочке атомов.

Развит метод так называемого обратного рассеяния ионов на кристаллах, позволяющий изучать структуру, стехиометрический состав, динамические свойства тонких слоев. Уникальной особенностью этого метода является возможность исследовать свойства тонких слоев, лежащих на разных расстояниях от поверхности, без разрушения образца. Это объясняется тем, что, в отличие от электронов, для тяжелых заряженных частиц (p, d, α и т.д.) многократное рассеяние и разброс по энергиям на фиксированной глубине малы, поэтому имеется четкая связь между потерей энергии и пройденным расстоянием.

Впервые продемонстрирована интересная возможность увеличения выхода ядерных реакций путем помещения бомбардируемых ядер в каналы кристаллических мишеней. Исследования интенсивно продолжаются, круг вопросов, которые изучаются с помощью ориентационных методов, непрерывно расширяется.

В 1966 г. Анатолий Филиппович защитил докторскую диссертацию, в 1968 г. утвержден в звании профессора. Впоследствии в результате слияния трех кафедр образовалась кафедра физики атомного ядра. Анатолий Филиппович был заместителем заведующего кафедрой, а с 1973 г. - заведующим кафедрой.

Будучи заведующим кафедрой, Анатолий Филиппович одновременно в течение многих лет руководил отделом физики атомного ядра - крупнейшим отделом НИИЯФ. В 1991 г., в связи с существующими возрастными ограничениями на занятие административных должностей, Анатолий

Филиппович перешел по отделению на должность профессора кафедры, а по институту на должность главного научного сотрудника.

Среди учеников Анатолия Филипповича девять человек защитили докторские диссертации, свыше 40 - кандидатские. Сформировалась научная школа Анатолия Филипповича по физике взаимодействия частиц с кристаллами, получившая широкое признание среди специалистов ведущих стран. Неослабевающий успех имеет традиционная ежегодная международная конференция по физике взаимодействия частиц с кристаллами, в которой принимают участие ученые из разных стран ближнего и дальнего зарубежья и уже давно среди специалистов называется “тулиновской”. К огромному сожалению нынешняя конференция проходит без ее основателя.

Научная активность Анатолия Филипповича, как личная, так и связанная с работой большого научного коллектива, - не единственное поле его деятельности.

В течение всего времени после окончания университета он работал со студентами. Когда Анатолий Филиппович был еще аспирантом, он читал лекции по общей физике в МИИТе. После аспирантуры, работая старшим научным сотрудником НИИЯФ, читал лекции для студентов МАИ.

И до самого последнего времени, несмотря на почтенный возраст, Анатолий Филиппович продолжал читать лекции студентам ядерного отделения физфака. При этом он, как в молодости, легко осваивал совершенно новые для себя области физики: физику твердого тела, космофизику и т.п.

Обширен масштаб разнообразной общественной и научно-организационной работы Анатолия Филипповича, выходящей за рамки кафедры и лаборатории. В течение многих лет он был заместителем председателя Совета АН СССР по приложению методов ядерной физики в смежных областях. Этот Совет возглавлялся академиком Г.Н. Флеровым. Одновременно Анатолий Филиппович был председателем секции пучковых методов в этом Совете. По инициативе Анатолия Филипповича традиционно, раз в 2 года в течение более 20 лет, проводился Российско-японский симпозиум по взаимодействию частиц с твердым телом, сопредседателем Оргкомитета которого с российской стороны неизменно являлся Анатолий Филиппович.

Много лет Анатолий Филиппович был председателем комиссии по открытиям при Госкомитете по открытиям и изобретениям. Свыше 20 лет он работал редактором раздела «Ядерные реакции» в журнале ВИНТИ.

Внутри Университета общественная деятельность Анатолия Филипповича была не менее обширной. Еще в студенческие годы он был секретарем комсомольской организации физического факультета. Позже был секретарем парткома факультета, членом парткома МГУ. В парткоме МГУ он в течение ряда лет возглавлял комиссию по координации научной работы в

Университете. Анатолий Филиппович относился к категории ученых - энтузиастов, обладающих широким кругозором и разнообразными интересами.

Боевые и трудовые заслуги Анатолия Филипповича получили высокую оценку. Он - кавалер многих правительственных наград, Лауреат Государственной премии, Ломоносовской премии I-ой степени.

Мы все скорбим в связи с уходом Анатолия Филипповича из жизни. Нам всегда будет его не хватать.

Секция I

ФИЗИКА ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

31 мая, вторник, 10³⁰ – 12⁰⁰

1 утреннее заседание

Председатель М.И. Панасюк

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

- 1 **Н.Г. Чеченин, А.Г. Кадменский, Х.А. Мотавех, М.И. Панасюк.** Воздействие высокоэнергетичных космических протонов на элементы бортовой аппаратуры космических аппаратов. (15 мин) 3
- 4 **Н.Ф. Шульга, А.В. Козлов, В.А. Черкасский.** Формирование зонной структуры уровней энергии поперечного движения заряженных частиц при каналировании. (15 мин) 4
- 5 **В.И. Высоцкий, А.А. Корнилова, Н.Н. Сысоев, В.И. Томак.** Особенности автомодельного взаимодействия ударно-акустических и рентгеновских волн на поверхности мишени и в воздухе при управляемой кавитации воды. (15 мин) 5
- 6 **В.Л. Левшунова, Г.П. Похил, Д.И. Тетельбаум.** Границы зерен и дислокаций, как проводники эффекта дальнего действия. (15 мин) 6

12⁰⁰ – 12³⁰ обсуждение стендовых докладов

31 мая, вторник, 12³⁰ – 14⁰⁰

II утреннее заседание

Председатель Г.П. Похил

1. **В.С. Малышевский, А.В. Казаков.** О динамических эффектах в радужном рассеянии ионов поверхностью кристалла. (15 мин) 7
2. **В.А. Александров, А.М. Самсонов.** Структуризация молекул водорода при заполнении УНТ. (15 мин) 8
3. **А.А. Ермоленко, Г.В. Корнич, С.Г. Буга.** Молекулярно-динамическое моделирование низкоэнергетического взаимодействия эндофулеренов $Cu_N@C_{60}$ с поверхностью кристалла меди. (15 мин) 9
4. **Г.М. Филиппов.** Оценка поляризационного и радиационного вкладов в торможение быстрой частицы в цилиндрическом диэлектрике. (15 мин) 10

5. **В.П. Кошечев, Д.А. Моргун, Т.А. Панина, Ю.Н. Штанов.** Влияние квантовых флуктуаций на движение релятивистских протонов в кристаллах. (15 мин) 11

14⁰⁰ – 15⁰⁰ перерыв на обед

Стендовые доклады

1. **В.В. Андреев, М.С. Васютин, А.М. Михальков.** Регистрация радиационных излучений сенсорами на основе мдп-структур с наноразмерными диэлектрическими слоями. 12
2. **А. А. Бабаев, С. Б. Дабагов.** Отклонение релятивистских ядер свинца изогнутым кристаллом: компьютерный эксперимент. 13
3. **Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова.** Неравновесные зарядовые состояния ионов азота при прохождении через пленки углерода. 14
4. **Н.В. Новиков.** Описание захвата электрона многоэлектронными ионами 15
5. **Р.И. Богданов, М.Р. Богданов, П.С. Кузин.** опережающие и запаздывающие потенциалы в слабодиссипативной КАМ. 16
6. **Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, А.Ю. Азов, Г.П. Похил.** Характеристики изменения состояния дефектной системы кремния при ионном, фотонном и термическом воздействиях. 17
7. **Д.И. Тетельбаум, В.Л. Левшунова, Ю.А. Дудин, П.Н. Черных, Г.П. Похил.** Зависимость эффекта аномального переноса примеси от концентрации дислокаций. 18
8. **Г.П. Похил.** Модель угловых осцилляций пучка на выходе из капилляра. 19
9. **Г.П. Похил, В.В. Чердынцев.** Причина отличия перехода нагрев-охлаждение в плоскостном и осевом каналах. 20
10. **К.А. Вохмянина, П.Н. Жукова, Н.Н. Насонов, Г.П. Похил.** О бесконтактном прохождении ионов через диэлектрические каналы. 21
11. **П.В. Серба.** Излучение, инициируемое процессами перезарядки. 22

12. **П.В. Серба, Ю.Ф. Блинов.** Перезарядка при столкновении многозарядных ионов низкой энергии. 23
13. **В.А. Александров, Г.М. Филиппов.** Исследование перестройки атома водорода при движении параллельно стенке УНТ. 24
14. **И.В. Лысова, А.С. Сабиров, Г.М. Филиппов.** Переходы в атоме при движении вблизи поверхности УНТ. 25
15. **И.В. Лысова, А.В. Степанов.** Переход от режима каналирования к деканалированию при движении частицы вблизи поверхности УНТ. 26
16. **А.С. Сабиров.** Расчет энергетических потерь заряженных частиц при движении вблизи нанотрубки в рамках диэлектрического формализма. 27
17. **И.В. Лысова.** Фокусировка каналирующих частиц в хиральных УНТ. 28
18. **З.А. Исаханов, Б.Е. Умирзаков, М.К. Рузibaева, С. Донаев.** Влияние разупорядочения поверхности на потери энергии ионов, прошедших через тонкие пленки Si. 29
19. **Н.В. Максютa, В.П. Кощеев, Т.А. Панина.** Обоснование использования дифференциальных уравнений дробного порядка в теории деканалирования с помощью ланжевеновского похода. 30.
20. **Н.В. Максютa, В.И. Высоцкий, Г.П. Головач.** Особенности каналирования заряженных частиц в высокоиндексных плоскостях и осях кристаллов со структурой цинковой обманки. 31.
21. **В.И.Высоцкий, В.М. Руденький.** Возбуждение движущихся ионов или ядер при произвольном законе ускорения или торможении в силовых полях и мишенях. 32.
22. **В.И. Высоцкий, С.В. Адаменко, М.В. Высоцкий.** Подбарьерное взаимодействие каналируемых частиц с ядрами матрицы при автомоделном возбуждении коррелированных состояний в периодически деформированном кристалле. 33.

23. **В.И.Высоцкий, П.Родионов.** Механизм и особенности ускоренной деактивации пучков возбужденных и радиоактивных частиц в резонаторных и волноводных системах. 34.
24. **Н.В. Бондаренко.** Ядерное рассеяние при объемном отражении 35.
25. **И.В. Кириллин, Н.Ф. Шульга, В.И. Трутень.** Особенности стохастического механизма отклонения заряженных частиц с энергией 1-10 ГэВ изогнутыми кристаллами. 36.
26. **G.V. Kovalev.** Incoherent scattering of relativistic particles in a bent crystal. 37.
27. **Л. Л. Балашова.** Метод связанных кинетических уравнений в теории диссоциации быстрых молекулярных ионов в тонких пленках. 38.
28. **А.Я. Силенко.** Влияние релятивистских эффектов на динамику поляризации частиц со спином $S \geq 1$ при плоскостном каналировании и измерение их квадрупольных моментов. 39.

Секция II**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ТВЁРДОМ
ТЕЛЕ****31 мая, вторник, 15⁰⁰ – 16³⁰****I вечернее заседание****Председатель Н.Ф. Шульга**

1. **Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, З.А. Кабилов, С.А. Лактионова, Ф.Т. Лам, А.В. Селищева, Ч.Т. Та, Р.А. Шатохин.** Оценка размеров микроблоков в мозаичных кристаллах по характеристикам излучения быстрых электронов. (15 мин) 43
2. **В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский, Н.Ф. Шульга.** Некогерентное излучение быстрых электронов в изогнутом кристалле. (15 мин) 44
3. **В.И. Алексеев, П.Н. Жукова, Э. Иррибарра, А.С. Кубанкин, М.С. Ладных, Н.Н. Насонов, Р.М. Нажмудинов, В.И. Сергиенко.** Экспериментальное исследование распределения микроблоков мозаичного кристалла по углам ориентации на основе рассеяния широкополосного рентгеновского излучения. (15 мин) 45
4. **А.Э. Мясникова, Э.Н. Мясников, И.С.Зуев.** К вопросу о микротеоории эффекта Вавилова – Черенкова. (15 мин) 46
5. **К.Б. Коротченко, Ю.П. Кунашенко.** Образование e^+e^- пар релятивистской каналирующей частицей. (15 мин) 47

16³⁰ – 17⁰⁰ обсуждение стендовых докладов

31 мая, вторник, 17⁰⁰ – 18⁴⁵II вечернее заседаниеПредседатель Н.Н. Насонов

1. **К.Б. Коротченко, Ю.Л. Пивоваров.** Особенности спектрального и углового распределений излучения при плоскостном каналировании электронов в кристаллах С и Si с учетом дисперсии. (15 мин) 48
2. **В.В. Каплин, С.Р. Углов.** Неоднородный фотонный кристалл как острофокусный источник излучения быстрых электронов. (15 мин) 49
3. **С.Р. Углов.** К измерению кратности прохождения электронного пучка бетатрона через тонкую внутреннюю мишень. (15 мин) 50
4. **В.И.Высоцкий, М.В. Высоцкий.** Условия генерации рентгеновского черенковского излучения при движении зарядов в реальных средах. (15 мин) 51
5. **Г.Л. Бочек, А.С. Деев, Н.И. Маслов.** Об измерении энергетических распределений тормозного излучения с использованием комптоновского рассеяния. (15 мин) 52
6. **В.А. Басков, В.В. Ким, Б.И. Лучков, В.Ю. Тугаенко, В.А. Хабло.** Зависимость отклика спектрометра, регистрирующего электромагнитные ливни от электронов с энергией 28 ГэВ от температуры кристаллического конвертора. (15 мин) 53

Стендовые доклады

1. **Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Ю.В. Жандармов, С.А. Лактионова, П.Н. Растовцев, А.В. Селищева, Р.А. Шатохин.** Измерение спектров излучения быстрых электронов в кристаллах с помощью кристалл-дифракционных спектрометров на основе мозаичных кристаллов. 54
2. **Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, С.А. Лактионова, А.В. Селищева, Ч.Т. Та, Р.А. Шатохин.** Влияние размеров микроблоков на когерентные электромагнитные процессы в мозаичных кристаллах. 55

3. **С.В. Блажевич, И.В. Колосова, А.В. Носков.** Когерентное рентгеновское излучение вдоль скорости релятивистского электрона в искусственной периодической структуре. 56
4. **С.В. Блажевич, И.В. Колосова, А.В. Носков.** Дифрагированное переходное излучение релятивистского электрона в искусственной периодической структуре. 57
5. **О.А. Горбунова, П.Н. Жукова, Н.Н. Насонов.** О возможности рентгенодиагностики формы зерен в наноматериалах. 58
6. **Т.А. Куприянова, О.И. Лямина, Л.Р. Миникаев, Р.Р. Тангишев, М.А. Степович, М.Н. Филиппов.** Влияние зарядки диэлектрической мишени, облучаемой киловольтными электронами, на возбуждаемый в ней сигнал рентгеновского излучения. 59
7. **Ю.П. Кунашенко.** Поляризация когерентного тормозного излучения электронов при осевой ориентации в кристалле. 60
8. **Ю.П. Кунашенко, Ю.В. Шпет.** Комптоновское рассеяние фотона на каналированном позитроне. 61
9. **О.В. Богданов, Ю.Л. Пивоваров, Е. И. Фикс.** Угловое распределение черенковского излучения релятивистских тяжелых ионов с учетом торможения: изотопический эффект. 62
10. **О.В. Богданов, Ю.Л. Пивоваров, Т.А. Тухфатуллин, С.В. Абдрашитов.** Каналирование электронов с энергией 255 МэВ в кристалле кремния. 63
11. **А.С. Гоголев, В.Н. Забаев, А.П. Потылицын, С.В. Разин, Н.А. Тимченко, С.Р. Углов.** Обратное переходное излучение электронов в области мягкого рентгена. 64
12. **В.В.Каплин, С.Р.Углов.** Каналирование электронов с энергией 20-35 МэВ в сверхтолстых кристаллах кремния. 65
13. **В.В. Каплин, С.Р. Углов.** генерация излучения электронами с энергией 15-35 МэВ в периодических рентгеновских зеркалах. 66

14. **Г.Л. Бочек, А.С. Деев, Н.И. Маслов.** Энергетические и угловые характеристики тормозного излучения электронов для различных конверторов. 67
15. **Н.Ф. Шульга, В.И. Тругень.** Когерентное тормозное излучение релятивистскими электронами в кристаллах при ультрабольшой энергии (предложения для ЦЕРН). 68
16. **Н.Ф. Шульга, С.В. Трофименко, В.В. Сыщенко.** Эффекты предволновой зоны в тормозном и переходном излучении электрона с неравновесным полем. 69
17. **А.Н. Поляков, М. Noltemeyer, J. Christen, T. Hempel, М.А. Степович.** Катодолюминесцентные исследования латерального транспорта экситонов в нитриде галлия 70
18. **Д.А. Веригин, А. Науменко, А.П. Потылицын, Л.Г. Сухих, А. Aryshev, А. Araki, М. Fukuda, J. Urakawa, Р. Karataev.** Компактный источник мягкого рентгеновского излучения на базе томсоновского рассеяния когерентного дифракционного излучения. 71
19. **В.К. Гришин, Д.П. Никитин.** Атомный аналог фото-ядерного конфигурационного расщепления. 72
20. **В.П. Петухов.** Рентгеновские поверхностные волны, генерируемые в процессе резонансного когерентного возбуждения (РКВ) релятивистских ионов в кристаллах. 73

Секция III**РАССЕЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ
ЧАСТИЦ****1 июня, среда, 10⁰⁰ - 11³⁰****I утреннее заседание****Председатель В.С. Черныш**

1. **Г.В. Корнич, Г. Бетц, В.И. Шульга, Вал. Г. Корнич.** Механизмы распыления кластеров меди на поверхности графита низкоэнергетическими димерами Cu_2 . (15 мин) 77
2. **И.С. Ташлыков, А.И.Туровец.** Элементный состав и свойства поверхности графита, облученного ионами ксенона. (15мин) 78
3. **В.К. Егоров, Г.А. Емельчинко, А.А. Жохов, А.С. Артемов.** Изучение степени совершенства кристаллов SiC, приготовленных простым и модифицированным методом леви. (15 мин) 79
4. **В.С. Авилкина, Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, В.С. Куликаускас, Е.С. Машкова, Е.А. Питиримова.** Исследование пленок, получаемых при ионно-лучевом распылении углерод-керамического композита (15 мин) 80
5. **Ю.А. Файнберг, Я.А. Теплова, Н.В. Новиков.** Энергетическое и зарядовое распределение атомов гелия, отраженных от поверхности меди при скользящем падении. (15 мин) 81

11³⁰ – 12¹⁵ обсуждение стендовых докладов**1 июня, среда, 12¹⁵ – 14⁰⁰****II утреннее заседание****Председатель А.М. Борисов**

1. **Т.В. Панова, В.С. Ковивчак.** Формирование наноструктурированного углерода на облучаемых мощным ионным пучком стальных мишеней. (15 мин) 82
2. **В.В. Козловский, В.В. Емцев, А.М. Иванов, А.А. Лебедев, Г.А. Оганесян, Н.Б. Строкан.** Роль атомов отдачи в формировании радиационных дефектов при

- облучении кремния протонами мэвных энергий. (15 мин) 83
3. **О.А. Подсвиров, К.В. Карабешкин, В.С. Беляков, А.Я. Виноградов, Н.Н. Карасёв, А.И. Титов, П.А. Карасёв.** Воздействие атомарного и кластерного облучения на механические свойства алмазоподобных пленок. (15 мин) 84
 4. **А.В. Рогов, Ю.В. Мартыненко, Н.Е. Белова, В.И. Шульга.** Влияние текстуры молибдена и вольфрама на угловые распределения атомов при магнетронном распылении. (15 мин) 85
 5. **Е.А. Андреев, К.Ф. Миннебаев, Д.В. Петров, А.С. Патракеев, В.С. Черныш, А.А. Шемухин.** Угловые распределения частиц, распыленных из никель-палладиевых сплавов. (15 мин) 86
 6. **А.А. Андреев, Ю.А. Ермаков, А.Е. Иешкин, А.С. Патракеев, В.С. Черныш.** Ускоритель газовых кластерных ионов. (15 мин) 87

14⁰⁰ – 15⁰⁰ перерыв на обед

Стендовые доклады

1. **И.В. Боровицкая, Л.С. Данелян, В.В. Затекин, Л.И. Иванов, С.Н. Коршунов, В.С. Куликаускас, М.М. Ляховицкий, А.Н. Мансурова, В.В. Парамонова.** О некоторых особенностях взаимодействия ионов Ag^+ с ванадием и сплавами на его основе. 88
2. **Н.А. Панькин.** Моделирование ионной бомбардировки кластеров титана: Случай центрального удара. 89
3. **А. И. Толмачев.** Угловое распределение отраженных ионов при наклонном падении на мишень. 90
4. **С.Е. Максимов, Б.Л. Оксенгендлер, Н.Ю. Тураев.** Синергетика распыления материалов при ионной бомбардировке. 91
5. **Э.Д. Ядгаров, В.Г. Стельмах.** Эффективные углы падения для распыления димерами меди. 92
6. **Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов.** Вторичная ионная эмиссия при бомбардировке фталоцианина кластерными ионами Au_m . 93

7. **Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов.** К вопросу об использовании кластерных бомбардирующих ионов для ВИМС анализа кремния. 94
8. **З.А. Исаханов, Б.Е. Умирзаков, З.Э. Мухтаров, Р. Курбанов, С. Донаев.** Влияние ионной имплантации и термической активировки на эмиссию отрицательных ионов из Мо. 95
9. **А.А.Абдуванов, З.А.Исаханов, Б.Е.Умирзаков, Т.Кадыров.** Применение ЭОС для исследования локализации примесных атомов на поверхности кристалла. 96
10. **В.С. Авилкина, Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Ю.С. Виргильев, Е.С. Машкова, В.И. Шульга.** Исследование физического распыления углерод-керамического композита ионной бомбардировкой. 97
11. **А.Н. Пустовит.** Изменения состава приповерхностного слоя кремния при распылении ионными пучками кислорода и цезия. 98
12. **П.Ю. Григорьев, Е.Е. Журкин.** Моделирование распыления поверхности (111) Si и Al при бомбардировке многоатомными кластерами методом классической молекулярной динамики. 99
13. **В.Н. Самойлов, Н.Ю. Туляков.** О формировании двух максимумов в дифференциальных энергоспектрах атомов, эмитированных с грани (001) Au. 100
14. **Н.Ю. Туляков, В.Н. Самойлов.** О скрытых факторах при эмиссии атомов с поверхности грани (001) Ni. 101
15. **Е.А. Питиримова, Ю.А. Данилов.** Изучение структуры пленок Sr, облученных ионами Ag^+ . 102
16. **В.С. Беляков, К.В. Карабешкин, П.А. Карасёв, А.И. Титов.** Развитие топографии поверхности GaN при облучении атомарными и небольшими кластерными ионами. 103
17. **В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, К.А. Михайлов.** Морфологические изменения в поликристаллическом висмуте при воздействии мощного ионного пучка. 104

18. **В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, О.В. Кривоzubов, Н.А. Давлеткильдеев.** Повреждение монокристаллического кремния при воздействии мощного ионного пучка наносекундной длительности. 105
19. **Б.А. Калинин, Н.В. Волков, М.О. Курилкин, С.Ю. Лучкин С.Е. Сабо.** Эрозия поверхности образцов Ti, Fe, Cu, Mo, W при высоких температурах под облучением пучками ионов He^+ и Ag^+ с широким энергетическим спектром. 106
20. **Н.И. Маслов.** Имитация радиационного воздействия на полупроводниковые координатные детекторы с помощью ускоренных электронов и тормозного излучения. 107
21. **А.А. Ефремов, П.И. Диденко.** Проблемы МСВИ диагностики нанообъектов на поверхности и в объёме твердотельных матриц. 108
22. **Г.В. Лысова, Г.А. Биржевой.** Кинетика радиационного упрочнения стали ЭП-823 после облучения ионами Ni^{++} , отжига и повторного облучения. 109
23. **М.В. Гомоюнова, Г.С. Гребенюк, И.И. Пронин.** Начальные стадии формирования на кремнии сплава Гейслера на основе кобальта. 110
24. **Л.К. Израилева, Э.Н. Руманов.** Влияние сегрегации на другие физико-химические процессы в имплантированных слоях. 111

Секция IV**МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ****1 июня, среда, 15⁰⁰ – 16³⁰****1 вечернее заседание****Председатель В.В. Углов**

1. **А.С. Патракеев, Д.В. Петров М.В. Роман, П.Н. Черных, В.С. Черныш, А.А. Шемухин.** Исследование нанослойных структур с помощью спектрометрии рассеяния ионов средних энергий. (15 мин) 115
2. **И.В. Боровицкая, П.В. Горшков, А.Ю. Дидык, Л.И. Иванов, В.С.Каликаукас, В.Я.Никулин** Проникновение ионов дейтерия и распределение атомов водорода по глубине в металлических фольгах при воздействии импульсов плазменного фокуса ПФ-4. (15 мин) 116
И.В. Боровицкая, П.В. Горшков, А.Ю. Дидык, Л.И. Иванов, В.С.Каликаукас, В.Я.Никулин. Перераспределение имплантированного дейтерия из фольг при воздействии импульсов плазменного фокуса ПФ-4. (Объединённый доклад – 20 мин) 117
3. **Ю.В. Балакшин, С.А. Голубков, Н.Н. Егоров, И.А. Иванов, А.С. Патракеев, Д.В. Петров, В.С. Черныш, А.А. Шемухин.** Модификация свойств структуры «кремний-на-сапфире» методом ионной имплантации. (15 мин) 118
4. **В.М. Асташинский, Н.Т. Квасов, Ю.А. Петухов, А.В. Пунько, В.В. Углов.** Фотовольтаический эффект в легированном кремнии, обработанном компрессионной плазмой. 119
5. **А.К. Даулетбекова, А.Т. Акилбеков, М.В. Здоровец, Е.В. Бихерт, А. Мухышбаева.** Агрегационные процессы и наноструктурирование в кристаллах LiF, облученных ионами 150 МэВ ⁸⁴Kr. (15 мин) 120

16³⁰ – 17¹⁵ - Обсуждение стендовых докладов.

1 июня, среда, 17¹⁵ – 18⁴⁵II вечернее заседаниеПредседатель И.С. Ташлыков

1. **Н.Н. Черенда, Н.В. Бибик, В.В. Углов, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий.** Влияние мощности компрессионного плазменного потока на структурно-фазовое состояние эвтектического силумина. (15 мин) 121
В.В. Углов, А.К. Кулешов, Е.А. Солдатенко, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий. Фазообразование в твердом сплаве и системе «молибденовое покрытие – твердый сплав» в результате воздействия компрессионными плазменными потоками. (Объединённый доклад – 20 мин) 122
2. **А.М. Борисов, В.Г. Востриков, В.С. Кулискаускас, Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко.** Определение концентрации водорода в наводороженных гафнии, цирконии и титане методами резерфордовского и ядерного обратного рассеяния протонов. (15 мин) 123
А.М. Борисов, В.Г. Востриков, В.В. Затекин, С.В. Иванова, В.С. Куликаускас, Л.Н. Лесневский, М.А. Ляховецкий, Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко, В.Н. Тюрин. Применение спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов для исследования защитных покрытий на циркониевых изделиях. (Объединённый доклад – 20 мин) 124
3. **А.М. Борисов, С.Я. Бецофен, В.Г. Востриков, Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко, Б.В. Владимиров, А.В.Эпельфельд.** Исследование композиционных керамических покрытий на цирконеом сплаве, полученных при плазменном воздействии в электролитах. (15 мин) 125
4. **И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, Н.С. Пушилина, А.М. Лидер, С.В. Иванова, Е.В.Березнеева, Н.А.Евтеева.** Защитные свойства модифицированной поверхности циркониевого сплава Э110 от проникновения водорода в объём. (15 мин) 126
5. **И.И. Ташлыкова-Бушкевич.** Распределение элементов и поведение водорода в быстрозатвердевшем алюминии. (15 мин) 127

И.И. Ташлыкова-Бушкевич, О.В. Рябухин, Ф.Г. Нешов, О.В. Падерина, В.Г. Шепелевич. Глубинное распределение элементов и захват водорода в быстрозатвердевших сплавах AL-FE. (15 мин)

128

Стендовые доклады

1. **В.В. Углов, В.И. Шиманский, Н.Н. Черенда, Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов, А.Д. Тересов, Е.В. Концевой.** Формирование твердых растворов в системе цирконий-титан воздействием интенсивных импульсных электронных пучков. 129
2. **В.М. Асташинский, И.Л. Дорошевич, Н.Т. Квасов, Ю.А. Петухов, В.В. Углов.** Радиационная стойкость наноразмерных ферромагнитных элементов памяти. 130
3. **В.В. Углов, Н.Т. Квасов, Ю.А. Петухов, Р.С. Кудактин, Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов, А.Д. Тересов, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий.** Структура и фазовый состав системы «титан-кремний», модифицированной сильноточными электронными пучками и компрессионными плазменными потоками. 131
4. **В.П. Попов, Л.Н. Сафронов, О.В. Наумова, Ю.Н. Пальянов, И.Н. Куприянов, П.Н. Черных, Г.П. Похил.** Легированные фосфором слои монокристаллов алмаза, полученные ионной имплантацией и отжигом при высоких давлениях-температуре. 132
5. **А.М. Борисов, В.Г. Востриков, Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко, П.Н. Белкин, И.Г. Дьяков.** Применение спектromетрии ЯОР протонов для изучения анодной цементации малоуглеродистых сталей. 133
6. **Г.А. Вершинин, Т.С. Грекова, Г.И. Геринг, И.А. Курзина, Ю.П. Шаркеев.** Анализ формирования концентрационных полей в металлах при имплантации через осаждаемую на поверхность мишени газометаллическую пленку. 134
7. **В.К. Егоров, В.И. Андрейчук, А.Д. Мокрушин, Л.А. Песин.** Изучение эффекта поверхностной радиационной карбонизации пленки поливинилиденфторида. 135

8. **Г.А. Распопова, В.Л. Арбузов.** Захват имплантированного дейтерия на нановыделениях в сталях. 136
9. **В.Б. Выходец, Т.Е. Куренных, Н.Ю. Таренкова.** Исследование генезиса промышленных газосодержащих дефектов титановых сплавов с помощью методики ядерного микроанализа. 137
10. **С.С. Зырянов, А.П. Селиванов, О.В. Рябухин, Ф.Г. Нешов.** Йодная коррозия металлов при облучении. 138
11. **Д.И. Курбатов, А.Б. Крамченков, М.И. Захарец, А.В. Климов.** Исследование содержания марганца в пленках твердых растворов типа $A_2(1-x)Mn_xB_6$ методом резерфордского обратного рассеяния. 139
12. **А.Г. Пономарев, Д.В. Магилин, К.И. Мельник, А.В. Романенко, В.И. Мирошниченко, В.Е. Сторижко.** Исследование распределения элементного состава конструкционных материалов при помощи ядерного сканирующего микрозонда. 140
13. **Н.И. Маслов.** Детектирующие модули на основе неохлаждаемых планарных кремниевых детекторов для физического эксперимента и прикладных применений. 141
14. **Г.А. Вершинин, Т.С. Грекова, Ю.П. Шаркеев, И.А. Курзина.** Анализ формирования концентрационных профилей имплантируемых ионов в металлах при воздействии пучками вакуумно-дуговых источников. 142
15. **Н.С. Пушилина, И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, О.М. Степанова, С.В. Иванова.** Структурные свойства сплава Э110 модифицированного импульсным электронным пучком 143
16. **А.В. Кабышев, Ф.В. Конусов, С.Н. Ложников, Г.Е. Ремнев, М.С. Салтымаков.** Осаждение пленок арсенида галлия ионной абляцией и их термическая и химическая пассивация. 144
17. **Н.А. Евтеева, Ю.П. Черданцев, А.М. Лидер, Г.В. Гаранин, Н.С. Пушилина.** Моделирование диффузионного перераспределения водорода в титане методом конечных разностей. 145

18. **Ю.М. Покотило, А.Н. Петух, А.В. Гиро, А.С. Камышан.** Модификация электрофизических свойств приповерхностных слоев германия при воздействии ионов водорода. 146
19. **О.М. Михалкович, В.Е. Гусаков, И.С. Ташлыков.** Массоперенос в кремнии элементов Со покрытия, нанесенного при ассистировании собственными ионами. 147
20. **Н.В. Алов, Д.М. Куцко.** Изменение состава поверхности высшего оксида вольфрама при бомбардировке ионами He^+ . 148
21. **В.А. Никитенко, С.Г. Стоюхин, С.В. Мухин.** Роль лития в формировании оптических и электрофизических свойств облученных и имплантированных слоев ZnO . 149

2 июня, четверг, 10⁰⁰ – 11³⁰

I утреннее заседание

Председатель В.С. Куликаускас

1. **И.Е. Тыщенко, В.А. Володин.** Формирование пленок пористого кремния на изоляторе имплантацией больших доз ионов водорода. (15 мин) 150
2. **В.В. Левенец, А.А. Щур, Б.М. Широков.** Определение профилей распределения бора и углерода в соединении B_4C , полученном методом CVD. (15 мин) 151
3. **Б.А. Бедулин, Д.М. Жигунов, Д.Э. Османова, А.С. Патракеев, В.Ю. Тимошенко, В.С. Черныш, А.А. Шемухин.** Оптоэлектронные свойства кремниевых наноструктур, созданных ионной имплантацией. (15 мин) 152
4. **А.И. Туровец, Д.А. Сильванович, В.С. Куликаускас, В.Ф. Гременок, И.С. Ташлыков.** Применение РОР для элементного анализа поглощающих слоев солнечных элементов, осажденных на стеклянную подложку (15 мин). 153

5. **В.С. Куликаускас, Д.В. Петров, П.Н. Черных, В.В. Привезенцев, А.А. Шемухин.** Формирование наночастиц в кремнии методом ионной имплантации цинка с последующим отжигом. 154
- 11³⁰ – 12¹⁵ – Обсуждение стендовых докладов.

Стендовые доклады

1. **В.М. Анищик, Н.Г. Валько, Н.И. Поляк, И.И. Алесчик.** Влияние отжига на структуру и свойства Zn-Ni покрытий, электроосажденных при воздействии рентгеновского излучения. 155
2. **Н.В. Волков, Б.А. Калинин, И.В. Олейников, Е.Ю. Бондаренко.** Изменение оптических свойств оксидных пленок, выращенных на ионно-модифицированной поверхности образцов Al, Ti, Zr, W, в инфракрасном диапазоне длин волн. 156
3. **Н.В. Волков, И.В. Олейников, Пью Вин Тхейн.** Изменение электросопротивления в зоне трибологического контакта в процессе Износа образцов сталей в режиме сухого трения. 157
4. **М.В. Коржик, А.С. Лобко, О.В. Мисевич, А.А. Федоров.** Быстродействующий детектор излучений рентгеновского диапазона. 158
5. **Б.А. Староверов, А.А. Вирюс, А.С. Помельникова, М.Н. Шипко, М.А. Степович.** Исследование влияния электронного облучения и слабых низкочастотных импульсных магнитных полей на физико-механические свойства металлов и прецизионных сплавов. 159
6. **В.И. Кристя.** Расчет зависимости от времени температуры поверхности электрода в катодном пятне нормального тлеющего разряда атмосферного давления. 160
7. **А.А. Стеляров, Д.В. Андреев, Д.С. Васютин.** Моделирование воздействия ионизирующих излучений на структуры металл-диэлектрик-полупроводник. 161

8. **Д.А. Ташмухамедова, А.К. Ташатов, Б.Б. Мавлонов, Ш.С.Толипов.** Влияние имплантации ионов на состав и свойства нанопленок CaF_2/Si (обзор). 162
9. **Д.А. Ташмухамедова, Х.Х. Курбанов, М.И. Махмудов, Н.Ахунов.** Удельное сопротивление наноразмерных фаз CoSi_2/Si , созданных ионной имплантацией. 163
10. **Б.Е.Умирзаков, М.Т. Нормурадов, Д.Буназаров, Б.Г. Пирматов.** Влияние длительных внешних воздействий на состав и структуру пленок BaSi_2/Si , созданных ионной имплантацией. 164
11. **Б.Е. Умирзаков, М.А. Миржалилова, В.Х. Холмухамедова, А.Б. Муминов.** Влияние лазерного облучения на профили распределения ионно-имплантированных образцов. 165
12. **Б.М. Абдурахманов, М.М. Адиллов., Х.Б. Ашуров, Ш.К. Кучканов, С.Е. Максимов, С.Ж. Ниматов.** Тепловольтаический эффект в поликристаллических плёнках кремния, полученных ионно-стимулированным осаждением. 166
13. **Д.Т. Усманов.** Поверхностно-ионизационная масс-спектрометрия многоатомных молекул. 167
14. **С.Ж. Ниматов, Д.С. Руми, Ф. Шакаров.** Сверхструктуры дифракции электронов низких энергий на поверхности $\text{Si}(111)$ при низко-энергетической ионной бомбардировке. 168
15. **И.М. Сайдумаров, Б.М. Максудов.** Исследование кинетики диссоциативной поверхностной ионизации многоатомных молекул. 169
16. **А.А. Дмитриевский, Н.Ю. Ефремова, А.Р. Ловцов, А.В. Умрихин.** Соотношение чувствительности электрических и механических характеристик кремния к низкоинтенсивному бета-облучению. 170
17. **Р.Ш. Тешев, З.М. Хамдохов, А.З. Хамдохов, В.С. Куликаускас, П.Н. Черных.** Особенности напыления пленок TiN вакуумно-дуговым методом. 171

Секция I

ФИЗИКА ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПРОТОНОВ И ИОНОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Н.Г. Чеченин¹⁾, А.Г. Кадменский¹⁾, Х. А. Мотавех²⁾, М.И. Панасюк¹⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾Александрийский университет, Александрия, Египет

Переход к новым технологическим стандартам микроэлектроники в масштабе глубоко субмикронных размеров и десятков нанометров сопровождается ростом операционных частот, числа и плотности активных элементов в чипах электроники, в том числе, космических аппаратов.

В докладе анализируются:

- современное представление о массовом, зарядовом и энергетическом составе космических лучей (КЛ) и распределениях компонентов КЛ в зависимости от расстояния от земной поверхности;
- основные механизмы мягких (восстанавливаемых) и жестких (необратимых) радиационных сбоев бортовой электроники космических аппаратов (БЭКА);
- концепция линейных энергетических потерь (ЛЭП) тяжелой компоненты КЛ при прохождении частиц через структуру СБИС;
- концепция чувствительного объема и критического заряда в мягких сбоях БЭКА;
- ограничения концепции ЛЭП при прогнозировании мягких сбоев БЭКА;
- возрастающая роль энергичных продуктов ядерных реакций при возрастании энергии первичных протонов и ионов КЛ;
- динамика масштабирования мягких сбоев современной микроэлектроники;
- развиваемые контрмеры для снижения вероятности сбоев электроники.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ПОПЕРЕЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ

Н.Ф. Шульга, А.В. Козлов, В.А. Черкасский
ИТФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

При движении быстрых заряженных частиц вблизи одной из плоскостей атомов кристалла существенными могут быть квантовые эффекты во взаимодействии частиц с полем плоскости атомов. В частности, существенным может быть эффект туннелирования частиц между различными каналами, образованными соседними плоскостями атомов. Расчет данного эффекта возможен с помощью спектрального метода. Данный метод широко используется в оптике для определения резонансных частот в волноводах и оптических жилах /1/. Спектральный метод был успешно применен в некоторых задачах каналирования заряженных частиц в кристалле /2,3/.

В представленной работе проведен анализ эффекта туннелирования заряженных частиц в поле плоскостей атомов кристалла. Полученные на основе спектрального метода результаты позволяют проследить формирование зонной структуры уровней поперечной энергии частицы, движущейся вблизи одной из плоскостей атомов, при учете взаимодействия с соседними плоскостями. Получена зависимость количества подуровней, на которые расщепляется каждый уровень энергии, от количества плоскостей атомов, с которыми взаимодействует частица.

ЛИТЕРАТУРА

1. Feit M.D. and Fleck J.A., Jr. // Appl. Optics, v. 19 (1980), 1154-64
2. Козлов А.В., Шульга Н.Ф., Черкасский В.А. // Вестник ХНУ с. «Ядра, частицы, поля», т. 899 (2010), с. 14-22
3. Kozlov A.V., Shul'ga N.F., Cherkaskiy V.A. // Phys. Lett. A, v. 374 (2010), 4690-94

ОСОБЕННОСТИ АВТОМОДЕЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНО-АКУСТИЧЕСКИХ И РЕНТГЕНОВСКИХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ МИШЕНИ И В ВОЗДУХЕ ПРИ УПРАВЛЯЕМОЙ КАВИТАЦИИ ВОДЫ

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

В. Андреев²⁾, Ю.В. Корнеева²⁾, Е.В. Солодов²⁾, Е.И. Хаит²⁾

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

²⁾МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва;

³⁾НИИ энергетического машиностроения при МГТУ (МВТУ)

им.Н.Э.Баумана, Москва

В работах /1-3/ обсуждались результаты исследований многоэтапного процесса генерации рентгеновского излучения, связанного с кавитацией в объеме струи воды, выходящей под большим давлением из диэлектрических или металлических каналов. Генерация рентгеновского излучения связана с нелинейным взаимодействием акустических ударных волн с поверхностью стенок канала.

В докладе рассмотрены результаты изучения процесса генерации высокочастотных ударных волн, образуемых в жидкости и в пространстве за пределами толстых стенок и экранов, и сопутствующего рентгеновского излучения. Показано, что существуют два основных механизма формирования таких волн: за счет непосредственного механического действия деформируемой поверхности и за счет поглощения в воздухе мягкого рентгеновского излучения, формируемого при ударном возбуждении или разрушении поверхности.

В докладе представлены амплитудно-частотные спектры ударных волн на поверхности мишени и в воздухе, а также спектры рентгеновского излучения при разных режимах кавитации воды и разных конфигурациях стенок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнилова А.А., Высоцкий В.И., Сысоев Н.Н., Десятов А.В. // Поверхность, 2009, №4, с. 17.
2. Корнилова А.А., Высоцкий В.И., Сысоев Н.Н., Литвин Н.К., Томак В.И., Барзов А.А.//Вестник МГУ (физика), 2010, №1, с.46.
3. Корнилова А.А., Высоцкий В.И., Сысоев Н.Н., Литвин Н.К., Томак В. И., Барзов А. А.//Поверхность, 2010, № 12, с. 53.

ГРАНИЦЫ ЗЕРЕН И ДИСЛОКАЦИИ КАК ПРОВОДНИКИ ЭФФЕКТА ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ

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

¹⁾НИФИ, Нижний Новгород, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Эффект дального действия (ЭД) исследуется уже в течение многих лет, и до сих пор не выяснена природа этого необычного явления. В работе [1] предложена реалистичная модель генерации упругого возбуждения за счет периодической перезарядки окисного слоя, который имеет пьезоэлектрические свойства. Но по-прежнему не ясен механизм передачи без потерь упругого возбуждения к обратной стороне образца. В настоящей работе предлагается такой механизм. В его основе лежит идея о волноводном эффекте линейных дислокаций при распространении гиперзвуковых волн. Дело в том, что в окрестности дислокаций плотность вещества понижена относительно плотности в объеме. Поэтому скорость звука в окрестности дислокации ниже, чем в объеме [2]. Оценки, сделанные по теории движения волны в слоистой среде [3] показывают, что порядка 10^{-3} от всей энергии сгенерированной в виде упругой сферически расходящейся волны захватывается в волновод. Интенсивность этой доли волны, доходящей до задней границы образца, на 5-6 порядков больше, чем без волноводного эффекта. Подчеркнем, что эффект перемещения дефектов усиливается также благодаря тому, что волна, идущая в волноводе, постоянно движется через область занятую дефектами атмосферы Котрелла.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Левшунова В.Л., Похил Г.П., Тетельбаум Д.И. // Тезисы докладов XL МКФВЗЧК, Москва, 25 мая – 27 мая 2010 Изд-во Моск. Университета. С. 40
2. Барабаненков Ю.Н., и др. // ЖЭТФ 129, 1, 131, (2006)
3. Виноградов М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. «Теория волн» (Москва, «Наука», 1990)

О ДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТАХ В РАДУЖНОМ РАССЕЯНИИ ИОНОВ ПОВЕРХНОСТЬЮ КРИСТАЛЛА

В.С. Малышевский, А.В. Казаков

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

В ряде недавних экспериментальных работ были обнаружены особенности в рассеянии ускоренных до энергии в несколько десятков кэВ нейтральных атомов от кристаллических поверхностей. Один из эффектов был описан в работе [1] и состоит в нетривиальной зависимости радужного угла рассеяния от полной энергии частиц, падающих на поверхность металлических и диэлектрических кристаллов. А именно, при фиксированной начальной поперечной энергии значение радужного угла рассеяния атомных частиц от металлической поверхности уменьшается с увеличением полной начальной энергии частиц. Эффект отсутствует при рассеянии атомов диэлектрическими поверхностями. Авторы [1] не дали объяснения обнаруженному эффекту, а лишь констатировали динамический характер взаимодействия атомов с поверхностью металлов. В настоящей работе показано, что указанные особенности могут быть объяснены, если учесть электронное торможение рассеиваемых атомов, которое оказывается существенным для металлических поверхностей. Существенным обстоятельством при этом является значение скорости рассеиваемых частиц, которая в условиях цитированных выше экспериментов сравнима со скоростью внутриатомных электронов. Как известно, в отличие от высокоэнергетической области удельные потери энергии в этом случае возрастают с ростом скорости частиц. Именно это обстоятельство и приводит к обнаруженному в [1] эффекту.

ЛИТЕРАТУРА

Schuller A., Winter H.// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 2009, V. B267, P. 2621.

СТРУКТУРИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛ ВОДОРОДА ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ УНТ

В.А. Александров¹⁾, А.М. Самсонов²⁾

¹⁾ Чувашский государственный университет

²⁾ Чувашский государственный педуниверситет

Моделирование структуризации молекул водорода при заполнении им УНТ связано с возрастающим с каждым годом интересом к поискам топлива альтернативного распространенному нефтяному. Все больше внимания уделяется водороду. В настоящее время он довольно успешно используется в космическом и воздушном транспорте, ограничение в его использовании связано с низкой безопасностью хранения и транспортировки водорода (см. например [1]). Структуризация- упорядочивание молекул внутри углеродной нанотрубки из-за специфического чередования атомов углерода (хиральности).

Использование квантово-химических пакетов и собственные расчеты позволяют обнаружить некоторые формы упорядочения молекул водорода как при их поочередном напуске в УНТ, так и при дальнейшем выпуске, удержании или накоплении в нанотрубке, закрытой с одного конца специальной крышкой в виде половины фуллерена. Впускаемый водород образует своеобразную цепь из молекул, вытянутую вдоль оси нанотрубки. При этом сами молекулы оказываются также ориентированными вдоль оси. Рассматриваются УНТ с различной хиральностью, приводится оценка наполняемости, увеличения длины и диаметра нанотрубок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахрушев А.В., Липанов А.М., Суетин М.В. // Моделирование процессов аккумуляции водорода и углеводов наноструктурами. РХД, 2008

ОЦЕНКА ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО И РАДИАЦИОННОГО ВКЛАДОВ В ТОРМОЖЕНИЕ БЫСТРОЙ ЧАСТИЦЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ

Г.М. Филиппов

Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского
государственного открытого университета

Диэлектрики, как правило, по-разному реагируют на внешние вихревые или потенциальные электромагнитные поля. В представлении Фурье поляризационные свойства однородных сред, вообще говоря, характеризуются продольной (потенциальной) и поперечной (вихревой) диэлектрическими проницаемостями, которые необязательно должны совпадать между собой. Ввиду своей линейности уравнения Максвелла допускают независимое рассмотрение вихревых и потенциальных полей в однородных средах. Применяя теорию к цилиндрическим или сферическим диэлектрикам, внедренным в некоторую однородную внешнюю среду с другими поляризационными характеристиками, следует уточнить процедуру разделения полей на вихревые и потенциальные, поскольку система становится неоднородной. В настоящей работе рассматривается движение точечной заряженной частицы в однородном диэлектрическом цилиндре круглого сечения радиуса a . Расчет выполнялся, в частности, с целью выяснения зависимости тормозной способности вещества от размеров микроэлементов, из которых оно состоит. Речь может идти о частицах вещества малых размеров (порядка микронных или нанометровых величин), что может быть достаточно важным в такой отрасли микроэлектроники, как фотоника. Результаты расчетов показывают, что в некоторых случаях зависимость тормозной способности от a представляется существенной для понимания всей совокупности явлений, вызываемых движением быстрых частиц в ограниченных диэлектриках. Внедрение неоднородностей в среду может значительно повлиять на ее поляризационную способность в некоторой области частот.

ВЛИЯНИЕ КВАНТОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ НА ДВИЖЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

В.П. Кощев, Д.А. Моргун, Т.А. Панина, Ю.Н. Штанов
ГОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры»,
Сургут, Россия

Влияние квантовых флуктуаций на движение релятивистских протонов в кристаллах рассмотрено в рамках квазиклассического подхода /1/, который является частным случаем более общей теории /2/. В докладе представлены результаты моделирования протонов с энергией 1 ГэВ в $\langle 110 \rangle$ осевом канале кристалла кремния. В модели учитывается как квантовомеханическая неопределенность поперечной энергии релятивистской частицы, так и многократное рассеяние этой частицы на электронах и ядрах атомов кристалла. Ядерный диффузионный коэффициент вычислялся в приближении Китагавы и Оцуки, а электронный диффузионный коэффициент — в приближении Линдхарда. Непрерывный потенциал периодически расположенных атомных цепочек вычислялся в приближении Мольер или Дойля-Тернера. Тепловые колебания атомов кристалла вычислялись с помощью фактора Дебая-Валлера. Результаты моделирования указывают на интенсивное реканалирование релятивистских протонов в осевые и плоскостные каналы, которое вызвано учетом квантовых флуктуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кощев В.П., Моргун Д.А., Панина Т.А. // Известия РАН. Серия физическая, 2009. Т. 73, №11, С. 1586–1590
2. Багров В., Белов В.В., Кондратьева М.Ф. // Теоретическая и математическая физика, 1994. Т.98, №1, С.48–55

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЭНДОФУЛЛЕРЕНОВ $Cu_N@C_{60}$ С ПОВЕРХНОСТЬЮ КРИСТАЛЛА
МЕДИ

А.А. Ермоленко¹⁾, Г.В. Корнич¹⁾, С.Г. Буга²⁾

¹⁾ Запорожский национальный технический университет,
Запорожье, Украина

²⁾ Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных ма-
териалов, Троицк, Московская обл., Россия

В рамках метода классической молекулярной динамики выполнено моделирование низкоэнергетического взаимодействия эндофуллеренов $Cu_N@C_{60}$ с поверхностью кристалла меди.

В качестве потенциалов взаимодействия были выбраны: многочастичный дальнедействующий потенциал AIREBO /1/ для описания взаимодействий между атомами углерода, многочастичный потенциал /2/ на основе модели погруженного атома для описания взаимодействия между атомами меди, потенциал Леннард-Джонса для описания взаимодействий медь-углерод.

Моделировалась нормальная бомбардировка поверхности меди эндофуллеренами с энергией поступательного движения от 0 (свободное осаждение) до 400 эВ и энергией вращательного движения от 0 до 100 эВ.

Выявлены наиболее благоприятные для внедрения фуллерена в подложку режимы бомбардировки. Обнаружены эффекты частичной и полной потери атомов инкапсулированного кластера при взаимодействии эндофуллерена с подложкой. Исследовано влияние вращения эндофуллерена на эффективность его внедрения в подложку.

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. Ackland G., Vitek V. // Physical Review B, 1990, V. 41, № 15, P. 10324.

РЕГИСТРАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ СЕНСОРАМИ НА ОСНОВЕ МДП-СТРУКТУР С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ

В.В. Андреев, М.С. Васютин, А.М. Михальков
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калужский филиал,
Калуга, Россия

В данной работе с использованием специального активного чувствительного элемента сенсора радиационных излучений на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) проведено изучение возможности регистрации радиационных излучений на основе анализа ионизационных процессов, протекающих в тонких наноразмерных диэлектрических слоях.

Исследования проводились с использованием облучения α -частицами, протонами и нейтронами. Экспериментальные образцы подробно описаны в [1].

Показано, что ионизационные процессы, протекающие в наноразмерных диэлектрических пленках МДП-структур, можно использовать для регистрации радиационных излучений. Наиболее эффективно эти процессы проявляются при воздействии заряженных частиц (α -частицы, протоны). Проведенные экспериментальные и теоретические исследования показали, что сенсоры радиоактивных излучений на основе МДП-структур могут найти применение для регистрации низкоэнергетических частиц, которые не регистрируются полупроводниковыми детекторами.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы ГК №П470.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.В., Бедняков А.А., Бондаренко, Кузнецов Н.В., Новиков Л.С., Соловьев, Столяров А.А., Лоскутов С.А. // Физика и химия обработки материалов, 2001, № 3. С.5-11.

ОТКЛОНЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР СВИНЦА ИЗОГНУТЫМ КРИСТАЛЛОМ: КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

А. А. Бабаев¹⁾, С. Б. Дабагов^{2, 3)}

¹⁾Томская лаборатория вычислительной физики,
Томск, Россия

²⁾INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italy

³⁾Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

Прохождение релятивистских ядер через изогнутый кристалл, когда ядра влетают в кристалл под малым углом к кристаллографическим плоскостям, моделировалось в приближении непрерывного потенциала. Внутри кристалла, вследствие взаимодействия с аксиальным электрическим полем, ядро может двигаться либо в режиме каналирования, либо в режиме квазиканалирования /1,2/. Траектории каналированных и квазиканалированных ядер качественно различаются, на чем основано использование изогнутых кристаллов для управления пучками заряженных частиц. В этом случае существенным может оказаться влияние реакций между ядрами кристалла и влетающими ядрами на характеристики выходящего пучка.

В работе проведено численное решение уравнений движения для каналированных и квазиканалированных 33 ТэВ ядер Pb, движущихся в тонком изогнутом кристалле Si. Получены угловые распределения выходящих из кристалла ядер. Разработанный компьютерный код может быть использован как для моделирования результатов проведенных экспериментов, например /3/, так и при планировании будущих экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Babaev A.A., Dabagov S.B. // in Book of Abstract, 4-th International Conference on Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena "Channeling-2010", 3-8 October 2010, Ferrara, Italy, p. 50.
2. Таратин А.М. // Физика элементарных частиц и атомного ядра, 1998, **29**, 5, 1063.
3. Arduini G. et. al. // Phys. Rev. Lett. 1997, **79**, 4182.

НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ АЗОТА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ПЛЕНКИ УГЛЕРОДА

Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Обсуждается установление зарядового равновесия ионов азота с различными начальными зарядами i_0 при прохождении частиц через тонкие пленки углерода. Скорость ионов N^{i+} составляла $8 \cdot 10^8$ см/с. На основе экспериментальных данных [1] предложена эмпирическая формула для среднего заряда ионов в зависимости от толщины мишени.

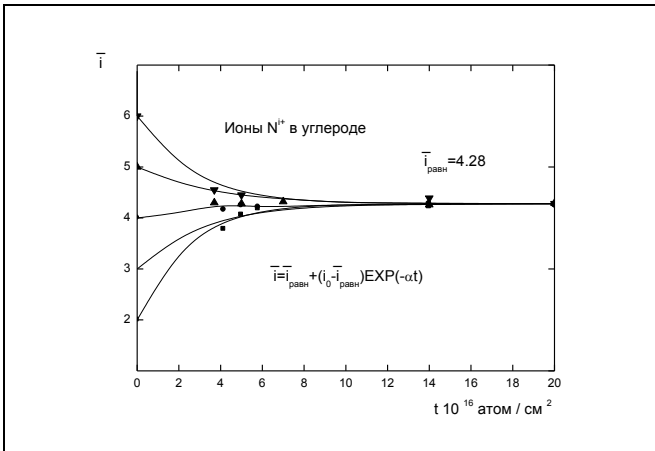


Рис. 1. Средний заряд ионов N^{i+} в углеводе в зависимости от толщины мишени. (указаны на рисунке). Значки – экспериментальные данные [1] для различных i_0 : ■ - $i_0=2$, ● - $i_0=4$, ▲ - $i_0=5$, ▼ - $i_0=6$. Сплошные кривые – расчеты данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zaikov V.P., Kralkina E.A., Nikolaev V.S. et al.// NIM, 1986, V.B17, P.97

ОПИСАНИЕ ЗАХВАТА ЭЛЕКТРОНА МНОГОЭЛЕКТРОННЫМИ ИОНАМИ

Н.В. Новиков
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Для оценки зарядового распределения ионов, прошедших через вещество, требуется описание сечений захвата электрона в столкновении многоэлектронного иона с атомом.

На основе приближения Оппенгеймера-Бринкмана-Крамерса (ОБК) без учета /1/ и с учетом /2/ кулоновского взаимодействия в конечном состоянии проводится расчет сечения захвата электрона быстрыми многоэлектронными ионами. Возбужденные состояния рассеянного иона описываются в приближении Хартри - Фока /3/. В отличие от /2/ амплитуда вычисляется численными методами. Результаты расчета (рис.1) указывают на необходимость учета кулоновского взаимодействия рассеянного иона и иона остатка атома мишени после столкновения.

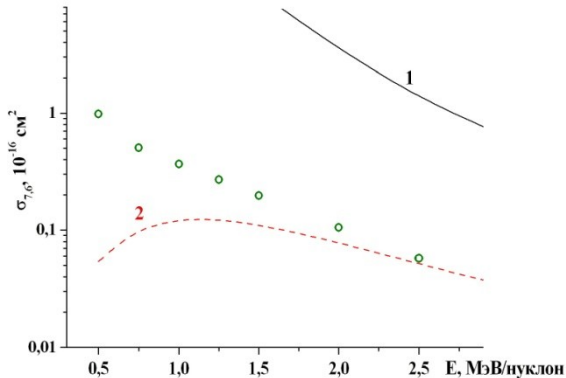


Рис.1 Сечение захвата электрона σ_{76} в столкновении ионов O^{7+} с Ag. Результаты расчетов: 1 – ОБК приближение; 2 – с учетом кулоновского взаимодействия рассеянных ионов O^{6+} и Ag^{+} . Экспериментальные данные /4/ - (o).

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В.С. // ЖЭТФ. 1966. Т.51. С.1263.
2. Belkic D., Salin A.// J.Phys. B. 1976. V.9. P.L397.
3. Novikov N V // Wave Function Value Database.
cdfc.sinp.msu.ru/services/wftables/FirstPage_eng.htm
4. Houck J.H. et all // Phys. Rev. A. 1997. V56. P.1954

ОПЕРЕЖАЮЩИЕ И ЗАПАЗДЫВАЮЩИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ В СЛАБОДИССИПАТИВНОЙ КАМ

Р.И. Богданов¹⁾, М.Р. Богданов²⁾, П.С. Кузин²⁾

¹⁾НИИ ЯФ МГУ, Москва. Россия

²⁾МГУ ИЭ, Москва. Россия

Слабодиссипативная теория КАМ изучает гамильтоновы системы с аддитивными малыми силами трения с коэффициентом трения, зависящим от фазовой координаты. Наиболее исследованный пример на сегодня дается следующей динамической системой в дискретном времени:

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

Уместно иметь в виду, что (1) является дискретизацией по полуявной схеме Эйлера 1-го порядка динамической системы в непрерывном времени:

$$\ddot{m} + \dots = \dots, \quad U = k(x^2/2 - x^3/3). \quad (2)$$

Из анализа (1) и (2) следуют выводы: при $\varepsilon > 0$ мы имеем дело с кинематической вязкостью; при $\varepsilon < 0$ - с ускоряющим напряжением, применительно к заряженной частице (в (1) участвует импульс в следующей точке сетки дискретизации).

Динамика пробной частицы, если слагаемое в (1) y_{n+1} заменить на линейную комбинацию $\delta y_n + (1 - \delta)y_{n+1}$ отвечает при $\delta > 0$ запаздывающему потенциалу. При величине $|\delta| > 2 \div 3 \cdot 10^{-2}$ динамика является чисто диссипативной, т.е. исчезают все квазиравновесные состояния, обнаруженные при $\delta = 0$ (см. /1-2/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Р.И. Фазовые портреты динамических систем на плоскости и их инварианты. – М.: Вузовская книга, 2008, 428 с.
2. Богданов Р.И., Богданов М.Р. Термодинамические потенциалы в слабодиссипативной теории Колмогорова-Арнольда-Мозера (КАМ) в сб. Упругость и неупругость. М: Изд-во Московского университета, 2011, с. 120-121.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЕФЕКТНОЙ СИСТЕМЫ КРЕМНИЯ ПРИ ИОННОМ, ФОТОННОМ И ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Д.И. Тетельбаум¹⁾, Е.В. Курильчик¹⁾, А.Ю. Азов¹⁾,
Г.П. Похил²⁾

¹⁾НИФТИ, Нижний Новгород, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В настоящей работе сравниваются закономерности ЭД при облучении кремния светом лампы накаливания и ионами средних энергий. Индикатором изменения состояния дефектной системы служили данные по микротвердости, измеряемой на облученной и обратной сторонах образцов. Установлено, что для обоих видов облучения закономерности в основном идентичны. В частности, ЭД фиксируется только при наличии естественного окисла; при глубинах отпечатка индентора ~ 1 мкм при облучении нефiltroванным светом или ионами (с энергией 40 кэВ) изменения микротвердости происходят на обратной стороне образца, но практически отсутствуют на облучаемой стороне; для «бездислокационного» кремния облучение вообще не оказывает заметного влияния на микротвердость.

При облучении светом установлен латеральный ЭД, при котором изменения микротвердости распространяются вдоль облучаемой поверхности (в область тени) на расстояние $\sim 0,6 - 0,8$ мм. Обсуждаются различные варианты моделей ЭД, в которых предполагается, что состояние и распределение дефектов в твердом теле изменяется под влиянием волновых процессов в атомной системе. В качестве возможного варианта волновых процессов служат бегущие вдоль атомных цепочек нелинейные колебания атомов (бризеры). Другой возможный вариант это движение гиперзвуковых волн вдоль дислокаций, как по волноводу. Этот вариант кажется плодотворным, т.к. волна идет как раз там, где сосредоточены дефекты, которые необходимо перераспределить, чтобы увеличилась твердость поверхности образца.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТА АНОМАЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСЛОКАЦИЙ

Д.И. Тетельбаум¹⁾, В.Л. Левшунова¹⁾, Ю.А. Дудин¹⁾, П.Н. Черных²⁾,
Г.П. Похил²⁾

¹⁾НИФТИ ННГУ, Нижний Новгород, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

На прошлой конференции был представлен доклад, в котором отмечен интересный эффект изменения состава мишени. На обратной стороне образца под облученной поверхностью были обнаружены железо и аргон. Эти примеси проникали в глубину кристалла. Количество примеси коррелировало с величиной пика на лицевой стороне от внедрённого при облучении аргона. Т.е. большее количество примеси наблюдалось в облученной зоне образца. В настоящее время обсуждается новый возможный вариант механизма дальнего действия. За счет осцилляций заряда, благодаря пьезоэффекту, в окисном слое генерируется механический удар. Возникающая при этом гиперзвуковая волна движется вдоль дислокации, как по волноводу. Эта волна приводит к распространению примесных атомов по направлению к обратной стороне образца. В соответствии с этой моделью ЭД должен коррелировать с плотностью дислокаций.

Известно, что при изготовлении монокристаллического кремния по Чохральскому плотность дислокаций меняется вдоль поверхности пластины от ее центра к периферии [1]. В настоящей работе проведено исследование образцов кремния, облученных аргоном. Образцы кремния марки КДБ-1 были вырезаны из участков, расположенных на разных радиусах. Проанализирована корреляция плотности дислокаций и эффекта проникновения примеси к обратной стороне образца.

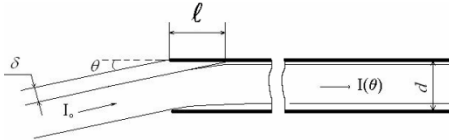
ЛИТЕРАТУРА:

1. Перевощиков В.А., Скупов В.Д. Геттерирование примесей и дефектов в полупроводниках. Изд-во Нижегородского госуниверситета. Н.Новгород, 2002, с. 19.

МОДЕЛЬ УГЛОВЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ ПУЧКА НА ВЫХОДЕ ИЗ КАПИЛЛЯРА

Г.П. Похил
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Явление управления пучками ионов с помощью диэлектрических капилляров (guiding) обнаруживает новые, неизвестные ранее свойства. Оказалось, что при отличном от нуля угле входа пучка ионов в капилляр зарядка стенок капилляра происходит таким образом, что его прозрачность увеличивается немонотонно, и прежде, чем устанавливается направление прошедшего пучка вдоль оси капилляра, пучок на выходе совершает несколько осцилляций по углу около направления оси [1]. Этот эффект кажется необъяснимым на первый взгляд, т.к. естественно ожидать, что накопление заряда, который отклоняет пучок, на стенке капилляра происходит монотонно во времени. В работах [2,3] было показано, что ток утечки со стенок зависит от плотности накопленного заряда резко нелинейно. Поэтому в установившемся режиме образуется заряженный



участок l достаточный для направления ионов вдоль оси капилляра (см. рисунок). Но в начальные моменты зарядки стенки капилляра заряд на участке l недостаточен для на-

правления ионов вдоль оси и происходит зарядка большего участка. Плотность заряда на дополнительном участке ниже, чем на участке l , поэтому этот заряд стекает дольше, чем достигает насыщения заряд на l . Следовательно, полный заряд верхней пластины в течение некоторого времени превышает заряд, необходимый для направления ионов вдоль капилляра, и ионы отклоняются вниз от его оси. Если они отклонились так, что начинают заряжать нижнюю пластину, то пучок отклоняется вверх и т.д. В работе дана количественная модель описанного механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang H. Q., Skog P., et al //2010 Phys. Rev. A **82**, 052901.
2. Stolterfoht N., et al // Phys. Rev. A **76**, 022712 (2007)
3. Похил Г.П. и др. //Известия РАН, серия физическая, 2008, т.72, №5, стр. 674-679

ПРИЧИНА ОТЛИЧИЯ ПЕРЕХОДА НАГРЕВ-ОХЛАЖДЕНИЕ В
ПЛОСКОСТНОМ И ОСЕВОМ КАНАЛАХГ.П. Похил, В.В. Чердынцев
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

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

Экспериментально было обнаружено отличие поведения границы перехода от нагрева к охлаждению с ростом энергии ионов для плоскостного и осевого каналирования. До сих пор в нашей модели суждение о том, превышает ли равновесный заряд у стенки канала средний заряд при неориентированном движении иона, делалось на основе анализа поведения потока частиц в центре канала и отличие плоскостного и осевого каналирования не учитывалось. В настоящей работе дан анализ результатов экспериментов, приведенных в работе [4] для прохождения ионов Y через слой Si. Найденные зависимости $Q(\theta, E_{ion})$ и рассчитанные распределения потока каналированных частиц по сечениям плоскостного и осевого каналов позволили получить распределения заряда по сечению каналов, которые объясняют отличие поведения границы перехода в осевом и плоскостном случаях. Полученные результаты обобщаются на прохождение ионов других элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen U., et al., NIM 193(2002) 118.
2. Похил Г.П., Чердынцев В.В., // Поверхность №3, с.1-4 (2007)
3. Похил Г.П., Чердынцев В.В. // Поверхность №3, с.74-77 (2008)
4. Grüner F. et al, Phys. Rev. B68, 174104 (2003).

О БЕСКОНТАКТНОМ ПРОХОЖДЕНИИ ИОНОВ ЧЕРЕЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

К.А. Вохмянина¹⁾, П.Н. Жукова¹⁾, Н.Н. Насонов¹⁾, Г.П. Похил²⁾

¹⁾Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

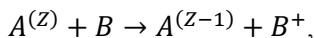
Рассматривается взаимодействие быстрого иона с заряженной осевшими частицами стенкой плоского диэлектрического канала. Предлагается и исследуется модель процесса, учитывающая дискретность и случайность расположения на стенке осевшего заряда, а также «выключение» поля равномерно заряженной плоскости, поскольку такое же, но противоположно направленное поле создается другой стенкой канала. Быстрый ион испытывает случайную последовательность толчков со стороны расположенных вблизи его траектории зарядов, осевших на стенке. Соответственно, траектория иона ищется в виде суммы быстро осциллирующей под действием флуктуаций поля составляющей и медленно меняющейся координаты относительно плоскости. Метод разделения быстрого и медленного движений иона аналогичен методу среднего поля в статистической радиофизике. Вследствие случайного характера действующего на ион поля его траектория не является ни периодической, ни условно периодической, а сила, приводящая к систематическому смещению иона относительно стенки является нестационарной. Характер усредненного движения существенно зависит от начальной поперечной координаты иона, плотности осевших ионов и взаимных корреляций между осевшими частицами на малых расстояниях. Выполненные численные и аналитические расчеты показали существование области параметров задачи, в которой движущийся ион отталкивается от стенки канала, что объясняется действием градиентных сил Гапонова-Миллера, обусловленных в данном случае дискретностью осевшего на стенке заряда и обеспечивающих бесконтактное прохождение ионов через канал.

ИЗЛУЧЕНИЕ, ИНИЦИИРУЕМОЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕЗАРЯДКИ

П.В. Серба

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

Прохождение многозарядных ионов через вещество сопровождается обменом электронами между ионами и атомами матрицы /1/. В результате перезарядки образуются ионы меньшей кратности и ионизированные атомы



изменяется зависимость потенциальной энергии межатомного взаимодействия, и образуются центры рекомбинации. Последующий захват электрона сопровождается образованием фотона /2/. В случае проводящих материалов рекомбинируют свободные электроны, в диэлектриках – рекомбинируют электроны, захваченные атомами в процессе обдирки ионов. Интенсивность излучения, обусловленного перезарядкой, характеризуется величиной, пропорциональной числу актов перезарядок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплова Я.А., Дмитриев И.С., Белкова Ю.А. //Изв. РАН. Сер. физ. 2000. Т. 64. №4 С. 677.
2. Тер-Аветисян С.А., Нерсисян Ц. //Квантовая электроника 1996. Т. 23. №4 С.331.

ПЕРЕЗАРЯДКА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ

П.В. Серб, Ю.Ф. Блинов

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

Перезарядка представляет собой сложный процесс с перераспределением частиц, в результате которого изменяется состав атомов и ионов до и после столкновения. В общем случае амплитуда перезарядки определяется соотношением

$$w(\psi_{out} \leftarrow \psi_{in}) = \langle \psi_{out} | S | \psi_{in} \rangle = \lim_{t \rightarrow \infty} \langle \psi_{out} | e^{iH^0 t} e^{-2iH t} e^{iH^0 t} | \psi_{in} \rangle \quad (1)$$

ψ_{in} и ψ_{out} волновые функции до и после столкновения соответственно, S – оператор столкновения, гамильтониан H имеет вид $H = H^0 + V$, $H^0 = \frac{p^2}{2m}$ гамильтониан свободной частицы, V – потенциальная энергия взаимодействия сталкивающихся частиц.

В случае медленных столкновений для описания квазимолекулярных состояний допустимо использование адиабатического приближения /2/. Метод функционала плотности /3/ позволяет найти волновые функции многоэлектронных атомов и рассчитать амплитуду перезарядки с использованием выражения (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Taylor J.R. Scattering Theory: The Quantum Theory in Nonrelativistic Collisions, John Willey & Sons, Inc. 1972, 477 p.
2. Пресняков Л.П., Шевелько В.П., Янев Р.К. Элементарные процессы с участием многозарядных ионов. М.: Энергоатомиздат, 1986, 200 с.
3. Jensen F. Introduction To Computational Chemistry, John Willey & Sons, Ltd. 2007, 599 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕСТРОЙКИ АТОМА ВОДОРОДА ПРИ
ДВИЖЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНО СТЕНКЕ УНТВ.А. Александров¹⁾, Г.М. Филиппов²⁾¹⁾Чувашский государственный университет²⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского
государственного открытого университета

Существует класс задач теории каналирования, в которых недостаточно ограничиться расчетами семейств классических траекторий. К ним относится, в частности, задача о возбуждении атома, каналирующего вдоль упорядоченной последовательности атомов монокристалла или нанотрубки. В этой задаче электроны движущегося атома должны описываться квантовой механикой. Что касается движения ядра, то здесь вопрос не так прост, как может показаться, но в данной работе мы примем общепринятую точку зрения, предполагая возможность применения к движению ядра законов классической механики. Еще Окороковым В.В. /1/ была высказана идея о том, что атом, двигаясь с определенной скоростью вдоль цепочки атомов монокристалла, может быть резонансным образом возбужден на некоторый вышележащий атомный уровень. На самом деле эффект был обнаружен, но его амплитуда и энергетическая ширина остались не до конца объясненными. Движение в нанотрубках выгодно отличается от движения в каналах монокристаллов тем, что не вносит слишком больших искажений в состояние атома и не приводит к повышенным значениям штарковского уширения уровней. Мы рассчитываем, что численное решение уравнения Шрёдингера может пролить свет на некоторые важные детали, существенные для понимания явления и дать объяснение еще не понятым его особенностям. Для большей убедительности расчетов мы проводим вычисления также посредством теории возмущений (ТВ), сравнивая их результаты с численными данными в условиях применимости ТВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Okorokov V.V. et. al.// Phys. Lett. 1973, A43, 485.

ПЕРЕХОДЫ В АТОМЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ УНТ

И.В. Лысова¹⁾, А.С. Сабилов²⁾, Г.М. Филиппов³⁾

¹⁾Чувашский государственный педуниверситет

²⁾Чувашский государственный университет

³⁾Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского государственного открытого университета.

Внутри углеродных нанотрубок (УНТ) электронная плотность может принимать весьма малые (по сравнению с концентрацией в атоме углерода) значения. В частности, при суммировании по всем атомам УНТ типа armchair (10,10) электронная плотность (и электростатический потенциал) малы и испытывают только незначительные вариации по мере перемещения вдоль оси УНТ. При движении атома вблизи поверхности трубки осцилляции потенциала уже становятся значительными и могут вызвать изменения в состоянии атома. В проводимом нами расчете предполагается, что УНТ имеет конечный размер, причем такой, что условия применимости борновского приближения остаются применимыми в течение всего времени движения атома. В расчетах используется нестационарная теория возмущений в ее стандартной постановке. Движение атома предполагается произвольным и не обязательно с постоянной скоростью. Основным преимуществом таких расчетов перед численным анализом является простота прослеживания асимптотических режимов. Кроме того, в этом случае облегчается проверка основных гипотез, формулируемых при анализе численных результатов. В проведенном расчете для описания взаимодействия атома водорода с каждым атомом углерода выбран томас-фермиевский потенциал, учитывающий колебания атомов решетки УНТ. Этот потенциал аппроксимировался линейной суперпозицией потенциалов гауссового типа. Расчеты продемонстрировали ряд деталей, которые необходимо учитывать при анализе вторичных явлений, вызываемых столкновениями. В частности, следует различать (и выделять из результатов расчета) слагаемые, ответственные за переходы.

ПЕРЕХОД ОТ РЕЖИМА КАНАЛИРОВАНИЯ К ДЕКАНАЛИРОВАНИЮ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦЫ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ УНТ

И.В. Лысова, А.В. Степанов

Чувашский государственный педагогический университет
им. И.Я. Яковлева.

В работе исследуется вероятность прохождения каналирующих в углеродных нанотрубках (УНТ) частиц через потенциальный барьер стенок в зависимости от поперечной энергии частиц и хиральности УНТ. Расчеты проводились с использованием модели нанотрубки с дискретным расположением атомов стенки и учетом их динамики. Учитываются энергетические потери каналирующей частицы при ее взаимодействии с электронным газом атомов стенок УНТ. Очевидно, что влияние на переход частицы в режим деканалирования оказывает и выбор потенциала взаимодействия частицы с атомами стенок нанотрубки. Также, в работе исследуются переходы в режим каналирования в случае движения частицы в пакете УНТ.

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВБЛИЗИ НАНОТРУБКИ В РАМКАХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ФОРМАЛИЗМА

А.С. Сабилов

Чувашский государственный университет, Чебоксары, РФ

Движение заряженных частиц внутри и вне нанотрубки сопровождается возмущением ее электронной подсистемы, что в свою очередь приводит к возникновению поляризационных сил, играющих существенную роль в формировании траекторий этих частиц [1,2/.

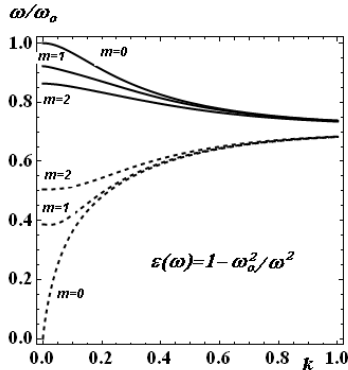


Рис.1. Типичные дисперсионные кривые мод электромагнитных возбуждений в цилиндрическом слое в модельном приближении.

В работе углеродная нанотрубка моделируется в виде цилиндрического слоя с заданной диэлектрической функцией, учитывающей временную дисперсию среды. На этой основе получены моды собственных электрических колебаний и проведено их квантование. Закон дисперсии этих колебаний в модельном приближении показан на рис. 1. Рассчитаны потери энергии и поляризационный потенциал, возникающий при движении заряда вблизи нанотрубки. Результаты сравниваются с данными, полученными при другом подходе, использующем модель электронной жидкости [1/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tu Y.H., Kwei C.M., Li Y.C., Tung C.J. // Phys. Rev. 2006. B.74. P. 045403.
2. Mowbray D.J., Mičković Z.L., Goodman F.O., Wang Yiu-Nian // Phys. Rev. 2004. B.70. P.195418.

ФОКУСИРОВКА КАНАЛИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ В ХИРАЛЬНЫХ УНТ

И.В. Лысова

Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я.
Яковлева

Используя модель углеродной нанотрубки (УНТ) с дискретным расположением атомов стенки, в работе исследуется фокусировка атомных и молекулярных структур вблизи оси нанотрубки. Как известно, в центральной части нанотрубки значения потенциала взаимодействия движущейся частицы с атомами УНТ на несколько порядков ниже, чем у стенок. Степень фокусировки каналирующих частиц в УНТ зависит не только от поперечного размера УНТ, но и от ее хиральности. В работе показано, что концентрация каналирующих частиц в центральной части выше для нанотрубок с промежуточной хиральностью. Предпринята попытка объяснения этого явления.

ВЛИЯНИЕ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ИОНОВ, ПРОШЕДШИХ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ Cu

З.А.Исаханов, Б.Е.Умирзаков, М.К.Рузибаева, С.Донаев
Институт электроники им.У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

В работе приводятся результаты экспериментального исследования характеристических потерь энергии электронов (ХПЭЭ), прошедших через тонкие монокристаллические пленки Cu(100) толщиной $d \approx 420 \text{ \AA}$ при $E_p = 3 \text{ кэВ}$. В случае аморфных пленок с $d \approx 420 \text{ \AA}$, через пленки проходили электроны с энергией $E_p \geq 3 \text{ кэВ}$. Эксперимент показало, что при энергиях 6-7 кэВ пик поверхностного плазмона почти исчезает. Разупорядочение поверхности тонких пленок Cu осуществлялось бомбардировкой ионами аргона Ar^+ с вариацией энергии ионов в пределах $E_0 = 0,5 - 3 \text{ кэВ}$ и дозы облучения $D = 10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ($E_p = 3 \text{ кэВ}$). Дальнейшее увеличение энергии ионов приводило к интенсивному распылению поверхности. Полное разупорядочение (аморфизация) поверхности происходило при $D \geq 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Ионные пучки направлялись на поверхность под углом $15-20^\circ$ относительно нормали.

Изучена изменения интенсивности упругого пика электронов, проходящих через пленки Cu(100). Показано, что независимо от энергии ионов, заметное уменьшение интенсивности упругого пика (I_y) наблюдался, начиная с дозы $D = 10^{14} \text{ см}^{-2}$. До $D = 8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ интенсивность I_y уменьшается почти линейно, причем скорость уменьшения в случае $E_0 = 3 \text{ кэВ}$ больше, чем для $E_0 = 0,5 \text{ кэВ}$. Затем с ростом дозы ионов скорость уменьшения I_y замедляется и начиная с $D = (5-10) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ его значение практически не меняется, т.е. можно полагать, что произошла полная аморфизация приповерхностных слоев пленки Cu(100). Анализ кривых позволяет оценить степень аморфизации поверхности и толщину разупорядоченного слоя. Например, при $D \approx 10^{15} \text{ см}^{-2}$ степень аморфизации для $E_0 = 0,5 \text{ кэВ}$ составляет 35-40%, а для $E_0 = 3 \text{ кэВ}$ 45-50%. По нашим оценкам толщина аморфизированного слоя $d_a = 60-80 \text{ \AA}$ при $E_0 = 0,5 \text{ кэВ}$ и $150-200 \text{ \AA}$ при $E_0 = 3 \text{ кэВ}$. Энергия $\hbar\omega_p$ для аморфной пленки на 1-2 эВ больше, чем для монокристаллической пленки.

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДРОБНОГО ПОРЯДКА В ТЕОРИИ ДЕКАНАЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАНЖЕВЕНОВСКОГО ПОДХОДА

Н.В. Максютя ¹⁾, В.П. Кошечев ²⁾, Т.А. Панина ²⁾

1) Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев,
Украина

2) Сургутский госуниверситет, Сургут, Россия

В [1] для рассмотрения процесса деканалирования заряженных частиц в кристаллах предложено использовать формализм дробного интегрирования. Целью данной работы является поиск новых аргументов в пользу такого подхода. Они основываются на принципе автомодельности, в соответствии с которым плотность распределения поперечной энергии ε каналируемой частицы на разных глубинах z_1, z_2 удовлетворяет соотношению: $f(\varepsilon, z_2) = (z_1/z_2)^{\alpha/2} f\left[(z_1/z_2)^{\alpha/2} \varepsilon, z_1\right]$. В

данной работе дробность величин α , с одной стороны, устанавливается методом компьютерного моделирования (с учетом потерь энергии, $/2/$). С другой стороны, к подобному выводу можно прийти в результате сравнения решений дробных дифференциальных уравнений с функциями $f(\varepsilon, z)$, полученными расчетным путем. Например, в случае субдиффузии ($0 < \alpha \leq 1$) используется решение [3/

$$f(\varepsilon, z) = \frac{2}{\alpha \varepsilon \sqrt{\pi}} H_{12}^{20} \left(2^{-2/\alpha} z^{-1} \varepsilon^{2/\alpha} D^{-1/\alpha} \left| \begin{matrix} (1, 1) \\ \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{\alpha} \right), \left(1, \frac{1}{\alpha} \right) \end{matrix} \right. \right),$$

где $H_{pq}^{mn}(x)$ обозначает H – функцию Фокса, а D является средним обобщенным коэффициентом диффузии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максютя Н.В. // Поверхность, 2005, № 8. С. 110 – 113.
2. Кошечев В.П., Моргун Д.А., Панина Т.А. // Известия РАН, Серия физическая, 2009. Т. 73, № 11. С. 1586 – 1590.
3. Schneider W.R., Wyss W. // J. Math. Phys., 1989. Vol. 30, №. 1. P. 134 – 144.

ОСОБЕННОСТИ КАНАЛИРОВАНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ВЫСОКОИНДЕКСНЫХ ПЛОСКОСТЯХ И ОСЯХ КРИСТАЛЛОВ СО СТРУКТУРОЙ ЦИНКОВОЙ ОБМАНКИ

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

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев,
Украина

В работе, являющейся продолжением исследований, начатых в /1/, рассматривается каналирование заряженных частиц в высокоиндексных плоскостях и осях кристаллов со структурой цинковой обманки. Установлено, что в эквидистантных заряженных плоскостях $(2m, 2n, 2p+1)$ возможны эффекты инверсии потенциалов взаимодействия. Например, для кристаллов CuBr , GaP , ZnS потенциальные ямы превращаются в потенциальные барьеры, начиная с плоскостей (124) . Найдено, что в заряженных плоскостях $(2n+1, 2n+1, 2m+1)$ возможен аномальный эффект, связанный с формированием потенциальной ямы в межплоскостном пространстве (например, наиболее ярко это проявляется для кристалла CuBr в плоскостях (135)). Обсуждается также движение частиц вдоль электронейтральных плоскостей, поскольку, как следует из экспериментов /2/, в кристаллах кремния и германия наблюдался эффект уменьшения скорости деканалирования положительно заряженных частиц. Наконец, интересными могут быть проявления эффектов каналирования и теней (см., например, /3/) в случае распространения тяжелых ионов вдоль высокоиндексных заряженных осей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максютя Н.В., Высоцкий В.И., Головач Г.П. // Тез. докладов XL международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами // М.: Изд-во МГУ, 2010, с. 36.
2. Andersen S.K. et al. // Nuclear Physics, 1980, vol. B 167, p. 1 – 40.
3. Тулинов А.Ф. // УФН, 1965, т. 87, в. 4, с. 585 – 598.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ИОНОВ ИЛИ ЯДЕР ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ ЗАКОНЕ УСКОРЕНИЯ ИЛИ ТОРМОЖЕНИИ В СИЛОВЫХ ПОЛЯХ И МИШЕНЯХ

В.И.Высоцкий, В.М. Руденкий

Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина

В работе рассмотрен процесс возбуждения движущихся частиц (атомарных ионов или ядер) при произвольном законе их ускорения или торможения в силовых полях и мишенях. Отметим, что известные решения для случаев адиабатического и импульсного ускорений являются идеализацией. Основой анализа является переход в неинерциальную систему отчёта, что позволяет ввести ускорения в уравнение Шредингера как возмущение:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H}_0 \Psi + V(\vec{\zeta}, t) \Psi$$

Выделяя в структуре волновой функции переносное движение частицы $\vec{\zeta}(t)$ и ее эволюцию

$$\Psi(\vec{\zeta}, t) = \psi(\vec{\zeta}, t) \exp(i\mu \int_0^t \dot{\zeta} dt)$$

приходим к уравнению с возмущением $V(\vec{\zeta}, t)$:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}_0 \psi + V(\vec{\zeta}, t) \psi$$

которое можно решать стандартным методом. В частности, в первом порядке теории возмущений вероятность возбуждения $n \rightarrow m$ атомарного иона при его ускорении имеет вид (здесь

$$z_{nm} = \int \Psi_n^*(\vec{\zeta}, t) \Psi_m(\vec{\zeta}, t) d\vec{\zeta} :$$

$$W_{nm}^{(1)}(t) = (\hbar e^2)^2 \left| \int_0^t (i\omega_{nm} \tau) d\tau \right|^2$$

Корректность использования теории возмущений для иона определяется условием $|\dot{\zeta}| \ll v_{n,m}$,

где $v_{n,m}$ - среднеквадратичная скорость электрона в состояниях n, m в модели Бора; $\hbar$ - постоянная Планка.

Использование следующих порядков ряда теории возмущений уточняет решение, а учет всех порядков приводит к известному выражению для вероятности возбуждения частицы при импульсном ускорении.

ПОДБАРЬЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАНАЛИРУЕМЫХ ЧАСТИЦ С ЯДРАМИ МАТРИЦЫ ПРИ АВТОМОДЕЛЬНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ КОРРЕЛИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ В ПЕРИОДИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОМ КРИСТАЛЛЕ

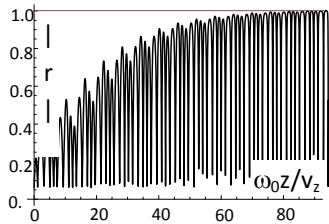
В.И.Высоцкий^{1,2}, С.В.Адаменко², М.В. Высоцкий¹

¹Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина

²Лаборатория электродинамич. исслед. "Протон-21", Киев

Традиционный подход к каналированию частиц основан на предположении о взаимной независимости квантовых состояний частицы на каждом из уровней поперечного движения. Это предположение ошибочно для начального участка "обычных" каналов и для всей длины наноканалов. В этих областях волновая функция частицы соответствует *когерентным некоррелированным состояниям (КС)*, которые близки к классическому пакету, а дисперсии поперечной координаты и импульса **КС** соответствуют соотношению неопределенностей $\delta x \delta p_x \geq \hbar$.

В докладе рассмотрен механизм формирования *когерентного коррелированного состояния (ККС)* частицы [1,2] (для которого



$\delta x \delta p_x \geq \hbar$ [2] и $\delta x, \delta p_x \rightarrow \infty$ при $|r| \rightarrow 1$) за счет продольной модуляции ширины канала $a = a_0(1 + g \cos \Omega z)$ или его глубины $V = V_0(1 + g \cos \Omega z)$. Здесь $r = \{ \langle x p_x + p_x x \rangle - \bar{x} \bar{p}_x \} / \delta x \delta p_x$ - коэффициент корреляции. На рис. представлена динамика формирования **ККС** с $|r| \rightarrow 1$ в

параболическом канале с $\bar{x} = 0, \bar{p}_x = 0$ при $\Omega = \omega_0$ и $g = 0.2$. Показано, что формирование **ККС** приводит к гигантскому росту вероятности туннелирования частиц в канале и ускорению в $10^{30} - 10^{50}$ раз подбарьерных реакций!

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий В.И., Адаменко С.В., Высоцкий М.В. //Поверхность, 2010, №4, 105.
2. Высоцкий В.И., Адаменко С.В. //Журнал технической физики, 2010, Т.80, №5, 23.

МЕХАНИЗМ И ОСОБЕННОСТИ УСКОРЕННОЙ ДЕАКТИВАЦИИ ПУЧКОВ ВОЗБУЖДЕННЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ В РЕЗОНАТОРНЫХ И ВОЛНОВОДНЫХ СИСТЕМАХ

В.И.Высоцкий, П.Родионов

Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина

В докладе рассмотрены особенности транспортировки пучков короткоживущих радиоактивных или возбужденных частиц в волноводных системах. Такие частицы могут образовываться, например, при прохождении зондирующего пучка через тонкие мишени в режиме каналирования за счет когерентного эффекта Огорокова. Традиционно считается, что такие пучки могут успешно выводиться из области взаимодействия и транспортироваться до области регистрации в длинных вакуумированных каналах. Также считается, что характеристики спонтанного высоко-частотного радиационного распада таких частиц не отличаются от характеристик распада в свободном пространстве. Разница может быть только в СВЧ диапазоне за счет использования резонаторных систем, у которых частоты разделенных собственных мод не совпадают с частотой радиационного перехода у движущейся частицы $/1/$.

Прямые расчеты показывают, что это предположение не всегда корректно и в ряде случаев может приводить к очень грубым ошибкам. Корректный учет специфики взаимодействия движущихся возбужденных частиц с большим ансамблем мод резонаторов и волноводов показывает, что кроме частотной структуры совокупности мод поля необходимо учитывать их пространственную структуру. В докладе показано, что в волноводных системах с высокой степенью осевой симметрии возможно существование областей пространства, в которых плотность мод поля повышается на много порядков по сравнению со случаем свободного пространства. Это может приводить к аналогичному увеличению в $10^4 - 10^5$ раз вероятности спонтанного распада в оптическом и ИК диапазонах и к процессу интенсивного девозбуждения движущихся частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vysotskii V.I. Physical Review C, 1998, v. 58, p. 337-350.

ЯДЕРНОЕ РАССЕЯНИЕ ПРИ ОБЪЕМНОМ ОТРАЖЕНИИ

Н.В. Бондаренко

ННЦ Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина

Вычисляется разность между вероятностью рассеяния на атомных ядрах для частицы, испытывающей объемное отражение в изогнутом кристалле и для частицы в аморфной мишени той же толщины. На основе ранее развитой теории /1/ показано, что эта разница пропорциональна радиусу изгиба кристалла и углу объемного отражения. Результат позволяет вычислять с хорошей точностью частоту неупругих ядерных взаимодействий (измеряемую с помощью мониторов потерь пучка) и угловую дисперсию конечного пучка, возникающую из-за упругого многократного рассеяния. Результаты предсказаний теории сравниваются с недавними измерениями на SPS CERN.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Bondarenko M. V. // Phys. Rev. A, 2010, **82**, 042902.

ОСОБЕННОСТИ СТОХАСТИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ОТКЛОНЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ЭНЕРГИЕЙ 1-10 ГЭВ ИЗОГНУТЫМИ КРИСТАЛЛАМИ

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

Одним из основных механизмов отклонения пучков быстрых заряженных частиц изогнутыми кристаллами является стохастический механизм отклонения /1/, реализующийся при рассеянии частиц на изогнутых цепочках атомов кристалла. Этот механизм отклонения эффективен как для положительно, так и для отрицательно заряженных частиц. Ранее данный механизм рассматривался при энергиях частиц порядка 100 ГэВ /2/. Экспериментально стохастический механизм отклонения заряженных частиц при указанных энергиях был продемонстрирован в недавних экспериментах на SPS в CERN /3/. В настоящей работе проведен анализ стохастического механизма отклонения пучков положительно и отрицательно заряженных частиц с энергией 1–10 ГэВ. Результаты моделирования позволяют утверждать, что с уменьшением энергии максимально возможный угол поворота кристаллом пучка увеличивается. Также при уменьшении энергии частиц увеличивается и эффективность рассеяния частиц на тепловых колебаниях атомов кристалла и электронной подсистеме, что приводит к выходу частиц из режима отклонения. Особо важно влияние некогерентных эффектов в рассеянии для отрицательно заряженных частиц, так как область их движения в кристалле находится вблизи его атомов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриненко А.А., Шульга Н.Ф. // Письма в ЖЭТФ, 1991, т. 54, вып. 9, с. 520.
2. Shul'ga N.F., Truten' V.I. and Kirillin I.V. // Journal of Physics: Conference Series, 2010, v. 236, p. 012030.
3. Scandale W., Vomiero A. et al. // Phys. Lett. B, 2009, v. 680, p. 301.

NCOHERENT SCATTERING OF RELATIVISTIC PARTICLES IN A BENT CRYSTAL

G.V. Kovalev

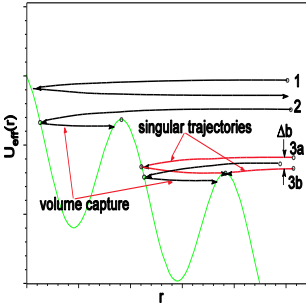
School of Mathematics, U of M, Minneapolis, MN 55455, USA

Various features of classical coherent and incoherent scattering of relativistic particles in a central ring potential are considered. The influence of incoherent processes is taken into account by introducing a friction force proportional to the velocity of particle. The dynamic equations can be reduced to the equation of 2nd order for trajectory of relativistic particle in polar coordinates (r, θ) :

$$r'' - \frac{2r'^2}{r} - r = -\frac{c^2 e E(r) r^4}{\varepsilon_{kin} (h_0 - \frac{c^2 \lambda}{\varepsilon_{kin}} \theta)^2}. \quad (1)$$

Here r' , r'' are derivatives by θ and $h_0, \varepsilon_{kin}, E(r)$ are the initial specific angular momentum, kinetic energy of particle and central electric field of the crystal. The specific angular momentum $h = r^2 \dot{\theta}$ is changed due to the coefficient of friction $k(r) = \lambda r^{-2}$ and related with initial value h_0 as:

$$h = h_0 - \frac{c^2 \lambda}{\varepsilon_{kin}} \theta. \quad (2)$$



It means that the specific angular momentum h is not conserved.

The first integrals of (1): the Laplace-Runge-Lenz vector and the energy integral depend on θ . However, using (1-2) it is possible to explain all features of scattering [1] in uniformly bent crystals. In particular, the volume capture with spiral scattering exists due to an impact gap Δb (see Fig.) between limit cycles and it

gives also the correction to the volume reflection [1]. Suggested model can explain the phenomena near critical radius of bend, where two singular trajectories disappear and bifurcating transitions can occur.

REFERENCES

1. Scandale W. et al. PRL 101, 234801 (2008).

МЕТОД СВЯЗАННЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ В ТЕОРИИ ДИССОЦИАЦИИ БЫСТРЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Л. Л. Балашова
НИИЯФ МГУ, Москва

В продолжение работы /1/, разрабатывается метод связанных кинетических уравнений для прохождения быстрых многозарядных ионов через тонкие пленки, имеющий целью совместное описание угловых и энергетических распределений атомарных продуктов их диссоциации. Его неперменной составляющей является компьютерное моделирование рассматриваемого процесса с ионами типа N_2^+ в диапазоне энергии до десятка МэВ. В отличие от «кулоновского взрыва» таких малоэлектронных систем, как молекулярные ионы водорода, где перезарядка фрагментов сразу приводит к практически невосполнимой потере ими своих электронов, в случае более тяжелых молекулярных ионов изменение заряда фрагментов идет непрерывно в течение всего хода их торможения и разлета. К этому добавляются эффекты взаимодействия фрагментов друг с другом через наводимую ими поляризацию среды /2/. Теоретические исследования этих явлений проводятся в настоящее время двумя – канадской /3/ и испанской /4/ – группами исследователей с применением метода Монте-Карло. Предлагаемый нами иной подход позволяет существенно продвинуться в решении остающегося открытым ключевого вопроса теории кулоновского взрыва – о разрешении угловых и энергетических распределений атомарных фрагментов по их зарядовому состоянию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашова Л.Л. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010. № 3. С.1.
2. Maor D. et.al.// Phys.Rev.A. 1985. V.32. P.105.
3. Z.L.Miskovic et al.// Phys.Rev.A . 2000. V.61. P.062901.
4. Hereda-Avalos S., Garcia-Molina R. // Phys.Rev. A, 2007. V.76. P.032902.

ВЛИЯНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭФФЕКТОВ НА ДИНАМИКУ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЧАСТИЦ СО СПИНОМ $S \geq 1$ ПРИ ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛИРОВАНИИ И ИЗМЕРЕНИЕ ИХ КВАДРУПОЛЬНЫХ МОМЕНТОВ

А.Я. Силенко

Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

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

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

ЛИТЕРАТУРА

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

Секция II

**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ТВЁРДОМ
ТЕЛЕ**

ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ МИКРОБЛОКОВ В МОЗАИЧНЫХ КРИСТАЛЛАХ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИЗЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, З.А. Кабилов,
С.А. Лактионова, Ф.Т. Лам, А.В. Селищева, Ч.Т. Та, Р.А. Шатохин
Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

Уточнен предложенный в /1/ способ определения характерных размеров микроблоков в мозаичных кристаллах класса aa по соотношению измеренной величины дифракционного подавления выхода тормозного излучения с фиксированной энергией с результатами расчета. Определены границы применимости метода и более корректно учтено влияние процесса поглощения рентгеновского излучения на отражающую способность.

Проведен последовательный анализ предложенного в /2/ способа оценки характерных размеров блоков мозаичных кристаллов по результатам измерения угловых распределений или ориентационных зависимостей выхода параметрического рентгеновского излучения и дифрагированного тормозного излучения для одного угла наблюдения и нескольких порядков отражения. Определены чувствительность и границы применимости метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакланов Д.А. и др. // Тезисы докладов 40-й международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. - М: Университетская книга, 2010, С.86.
2. Бакланов Д.А. и др. // Поверхность, Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010, №4, С.31.

НЕКОГЕРЕНТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ИЗОГНУТОМ КРИСТАЛЛЕ

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

¹⁾Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

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

Сечение тормозного излучения быстрых электронов в кристалле распадается на сумму когерентного и некогерентного вкладов (последний обусловлен тепловым смещением атомов относительно узлов решетки). При этом интенсивность некогерентного излучения электронов в режиме плоскостного каналирования заметно превосходит интенсивность излучения в аморфной среде /1/. Деканалирование электронов уменьшает этот эффект. Таким образом, по ослаблению интенсивности некогерентного излучения можно судить о влиянии деформации кристалла на скорость деканалирования (рис. 1). Интерес к данной теме обусловлен недавними попытками использовать синусоидально изогнутые кристаллы в качестве ондуляторов /2/.

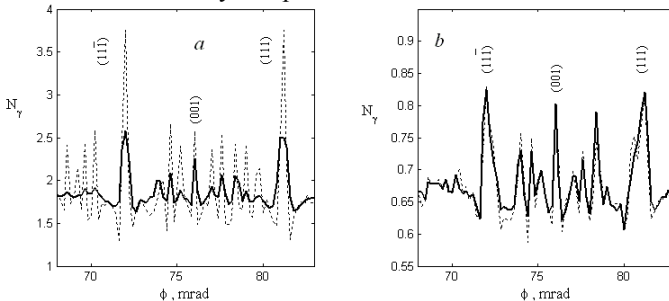


Рис. 1. Интенсивность некогерентного излучения в прямом (а) и изогнутом (б) кристаллах (по отношению к интенсивности Бете-Гайтлера излучения в аморфной среде) с учетом (сплошная линия) и без учета (пунктирная) влияния тепловых колебаний атомов на траекторию электрона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shul'ga N.F., Syshchenko V.V., Tarnovsky A.I. // NIM B. 2008. V. 266. P. 3863.
2. Backe H. et al. // Dabagov S.B., Palumbo L. (Eds.), Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena, World Scientific, Singapore, 2010, p. 281.

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

В.И. Алексеев¹, П.Н. Жукова², Э. Иррибарра², А.С. Кубанкин², М.С. Ладных², Н.Н. Насонов², Р.М. Нажмудинов², В.И. Сергиенко¹
Белгородский государственный университет, Белгород, Россия
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

В работе [1] на основе кинематической теории дифракции рентгеновских лучей в кристаллах разработана аналитическая модель взаимодействия синхротронного излучения (СИ) с мозаичным кристаллом, учитывающая произвольный вид функции распределения зерен мозаичных кристаллов по углам ориентации. Показана возможность определения функции распределения зерен мозаичных кристаллов по углам ориентации, основанная на измерениях ориентационной зависимости энергии брэгговского рефлекса, рассеянного изучаемым образцом широкополосного СИ. Показано, что зависимость энергии коллимированного рефлекса от угла ориентации мишени относительно падающего зондирующего пучка СИ оказывается в определенных условиях пропорциональной функции распределения зерен по углу мозаичности в плоскости реакции. Основным из отмеченных условий является малость изменения спектра первичного пучка СИ в частотном интервале вблизи брэгговской частоты, ширина которого определяется угловым размером коллиматора излучения. Для получения двумерной функции распределения зерен по углам мозаичности достаточно повторить измерения ориентационной зависимости энергии брэгговского рефлекса для мишени, повернутой на 90 градусов вокруг оси исследуемой кристаллографической плоскости.

В настоящей работе на основе [1] разработана методика и представлены результаты экспериментального исследования двумерной функции распределения зерен мозаичных кристаллов по углам ориентации. Экспериментальная установка создана на основе вакуумного гониометра, позволяющего измерять функцию распределения с точностью $7.1 \cdot 10^{-5}$ Рад. В качестве первичного широкополосного излучения использовалось тормозное излучение рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом и фокальным пятном 48 мкм, рефлекс регистрировался p.i.n. детектором. Выполнено измерение двумерной функции распределения зерен по углам ориентации различных кристаллов, показана возможность асимметричного распределения мозаичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кубанкин А.С., Жукова П.Н., Ладных М.С., Насонов Н.Н. // "Известия РАН. Серия физическая", Т.75, №2, С.244-246.

К ВОПРОСУ О МИКРОТЕОРИИ ЭФФЕКТА ВАВИЛОВА - ЧЕРЕНКОВА

А.Э. Мясникова, Э.Н. Мясников, И.С.Зуев
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

В последнее время в литературе появились обоснования необходимости развития микроскопической теории эффекта Вавилова-Черенкова, см., в частности работу /1/ и ссылки в ней.

В настоящей работе рассмотрена микротеоория эффекта Черенкова в широком смысле, при котором движение заряженной частицы со скоростью v , большей максимальной групповой или минимальной фазовой скорости u фононов порождает излучение волны решеточной поляризации кристалла в направлении, определяемом обычным условием $\cos \theta = u / v$ /2/.

Решением классических уравнений движения для поляризационного заряда, порождаемого движением точечной заряженной частицы, показано, что поляризационный заряд претерпевает коренную перестройку при переходе скорости v точечной заряженной частицы через критическое значение u . При $v < u$ он локализован в окрестности движущейся частицы, а при $v > u$ является осциллирующим, в том числе на бесконечности, внутри “звукового” конуса позади частицы /3/. Сила взаимодействия точечного заряда с указанным поляризационным обуславливает потери энергии точечного заряда при $v > u$, легко рассчитывается /2/, и результат хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кобзев А.П. // Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2010, Т.41, вып.3, с.831.
2. Myasnikov E.N., Myasnikova A.E., Kusmatrsev F.V. // Physical Review B, 2005, V.72, 224301.
3. Myasnikova A.E.// Physical Review B, 1995, V.52, p.10457.

ОБРАЗОВАНИЕ e^+e^- ПАР РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КАНАЛИРУЮЩЕЙ ЧАСТИЦЕЙ

К.Б. Коротченко¹⁾, Ю.П. Кунашенко^{1) 2)}

¹⁾Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

Релятивистский электрон, пролетая через кристалл под малым углом к оси или плоскости кристалла, может быть захвачен в режим каналирования. Канализующий электрон обладает дискретными уровнями поперечной энергии. Вследствие перехода между уровнями поперечной энергии может быть испущен фотон, в более высоком порядке по константе взаимодействия α может быть образована e^+e^- пара. Этот процесс впервые был качественно рассмотрен в /1/. Образование e^+e^- пар каналирующим электроном также обсуждалось в обзоре /2/. Для оценки вероятности образования e^+e^- каналирующим электроном в /1/ использовалось произведение вероятности излучения при каналировании на вероятность рождения e^+e^- пар фотоном в ориентированном кристалле. В представленном докладе построена точная теория данного процесса.

На основе полученных формул проведены расчеты для случая плоскостного каналирования электронов. Изучена зависимость вероятности образования e^+e^- пар от энергии электрона, от углов вылета образованных электрона и позитрона и других параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kimball J.C., Cue N., // Physical Report 1985, 125, No2, 69.
2. Uggerhoj U.I. // Reviews of modern physics 2005, 77, 1131.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО И УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ С И Si С УЧЕТОМ ДИСПЕРСИИ

К.Б. Коротченко, Ю.Л. Пивоваров

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Излучение при каналировании (CR) в настоящее время детально изучено как экспериментально, так и теоретически (см., например, [1-3]).

Из теории CR [3] следует хорошо известный факт, что для релятивистских частиц излучение сосредоточено в очень узком телесном угле в направлении движения каналированной частицы. Однако [2-3], этот результат справедлив только при условии, что показатель преломления кристалла не зависит от частоты (и направления) излучения. Проблема учета дисперсии для реальных кристаллов заключается (по нашему мнению) в неполноте экспериментальных данных для функции $n = n(\omega)$.

В работе получены формулы углового и спектрального распределений вынужденного излучения (с учетом дисперсии) при плоскостном каналировании электронов и проведены соответствующие расчеты для кристаллов С и Si.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen J.U., Bonderup E., Pantell R.H. // Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., 1983, vol. 33, pp.453-504.
2. Барышевский В.Г. Каналирование, излучение и реакции в кристаллах при высоких энергиях, Минск, изд. БГУ, 1982, 256 с.
3. Кумахов М.А., Комаров Ф.Ф. Излучение заряженных частиц в твердых телах. Минск, изд. «Университетское», 1985, 383 с.

НЕОДНОРОДНЫЙ ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ КАК ОСТРОФОКУСНЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В.В.Каплин, С.Р.Углов

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Предложена концепция генерации рентгеновского излучения быстрыми электронами в периодической структуре типа неоднородного фотонного кристалла, состоящего из слоистых периодических подструктур, разделенных каналом-волноводом. Механизм генерации излучения соединяет в себе эффекты параметрического рентгеновского излучения в слоистых подструктурах радиатора, то есть в слоистых стенках канала структуры, и волноводный эффект для излучения, генерированного в подструктурах и проходящего радиатор в волноводных модах в режиме, подобном эффекту Бормана с малым поглощением. Это обеспечивает фокус источника, близкого по размеру сечению канала в фотонном кристалле. Представлены первые результаты по предлагаемому эффекту, полученные на внутреннем пучке бетатрона Б-35 при энергии электронов 15-35 МэВ с использованием многослойных структур, состоящих из 200 пар 1 нм слоев W и В4С с 40 нм с промежутком внутри.

Исследования являются развитием работ /1/ по генерации излучения быстрыми электронами в многослойных периодических рентгеновских зеркалах и в трехслойных планарных рентгеновских волноводах.

Исследования поддержаны Российским Фондом Фундаментальных Исследований, проект № 10-02-00942.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплин В.В., Углов С.Р., Сохорева В.В. и др., //, Изв. вузов. Физика. , 2009, Т. 52, № 11/2, с. 295.

К ИЗМЕРЕНИЮ КРАТНОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА БЕТАТРОНА ЧЕРЕЗ ТОНКУЮ ВНУТРЕННЮЮ МИШЕНЬ

С.Р.Углов

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Применение эффекта рециркуляции пучка релятивистских электронов через внутренние мишени циклических ускорителей для увеличения эффективности использования электронного пучка при получении излучения в рентгеновском и ВУФ диапазонах рассмотрено в ряде теоретических и экспериментальных работ /1-3/. Особенно привлекателен эффект рециркуляции для увеличения выхода переходного излучения из тонкой мишеней. Кратность взаимодействия внутреннего электронного пучка с тонкой мишенью определяется степенью рассеяния электронов мишенью и эффективностью фокусирующей системы ускорителя, удерживающей рассеянные мишенью электроны в пучке. В настоящей работе представлены результаты эксперимента по определению кратности взаимодействия внутреннего пучка бетатрона с энергией электронов 33 МэВ с “тонкой” (5 μ m) Cu мишенью. В эксперименте измерялся выход характеристического рентгеновского излучения (ХРИ) Cu $K_{\alpha\beta}$ для “толстой” (5mm) и “тонкой” мишеней. Отношение интенсивности ХРИ из “тонкой” мишени к интенсивности из “толстой” мишени составило $K=4.8$. Учитывая самопоглощение излучения в мишенях, можно утверждать, что в среднем электроны проходили через “тонкую” мишень $N=23.5$ число раз. Таким образом, выход переходного излучения из данной “тонкой” мишени за счет эффекта рециркуляции должен также возрасти в 23.5 раза. Отметим, что полученный результат меньше оценки кратности, полученной в /2/ другими методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин В.К. и др. //Вестн. МГУ, 1996, сеп.3, №1, с. 83.
2. Kaplin V.V. Uglov S.R., Bulaev O.F. et al.,//NIMB, 2001, 173, с. 3.
3. Toyosugi N., Yamada H. et al. //J.Synchr.Rad.2007,14, p. 212.

УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЗАРЯДОВ В РЕАЛЬНЫХ СРЕДАХ

В.И.Высоцкий, М.В. Высоцкий

¹Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина

Считается, что условие рентгеновского черенковского излучения $\beta n(\omega) \cos \theta = 1$ может быть выполнено в средах с $\bar{\chi}(\omega) \equiv \bar{\varepsilon}(\omega) - 1 > 0$, $n(\omega) \equiv \sqrt{\varepsilon(\omega)}$. Если принять, что $\bar{\chi}(\omega) \equiv \chi(\vec{\omega}, \dots)$, $\omega_p^2 / \omega^2 < 0$, то условие $\bar{\chi}(\omega) > 0$ может быть выполнено: а) в окрестности γ -резонанса; б) за счет изменения $\bar{\chi}(\omega)$ при динамической дифракции в кристалле.

В работе показано, что из системы уравнений Максвелла с учетом пространственной структуры $\chi(\vec{\omega}, \dots)$ в реальных атомарных средах следует волновое уравнение

$$\Delta \vec{E} + (\omega^2 - \varepsilon_{eff}(\vec{\omega}, \dots)) \vec{E} = 0,$$

которому соответствует эффективная проницаемость

$$\varepsilon_{eff}(\vec{\omega}, \dots) = \varepsilon_0 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_0} \int_0^\infty \chi(\vec{\omega}, \dots) dx \right),$$

В одномерной периодической среде в X-диапазоне решение этого уравнения в приближении ВКБ имеет вид

$$\vec{E}(x) \sim \vec{E}_0 \exp \left\{ \pm i \int_0^x \sqrt{\varepsilon_{eff}(\vec{\omega}, \dots)} dx \right\} = \vec{E}_0 \exp \left\{ \pm i \int_0^x \sqrt{\varepsilon_{eff}(x, \omega)} dx \right\} =$$

$$\vec{E}_0 \exp \left\{ \pm i (\omega/c) (1 + \bar{\chi}_{eff}(\omega)/2) x \right\}$$

и определяется средней восприимчивостью неоднородной среды

$$\bar{\chi}_{eff}(\omega) = \bar{\chi}(\omega) - (c^2 / \omega^2) \langle (d\chi(x, \omega) / dx)^2 \rangle \approx \bar{\varepsilon}_{eff}(\omega) - 1$$

Здесь $\langle F(x) \rangle = (1/L) \int_{-L/2}^{L/2} F(x) dx$, L – период $\chi(x, \omega)$.

В одномерной среде с $\chi(x, \omega) = \sum_n \bar{\chi}(\omega) L e^{-(x-nL)^2 / u^2} / \sqrt{\pi} u^2$ и периодом $L \gg u$ условие Черенкова принимает вид

$$\beta \{1 + \bar{\chi}_{eff}\} \cos \theta = 1, \quad \bar{\chi}_{eff} = \bar{\chi}(\omega) - \bar{\chi}^2(\omega) \frac{\lambda^2 L}{4\sqrt{2}\pi^{5/2} u^3} > 0, \lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$$

и отличается от условия $\bar{\chi}(\omega) > 0$ в бесструктурной среде.

В работе также проведен анализ условий черенковского рентгеновского излучения в реальной 3-мерной периодической среде (включая кристаллы и сверхрешетки).

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ

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

GEANT 4.9.2 применен для моделирования спектров тормозного излучения и их восстановления из комптоновски рассеянных спектров. Гамма-кванты регистрировались под углом $\sim 5^0$ после комптоновского рассеяния на вторичной мишени. Вторичные спектры рассеянного гамма-излучения восстанавливались по определенной методике и сравнивались с первичными спектрами. Данные моделирования подтверждают практическую возможность восстановления первичных спектров тормозного гамма-излучения с энергией 1-1000 МэВ с использованием комптоновского рассеяния на вторичных мишенях. Показаны преимущества использования легких вторичных мишеней, выявлены трудности, связанные с искажающим влиянием дополнительного тормозного излучения от $e^{+/-}$ пар, возникающего при использовании тяжелых вторичных мишеней. Расчеты показали, что существует принципиальная возможность восстановления первичного спектра, имеющего структуру из нескольких пиков, однако для высоких энергий возникает значительный разброс энергий в спектре рассеянного излучения, что накладывает жесткие требования к коллимации детектора. Учет реальной разрешающей способности детектора приводит к размытию структуры в восстановленном спектре.

ЗАВИСИМОСТЬ ОТКЛИКА СПЕКТРОМЕТРА, РЕГИСТРИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЛИВНИ ОТ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 28 ГэВ, ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КОНВЕРТОРА

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

При углах входа e^- , e^+ и γ -квантов в кристалл $\Theta \ll \Theta_{\text{ПСП}} = V/mc^2$ (Θ - угол между импульсом e^- , e^+ и γ -кванта и осью кристалла; V – масштаб потенциала оси; m - масса электрона; c - скорость света) формируется область “постоянного сильного поля” (ПСП), приводящая к значительному росту сечений электродинамических процессов [1]. Ещё больший рост сечений процессов наблюдается при охлаждении кристалла [2]. Отклик спектрометра с конвертером из охлажденного до $T_w = 77^\circ\text{K}$ ориентированного вдоль оси $\langle 111 \rangle$ 1 мм кристалла вольфрама, регистрирующего электромагнитные ливни от электронов 28 ГэВ, отличается от аналогичного отклика при $T_w = 293^\circ\text{K}$. Уменьшение температуры приводит к ещё большей сдвигке каскадных и интегральных кривых, определяемых спектрометром, к началу развития ливня, увеличению эффективной толщины ориентированного кристалла и уменьшению его радиационной длины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Uggerhoj U.I. // Reviews of Modern Physics, 2005, V. 77, P. 1131.
2. Басков В.А., Ганенко В.Б., Жебровский Ю.В. и др. // Тезисы докладов XIX Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, Издательство МГУ, 1989, стр. 84-86.

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ С ПОМОЩЬЮ КРИСТАЛЛ-ДИФРАКЦИОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ НА ОСНОВЕ МОЗАИЧНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, Ю.В. Жандармов, С.А. Лактионова,
П.Н. Растовцев, А.В. Селищева, Р.А. Шатохин
Белгородский государственный университет,
Белгород, Россия

Обсуждается возможность использования дифракционного спектрометра на основе мозаичных кристаллов для измерения спектрально-угловых распределений излучения электронов средних энергий в ориентированных кристаллах. Приведены результаты численного моделирования характеристик спектрометра на основе кристалла пиролитического графита для экспериментальных условий микротрона НИИ ЯФ МГУ на энергию 54 МэВ. Анализируется возможность проведения измерений по оценке характерных размеров микроблоков кристаллов тяжелых элементов (вольфрам) по методике работы /1/. Проведено сопоставление преимуществ и недостатков трех кристалльной схемы генерации рентгеновского излучения быстрыми электронами с использованием излучения при осевом каналировании электронов с энергией 30-50 МэВ и двухкристалльной схемы, предложенной в работе /2/, для медицинских приложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакланов Д.А. и др. // Тезисы докладов 40 международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. - М: Университетская книга, 2010, С.86.
2. Внуков И.Е., Жандармов Ю.В., Шатохин Р.А. // Вестник Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина, 2008, Т. 808, вып.2(38), - С. 25.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ МИКРОБЛОКОВ НА КОГЕРЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МОЗАИЧНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Д.А. Бакланов, И.Е. Внуков, С.А. Лактионова,
А.В. Селищева, Ч.Т. Та, Р.А. Шатохин

Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

Известно, см., например /1/, что при выполнении условия $l < l_c \sim \gamma^2 \lambda$, l - толщина кристалла, а l_c - длина формирования излучения, интенсивность когерентного тормозного излучения (КТИ) должна уменьшаться по сравнению с интенсивностью излучения в кристалле большей толщины. В эксперименте влияние конечности размера кристалла не наблюдалось, так как для типичной ситуации исследования и применения механизма КТИ, то есть энергии электронов и фотонов $E_0 \sim 1$ ГэВ и $\omega \sim 100$ МэВ длина формирования меньше 1 мкм. Анализируется возможность проявления обсуждаемого эффекта в мозаичных кристаллах, где характерная длина блоков l_b , из которых состоит такой кристалл, может меняться в пределах $1 \text{ мкм} < l_b < 50 \text{ мкм}$. Показано, что для $l_b \sim 20 \text{ мкм}$ и $E_0 \sim 10$ ГэВ проявление эффекта подавления интенсивности КТИ ограничивается из-за искривления траектории частицы вследствие влияния эффектов каналирования и азимутального рассеивания. Обсуждается возможность проявления этого эффекта в эксперименте /2/ по исследованию когерентного рождения электрон-позитронных пар в кристалле пиролитического графита с размерами блока $\sim 1\text{-}5 \text{ мкм}$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, Изд. АН АРМ ССР, Ереван, 1969, 459с.
2. Berger C. et al. //Phys. Rev. Lett. 1970 V. 25, P.1366.

КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВДОЛЬ СКОРОСТИ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА В ИСКУССТВЕННОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ

С.В. Блажевич¹⁾, И.В. Колосова²⁾, А.В. Носков²⁾

¹⁾ Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾ Белгородский университет потребительской кооперации, Белгород, Россия

Традиционно, излучение релятивистской частицы в периодической слоистой структуре рассматривалось в геометрии рассеяния Брэгга /1-3/. Нами построена динамическая теория когерентного рентгеновского излучения релятивистской частицы в искусственной многослойной периодической структуре в направлении Брэгга для геометрии рассеяния Лауэ /4/. В настоящей работе эта теория развита для излучения вдоль скорости релятивистской частицы в случае асимметричного отражения поля частицы относительно поверхности мишени. В работе получены выражения, описывающие спектрально-угловые характеристики излучения на основе двух механизмов: параметрического и переходного. Показано, что пик параметрического рентгеновского излучения в направлении вперед оказывается во много раз шире, чем аналогичный пик спектра излучения в монокристалле, что может облегчить его экспериментальное обнаружение и исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, АН АрмССР, Ереван, 1969, с. 459.
2. Piestrup M.A., Boyers D.G., Pincus C.I., et al.// Phys.Rev. A, 1992, vol. 45, 1183.
3. Nasonov N.N., Kaplin V.V., Uglov S.R., et al.// Phys. Rev. E, 2003, vol. 68, 3604.
4. Blazhevich S.V. Noskov A.V. //4th International Conference Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena October 3-8, 2010, Ferrara, Italy.

ДИФРАГИРОВАННОЕ ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА В ИСКУССТВЕННОЙ
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ

С.В. Блажевич¹⁾, И.В. Колосова²⁾, А.В. Носков²⁾

¹⁾ Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾ Белгородский университет потребительской кооперации,
Белгород, Россия

В работе рассматривается дифрагированное переходное излучение (ДПИ) релятивистского электрона пересекающего искусственную многослойную периодическую структуру в геометрии рассеяния Лауэ в общем случае асимметричного отражения поля относительно поверхности мишени. Исследуются полученные на основе двухволнового приближения динамической теории дифракции выражения, описывающие спектрально-угловые характеристики излучения. На основе этих выражений определены параметры мишени, соответствующие максимальному выходу излучения. Показано, что выход ДПИ из слоистой мишени более чем на порядок превышает выход излучения частицы в монокристаллическом радиаторе в аналогичных условиях.

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ ФОРМЫ ЗЕРЕН В НАНОМАТЕРИАЛАХ.

О.А. Горбунова, П.Н. Жукова, Н.Н. Насонов

Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

Проблема измерения размеров и формы зерен в наноматериалах является весьма актуальной, поскольку свойства указанных материалов в значительной степени определяются этими параметрами. Обычный метод малоуглового рассеяния неэффективен в рассматриваемых условиях плотного заполнения образца зернами вследствие интерференции фотонов, рассеянных различными зернами. Предлагается энергодисперсионный метод измерения спектра рассеянного широкополосного рентгеновского излучения в области брэгговских пиков, возникающих благодаря периодичности решетки отдельных зерен. Показывается, что сигналы от различных зерен не интерferируют в рассматриваемой области частот, что делает выход рассеянных квантов пропорциональным усредненному по ориентациям, а также по размерам и форме квадрату модуля структурного фактора зерна. Созданная модель применима к материалам с кубической решеткой с базисом (в этом случае удастся частично просуммировать по атомам суммы в структурном факторе). Форма зерна моделируется параллелепипедом с переменными основными размерами (при этом легко моделировать форму зерна в широких пределах от вытянутой до сплюсненной). Для усредненного по ориентациям структурного фактора используется формула Дебая, позволяющая практически точно учесть начальный угловой разброс излучения и конечность сечения фотонного коллиматора. Установлена связь соотношений между амплитудами различных брэгговских пиков с формой зерна. Именно данное обстоятельство открывает возможность диагностики размеров и формы зерен методом Ритвелда.

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МИШЕНИ,
ОБЛУЧАЕМОЙ КИЛОВОЛЬТНЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ, НА
ВОЗБУЖДАЕМЫЙ В НЕЙ СИГНАЛ РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.А. Куприянова¹⁾, О.И. Лямина¹⁾, Л.Р. Миникаев²⁾, Р.Р. Тангишев²⁾,
М.А. Степович²⁾, М.Н. Филиппов¹⁾

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

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

Использование электроннозондовых устройств для получения количественной информации о диэлектрической мишени требует создания математической модели, физически адекватно описывающей процесс накопления заряда в мишени и влияние этого процесса на параметры регистрируемого информативного сигнала. Ранее были предприняты попытки развития количественной теории электроннозондового микроанализа с учетом накопления локального заряда в мишени, однако до сих пор на уровень количественных поправок выйти не удалось.

В настоящей работе рассмотрены некоторые возможности количественного представления процесса взаимодействия килвольтных электронов с диэлектрической мишенью, в основе которого лежит модель, основанная на раздельном описании процессов формирования заряженной области под проводящим покрытием и генерации сигнала рентгеновского излучения в условиях стационарной зарядки мишени.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-03-00961), РФФИ и правительства Калужской области (проекты № 11-03-97508 и № 11-02-97509).

ПОЛЯРИЗАЦИЯ КОГЕРЕНТНОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ОСЕВОЙ ОРИЕНТАЦИИ В КРИСТАЛЛЕ

Ю.П. Кунашенко¹⁾²⁾

¹⁾ Национальный исследовательский

Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾ Томский государственный педагогический университет,
Томск, Россия

Когерентное тормозное излучение (КТИ) релятивистских электронов в кристаллах возникает при движении электронов под малым углом относительно системы кристаллографических плоскостей /1-2/ или при движении электрона параллельно оси кристалла /3/. В настоящее время КТИ релятивистских электронов хорошо изучено как теоретически, так и экспериментально /1-3/.

КТИ релятивистских электронов при плоскостной ориентации обладает плоскостной поляризацией, которая была детально исследована теоретически и экспериментально /1-2/.

При осевой ориентации плоскостная поляризация КТИ релятивистских электронов может возникнуть, только если наблюдать КТИ в коллиматор имеющий форму прямоугольника /4/. В представленном докладе исследована круговая поляризация КТИ релятивистских электронов при осевой ориентации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. - Ереван, Изд-во АН Арм.ССР, 1969, 458.
2. Diambri - Palazzi G. // Rev.Mod.Phys., 1968, 10, 611.
3. Uberall H. // Physical review 1956, 103, No 4, 1055.
4. Циркин С.С., Кунашенко Ю.П. // В сб. "Становление и развитие научных исследований в высшей школе". Томск, ТПУ, 2009 Том 1, 172.

КОМПТОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ ФОТОНА НА КАНАЛИРОВАННОМ ПОЗИТРОНЕ

Ю.П. Кунашенко^{1) 2)}, Ю.В. Шпет²⁾

¹⁾Национальный исследовательский

Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾Томский государственный педагогический университет,
Томск, Россия

Релятивистский позитрон, пролетая через кристалл под малым углом к оси или плоскости кристалла, может быть захвачен в режим каналирования. Канализующий позитрон обладает дискретными уровнями поперечной энергии. Как известно, рассеяние фотона на заряженной частице, обладающей дискретными уровнями энергии, обладает особенностями по сравнению с рассеянием на свободном электроне [1].

В представленном докладе теоретически рассмотрено рассеяние фотона на каналированном позитроне. Получены формулы, описывающие данный процесс. Изучена зависимость сечения от энергии каналированного позитрона, энергии фотона и его угла рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

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

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТИЧЕСКИХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С УЧЕТОМ ТОРМОЖЕНИЯ: ИЗОТОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

О.В. Богданов¹⁾, Ю.Л. Пивоваров¹⁾, Е. И. Фикс¹⁾

¹⁾Томский политехнический университет, Томск, Россия

Представленная в работе /1/ модель предсказывала диффракционно подобные эффекты в угловом распределении черенковского излучения релятивистских тяжелых ионов в тонких радиаторах. Разработанный новый метод /2/, основанный на более точном учете торможения (dE/dx) с использованием пакета программ SRIM'08, позволил исследовать угловое распределение черенковского излучения ионов в зависимости от толщины радиатора, заряда иона и длины волны. В работе исследуется диффракционно подобная структура углового распределения черенковского излучения тяжелых ионов. Проведен расчет угловых распределений черенковского излучения для изотопов ионов – изотопический эффект /4/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuzmin E.S., Tarasov A.V. // Diffractionlike effects in angular distribution of Cherenkov radiation from heavy ions, Rapid Communications JINR №4, 1993, с.64.
2. Ziegler J.F. // The Stopping of Energetic Light Ions in Elemental Matter - J. Appl. Phys / Rev. Appl. Phys., 85,1999, p.1249-1272.
3. V.R. Altapova, O.V. Bogdanov, Yu. L. Pivovarov. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B. 267 (2009) P. 896–900
4. Bogdanov O.V, Pivovarov Yu.L. II Nuovo Cimento. 2011, in press.

КАНАЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 255 МэВ В КРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ

О.В. Богданов¹⁾, Ю.Л. Пивоваров¹⁾,
Т.А. Тухфатуллин¹⁾, С.В. Абдрашитов²⁾

¹⁾ Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾ Томский государственный университет, Томск, Россия

Излучение при каналировании релятивистских частиц в кристаллах подробно рассмотрено в работах /1-2/. В работе /3/ исследованы усредненные (по точкам влета электронов в кристалл) спектры излучения релятивистских электронов при осевом каналировании через кристаллы Si.

В связи с планируемыми экспериментами на синхротроне SAGA Light Source (Tosu, Saga, Japan), в рамках коллаборации с ТПУ, представлены численные расчеты траекторий и угловых распределений электронов при осевом и плоскостном каналировании через кристаллы Si с параметрами пучка, соответствующими SAGA LS /4/

Расчеты выполнены на вычислительном кластере «СКИФ-Политех» ТПУ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Baier V. N., Katkov V. M., Strakhovenko V. M.. Electromagnetic Processes at High Energies in Oriented Single Crystals, World Scientific Publishing Co, Singapore, 1998.
2. Akhiezer A.I., Shu'lg'a N.F. High Energy Electrodynamics in Matter, Gordon and Breach, Luxemburg, 1996.
3. Ананьева А.А., Богданов О.В., Пивоваров Ю.Л.// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010, - № 1, с. 1-7
4. Takabayashi Y., Kaneyasu T., Iwasaki Y. //Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena (Channeling 2010): Book of Abstracts of 4rd International Conference, Ferrara (FE), Italy October 3 - 8, 2010, p. 195.

ОБРАТНОЕ ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ОБЛАСТИ МЯГКОГО РЕНТГЕНА

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

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Экспериментально исследована зависимость выхода обратного переходного излучения от угла падения электронного пучка с энергией 5.7 МэВ на поверхность плоской Si мишени. Детектором являлся вторичный электронный умножитель ВЭУ-6, работающий в счётном режиме. Излучение регистрировалось в переднюю полусферу под углом $\theta=60^\circ$ от направления электронного пучка. Результаты измерений сравниваются с теорией [1] на рис.1. Для оценки энергетического состава излучения и уровня фона использовались фильтры. Сравнения экспериментальных результатов с расчетами показывает, что основной вклад в выход излучения в регистрируемом диапазоне приходится на фотоны с энергией 10-30 эВ.

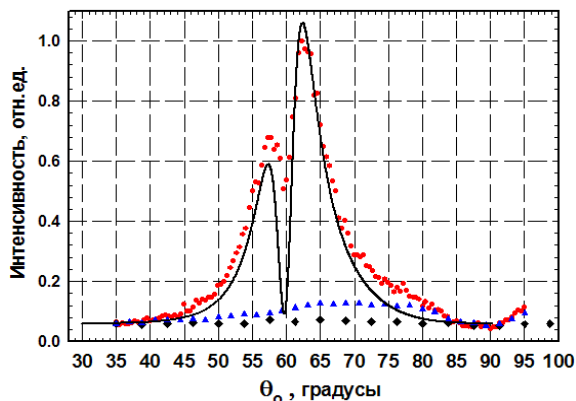


Рис. 1. Точки - счёт ВЭУ-6 без фильтров; треугольники - счёт с майларовым фильтром 1,75 м; ромбы - счёт со свинцовым фильтром 0,5 мм; линия - расчёт.

ЛИТЕРАТУРА

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

КАНАЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 20-35 МэВ В СВЕРХТОЛСТЫХ КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ

В.В. Каплин, С.Р. Углов

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Представлены результаты исследований рентгеновского излучения, генерированного 20-33 МэВ электронами бетатрона в 2 и 4 мм Si кристаллах. Образцы взяты из тех, которые используются в качестве подложек для создания на их поверхностях рентгенофотонных кристаллов. Полученные фотографии распределений генерированного излучения показали его концентрирование в направлении оси [110] и плоскостей (110) и (111). Такую сложную угловую картину излучения из подложки необходимо учитывать при исследовании генерации излучения в слоистой структуре рентгенофотонных кристаллов, которая также проявляет себя полосами интенсивности, но в направлении слоев структуры. Предположено, что так проявляет себя эффект каналирования, при котором электроны могут некоторое время двигаться вдоль атомной оси или плоскости, излучая в узкий конус вдоль направления их движения, что формирует пятно и полосы интенсивности внутри широкого конуса тормозного излучения. Существование такой картины при разориентированном кристалле с толщиной, превышающей длину каналирования электронов в сотни раз, показывает, что имеет место объемный захват электронов в режим каналирования при их многократном рассеянии /1/.

Получены ориентационные зависимости угловых распределений излучения и измерены спектры в конусе обычного тормозного излучения и полосах интенсивности, сформированных каналирующими электронами. Работа выполнена в рамках проекта №10-02-00942, поддержанного Российским фондом фундаментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaplin V.V., Gridnev V.I., Khlabutin V.G., et al. Volume capture of 1.5-5.7 MeV electrons in quantum channeling states // Phys. Stat. Sol. (b), 1989, 152, p.61.

ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 15-35 МэВ В ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЗЕРКАЛАХ

В.В. Каплин, С.Р. Углов

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Представлены результаты исследования генерации рентгеновского излучения быстрыми электронами в периодических слоистых интерференционных структурах, известных как рентгеновские зеркала в оптике. Впервые рентгеновские зеркала как радиаторы рентгеновского излучения были исследованы с использованием электронов внутреннего пучка Томского синхротрона с энергией 500 МэВ /1/. Следующие исследования с рентгеновскими зеркалами были проведены на внутреннем пучке бетатрона Б-35 при энергии электронов 15-35 МэВ с использованием зеркал с многослойными структурами, состоящими из нескольких сотен пар слоев W и В4С с толщинами в интервале 1.23-1.9 нанометров. Были получены ориентационные зависимости спектров излучения, их зависимости от энергии электронов и угла расположения коллимированного Si-детектора /2/. Излучение из слоистых структур зеркал представляет собой, по сути, параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ), хорошо исследованное для монокристаллов. Планируется исследовать также генерацию рентгеновского излучения в радиаторе, состоящем из двух рентгеновских зеркал, расположенных параллельно на малом расстоянии друг от друга. Здесь механизм генерации соединит в себе эффект ПРИ в слоистых структурах зеркал и волноводный эффект для излучения, генерированного в зеркалах и проходящего радиатор в волноводных модах.

Исследования поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 10-02-00942.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaplin V.V., Uglov S.R., Zabaev V.N., Piestrup M.A. and Gary C.K. // Appl. Phys. Lett. 76, 2000, p. 3647.
2. Kaplin V.V., Uglov S.R., Sohoreva V.V., Bulaev O.F., Voronin A.A., Piestrup M., Gary C., Fuller M. // NIMB 267 (2009) p.777.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНВЕРТОРОВ

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

В рамках программного кода GEANT 4.9.2 рассчитывались спектрально-угловые характеристики тормозного излучения электронов, выходящего из аморфных мишеней с различным зарядом. Расчетные спектры излучения имели характерную зависимость выхода гамма-квантов $N(E_\gamma) \sim 1/E_\gamma$ и нормировались к виду спектров Шиффа $N_\gamma * E_\gamma / \Delta E_\gamma / N_e$. Полученные величины интенсивностей превышали экспериментальные данные на 10-25% для различных толщин Be, Si и различных углов регистрации излучения. Расхождение увеличивается с ростом толщины кристалла.

Изучены угловые распределения выхода излучения из Si, 1 мм при энергии электронов 300 и 1200 МэВ. Так, угловые ширины на полувысоте распределений составили для 300 МэВ $\sim 0,004$ рад, для 1200 МэВ $\sim 0,001$ рад. Величина $\sim m_e c^2 / E_\gamma$ дает соответственно 0,0017 и 0,00042 рад. Расчетные угловые зависимости излучений для мишеней Be, Si и W, 1 мм показали их уширение с ростом заряда.

Рассчитывались зависимости полного выхода гамма квантов от толщины кремния для энергий электронов 300 и 1200 МэВ. Такие кривые имеют выход на максимум при толщине ~ 10 мм, при увеличении толщины до 65 мм выход заметно $\sim 10\%$ падает. Нормированные на телесный угол светимости отличаются в области малых углов примерно на порядок для указанных энергий, что удовлетворительно согласуется с экспериментом.

Построены зависимости полного излучения от энергии электронов в переднюю полусферу для Si и W, учитывался вклад всех гамма-квантов с $E_\gamma > 1$ МэВ. Излучение отличается для всех энергий (10-1500 МэВ) примерно в 26 раз, что близко к соотношению радиационных длин $R_{Si}/R_W = 9,366/0,3504 \text{ см} = 26,73$.

КОГЕРЕНТНОЕ ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В КРИСТАЛЛАХ ПРИ УЛЬТРАБОЛЬШИХ ЭНЕРГИЯХ (ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЦЕРН)

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

При движении релятивистских электронов в ориентированном кристалле возможны когерентные и интерференционные эффекты в излучении (см., например /1-3/). Вследствие этих эффектов спектр излучения может обладать острыми максимумами с высокой интенсивностью и поляризацией излучения. Детальное экспериментальное исследование таких эффектов выполнялось ранее при энергиях частиц до нескольких десятков ГэВ (см., например /2,3/ и ссылки там). При более высоких энергиях частиц такие экспериментальные исследования практически отсутствуют. В настоящей работе показано, что при энергиях частиц в несколько сотен ГэВ когерентные максимумы сдвигаются в область энергии γ -квантов, близкой к энергии частицы. Кроме того, в этом случае появляются и новые возможности в генерации новых когерентных максимумов в спектре излучения, связанных со специальными ориентациями кристалла /4/. Эти максимумы обусловлены одновременным вкладом в когерентное излучение от различных кристаллических плоскостей атомов. Программа экспериментальных исследований таких эффектов при энергиях частиц в несколько сотен ГэВ на ближайшие годы в настоящее время принята в ЦЕРН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахиезер А.И., Шульга Н.Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе. – М.: Наука, 1993, с. 344.
2. Diambri-Palazzi G. // Rev. Mod. Phys. 1968, v. 40, p. 611.
3. Timm U. // Fortschr. Phys. 1969, v. 17, p. 765.
4. Shul'ga N.F., Truten' V.I., Syshchenko V.V. // Phys. Lett. B, 1994, v. 327, p. 306.

ЭФФЕКТЫ ПРЕДВОЛНОВОЙ ЗОНЫ В ТОРМОЗНОМ И ПЕРЕХОДНОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНА С НЕРАВНОВЕСНЫМ ПОЛЕМ

Н.Ф. Шульга¹⁾, С.В. Трофименко²⁾, В.В. Сыщенко³⁾

¹⁾ ИТФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

²⁾ ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

³⁾ БГУ, Белгород, Россия

Рассмотрена задача о переходном излучении релятивистского электрона на тонкой, идеально проводящей пластинке. Получены явные выражения, описывающие пространственно-временную эволюцию электромагнитного поля, которое возникает до и после пересечения электроном пластинки. Обсуждается аналогия в развитии пространственно-временной картины электромагнитного поля в процессах переходного излучения и тормозного излучения при мгновенном рассеянии релятивистского электрона на большой угол $/1/$. Особое внимание уделено анализу переходного излучения «полуголого» электрона $/2/$ (электрона с неравновесным полем) на металлической пластинке, расположенной на различных расстояниях от точки рассеяния, где происходит частичное «разделение» электрона. Показано, что «полуголое» состояние электрона проявляется в подавлении переходного излучения и осцилляторном характере зависимости его характеристик от расстояния между пластинкой и точкой рассеяния. Рассмотрена проблема измерения характеристик тормозного излучения при рассеянии электрона на большой угол, в условиях, когда поперечные расстояния, ответственные за процесс излучения, имеют макроскопические размеры. Показано, что в этом случае результаты измерений существенно зависят от размера детектора и его положения относительно точки рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахиезер А.И., Шульга Н.Ф. // УФН, 1982, т. 137, с. 561-604.
2. Фейнберг Е.Л. // ЖЭТФ, 1966, т. 50, с. 202.

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАТЕРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ЭКСИТОНОВ В НИТРИДЕ ГАЛЛИЯ

А.Н. Поляков¹⁾, М. Noltemeyer²⁾, J. Christen²⁾, Т. Hempel²⁾,
М.А. Степович¹⁾

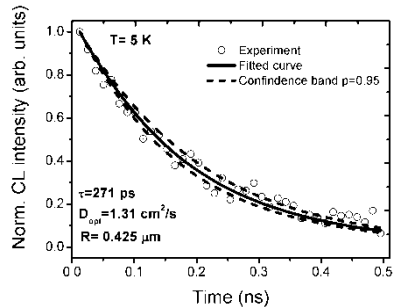
¹⁾Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
Калуга, Россия

²⁾ Otto-von-Guericke-Universität-Magdeburg, Magdeburg, Germany

В качестве объектов исследования использовался монокристаллический нитрид галлия, покрытый светонепроницаемой маской с круглыми отверстиями различного диаметра: от десятых долей до единиц микрометра. Катодолюминесцентное (КЛ) излучение возбуждалось в центре отверстия пульсирующим электронным зондом растрового электронного микроскопа. Длительность импульса составляла десятки пикосекунд, а спад импульса обеспечивал реализацию измерений с разрешением не хуже сотых долей наносекунды.

Экспериментальные характеристики кинетики КЛ экситонов для образцов с различным диаметром отверстий сравнивались с результатами расчётов с использованием разработанной нами математической модели диффузии экситонов, в результате чего определялся их коэффициент диффузии. Типичные результаты проведённой работы для образца GaN при температуре 5 К представлены на рисунке.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке РФФИ и правительства Калужской области (проекты № 11-03-97508 и № 11-02-97509).



КОМПАКТНЫЙ ИСТОЧНИК МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ТОМСОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ КОГЕРЕНТНОГО ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.А. Веригин¹⁾, А. Науменко¹⁾, А.П. Потылицын¹⁾, Л.Г. Сухих¹⁾,
А. Aryshev²⁾, А. Araki²⁾, М. Fukuda²⁾, J. Urakawa²⁾, Р. Karataev³⁾

¹⁾Томский политехнический университет, Томск, Россия

²⁾ KEK, Tsukuba, Japan

²⁾ John Adams Institute at Royal Holloway, Egham, UK

Интенсивные источники излучения в ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазоне длин волн используются в медицине, биологии, биохимии, материаловедении и т.д. Для этих целей по всему миру были построены источники третьего поколения на основе действующих синхротронных центров. Но такие источники остаются дорогими и не очень доступными для широкого круга пользователей. В предлагаемой нами схеме генерация мягкого рентгеновского излучения в диапазоне ≤ 500 эВ будет производиться посредством обратного томсоновского рассеяния когерентного дифракционного излучения (КДИ), которое в свою очередь является результатом взаимодействия пучка электронов с материалом проводящих мишеней, образующих резонатор /1/.

Такого рода источник создаётся в настоящее время на базе ускорителя LUCX KEK (High Energy Accelerator Research Organization). На данном этапе исследований /2/ отработаны методики получения КДИ и опробована схема настройки резонатора. В дальнейшем планируется улучшить схему резонатора и перейти к регистрации мягкого рентгеновского излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Potylitsyn P., et.al.// Proc. RuPAC'06, Novosibirsk, 147-149.
2. Aryshev A., et.al., Proc. of IPAC'10, Kyoto, 196-198.

АТОМНЫЙ АНАЛОГ ФОТО–ЯДЕРНОГО КОНФИГУРАЦИОННОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ

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

Анализируется влияние структуры электронных оболочек в легких атомах на характер рентгеновского излучения быстрых электронов. Рассматривается поляризационное тормозное излучение (ПТИ), которое возникает при рассеянии кулоновского поля быстрой заряженной частицы на атомных электронах и дает непосредственную информацию об электронной структуре вещества. В наиболее интересной для различных приложений области энергий рентгеновских фотонов 1-10 кэВ ПТИ приобретает коллективный характер и интенсивность ПТИ резко возрастает как квадрат количества охватываемых атомных электронов. Показывается, что этот механизм достаточно чувствителен и это позволяет различать структуру атомных оболочек, по крайней мере, в атомах легких элементов. Так, в атоме углерода (расчет методом Хартри-Фока) в спектре ПТИ в указанном диапазоне частот выделяются две области когерентного излучения. В низкочастотной области до энергий порядка 5 кэВ имеется пик, обусловленный когерентным излучением всех атомных электронов. При большей энергии фотонов когерентность электронов оболочек последовательно рассыпается сначала для верхней оболочки, так что в спектре ПТИ наблюдается плато, складывающееся из некогерентного (4 электрона) и когерентного (2 электрона) излучения, а затем при энергии фотонов около 30 кэВ – для всех электронов, переходя полностью в некогерентное. Следуя ядерной терминологии при описании гигантского дипольного резонанса, отмеченный эффект можно назвать конфигурационным атомным расщеплением.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ РЕЗОНАНСНОГО КОГЕРЕНТНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ (РКВ) РЕЛЯТИВИСТСКИХ ИОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

В.П. Петухов
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В эксперименте /1/ в условиях РКВ наблюдалась анизотропия выхода характеристического рентгеновского излучения (ХРИ). Расчеты углового распределения излучения девозбужденного иона /2/ также указывают на большую анизотропию ХРИ. При этом в расчетах не принимались во внимание процессы взаимодействия этого излучения с кристаллом. В настоящей работе на примере поверхностной волны в условиях эксперимента /1/ дан анализ возможных изменений изначального углового распределения ХРИ. Поверхностной волной мы называем излучение вылетающих из мишени ионов на границе кристалл-вакуум, направленное параллельно поверхности.

Расчет зависимости интенсивности поверхностной волны от угла выхода θ выполнен в кинематическом приближении теории дифракции. Из расчетов следует, что в случае поверхностной волны, направленной вдоль плоскости каналирования (2-20), на выходе из кристалла в угловой зависимости должны наблюдаться два пика: 1) в области θ от 0 до 0,3 мрад – пик зеркального отражения и 2) при $\theta = \theta_c = 6,82$ мрад – пик поверхностной волны (θ_c – критический угол полного внешнего отражения). Второй пик по интенсивности вдвое превышает пик зеркального отражения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ - грант № 09-02-01266.

ЛИТЕРАТУРА

1. Azuma T., Takabayashi Y., Kondo C., et al. // Phys. Rev. Lett. 2006, 97, 145502.
2. Балашов В.В., Долинов В.К., Соколик А.А. // Письма в ЖЭТФ, 2009, 89, вып. 8, 463.

Секция III

**РАССЕЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ
ЧАСТИЦ**

МЕХАНИЗМЫ РАСПЫЛЕНИЯ КЛАСТЕРОВ МЕДИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ДИМЕРАМИ Cu_2

Г.В. Корнич¹⁾, Г. Бетц²⁾, В.И. Шульга³⁾, Вал. Г. Корнич¹⁾

¹⁾ЗНТУ, Запорожье, Украина

²⁾Technische Universitaet Wien, Wien, Austria

³⁾МГУ, Москва, Россия

За последние пятнадцать лет появилось большое число публикаций, в которых обсуждается эффект /1/ усиления столкновительных процессов вблизи поверхности при бомбардировке различных материалов атомами кластерами с энергиями выше килоэлектронвольта по сравнению с отдельными атомами той же скорости. Эффект проявляется в увеличении выхода распыленных частиц /2/. В /3/ было показано, что больший выход распыления атомов поверхностных кластеров для налетающих димеров Cu_2 низких энергий по сравнению с удвоенным выходом распыления для налетающих мономеров Cu обусловлен наложением столкновений от обоих атомов димера.

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 Cu_2 с энергиями 100, 200 и 400 эВ. Результаты сравниваются с данными бомбардировки аналогичных мишеней атомами Cu с теми же скоростями. Получено, что увеличение распыления обусловлено, в основном, выходом многоатомных фрагментов, состоящих из 2-10 Cu атомов, из поверхностных кластеров. Показано, что с ростом размера кластера, вклад многоатомных фрагментов кластера в выход распыления возрастает.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Andersen H.H., Bay H.L. // J. Appl. Phys., 1974, 45, 953.
2. Bouneau S., Brunelle A., Della-Negra S., Depauw J., Jacquet D., et al. // Phys. Rev., 2006, B 65, 144106.
3. Корнич Вал.Г., Бетц Г., Корнич Г.В., Шульга В.И. // ФТТ, 2010, 52(10), 2068.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ КСЕНОНА

И.С. Ташлыков, А.И. Туровец
БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

Графит, обладая совокупностью ценных физико-химических свойств, применяется для изготовления изделий, используемых под воздействием потоков разных частиц. Вместе с тем недостаточно изученными остаются процессы влияния ионного облучения на свойства поверхности графита. В настоящей работе изучалось влияние облучения ионами Xe^+ с $E=20$ кэВ и интегральными потоками от 10^{14} до $3 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ на перераспределение компонентов графита по глубине, на локализацию ксенона в графите, развитие под облучением морфологии его поверхности на нанометровом уровне, на смачиваемость поверхности графита водой.

Для элементного анализа формируемых структур применяли метод (ROP) ионов гелия с $E_0 = 2$ МэВ. Послойное распределение элементов изучали, применяя программу RUMP моделирования экспериментальных энергетических спектров ROP. Для изучения морфологии поверхности графита применяли сканирующую зондовую микроскопию, для определения ее лиофильности и лиофобности измеряли краевой угол смачиваемости (КУС).

В экспериментах выявлено в составе графита H, O, Si, Ca, W. При облучении в приповерхностной области незначительно увеличивается содержание H и O, но снижается концентрация C, Si, Ca. Установлена немонотонная зависимость средней шероховатости поверхности графита от интегрального потока ионов Xe^+ . При измерении КУС обнаружена гидрофобизация поверхности облученного графита.

ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ СОВЕРШЕНСТВА КРИСТАЛЛОВ SiC ПРИГОТОВЛЕННЫХ ПРОСТЫМ И МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ЛЕВИ

В.К. Егоров¹⁾, Г.А. Емельчинко²⁾, А.А. Жохов²⁾, А.С. Артемов³⁾

¹⁾ИПТМ РАН, Черноголовка, 142432 Россия

²⁾ИФТТ РАН, Черноголовка, 142432 Россия

³⁾ИОФ РАН им. А.М. Прохорова, Москва

Интерес к SiC связан с уникальными электрическими свойствами этого материала. Являясь широкозонным полупроводником, он характеризуется высокой теплопроводностью, значение которой эквивалентно теплопроводности меди, обладает повышенной химической, термической и радиационной стабильностью. SiC может образовывать различные политипы с отличающимися электрическими параметрами, что позволяет создавать гетероструктуры в рамках неизменной биеlementной композиции /1/.

В работе проведен анализ монокристаллических пластинок, выращенных традиционным методом термического градиента Леви, и кристаллов, полученных по модифицированной технологии с использованием затравки. Структурный анализ показал в обоих типах кристаллов структурный политип 6H с гексагональной симметрией и параметрами кристаллической решетки $a=0.3080$ нм, $c=1.512$ нм. В качестве основных примесей в обоих типах кристаллов методом РФА ПВО зарегистрировано наличие Са и Fe на уровне около 10^{-3} ат.%. Методом ядерных реакций в них также обнаружено малое содержание азота и алюминия. Изучение совершенства структур этих кристаллов методом осевого каналирования ионов He^+ вдоль их гексагональной оси показало, что модифицированный метод их приготовления характеризуется более совершенной структурой с $\chi_{min}=0.22$. Значение χ_{min} для кристаллов, полученных традиционным методом, составило 0.36.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lebedev A.A. // Semicond. Science and Tech. 2006, v21, p. R17-R34.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ИОННО-ЛУЧЕВОМ
РАСПЫЛЕНИИ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА

В.С. Авилкина¹⁾, Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾,
В.С. Куликаускас¹⁾, Е.С. Машкова¹⁾, Е.А. Питиримова²⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ ННГУ, Нижний Новгород, Россия

Проведён структурный и морфологический анализ плёнок, полученных на подложках графита МПГ-8 при комнатной температуре и высокоориентированного пиролитического графита при температуре 400°C после высокодозового распыления углерод-керамического композита СГ-П-0.1 ионами Ag^+ энергии 30 кэВ. По данным спектрометрии резерфордского обратного рассеяния (ROR) толщина пленок при флюенсе ионного облучения $1.2 \cdot 10^{19}$ ион/см² составила 90 нм. Напыленные пленки содержат в основном Si, C и O с приблизительно одинаковыми атомными концентрациями. С помощью метода дифракции быстрых электронов на отражение установлено, что вне зависимости от сорта использованной подложки и температуры облучения, пленки являются аморфными. Облучение ионами N_2^+ энергии 30 кэВ с флюенсом $1.9 \cdot 10^{18}$ ион/см² пленки, напыленной на МПГ-8, приводит к кардинальным изменениям состава и морфологии: к более чем двукратному уменьшению толщины пленки и к составу $\text{CN}_{0.25}\text{Si}_{0.03}\text{O}_{0.09}$. Данные ROR и РЭМ говорят о формировании нескольких типов морфологических элементов нанокompозитного (<100 нм) слоя на основе нитридов углерода и кремния, а также и оксида кремния. Обнаруженные структуры в виде переплетающихся волокон нанометрического диаметра напоминают структуру терморасширенного графита /1/.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки по мероприятию 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0389.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фиалков А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. Москва, Аспект пресс, 1997, 718с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ЗАРЯДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ ГЕЛИЯ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ПОВЕРХНОСТИ МЕДИ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ ПАДЕНИИ

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

Измерено энергетическое и зарядовое распределение ионов и атомов гелия с энергией $E_0=250-300$ кэВ, отраженных от медной поверхности при скользющем падении под углами $\alpha=1-3^\circ$. Метод измерения и аппаратура описаны в [1]. Для разных углов рассеяния θ получены распределения всех рассеянных частиц He^{i+} ($i=0,1,2$) и атомов He^0 от их энергии E . Это позволило определить относительное количество атомов He^0 в рассеянном пучке, Φ_0 , которое зависит от соотношения между сечениями перезарядки.

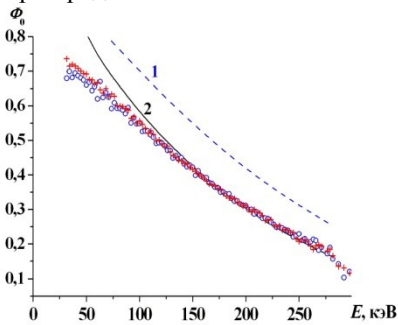


Рис.1 Относительное количество атомов He^0 , отраженных от медной поверхности при $E_0=300$ кэВ, $\alpha=1^\circ$. Экспериментальные данные усреднены по θ и для падающих на поверхность пучков указаны символами: (о)– He^0 ; (+) – He^+ . Теоретические оценки: 1 – интерполяция сечений перезарядки в газах [2] по заряду ядра атома мишени; 2 – с учетом корректировки газ – твердое тело

На основе сечений перезарядки для процессов столкновения ионов гелия с атомами Ag и Kг [2] и расчетов [3,4] проведена теоретическая оценка Φ_0 . Результаты (рис.1) показывают необходимость корректировки газового приближения. При увеличении сечений потери и уменьшении сечений захвата электрона в 1,3 раза достигается наилучшее согласие теоретической оценки с экспериментальными данными (рис 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Файнберг Ю.А. и др // Поверхность. 2010. N6. С.40.
2. Novikov N.V., Teplova Ya.A. // J.Phys. Conference Series. 2009. V.194. P. 082032.
3. Novikov N.V., Teplova Ya.A. // Phys. Let. A. 2009.V.373. P.550.
4. Дмитриев И.С. и др. // ЖЭТФ. 1983. Т.84. С. 1987.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА НА ОБЛУЧЕННЫХ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ СТАЛЬНЫХ МИШЕНЯХ

Т.В. Панова¹⁾, В.С. Ковивчак²⁾

¹⁾Омский государственный университет, Омск, Россия

²⁾Омский филиал Института физики полупроводников СО РАН,
Омск, Россия

Получение наноструктурированного углерода на поверхности различных мишеней представляет большой интерес как для промышленного применения, так и для фундаментальных исследований. При этом состояние подложки, степень ее кристалличности, шероховатость, величина поверхностной энергии – все эти параметры оказывают влияние на формирование наносимого покрытия и, следовательно, определяют ростовые характеристики углеродного слоя. Облучение металлических мишеней мощным ионным пучком (МИП) различной плотности позволяет в широких пределах изменять вышеперечисленные характеристики подложки.

В работе исследуется влияние предварительной обработки поверхности МИП на формирование наноструктурированного углеродного слоя. В качестве мишеней были выбраны стали СТ3, СТ45 и 12ХН3А, имеющие разное содержание углерода. Обработка образцов проводилась на ускорителе "Темп" протон-углеродным пучком с энергией 300 кэВ и различной плотностью тока. На облученные образцы осаждались углеродные слои с использованием PECVD метода на постоянном токе. В качестве рабочего газа использовалась смесь ацетилена (C_2H_2) и водорода (H_2). Толщина пленок углерода варьировалась в диапазоне 0,1 – 4 мкм. Поверхность углеродных слоев сформированных на облученных и необлученных сталях исследовалась с помощью растровой электронной и атомно-силовой микроскопии.

Проведенные исследования показали, что состояние поверхности стальных мишеней после облучения МИП может оказывать заметное влияние на степень дисперсности формируемого углеродного слоя.

РОЛЬ АТОМОВ ОТДАЧИ В ФОРМИРОВАНИИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ КРЕМНИЯ ПРОТОНАМИ МЭВНЫХ ЭНЕРГИЙ

В.В. Козловский¹⁾, В.В. Емцев²⁾, А.М. Иванов²⁾, А.А. Лебедев²⁾, Г.А. Оганесян²⁾, Н.Б. Строкан²⁾

¹⁾Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия

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

Проведен теоретический и экспериментальный анализ образования радиационных дефектов (РД) в кремнии при его облучении протонами с энергией порядка 1 МэВ в сравнении с электронным и нейтронным облучением с той же энергией. По сравнению с электронным облучением, имеют место два существенных отличия. Во-первых, за счет большей средней энергии ($T_{\text{ср}}$) атомов отдачи (АО) могут значительно увеличиваться расстояния между образующимися компонентами пар Френкеля (ПФ). Во-вторых, АО, имеющие при протонном облучении $T_{\text{ср}} \sim 200\text{--}300$ эВ, способны вызывать каскады столкновений с образованием «вторичных» ПФ. В результате каскада возникают микрообласти (МО) размером $20\text{--}30\text{\AA}$, в которых генерируется до десятка смещений. Такие МО еще не являются, строго говоря, областями разупорядочения ОР, для формирования которых необходимы АО с T , большей 10 кэВ, образуемые при нейтронном облучении ($T_{\text{ср}} \sim 40$ кэВ). Однако высокая концентрация вакансий в МО может способствовать интенсивному формированию дивакансий и их комплексов с примесными атомами. Указанные особенности образования РД при протонном облучении были исследованы экспериментально. Показано, что спектр РД, образующихся при протонном облучении, содержит как дефекты, наблюдаемые при электронном облучении, так и новые дефекты, в частности дивакансии и центры, состоящие из двух вакансий и атома фосфора.

ВОЗДЕЙСТВИЕ АТОМАРНОГО И КЛАСТЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЁНОК

О.А. Подсвиров¹⁾, К.В. Карабешкин¹⁾, В.С. Беляков¹⁾,
А.Я. Виноградов²⁾, Н.Н. Карасёв³⁾, А.И. Титов¹⁾,
П.А. Карасёв¹⁾

¹⁾ Государственный политехнический университет, С.-Петербург, Россия

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

³⁾ Государственный университет информационных технологий, механики и оптики, С.-Петербург, Россия

Алмазоподобные углеродные плёнки обладают многими уникальными свойствами. Одним из них является остающееся после приготовления плёнки высокое внутреннее механическое напряжение. Ионное облучение является мощным инструментом для модификации тонких приповерхностных слоев. В нашей работе исследовалось влияние облучения ионами Р и PF_4 на механические свойства плёнок, выращенных на кремниевых подложках методом PECVD из CH_4 или C_6H_{14} . Методика и режимы получения подробнее изложены в [1].

При облучении кластерными ионами в тонких приповерхностных слоях мишени имеет место перекрытие каскадов, создаваемых компонентами кластера. Плотность первичных смещений в этой области существенно повышается. Это явление в достаточно тонких пленках, объясняет экспериментально наблюдающееся увеличение скорости изменения напряжений при облучении кластерными ионами по сравнению с облучением атомарными ионами.

Также наблюдался аномально большой (до 50% от начальной толщины) рост толщины пленки, который коррелирует с дозовой зависимостью напряжений в ней.

AFM исследования показали высокую гладкость выращенных пленок и некоторое увеличение шероховатости под воздействием облучения ионами.

Работа поддержана грантом РФФИ № 11-08-01173.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карасёв П.А., Подсвиров О.А. и др. // Поверхность, 2009, №3, стр. 81.

ВЛИЯНИЕ ТЕКСТУРЫ МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА НА УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТОМОВ ПРИ МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ

А.В. Рогов¹⁾, Ю.В. Мартыненко¹⁾, Н.Е. Белова¹⁾, В.И. Шульга²⁾¹⁾ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Представлены результаты исследования влияния текстуры Мо и W на угловое распределение распылённых атомов при ДС-магнетронном распылении. Мишени изготавливались из прутков и фольги толщиной 0.2 и 0.4 мм соответственно. Обнаружено, что для образцов, вырезанных из прутка, и для фольг поперёк направления прокатки угловые распределения монотонны и имеют максимум по нормали к поверхности ($\theta = 0$). Для фольг вдоль направления прокатки наблюдаются максимумы при $\theta = 0$ и $57\text{--}60^\circ$. С помощью компьютерного моделирования исследовалось влияние анизотропии рельефа (видимые борозды) и преимущественной ориентации зёрен. Проведённый анализ показал определяющую роль второй причины. Угловое распределение атомов, распылённых из фольги, близко к распределению атомов, распылённых с грани (100) в плоскости (110), что совпадает с известной для молибдена ориентацией зёрен при прокатке [1]. В случае прутка угловое распределение лучше соответствует распределению атомов, распылённых с грани (110) в плоскости (100), что означает образование при отливке прутка кристаллитов с ориентацией $\langle 110 \rangle$ вдоль оси прутка. Это подтверждено также рентгеноструктурным анализом. Ориентация зёрен при прокатке происходит вследствие того, что низкоиндексные грани, имея меньший коэффициент трения, поворачиваются слабее и потому больше представлены на поверхности, чем высокоиндексные грани. Такой механизм ориентации зёрен свойственен только твёрдым и хрупким материалам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молибден. Сборник. Под редакцией А.К. Натансона, Москва, 1959, стр.38.

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ, РАСПЫЛЕННЫХ ИЗ НИКЕЛЬ-ПАЛЛАДИЕВЫХ СПЛАВОВ

Е.А. Андреев¹⁾, К.Ф. Миннебаев¹⁾, Д.В. Петров^{2),3)},
А.С. Патракеев^{1),2)}, В.С. Черныш^{1),2)}, А.А. Шемухин^{2),3)}

¹⁾Физический факультет МГУ, Москва, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

³⁾ФГУП МРТИ РАН, Москва, Россия

Эмиссия атомов твердого тела под действием ионного облучения играет важную роль в современной науке и технике. На практике мы имеем дело, как правило, с многокомпонентными мишенями. Однако, даже для одноэлементных мишеней до сих пор не существует теории, адекватно описывающей наблюдаемые в эксперименте закономерности. Поэтому в настоящей работе проводилось изучение угловых распределений элементов, распыленных из сплавов Ni_5Pd , NiPd и NiPd_5 .

Образцы облучались ионами Ne^+ с энергией 5 и 10 кэВ, падающими под углом $\alpha = 60^\circ$ от нормали к поверхности. Остаточное давление в камере составляло 10^{-6} Торр. Для измерения угловых распределений распыленных компонентов (УРК) использовалась коллекторная методика: распыленное вещество осаждалось на Al коллектор, который анализировался с помощью резерфордского обратного рассеяния ионов He^+ с энергией 1,8 МэВ.

Установлено, что в отличие от случая нормального падения бомбардирующего пучка, угловые распределения компонентов имеют несимметричную форму.

Анализ измеренных УРК показал, что при распылении сплавов Ni_5Pd и NiPd на поверхность сегрегирует Ni, а при распылении сплава NiPd_5 – Pd. Установлено, что на форму УРК оказывает влияние средняя масса атомов мишени.

УСКОРИТЕЛЬ ГАЗОВЫХ КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ.

А.А. Андреев²⁾, Ю.А. Ермаков¹⁾, А.Е. Иешкин¹⁾,
А.С. Патракеев¹⁾, В.С. Черныш^{1),3)}

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ООО Тензор, Москва, Россия

³⁾Физический факультет МГУ, Москва, Россия

В работе описан созданный в НИИЯФ МГУ ускоритель газовых кластерных ионов (УГКИ). Образование кластеров в данном УГКИ обеспечивается пропусканием газа, находящегося под давлением в несколько атмосфер, через сверхзвуковое сопло.

Приведены результаты первых исследований в режиме импульсной подачи аргона. Период импульса менялся в пределах 50-200 мс, длительность – 1-7 мс.

Выяснено, что при достаточно высоком давлении перед клапаном ($>2,5$ атм.) в зону ионизации и ускорения поступают кластеры, размер которых превышает 500 атомов на кластер. Доля полного периода импульса, в течение которой кластеры наблюдались в ускоренном потоке, растёт с ростом входного давления и достигает почти ста процентов при давлении 5,8 атм. Высказано и обосновано предположение, что такое поведение кластерного потока связано с зависимостью положения диска Маха относительно скиммера от давления газа перед соплом.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ Ag^+ С ВАНАДИЕМ И СПЛАВАМИ НА ЕГО ОСНОВЕ

И.В. Боровицкая¹⁾, Л.С. Данелян²⁾, В.В. Затекин³⁾, Л.И. Иванов¹⁾, С.Н. Коршунов²⁾, В.С. Куликаускас³⁾, М.М. Ляховицкий¹⁾, А.Н. Мансурова²⁾,
В.В. Парамонова¹⁾

¹⁾Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

¹РНЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

²НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В работе проведены исследования изменения поверхностных свойств ванадия, а также двойных и тройных сплавов на его основе, облучённых ионами Ag^+ с энергией 20 кэВ, дозой 10^{22}м^{-2} при $T_{\text{обл.}} \approx 700\text{ К}$. Показано, что эффект облучения состоит в упрочнении поверхности материалов, степень которого различна для каждого из материалов, при этом толщина упрочнённого слоя в исследованных материалах более, чем на два порядка превышает как теоретическую, так и экспериментальную глубину проникновения ионов аргона с энергией 20 кэВ в ванадии.

С помощью рентгеноструктурного анализа обнаружено, что в результате бомбардировки мишеней аргоном в указанном режиме изменяется текстура поверхности образцов, увеличиваются параметры элементарной ячейки. На поверхности ванадиевых сплавов наблюдается также эрозия по механизму флекинга. Обсуждаются особенности радиационного повреждения поверхности материалов при облучении ионами тяжелых газов, обладающих высокими коэффициентами распыления

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ КЛАСТЕРОВ ТИТАНА: СЛУЧАЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО УДАРА

Н.А. Панькин

ГОУВПО «Мордовский государственный университет имени
Н.П.Огарева», Саранск, Россия

Известно множество методов получения кластеров. При этом, для некоторых из них выход кластеров является «побочным» продуктом. Это, прежде всего, касается ионно-плазменных методов модификации поверхности твердых тел. При своем движении кластеры участвуют в различных физико-химических процессах, инициированных столкновениями с другими частицами (атомами, ионами и т.п.).

Цель работы: молекулярно-динамическое моделирование ионной бомбардировки кластеров титана Ti_N ($N=13, 55$ и 147) со структурой икосаэдра. В качестве бомбардирующих частиц взяты ионы титана с энергией от $10-1000$ эВ. Выбор титана был обусловлен его широким применением в различных методах модификации поверхности твердых тел.

При моделировании использовался многочастичный потенциал взаимодействия в приближении второго момента модели сильной связи /1/. Для учета близких соударений короткодействующая часть данного потенциала была сшита с функцией Циглера-Бирзака-Литтмарка посредством полинома пятой степени на интервале от 0.5 до 1.0 Å.

Рассчитаны значения коэффициентов отражения и прохождения ионов. Построены функции распределения агломератов, образовавшихся после ионной бомбардировки, по размерам (числу атомов в них).

Проведен анализ углового распределения и энергетического спектра частиц рассматриваемой системы после ионной бомбардировки для кластеров различного размера.

ЛИТЕРАТУРА

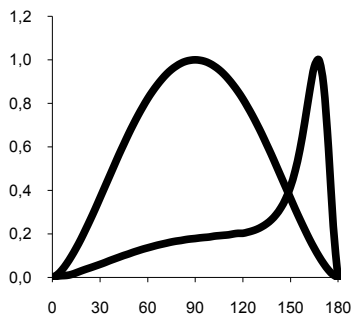
1. Cleri F., Rosato V. //Phys. Rev. B., 1993, V.48, №1, p. 22.

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТРАЖЕННЫХ ИОНОВ ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ НА МИШЕНЬ

А. И. Толмачев

Российский новый университет, Москва, Россия

Одной из важных характеристик явления отражения является угловое распределение (УР) отраженных частиц /1/. Теоретическое исследование УР проводилось либо для скользящих углов падения ионов /2/, либо для нормального падения /3/. В настоящей работе построена теория, справедливая во всем диапазоне углов падения ионов и содержащая единственный параметр, характеризующий неупругие потери энергии. Решение задачи получено в диффузионном приближении: считается, что в результате каждого столкновения с отдельным атомом мишени ион



отклоняется лишь на малый угол, но в результате большого числа столкновений частицы постепенно разворачиваются и выходят из мишени. На рисунке приведены зависимости УР (отн. ед.), измеренных в плоскости падения первичного пучка, от угла наблюдения θ (градусы), отсчитываемого от поверхности мишени. При нормальном падении Р имеет максимум при $\theta = 90^\circ$, при угле падения 75° максимум сдвигается до значения $\theta = 167^\circ$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курнаев В. А., Машкова Е. С., Молчанов В. А. Отражение легких ионов от поверхности твердого тела. Москва, Энергоатомиздат, 1985. 192 с.
2. Ремизович В. С., Рязанов М. И., Тилинин И. С. // ЖЭТФ, 1980, том 79, с. 448.
3. Толмачев А. И. // Известия АН СССР, серия физическая, 1990, том 54, с. 1247.

СИНЕРГЕТИКА РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ

С.Е. Максимов, Б.Л. Оксенгендлер, Н.Ю. Тураев

Институт электроники им.У.А.Арифова

Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

Явление распыления материалов под действием ионной бомбардировки характеризуется: 1) участием в процессах многих частиц; 2) нелинейным характером взаимодействия; 3) сильной неравновесностью процессов. Вследствие этого, надёжной базой анализа распыления может служить синергетика [1]. Моделируя распыление атомов с помощью набора «химических реакций» типа $A + nX \xrightarrow{m} X$ (*) (где А – атомы поверхности, Х – распыляемые атомы, n и m – целые числа), из основного кинетического уравнения в «одношаговом приближении» можно получить стационарное распределение вероятности числа распыленных атомов

(N): $P_s(N) = P_s(0) \prod_{Z=1}^N \frac{t^+(Z-1)}{t^-(Z)}$ (**), где $t^+(Z-1)$ и $t^-(Z)$ – вероятности одно-

атомного рождения и гибели соответственно $(Z-1)$ и (Z) чисел заполнения. На этой основе оказывается: 1) при сдвиге равновесий реакций (*) $P_s(N)$ имеет непуассоновский характер (в соответствии с экспериментом); 2) для ниспадающего участка (**) при больших N имеем: $-\partial \ln P_s(N) / \partial \ln N \equiv \alpha > 1$ в согласии с экспериментальным распределением интенсивностей выходов кластеров $Y(N) \sim N^{-\alpha}$ [2]; путём подбора констант прямых и обратных реакций типа (*) синергетический подход оказывается в состоянии описать как интегральное, так и кластерное распыление; 4) отбором чисел n и m в (*) можно анализировать чисто множественные ($n=0, m \geq 2$) и чисто последовательные ($m=n+1$) механизмы кластерного распыления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
2. Wucher A. //Det Kong. Dan. Vid. Selsk. Mat.-fys. Med. 2006. V.52. P.405-432.

ЭФФЕКТИВНЫЕ УГЛЫ ПАДЕНИЯ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ ДИМЕРАМИ МЕДИ

Э.Д. Ядгаров, В.Г. Стельмах
Институт электроники, Ташкент, Узбекистан

Методом молекулярной динамики нами рассматривалось распыление ионами и димерами меди поверхности меди $\text{Cu}(001)$ при кинетической энергии падающих частиц 600 эВ. Угол падения φ , измеряемый от поверхности меди, варьировался от 0° до 30° . Анализируя величину Y_r как отношение коэффициента распыления димерами меди $Y(\text{Cu}_2, \varphi)$ к коэффициенту распыления ионами меди $Y(\text{Cu}, \varphi)$, было получено, что эффективные углы падения φ_{eff} для распыления димерами меди (т.е. углы при которых $Y_r > 1$) лежат в пределах от 16° до 25° . График зависимости от угла падения показан на рис. 1.

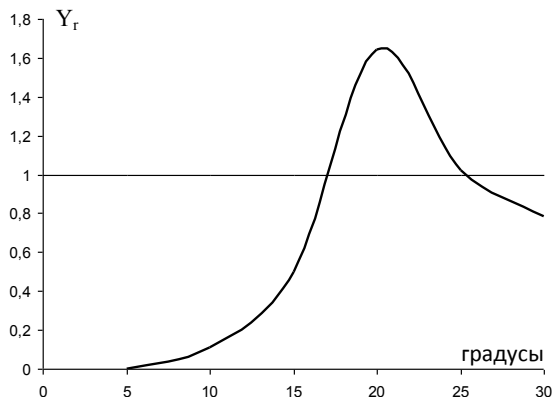


Рис. 1 Зависимость Y_r от угла падения.

Следует также отметить, что предельный угол распыления для димеров меди больше, чем предельный угол распыления для ионов меди.

Работа выполнена в рамках гранта ФА-Ф2-Ф095 фундаментальных исследований АН РУз

ВТОРИЧНАЯ ИОННАЯ ЭМИССИЯ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ФТАЛОЦИАНИНА КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ Au_m^-

Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов

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

Металлоорганические соединения фталоцианинов благодаря своим фотоэлектрическим свойствам вызывают в настоящее время большой интерес.

В данной работе проведены сравнительные исследования масс-спектров вторичной ионной эмиссии при бомбардировке пленки хлорированного фталоцианина меди $Pc(Cl)Cu$ кластерными ионами Au_m^- ($m = 1 - 9$) и атомарными ионами Cl^- в диапазоне кинетических энергий бомбардирующих ионов 6 - 21 кэВ. Экспериментальная установка, содержащая источник отрицательных ионов Au_m^- , Cl^- распылительного типа, магнитный сепаратор первичных ионов и магнитный масс-спектрометр МИ 1201. Наблюдался неаддитивный рост выхода молекулярного иона $Pc(Cl)Cu^+$ ($Cl_{14-16}C_{32}H_{0-2}N_8Cu^+$) при переходе к кластерным бомбардирующим ионам. Приведенное к току первичных ионов усиление выхода вторичного молекулярного иона $Pc(Cl)Cu^+$ при переходе от атомарного иона Cl^- к кластерному иону Au_9^- достигает 200 раз. Помимо молекулярных ионов выделяются линии, которые соответствуют молекулярным фрагментам $1/4Pc$, $1/4Pc-CN$, $1/4Pc+Cu$. Обнаружены молекулярные ионы с дефицитом атомов хлора $Pc(Cl)Cu^+ - Cl_n$ ($n=1-4$), выход которых зависел от количества атомов в бомбардирующих кластерных ионах. Более "мягкий" неразрушающий характер распыления вторичных молекул фталоцианина при бомбардировке кластерными ионами, возможно, указывает на преобладание процесса тепловой десорбции молекул из образующихся поверхностных тепловых пиков. Полученные результаты могут использоваться для разработки и усовершенствования методов ионной модификации и ВИМС анализа металлоорганических материалов.

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КЛАСТЕРНЫХ БОМБАРДИРУЮЩИХ ИОНОВ ДЛЯ ВИМС АНАЛИЗА КРЕМНИЯ

Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов

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

Использование кластерных ионов в качестве первичных для ВИМС анализа приводит к существенному увеличению выхода больших молекулярных вторичных ионов. Это послужило основанием для предложения метода “cluster-SIMS-molecule” /1/, основанного на применении кластерных ионов в качестве бомбардирующих, а молекулярных ионов, содержащих анализируемые примеси, в качестве регистрируемых частиц.

С целью развития данного направления проведено сравнительное исследование выхода вторичных кластерных и гетероатомных молекулярных ионов при бомбардировке чистой и покрытой адсорбированными атомами поверхности монокристалла кремния, содержащего бор, кластерными ионами Au_m^+ ($m = 1 - 5$) в диапазоне энергий $E_0 = 4 - 18$ кэВ. Выявлены особенности распыления кластерными ионами в условиях присутствия на поверхности слоя адсорбированных частиц. Показано, что при бомбардировке кластерными ионами падение выхода вторичных кластерных ионов по мере покрытия поверхности адсорбированными атомами существенно менее выражено, чем при бомбардировке атомарными ионами. Из анализа выхода десорбированных и распыленных кластерных и гетероатомных ионов показана возможность определения состава и распределения по глубине адсорбированных частиц, а также эффективных размеров области выхода вторичных частиц при кластерной бомбардировке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morozov S.N., Rasulev U. Kh. // Nucl. Instr. and Meth. B, 2007, v258, p238.

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ АКТИВИРОВКИ НА ЭМИССИЮ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ИЗ Mo

З.А. Исаханов, Б.Е. Умирзаков, З.Э. Мухтаров, Р. Курбанов, С. Донаев
Институт электроники АН РУз им.У.А.Арифова, Ташкент, Узбекистан

Данная работа посвящена определению типа, энергии, дозы ионов и температуры прогрева, которые позволяют обеспечить стабильную минимальную работу выхода поверхности. В качестве легирующих ионов были выбраны K^+ , Na^+ , Cs^+ и Ba^+ . ВИМС снимались с использованием этих ионов и Ag^+ . Эксперименты проводились для образцов молибдена, имплантированных ионами Ba^+ и Cs^+ , так как использование молибдена позволило многократно повторить эксперименты (высокотемпературный нагрев).

При низких энергиях ($E_0 \leq 5$ кэВ) и высоких дозах ($D > 10^{16} \text{ см}^{-2}$) ионов работа выхода поверхности резко уменьшается. Однако при этом поверхность и приповерхностная область материала сильно обогащается атомами легирующих элементов (до 30-50 ат.%) . Это существенно влияет на состав и структуру исследуемого образца. Поэтому для уменьшения ϕ_f , сначала поверхность имплантируется ионами высокой энергии, а затем осуществляется активирующий прогрев. Нами установлено, что оптимальная энергия ионов предварительного легирования лежит в пределах 10-15 кэВ. Наибольшее уменьшение работы выхода наблюдалось нами при прогреве ионно-имплантированного образца в атмосфере кислорода. Измерения проводились после остывания мишени.

С уменьшением ϕ_f интенсивность максимумов масс-спектрограмм Mo^- резко увеличивается. При $\phi_f \approx 1,85 \div 1,9 \text{ эВ}$ интенсивность этого максимума достигает наибольшего значения: $I_{Mo} \approx 140$ (отн.ед.). Дальнейшее уменьшение ϕ_f не приводит к изменению I_{Mo} . Прогрев в атмосфере кислорода Mo, имплантированного ионами Cs^+ , приводило к уменьшению ϕ_f до 1,65-1,7 эВ.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭОС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛА

А.А. Абдуваитов, З.А. Исаханов, Б.Е. Умирзаков, Т. Кадыров
Институт электроники АН РУз им. У.А.Арифова, Ташкент, Узбекистан

В последние годы метод ЭОС наряду с определением элементного и химического состава поверхностных слоев используется для получения информации о локализации примесных атомов в кристаллической решетке.

В данной работе с помощью малоуглового ожеэлектронного спектрометра изучено химическое состояние примесных атомов и их локализации на поверхности монокристаллов Мо и W. Оже-спектры снимались при различных углах падения ϕ первичного пучка электронов ($E_p = 2800$ эВ). С целью более подробного изучения анизотропии эмиссии оже-электронов примесных элементов в составе Мо и W менялся азимутальный угол поворота кристалла при фиксированном угле падения первичных электронов. Нами было исследована зависимость изменения относительной интенсивности оже-пииков примесных атомов от азимутального угла поворота образца.

Установлено, что в поверхностном слое “чистых” Мо и W обнаруживается ряд примесных атомов (C, N, O, S и др.) в очень малых концентрациях. Наличие этих примесных атомов существенно изменяет не только химическое состояние, но и состояние кристаллической решетки поверхности. В частности показано, что в направлениях $\langle 100 \rangle$ и $\langle 110 \rangle$ увеличивается концентрация примесных атомов, и они находятся в октаэдрических позициях с координатами $1/2$, $1/2$, 0 . Присутствие примесных атомов кислорода в химическом составе монокристаллов Мо и W, и особенно их расположение в элементарной ячейке в октаэдрических позициях наводит на мысль, что в этих условиях часть атомов кислорода может вступать в химическую реакцию с атомами кристалла и образовывать на поверхности различные оксиды. Исследования в этом направлении продолжаются.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО РАСПЫЛЕНИЯ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКОЙ

В.С. Авилкина¹⁾, Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾,
Ю.С. Виргильев²⁾, Е.С. Машкова¹⁾, В.И. Шульга¹⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ ФГУП НИИГрафит, Москва, Россия

Приводятся результаты исследования эрозии углерод-керамического композиционного материала – силицированного графита марки СГ-П-0.1 при высокодозовом облучении ионами Ag^+ с энергией 30 кэВ при комнатной температуре. Коэффициент распыления определяли по потере веса мишени в четырех последовательных облучениях с общим флюенсом $4 \cdot 10^{19}$ ион/см². Стационарный режим распыления наблюдается уже при первом облучении. Согласно спектрометрии РОР, состав композита при облучении практически не изменяется и соответствует эквивалентному соединению SiC. Исследование морфологии мишени методами оптической и растровой электронной микроскопии и лазерной гониофотометрии говорят о развитии ионно-индуцированного рельефа. Неровности на поверхностях кремниевой и углеродной составляющих композита достигают величины порядка нескольких мкм. Проведено сравнение экспериментальных коэффициентов распыления с результатами компьютерного моделирования для гладкой поверхности и поверхности, содержащей двумерный и трехмерный рельеф. Экспериментальные коэффициенты распыления более чем в 2 раза превышают расчетные для гладкой поверхности. Аналогичную ситуацию наблюдали ранее для графита и углерод-углеродных композитов /1/.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки по мероприятию 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0389.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andrianova N.N., Borisov A.M., Mashkova E.S., Virgiliev Yu.S. // J. Spacecraft and Rockets, 2011, V. 48, p. 45.

ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КРЕМНИЯ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ КИСЛОРОДА И ЦЕЗИЯ

А.Н. Пустовит
ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия

Эмиссия вторичных ионов (ВИ) чувствительна к составу поверхности образца [1]. В работе исследовалось изменение состава поверхностного слоя Si при распылении пучками O_2^+ и Cs^+ .

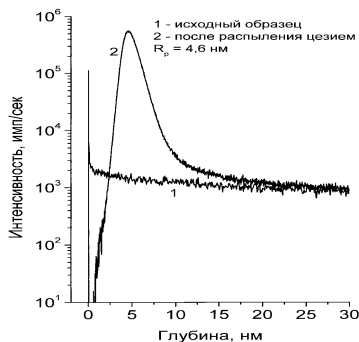


Рис. Профили распределения Cs в исходном (1) и распыленном (2) ионами Cs^+ образцах кремния.

Образцы Si распылялись в течение 10–15 минут на площади 500×500 мкм² ионами O_2^+ или Cs^+ . Токи были равны $\sim 10^{-7}$ А, а энергии ионов 4 кэВ/атом и 5,5 кэВ/атом для O_2^+ и Cs^+ соответственно. После обработки измеряли профили распределения О и Cs методом ВИМС. Для измерения профиля распределения О использовали пучок Cs^+ , а для Cs ионы O_2^+ . Разрешение по глубине равно ~ 2 нм, анализируемая площадь 250×250 мкм². В аналогичных режимах получены распределения О и Cs в образцах, не подвергнутых предварительному распылению. На рисунке приведены профили распределения Cs в исходном (1) и распыленном (2) образцах Si. Из рисунка видно, что содержание Cs возрастает в поверхностном слое во много раз. Аналогичная картина наблюдается для О в Si.

На основании полученных данных предложен механизм усиления выхода ВИ при распылении химически активными элементами.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 21, грант 4.4.1.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю М.Л. // В кн. Распыление под действием бомбардировки частицами. Выпуск III, под ред. Бериша Р. и Витмака К., М.: Мир, 1998, с.137.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ (111) Si И Al ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ МНОГОАТОМНЫМИ КЛАСТЕРАМИ МЕТОДОМ КЛАССИЧЕСКОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

П.Ю. Григорьев, Е.Е. Журкин

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

В работе изучены особенности распыления поверхности (111) Si и Al при бомбардировке ионами и кластерами Si_N и Al_N ($N=1-60$) при одинаковой энергии на один атом частицы-снаряда (1 кэВ/атом). Исследование выполнено с помощью метода классической молекулярной динамики. При расчетах использовались многочастичные потенциалы [1,2], сопряженные с потенциалом ZBL [3] в области малых межатомных расстояний. Общее число рассмотренных событий составило ~ 100 (на каждый внедрённый атом).

Проведен сравнительный анализ нелинейных эффектов, возникающих на каскадной и пост-каскадной стадиях в Si и Al; а также установлена их корреляция с характеристиками вторичной эмиссии. В частности показано, что в режиме нелинейного распыления Si $\approx 70\%$ эжектируемых частиц распыляется на каскадной стадии, тогда как в Al основной вклад в распыление (до 80%) даёт поздняя эмиссия на посткаскадной стадии (за счёт испарения вещества из зоны теплового пика).

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Tersoff J.// Phys. Rev.B, 1989, B39, P.5566; 1990, B41, P.3248
2. Cleri F., Rosato V.// Phys. Rev, 1993, B48. P.22.
3. Ziegler J.F., Biersack J.P., Littmark U., The Stopping and Range of Ions in Solids, Vol.1, Pergamon, New York, 1985.

О ФОРМИРОВАНИИ ДВУХ МАКСИМУМОВ В
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСПЕКТРАХ АТОМОВ,
ЭМИТИРОВАННЫХ С ГРАНИ (001) Au

В.Н. Самойлов, Н.Ю. Туляков

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

В настоящей работе в расчетах с угловым разрешением обнаружен второй, высокоэнергетический максимум в энергоспектрах атомов, эмитированных с поверхности грани (001) Au в азимутальных направлениях на пятна Венера. Он наблюдается при сравнительно высоких энергиях (от 32 эВ) в зависимости от полярного угла вылета ϑ при полярных углах, больших 43° . Этот максимум смещается в сторону больших энергий с увеличением полярного угла наблюдения, тогда как низкоэнергетический максимум смещается в сторону меньших энергий (см. также [1]). Высокоэнергетический пик является достаточно протяженным и выраженным. Этот пик целиком образован сильно блокированными атомами, распыленными под углами $\vartheta < \vartheta_0$, где ϑ_0 – начальный полярный угол вылета. Высокоэнергетический максимум наблюдался при апертуре детектора, равной 3° по азимутальному углу, увеличение апертуры до 15° и соответствующее усреднение сигнала по азимутальному углу приводило к тому, что он уже не наблюдался. Для эмиссии с грани (001) Ni, рассчитанной по той же модели четырех атомов, в этих азимутальных направлениях высокоэнергетического максимума не наблюдается, так как потенциал взаимодействия Ni-Ni существенно мягче, чем для взаимодействия Au-Au, и эффекты блокировки в направлении на линзу из двух атомов поверхности проявляются слабее. При этом для эмиссии с грани (111) Ni в направлении на линзу из двух атомов поверхности высокоэнергетический максимум наблюдается и является весьма выраженным [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов В.Н., Дехтяр К.В. // Известия РАН, сер. физич., 2001, т. 65, № 9, с. 1324-1327.

О СКРЫТЫХ ФАКТОРАХ ПРИ ЭМИССИИ АТОМОВ С ПОВЕРХНОСТИ ГРАНИ (001) Ni

Н.Ю. Туляков, В.Н. Самойлов

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

В настоящей работе рассчитаны энергоспектры атомов, распыленных с поверхности грани (001) Ni в азимутальных направлениях на пятна Венера, с разрешением по полярному углу вылета ϑ . Показано, что для энергии связи $E_b = 4.435$ эВ распределение имеет один максимум. В то же время в энергоспектрах сильно блокированных атомов, распыленных под углами $\vartheta < \vartheta_0$, где ϑ_0 – начальный полярный угол вылета, при углах $\vartheta > 58^\circ$ наблюдаются два максимума. Высокоэнергетический максимум наблюдается при энергиях от 15 эВ в зависимости от полярного угла вылета ϑ . Этот максимум смещается в сторону больших энергий с увеличением полярного угла наблюдения, тогда как низкоэнергетический максимум смещается в сторону меньших энергий. Однако, в силу того, что блокировка в азимутальном направлении на линзу из двух атомов поверхности является сравнительно слабой, доли сильно блокированных атомов ~30-40% оказывается недостаточно, чтобы в энергоспектре эмитированных атомов наблюдался высокоэнергетический пик. Таким образом, формирование двух максимумов в энергоспектре сильно блокированных атомов является для наблюдения скрытым, неявным фактором. При уменьшении энергии связи вклад сильно блокированных атомов возрастает (см. также /1/), для значения энергии связи 1 эВ при $48^\circ < \vartheta < 78^\circ$ и энергиях от 9 эВ он составляет ~100% вследствие уменьшения роли преломления на потенциальном барьере. Поэтому при этих углах в энергоспектре эмитированных атомов наблюдаются два максимума. Таким образом, при уменьшении энергии связи скрытый фактор становится явным, наблюдаемым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туляков Н.Ю., Левкович-Маслюк Ф.Л., Самойлов В.Н. // Поверхность, 2011, № 4, с. 34-46.

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОК Cr, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ Ag⁺

Е.А. Питиримова¹⁾, Ю.А. Данилов²⁾

¹⁾ Нижегородский государственный университет

им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

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

Пленки хрома широко используются в качестве тонкопленочных резисторов. В данной работе изучалось влияние имплантации на структуру пленок Cr. В качестве подложек использовались свежие сколы KCl и пластины GaAs. Слои Cr конденсировались при температуре подложки 523 К термическим испарением в вакууме со скоростью $\sim 0,1$ нм/с. Толщина пленок составляла ~ 50 нм. Пленки хрома облучались ионами Ag⁺ с энергией 110 кэВ. Дозы облучения варьировались в пределах $10^{15} - 3 \cdot 10^{16}$ см⁻². На электронном микроскопе ЭМ-200 при ускоряющем напряжении 150 кВ были получены электронограммы и электронные микрофотографии конденсированных и облученных пленок. Электронографический анализ показал, что исходные слои хрома имеют объемно – центрированную кубическую (ОЦК) решетку. Облучение хрома выбранными дозами не приводило к изменению их ОЦК-структуры. Электронные микрофотографии необлученных пленок свидетельствуют о том, что слои хрома – однородные и мелкодисперсные. Средний размер зерен составляет ~ 15 нм. Для мелкодисперсных пленок хрома размеры зерен совпадают с размерами областей когерентного рассеяния (ОКР), которые определялись по уширению дифракционных максимумов. Зависимость размера зерна от дозы облучения сложная: сначала зерно с дозой растет, потом уменьшается и затем опять увеличивается. Изменения размеров зерен и ОКР от дозы имплантации коррелируют. Таким образом, процесс имплантации может быть использован для модифицирования структурных свойств металлических пленок.

РАЗВИТИЕ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ GaN ПРИ ОБЛУЧЕНИИ АТОМАРНЫМИ И НЕБОЛЬШИМИ КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ

В.С. Беляков, К.В. Карабешкин, П.А. Карасёв, А.И. Титов
Государственный политехнический университет, С.-Петербург, Россия

Недавно было показано, что накопление структурных нарушений у поверхности GaN, облучаемой ионами, при бомбардировке кластерными ионами существенно отличается от облучения атомарными и молекулярными ионами, если корректные условия облучения соблюдены [1]. Это различие связано с ростом плотности каскадов столкновений у поверхности из-за перекрытия отдельных каскадов, формируемых компонентами молекулярного иона. Естественно ожидать, что топография поверхности в этом случае должна существенно различаться, поскольку максимальное различие плотности каскадов как раз и имеет максимум при минимальных глубинах.

В данной работе методом атомно-силовой микроскопии исследовалась кинетика развития поверхностного рельефа при облучении GaN при комнатной температуре ионами F^+ , P^+ , PF_2^+ и PF_4^+ с энергией 1.3 кэВ/атом. Оказалось, что при равенстве полного числа первичных смещений за время бомбардировки (в предположении о линейности каскадов), скорости их введения и распределений смещений по глубине рельеф поверхности драматически различается. Так, например, шероховатость поверхности GaN после его облучения ионами F^+ и PF_4^+ отличалась более, чем на порядок.

В докладе приводятся данные о кинетике развития топографии с ростом дозы ионов. Обсуждаются физические причины данного молекулярного эффекта.

Работа поддержана грантом РФФИ №10-08-91751

ЛИТЕРАТУРА

1. Kucheyev S O et al // J.Phys.D: Appl. Phys., 42, 085309

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ВИСМУТЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА

В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, К.А. Михайлов
Омский государственный университет,
Омск, Россия

Использование мощных ионных пучков (МИП) наносекундной длительности для модификации свойств приповерхностных слоев различных классов твердых тел имеет большие перспективы наряду с традиционно применяемыми для этих целей непрерывными пучками. Однако, одним из существенных ограничений использования импульсных ионных пучков для многих материалов является значительное увеличение шероховатости их поверхности. Несмотря на уже достаточно длительное изучение изменения морфологии поверхности под действием МИП до сих пор нет однозначного понимания роли происходящих процессов.

В настоящей работе исследуется изменение морфологии поверхности при воздействии МИП на поликристаллический висмут, имеющий ряд важных отличительных свойств от большинства металлов. Так висмут при плавлении уменьшается в объеме (на 3,27%). Кроме того, хрупкость висмута при комнатной температуре и низкая температура плавления (271,3 °С) позволяет проследить весь спектр поведения металла под действием МИП в достаточно небольшом диапазоне плотностей тока пучка.

Облучение проводилось на ускорителе «Темп» протон-углеродным пучком со средней энергией 300 КэВ, длительностью 60 нсек, в диапазоне плотностей тока 10 -150 А/см² при варьировании числа импульсов облучения от 1 до 10. Поверхность облученного висмута исследовали с помощью растровой электронной и атомно-силовой микроскопии.

Проведенные исследования позволили выявить особенности изменения морфологии поверхности висмута после облучения МИП, связанные с изменением его объема при плавлении и последующей кристаллизации.

ПОВРЕЖДЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

В.С. Ковивчак, Т.В. Панова²⁾, О.В. Кривоzubов, Н.А. Давлеткильдеев

¹⁾Омский филиал Института физики полупроводников СО РАН,
Омск, Россия

²⁾Омский государственный университет,
Омск, Россия

Несмотря на достаточно длительное изучение воздействия мощного ионного пучка (МИП) наносекундной длительности на различные классы твердых тел поведение полупроводниковых материалов при таком воздействии изучено слабо. В части работ, касающихся монокристаллических полупроводников, прежде всего кремния, исследован диапазон высоких плотностей тока, при котором происходит интенсивное разрушение полупроводника. Однако с точки зрения технологического применения интерес представляет значительно меньший уровень воздействия МИП.

В работе исследуются изменения поверхности монокристаллического кремния (локальные повреждения) при малых плотностях тока пучка, для которых не наблюдается заметного плавления поверхностного слоя.

Эксперименты выполнены на пластинах промышленного кремния, ориентации (111) и (100). Облучение проводилось на ускорителе «Темп» протон-углеродным пучком со средней энергией 300 КэВ, длительностью 60 нсек, в диапазоне плотностей тока 10 -30 А/см² при варьировании числа импульсов облучения от 1 до 5. Поверхность облученного кремния исследовали с помощью растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, и рентгеновского микроанализа.

Обнаружено формирование на поверхности кремния пространственно ориентированных структур, содержащих локальные области с повышенным содержанием углерода. Исследовано влияние режимов облучения и кристаллографической ориентации кремния на формирование данных структур. Обсуждены возможные механизмы их образования.

ЭРОЗИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ Ti, Fe, Cu, Mo, W ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОД ОБЛУЧЕНИЕМ ПУЧКАМИ ИОНОВ He^+ и Ar^+ С ШИРОКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРОМ

Б.А. Калинин, Н.В. Волков, М.О. Курилкин, С.Ю. Лучкин С.Е. Сабо
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва, Россия

Известно, что в электрофизических приборах конструктивные элементы в течение длительного срока эксплуатации подвергаются воздействию заряженных частиц (ионов), которое приводит к изменению свойств поверхности и в ряде случаев ограничивает срок службы приборов. Специфические условия их работы заключаются в наличии высоких температур и потоков ионов разных энергий и атомных масс, поэтому одной из задач повышения ресурса и надежности приборов является изучение процессов на поверхности материалов при длительном воздействии ионов, например, инертных газов.

Для выявления особенностей эрозии поверхности поликристаллических образцов материалов Ti, Fe, Cu, Mo, W было проведено облучение ионами He^+ и Ar^+ со средней энергией 7 кэВ и шириной энергетического распределения ионов в пучке 1 кэВ при температурах 100, 300 и 500 °С до доз $\Phi = 2 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$ и при давлении остаточных газов менее $1 \times 10^{-4} \text{ Па}$.

Методами оптической и растровой электронной микроскопии выявлено образование «пор» (рис.1) с характерными поперечными размерами (1 – 3 мкм для Fe и Cu $\approx$ 0,1 мкм для W и Mo), которые предположительно связаны с условиями накопления в приповерхностном слое внедренных атомов гелия и аргона.

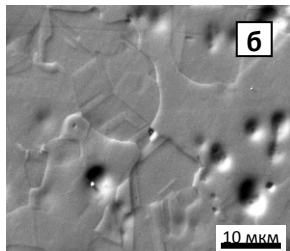
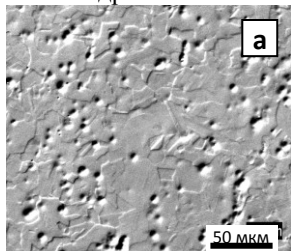


Рис.1. Топография поверхности Cu после облучения ионами Ar^+ ($\langle E \rangle = 7 \text{ кэВ}$, $\Phi = 2,5 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$, $T = 500^\circ\text{C}$, шероховатость поверхности $R_a = 0,074 \text{ мкм}$ при $R_{\text{ансх}} = 0,112 \text{ мкм}$): а – на поверхности наблюдаются границы зерен и «поры», б – наблюдается расположение пор вдоль границ (изображение увеличено)

ИМИТАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КООРДИНАТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ С ПОМОЩЬЮ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.И. Маслов
ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

При регистрации частиц кремниевые детекторы изменяют свои характеристики, в основном, в результате повреждений кристаллической структуры материала. Процессы повреждения в материале детектора близки к процессам повреждения полупроводникового материала. Степень воздействия излучений на полупроводниковые материалы характеризуется радиационной константой, которая определяется по изменению времени жизни носителей заряда при облучении.

Однако, образование стабильных дефектов в облучаемых материалах зависит не только от концентрации первичных радиационных повреждений, но и от распределения их в объёме материала. Распределение первичных радиационных повреждений в объёме материала определяется энергией первично выбитых атомов (ПВА). В зависимости от величины полученной энергии T , первично выбитый атом может образовать либо изолированную пару Френкеля (устойчивую или неустойчивую), либо каскадную область смещений. В кремнии при развитии каскада смещений от ПВА с энергией ≥ 10 кэВ образуется крупное стабильное структурное нарушение, называемое областью разупорядочения. Область разупорядочения оказывает существенное влияние на электрофизические параметры полупроводников. По этой причине при имитационных облучениях необходимо знать не только концентрацию первичных радиационных повреждений, но и долю повреждений, входящих в каскадные области смещений.

В данной работе приводятся результаты исследований воздействия на кремний электронов и фотонов в широком интервале энергий и предложен метод определения доли повреждений, входящих в каскадные области смещений.

ПРОБЛЕМЫ МСВИ ДИАГНОСТИКИ НАНООБЪЕКТОВ НА
ПОВЕРХНОСТИ И В ОБЪЁМЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МАТРИЦА.А. Ефремов¹⁾, П.И. Диденко²⁾¹⁾Институт физики полупроводников, Киев, Украина²⁾Институт геохимии окружающей среды, Киев, Украина

Огромный интерес к исследованию нанобъектов, сформированных в твердотельной матрице или на её поверхности, требует дальнейшего развития различных экспериментальных методик, взаимно дополняющих друг друга. Типичными нанобъектами такого рода являются вкрапления SiO_2 в кремнии и кремния в SiO_x . И если надёжные данные о геометрии и локальных механических свойствах таких образований могут быть получены методами силовой зондовой микроскопии, то определение локального химического состава, ближнего порядка и стехиометрии в наномасштабах остаётся сложной задачей. Если при неразрушающем анализе доминирующий вклад в полезный сигнал чаще всего дает матрица, то в процессе жесткого детектирования неизбежна трансформация уже самого нанобъекта. В настоящей работе эти аспекты обсуждаются применительно к методам (нелокального) послойного ионного анализа (в частности, МСВИ). Рассмотрены особенности трансформации нановключений при ионном распылении и перемешивании, возможность обнаружения следов нанобъектов в масс-спектре вторичных ионов, а также использование энергоспектров для обнаружения и анализа инофазных включений с высокой проводимостью на поверхности диэлектрика и т.д. Сопоставляются случаи бомбардировки инертным газом и кислородом. Сформулированы необходимые для МСВИ условия, при которых нановключения всё-таки могут быть обнаружены (плотность нанобъектов на единицу объема, диаметр каскада, скорость распыления, вероятность ионизации вторичной частицы для матрицы и включения и т.д.). Результаты моделирования проиллюстрированы некоторыми экспериментальными данными по распылению кремния, кварца и других оксидных и субоксидных плёнок.

КИНЕТИКА РАДИАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ ЭП-823 ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ Ni^{++} , ОТЖИГА И ПОВТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Г.В. Лысова, Г.А. Биржевой

ГНЦ РФ-ФЭИ имени А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

Известно, что термический отжиг подвергшихся охрупчиванию под действием нейтронного облучения конструкционных материалов продлевает сроки их эксплуатации в реакторах. Основной характеристикой охрупчивания сталей является сдвиг температуры вязко-хрупкого перехода ΔT_{DB} , который пропорционален изменению в результате облучения предела текучести $\Delta \sigma_Y$, которое, в свою очередь, пропорционально соответствующим изменениям микротвердости ($\Delta \sigma_Y, \text{МПА} = 3,06 \Delta H_{\mu}, \text{кГ/мм}^2$).

В данной работе представлены результаты исследования кинетики радиационного упрочнения стали ЭП-823 (16X12МВСФБР) (основного конструкционного материала активных зон реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем) после облучения ионами Ni^{++} с энергией 7 МэВ флюенсами $2,7$ и $3,9 \times 10^{20}$ ион/ м^2 при температуре 380°C , последующего отжига при 600°C и повторного облучения при условиях первоначального облучения.

Показано, что отжиг почти полностью восстанавливает прирост микротвердости, наблюдавшийся в области радиационного повреждения. После повторного облучения увеличение микротвердости достигает $\sim 70\%$ от соответствующих значений после первоначального облучения и насыщение упрочнения наблюдается примерно при тех же дозах, что и в случае первого облучения.

На основе данных электронно-микроскопического анализа микроструктуры стали ЭП-823 после нейтронного облучения установлена связь между изменениями микротвердости в процессе облучения и отжига стали и эволюцией ее фазовой и дислокационной структуры.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-02-01353).

НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ НА КРЕМНИИ СПЛАВА
ГЕЙСЛЕРА НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА

М.В. Гомоюнова, Г.С. Гребенюк, И.И. Пронин
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт Петербург, Россия

Сплав Гейслера Co_2FeSi является полуметаллическим ферромагнетиком и идеально подходит для создания источников спин-поляризованных электронов в устройствах спинтроники. До сих пор основное внимание исследователей было обращено на синтез тонких пленок этого материала на поверхности диэлектриков и $\text{GaAs}(001)$. В настоящей работе мы впервые изучили начальные стадии формирования пленок Co_2FeSi на поверхности $\text{Si}(100)$. Пленки выращивались в условиях сверхвысокого вакуума (10^{-10} Торр) методом реактивной эпитаксии при температуре $150\text{--}180^\circ\text{C}$, а их характеристика проводилась *in situ* комплексов современных методов, включавшим оже-спектроскопию, дифракцию медленных электронов, фотоэлектронную спектроскопию высокого разрешения с использованием синхротронного излучения и магнитный линейный дихроизм в фотоэмиссии $\text{Co } 3p$ и $\text{Fe } 3p$ электронов. Нанесение металлов осуществлялось малыми дозами, составлявшими $1\text{--}2 \text{ \AA}$. После каждого напыления образец охлаждался до комнатной температуры, и снималась серия спектров валентных электронов и остовных электронов Si , Co и Fe . Анализ всей совокупности полученных данных показал, что соединение Co_2FeSi образуется после нанесения $\sim 17.5 \text{ \AA}$ металлов (Co и Fe). В частности, обнаружено, что магнитный момент атомов Fe в сформированном сплаве выше, чем в пленке железа, а атомов Co , наоборот, ниже, так что отношение магнитных моментов Fe и Co равно двум, что хорошо согласуется с соответствующим значением для Co_2FeSi . Определена область термической стабильности сформированного сплава Гейслера ($< 250^\circ\text{C}$) и показано, что она лимитируется протеканием твердофазных реакций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-02-00632) и Российско-Германской лаборатории на BESSY.

ВЛИЯНИЕ СЕГРЕГАЦИИ НА ДРУГИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЯХ

Л.К.Израилева, Э.Н.Руманов
Институт структурной макрокинетики
и проблем материаловедения РАН
Черноголовка, РФ

В настоящее время процессы образования кластеров внедренных атомов и дефектов привлекают внимание в связи с возможностью использования различных наноструктур. Теоретически исследовано возникновение преципитатов в кремнии при имплантации. В работе [1] получен слой графена на подложке путем имплантации ионов углерода в подложку, последующего отжига и медленного охлаждения. В работе [2] рассмотрен процесс поверхностной сегрегации при наличии трещины. Здесь, используя модель [2] и предполагая возможность других протяженных дефектов (дислокаций и т.п.), мы теоретически изучили химические реакции в имплантированном слое с участием внедренных атомов газа. Для оценки вероятностей различных процессов применен метод случайных матриц [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Garaj S. *et al.* // Appl. Phys. Lett. 2010. v.97. No.18. 183103.
2. Израилева Л.К., Руманов Э.Н. // Поверхность. 2011. No.2. 251.
3. Rumanov I.E. // PhD Thesis. Univ.California.Davis. 2010.

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОМЕТРИИ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ

В.С. Куликаускас¹⁾, А.С. Патракеев¹⁾, Д.В. Петров^{1),2)} М.В. Роман¹⁾,
П.Н. Черных¹⁾, В.С. Черныш¹⁾, А.А. Шемухин^{1),2)}
¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
²⁾ФГУП МРТИ РАН, Москва, Россия

Одним из основных методов изучения профилей распределения по глубине примесных или имплантированных атомов, определения состава и толщин слоев многослойных покрытий, а также процессов взаимодиффузии в этих слоях является метод резерфордского обратного рассеяния (РОР). В связи с миниатюризацией элементов интегральных схем метод РОР не всегда позволяет исследовать такие объекты с необходимым разрешением по глубине.

Для исследования такого рода структур в лаборатории ионно-пучковых нанотехнологий НИИЯФ МГУ создан и введен в эксплуатацию экспериментальный комплекс, в состав которого входит линия спектрометрии рассеяния ионов средних энергий (СРИСЭ).

Была исследована тонкопленочная структура MgO/Fe/BaTiO_3 , созданная методом импульсного лазерного осаждения. Спектры СРИСЭ записывались при энергии анализирующего пучка ионов He^+ с энергией 120 кэВ. Угол падения пучка составлял 20° , а угол рассеяния - 120° . Для сравнения на электростатическом ускорителе ЭГ-8 НИИЯФ МГУ проводилась запись РОР-спектров. В качестве анализирующего пучка использовались ионы He^+ с энергией 2 МэВ.

Полученные результаты иллюстрируют возможности созданного комплекса в исследовании многослойных ультратонких систем с разрешением по глубине, более чем на порядок превосходящим соответствующую характеристику метода РОР.

ПРОНИКНОВЕНИЕ ИОНОВ ДЕЙТЕРИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ ВОДОРОДА ПО ГЛУБИНЕ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФОЛЬГАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСОВ ПЛАЗМЕННОГО ФОКУСА ПФ-4

И.В.Боровицкая¹⁾, П.В.Горшков²⁾, А.Ю.Дидык³⁾, Л.И.Иванов¹⁾,
В.С.Куликаускас⁴⁾, В.Я.Никулин²⁾

¹⁾ИМИМАН им.А.А. Байкова, Российской Академии наук,
Москва, Россия

²⁾Физический институт им. П.Н.Лебедева, Российской академии наук,
Москва, Россия

³⁾Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

⁴⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Образцы в виде плотно прижатых сборок из 3-х фольг с толщинами $220 \div 250$ мкм из V, Nb, Ta и Ni были облучены сериями импульсов дейтерия и (или) водорода на установке типа плазменный фокус ПФ-4 комплекса “Тюльпан” (ФИАН). Для реализации субмикросекундного ударно-волнового воздействия использовали явление генерации ударных волн при взаимодействии высокоскоростной кумулятивной струи плазмы с твердотельной мишенью. При этом параметры ПФ-4 были: энергия, запасенная в конденсаторном накопителе 3,8 кДж, рабочее давление D_2 или H_2 было $2 \div 3$ мбар, ионная плотность $\approx 10^{18}$ см³, скорость плазменной струи $(1 \div 4) \times 10^7$ см/с, средняя температура в струе длительность импульса 50 нс, средняя температура плазмы в струе < 10 эВ, плотность потока энергии импульса примерно 10^8 Вт/см². Среднее число импульсов воздействия варьировалось от 10 до 20, в отдельных опытах и более.

В результате проведенных исследований методом регистрации ядер отдачи показано, что ионы дейтерия проникают на всю толщину сборок фольг, а присутствующий в образцах водород тоже перераспределяется. Измеренные глубинные профили распределения дейтерия с обеих сторон каждой из фольг представлены. Модели, описывающие обнаруженные эффекты, обсуждены.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПЛАНТИРОВАННОГО ДЕЙТЕРИЯ ИЗ ФОЛЬГ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСОВ ПЛАЗМЕННОГО ФОКУСА ПФ-4

И.В.Боровицкая¹⁾, П.В.Горшков²⁾, А.Ю.Дидык³⁾, Л.И.Иванов¹⁾,
 В.С.Каликаускас⁴⁾, В.Я.Никулин²⁾

¹⁾ИМИМАН им.А.А. Байкова, Российской Академии наук,
 Москва, Россия

²⁾Физический институт им. П.Н.Лебедева, Российской академии наук,
 Москва, Россия

³⁾Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

⁴⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Выполнены исследования перераспределений имплантированного в металлические фольги ионов дейтерия с использованием установки ПФ-4 и проведены облучения серий сборок из двух фольг импульсами высокоскоростной плазмы водорода с возбуждением ударных волн. Первая фольга, была предварительно имплантирована ионами D^+ с энергией 25 кэВ до дозы $(1,2 \div 2,3) \times 10^{18} D^+ / \text{см}^2$ на стенде ЭЦР-источника тяжелых ионов в ЛЯР им. Н.Флерова ОИЯИ [1-3]. Концентрация дейтерия в первой и второй фольгах измерена с использованием метода ERD. Показано, что ударные волны, проходящие через такую сборку, приводят к выбиванию и глубокому проникновению атомов дейтерия во вторую фольгу, являющуюся контрольной. Обсуждены модели и проведены расчеты возможных механизмов обнаруженного явления, включая и оценки энергии выбитых атомов дейтерия из имплантированной фольги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Didyk A.Yu., Kulikauskas V.S., Wiśniewski R., Wiczynska T., Kitowski K. // JINR Preprint E-14-2011-7, Dubna, 2011, 22 p.
2. Didyk A.Yu., Wiśniewski R., Wilczynska T., Kitowski K., Hofman A., // JINR Preprint E-14-2011-8, Dubna, 2011, 18 p.
3. Didyk A.Yu., Wiśniewski R., Wilczynska T., Kitowski K., Hofman A., Kulikauskas V.S., Shiryaev A.A., Zubavichus Ya.V., // JINR Preprint E-14-2011-6, Dubna, 2011, 28 p.

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ СТРУКТУРЫ «КРЕМНИЙ-НА-САПФИРЕ» МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Ю.В. Балакшин¹⁾, С.А. Голубков²⁾, Н.Н. Егоров²⁾, И.А. Иванов²⁾,
В.С. Куликаускас¹⁾, А.С. Патракеев¹⁾, Д.В. Петров^{1),3)}, В.С. Черныш¹⁾,
А.А. Шемухин^{1),3)}

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾НИИМВ, Зеленоград, Россия

³⁾ФГУП МРТИ РАН, Москва, Россия

Эпитаксиальное осаждение кремния на сапфир (КНС) - одно из перспективных направлений в технологии создания интегральных схем. Однако на начальном этапе осаждения кремния на поверхности сапфира образуются структурные дефекты, сильно ограничивающие применимость КНС-структур. Уменьшить плотность дефектов кристаллизации в приграничном слое кремния возможно с помощью ионной имплантации и последующего высокотемпературного отжига. Данная работа направлена на изучение влияния параметров ионного облучения на процесс рекристаллизации.

Были проведены эксперименты по имплантации ионов кремния в образцы с толщиной кремниевой пленки 250 нм и 300 нм с энергиями ионов 120-200 кэВ. Доза имплантации варьировалась от 2.5×10^{14} до 2×10^{15} ион/см². Облучение проводилось при комнатной температуре. Контроль температуры осуществлялся с помощью оптического пирометра. Давление в камере в процессе бомбардировки не превышало 4×10^{-6} мбар. Плотность тока на образец во время эксперимента поддерживалась постоянной и составляла 1 мА/см².

Контроль кристаллической структуры исходных КНС-структур, после имплантации и рекристаллизационного отжига осуществлялся с помощью резерфордовского обратного рассеяния ионов He⁺ с энергией 2 МэВ в сочетании с каналированием.

Анализируется влияние имплантации на кристаллические свойства КНС-структур. Также приводятся результаты измерений электрофизических параметров полученных КНС-структур.

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЛЕГИРОВАННОМ КРЕМНИИ, ОБРАБОТАННОМ КОМПРЕССИОННОЙ ПЛАЗМОЙ

В.М. Асташинский¹⁾, Н.Т. Квасов²⁾, Ю.А. Петухов²⁾, А.В. Пунько²⁾,
В.В. Углов³⁾

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

²⁾Белорусский государственный университет информатики и радио-
электроники, Минск, Беларусь

³⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Научные исследования по превращению солнечной энергии в электрическую интенсивно ведутся во всех высокоразвитых странах мира. Большой успех здесь достигнут с использованием сложных полупроводниковых соединений (например, *AlGaAs/GaAs*). В настоящем сообщении приводятся результаты исследований механизмов формирования фотоЭДС в легированных кремниевых структурах в результате воздействия компрессионных плазменных потоков. Кремниевая основа таких устройств обеспечивает более высокую стабильность и надежность работы, а также значительно повышает их радиационную стойкость.

Воздействию компрессионной плазмы подвергались монокристаллические пластины кремния различной кристаллографической ориентации, типа и концентрации примеси: КЭФ-20; КДБ-0,3; КДБ-10; КДБ-12. Обнаружено, что величина фотоЭДС U_{δ} определяется главным образом типом примеси и ее концентрацией. Максимальные значения фотоЭДС были получены для пластин кремния р-типа с малой концентрацией акцепторов. Проведен рентгеноструктурный анализ полученных структур. Оже-электронная спектроскопия и оптическая микроскопия поверхности. Исследованы вольт-амперные характеристики модифицированных слоев.

АГРЕГАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ В КРИСТАЛЛАХ LiF, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ $^{84}\text{Kr}^+$ С ЭНЕРГИЕЙ 150 МэВ

А.К. Даулетбекова¹⁾, А.Т. Акилбеков¹⁾, М.В. Здоровец²⁾, Е.В. Бихерт¹⁾,
А. Мухышбаева¹⁾

¹⁾Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана,
Республика Казахстан

²⁾Филиал ИЯФ НЯЦ РК, Астана, Республика Казахстан

Потоки тяжелых ионов с энергиями в диапазоне мега- и гигаэлектронвольт интересны для структурирования материалов в микро- и наноразмерном масштабе. В общем случае тяжелые ионы (U, Pb и Au, например) вызывают значительную модификацию свойств по сравнению с легкими ионами. Однако облучение высокоэнергетичными тяжелыми ионами сопровождается такими нежелательными эффектами как распухание и дальнедействующими напряжениями. Результаты настоящего исследования показывают, что наноструктурирование в LiF также вызывается облучением легкими ионами Kr. С этой целью мы использовали ионы Kr 150 МэВ, энергетические потери которых превышают порог создания дефектной сердцевины трека (10 кэВ/нм). Облучение проводилось при флюенсе 10^{12} см^{-2} , обеспечивающим перекрытие треков. Исследования проводились методами оптической абсорбционной спектроскопии, АСМ, СЭМ и наноиндентирования.

АСМ и СЭМ результаты показывают создание объемных наноструктур в поверхностном слое, где энергетические потери превосходят порог 10 кэВ/нм. Наноструктура состоит из колоннообразных зерен с наноразмерами (~100 нм). При низких потерях энергии установлено, что структура расширяется с появлением агрегатов дефектов (петель призматических дислокаций, коллоидов, пузырьков молекул фтора, например). Наноиндентирование показало значительное упрочнение, обусловленное ионным облучением. Это подтверждается высокой объемной концентрацией преград для дислокаций, таких как например агрегаты дефектов, междислокационные и межзеренные связи. Агрегаты центров окраски наблюдались с помощью абсорбционной спектроскопии.

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ КОМПРЕССИОННОГО ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

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

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

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

Формирование гомогенной дисперсной структуры силуминов, получивших широкое применение в машиностроении, является одной из задач современного металловедения. Целью данной работы являлось исследования влияния компрессионных плазменных потоков (КПП) на структурно-фазовое состояние и микротвердость эвтектического силумина следующего состава: 2,0% Mg, 0,4% Cu, 0,2% Fe, 0,2% Ni, 0,1% Mn (в ат. %). Изучение структурно-фазового состояния образцов методами рентгеноструктурного анализа, оптической и растровой электронной микроскопией показало наличие в структуре исходного образца силумина участков соответствующих твердому раствору на основе Al, эвтектической смеси Si и Al, а также включениям Si, $\text{Al}_8\text{Si}_6\text{Mg}_3\text{Fe}$, Mg_2Si , $\text{Al}_7\text{Cu}_4\text{Ni}$ и $\text{Al}_{1,9}\text{CuMg}_{1,4}\text{Si}_{3,3}$. Воздействие тремя импульсами КПП в атмосфере азота при плотности поглощенной энергии (Q) 8-27 Дж/см² приводит к уменьшению интенсивности дифракционных линий кремния и других соединений, за исключением $\text{Al}_{1,9}\text{CuMg}_{1,4}\text{Si}_{3,3}$, вплоть до исчезновения при максимальной плотности энергии, что может быть объяснено диспергированием данных выделений и/или растворением в решетке алюминия с формированием твердого раствора. Результаты прецизионной съемки дифракционной линии Al(311) указали на уменьшение параметра решетки алюминия с $4,0368 \cdot 10^{-10}$ м до $4,0500 \cdot 10^{-10}$ м для исходного и обработанного КПП при Q=27 Дж/см², соответственно. Изменение микроструктуры после обработки КПП при Q=27 Дж/см² приводит к увеличению значения микротвердости в 1,33 раза по сравнению с исходным, микротвердость которого составляет $1,17 \pm 0,06$ ГПа.

ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В ТВЕРДОМ СПЛАВЕ И СИСТЕМЕ
МОЛИБДЕНОВОЕ ПОКРЫТИЕ – ТВЕРДЫЙ СПЛАВ В
РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПРЕССИОННЫМИ
ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

В.В. Углов¹⁾, А.К. Кулешов¹⁾, Е.А. Солдатенко¹⁾,
В.М. Асташинский²⁾, А.М. Кузьмицкий²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾Институт физики им. Степанова, Минск,
Беларусь

Перспективность применения импульсных компрессионных плазменных потоков (КПП) субмиллисекундной длительности для повышения механических характеристик твердых сплавов связана с возможностью их дополнительного легирования металлами, предварительно нанесенными на поверхность, и диффузионного насыщения плазмообразующим веществом. В связи с этим в работе изучалось влияние плотности энергии ($5 \leq J_E \leq 27$ Дж/см²) КПП в атмосфере азота на структурно-фазовое состояние и микротвердость твердого сплава Т15К6 (79WС-15TiС-6Сo, вес.%), а также системы покрытие Мо - твердый сплав Т15К6. Методом рентгеноструктурного анализа обнаружено, что после обработки КПП ($J_E \leq 19$ Дж/см²) в среде азота в поверхностных слоях изучаемых систем формируются нитридные фазы: TiN, W₂N в твердом сплаве и Mo₂N, Mo₂C в системе Мо - твердый сплав. Это обусловлено частичным распадом карбидов сплава и диффузией составляющих их элементов (W, Ti) к обогащенной азотом поверхности в первом случае и насыщением азотом расплавленного молибденового покрытия во втором. При дальнейшем увеличении J_E в обеих системах образуется полностью переплавленный слой, преимущественно состоящий из твердого раствора (Ti,W)C. После обработки микротвердость изучаемых систем возрастает более чем в два раза, что может быть обусловлено формированием модифицированного слоя с высокодисперсной структурой, фазовый состав которого соответствует твердому раствору (Ti, W)C и сформировавшимся нитридным фазам.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В НАВОДОРОЖЕННЫХ ГАФНИИ, ЦИРКОНИИ И ТИТАНЕ МЕТОДАМИ РЕЗЕРФОРДОВСКОГО И ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ.

А.М. Борисов, В.Г. Востриков, В.С. Кулисаускас,
Е.А. Романовский, Н.В. Ткаченко

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Для исследования наводороживания металлов поверхностей необходима разработка неразрушающих образцы методов определения концентрации водорода.

В работе [1] метод спектрометрии обратного рассеяния (ОР) протонов применен для определения содержания водорода в наводороженных образцах. Показано, что спектры резерфордовского ОР и ядерного ОР (РОР и ЯОР спектры) для исходных и наводороженных образцов подобны и отличаются по амплитуде при измерении на одинаковое число протонов, падающих на образцы. С использованием программ обработки спектров ЯОР и РОР в настоящей работе вычислены величины отношений сумм отчетов в спектрах ОР для заданных диапазонов каналов (для исходных образцов – K_1 , для наводороженных – K_2). Все вычисления проведены для $E_p=7,6$ МэВ, угла рассеяния $\theta=160^\circ$.

Исследовались исходные и наводороженные образцы из циркония, гафния и титана, для которых концентрации водорода были определены [1] с помощью разрушающего образец волнометрического метода. По результатам расчетов и измерений спектров ОР получены градуировочные кривые отношений K_2/K_1 . Показано, что если в наводороженном слое концентрация водорода выше 40ат.%, то точность определения концентрации водорода с помощью градуировочных кривых составляет 3ат.%, что позволяет использовать эти данные для экспрессного определения водорода в образцах Ti, Zr, Hf до глубины 50 мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки по мероприятию 1.1. «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0242.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалова О.В., Борисов А.М., Востриков В.Г., Куликаускас В.С., Малюков Е.Е., Моломин В.И., Потапенко Е.М., Романовский Е.А., Серков М.В. // ФХОМ, 2008, №1, с. 75-78.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРИИ ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЦИРКОНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЯХ.

А.М. Борисов¹⁾, В.Г. Востриков¹⁾, В.В. Затекин¹⁾, С.В. Иванова²⁾,
В.С. Куликаускас¹⁾, Л.Н. Лесневский³⁾, М.А. Ляховецкий³⁾,
Е.А. Романовский¹⁾, Н.В. Ткаченко¹⁾, В.Н. Тюрин³⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия, ²⁾НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

³⁾МАИ, Москва, Россия

Циркониевые компоненты активных зон легководных реакторов в процессе эксплуатации корродируют и наводороживаются. Для повышения работоспособности этих изделий на их поверхность наносят коррозионноустойчивые и водородонепроницаемые покрытия. В работе изучались покрытия, нанесенные методом микродугового оксидирования (МДО) в щелочных электролитах разного химического состава, содержащих соли Si, B, W и др. Для определения характеристик покрытий был применен метод спектроскопии ядерного обратного рассеяния (ЯОР) протонов. Исследования проводились на образцах, прошедших высокотемпературные коррозионные испытания.

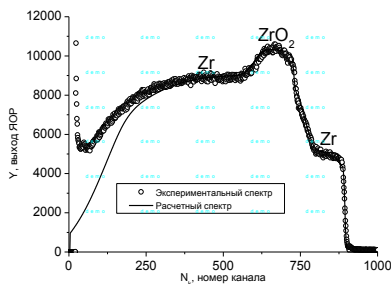


Рис.1

Из анализа спектров ЯОР ($E_p=2.2$ МэВ, $\theta=160^\circ$) образцов установлено, что все исследованные МДО покрытия, в основном, состоят из ZrO_2 и имеют толщину ~ 6 мкм (рис.1), что достаточно хорошо согласуется с результатами измерений на металлографическом микроскопе. Кроме того, соотношения отчетов, суммированных по каналам 625-675 и 800-850 для всех

исследованных плёнок ZrO_2 , сохраняются с точностью до 2%.

Расчеты показали, что такие отклонения могут быть связаны с наличием в покрытии оксидов элементов, входящих в состав электролитов. Анализ спектров резерфордовского обратного рассеяния α частиц с $E_\alpha=2.0$ МэВ и протонов с $E_p=2.2$ МэВ позволил определить процентное содержание в пленках вольфрама, входящего в состав электролита

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки по мероприятию 1.1 контракт № 02.740.11.0242 и Госкорпорации «Росатом» госконтракт № Н.4в.44.90.10.1104.

ЛИТЕРАТУРА

1. О.В. Беспалова, А.М. Борисов, В.Г. Востриков, Е.А.Романовский, М.В Серков. // Ядерная физика, 2009, т.72, Т10, с.1721-1729.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ЦИРКОНИЕВОМ СПЛАВЕ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

А.М. Борисов¹⁾, С.Я. Бецофен²⁾, В.Г. Востриков¹⁾, Е.А. Романовский¹⁾,
Н.В. Ткаченко¹⁾, Б.В. Владимиров²⁾, А.В. Эпельфельд²⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

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

Приводятся результаты исследования элементного состава и структуры керамических покрытий, синтезированных на поверхности циркониевого сплава при плазменном воздействии в электролитах методом микродугового оксидирования в щелочных (2г/л КОН) электролитах с различным составом компонентов (0 - 6 г/л. NaAlO_2 , 0 - 12,5г/л Na_2SiO_3), с добавлением нанопорошков оксида иттрия (0-5г/л) и оксида алюминия (0-5г/л). Микродуговое оксидирование проводили 1 час в анодно-катодном режиме с общей плотностью 10 А/дм² /л/. Состав и структуру покрытий исследовали с помощью методов спектрометрии ядерного обратного рассеяния (ЯОР) протонов энергии 7.7 МэВ и рентгеновского структурного анализа. Спектры ЯОР и данные рентгеновской дифракции свидетельствуют о значительном влиянии нерастворимых в электролите наночастиц на толщину и структуру композиционного керамического покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки по мероприятию 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0389.

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОДОРОДА В ОБЪЕМ

И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, Н.С. Пушилина, А.М. Лидер,
С.В. Иванова, Е.В.Березнеева, Н.А. Евтеева
Томский политехнический университет, Томск, Россия

Изделия из циркониевого сплава в процессе эксплуатации в реакторах подвержены наводороживанию. В тех случаях, когда концентрация водорода в материале превысит предельную, образуются гидриды, что представляет опасность с точки зрения возможного гидридного растрескивания. Облучение поверхности импульсным электронным пучком (ИЭП) может оказать существенное влияние на проникновение водорода. В работе представлены результаты исследований поглощения водорода циркониевым сплавом, облученным ИЭП. Модификация поверхности сплава Э110 импульсным электронным пучком существенно снижается скорость поглощения водорода. Скорость сорбции модифицированного сплава при 723 К составляет $1,5 \text{ см}^3 \text{ H}_2/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$ и $6,0 \text{ см}^3 \text{ H}_2/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$ при $T = 873 \text{ К}$, что, соответственно, в 2 и в 9 раз ниже по сравнению с исходным материалом. Установлено, что облучение сплава Э110 приводит к существенному снижению количества водорода, проникающего в объем сплава, по сравнению с исходным, причем не важно, каким способом происходило наводороживание, электролитически или из газовой фазы. Количество водорода, проникающего при электролитическом насыщении в объем сплава, обработанного ИЭП в режимах $E = 15 - 20 \text{ Дж/см}^2$, в 2,5 – 3 раза ниже, по сравнению с исходным материалом. Содержание водорода в исходном материале после насыщения из газовой фазы составило 0,019 масс. %, в модифицированном – 0,004 масс. %.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕМ АЛЮМИНИИ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич
Белорусский госуниверситет информатики
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

В настоящее время исследования быстрозатвердевших (БЗ) сплавов на основе алюминия с переходными металлами представляют фундаментальный и прикладной интерес. Анализ микроструктуры и композиционного состава материалов важен как для разработки модели их кристаллизации, так и для целенаправленного проектирования новых сплавов с улучшенными свойствами путем их сверхбыстрой закалки из расплава (СБЗР). Отметим, что микроструктурные характеристики, обуславливающие повышенную прочность БЗ алюминиевых сплавов (дислокации, примесные атомы, выделения вторых фаз, границы зерен), как известно, являются местами захвата водорода. Поэтому для решения одной из наиболее серьезных проблем современных технологий – водородного охрупчивания алюминиевых материалов для хранения сжатого водорода – необходимы фундаментальные исследования поведения водорода в сплавах алюминия в зависимости от состава образцов, метода получения и условий обработки.

Цель данных исследований состоит в установлении механизмов захвата легирующих элементов и водорода в алюминии, полученном при высоких скоростях охлаждения расплава (порядка 10^6 K/c). В представленной работе элементный анализ БЗ фольг алюминия и его бинарных сплавов Al-Ti; Cr; Zr выполнен методами РОР и термодесорбционной спектроскопии. Показано, что применение СБЗР качественно изменяет механизм захвата водорода в алюминиевых сплавах. Основными местами захвата водорода в БЗ алюминии являются закалочные вакансии. Сделан вывод о том, что определенное неоднородное пространственное распределение легирующих элементов в фольгах позволяет объяснить установленные закономерности поведения водорода в алюминии при его легировании.

ГЛУБИННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ЗАХВАТ ВОДОРОДА В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВАХ Al-Fe

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, О.В. Рябухин²⁾,
Ф.Г. Нешов²⁾, О.В. Падерина²⁾, В.Г. Шепелевич³⁾

¹⁾ Белорусский госуниверситет информатики и
радиоэлектроники, Минск, Беларусь,

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента Рос-
сии Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия,

³⁾ Белорусский госуниверситет, Минск, Беларусь

Сплавы системы Al-Fe считаются перспективными для применения высокоскоростного затвердевания расплава (ВЗР) при получении жаропрочных материалов для транспортной и аэрокосмической промышленности. Химический состав поверхности быстрозатвердевших (БЗ) сплавов алюминия, как известно, может отличаться от состава на глубине образцов /1/. Количественное описание поверхностной сегрегации в сплавах усложняется малым количеством надежных экспериментальных данных. При этом поверхностный состав БЗ сплавов, определяемый их композиционным составом, очень чувствителен к чистоте образцов и зависит от условий обработки. Отметим, что также имеются данные о том, что применение метода ВЗР качественно изменяет механизм захвата водорода в алюминиевых сплавах по сравнению с традиционно полученными материалами.

Целью настоящей работы было изучение особенностей глубинного распределения элементов и захвата водорода при термообработке БЗ сплавов Al-0.2 ат. % Fe. Анализ композиционного состава образцов выполнялся методами резерфордовского обратного рассеяния и спектроскопии ядер отдачи. Нами установлена корреляция между степенью обогащения приповерхностных слоев фольг растворенными элементами и температурой отжига сплавов. Данные о захвате легирующего элемента, обнаруженной сопутствующей примеси кадмия, а также водорода в БЗ материалах получены для скоростей охлаждения расплава в интервале 10^6 - 10^7 К/с.

ФОРМИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ ЦИРКОНИЙ-ТИТАН ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИНТЕНСИВНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ

В.В. Углов¹⁾, В.И. Шиманский¹⁾, Н.Н. Черенда¹⁾,
Н.Н. Коваль²⁾, Ю.Ф. Иванов²⁾, А.Д. Тересов²⁾,
Е.В. Концевой¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

Формирование поверхностного сплава на основе циркония и титана, перспективного в медицинском материаловедении, представляется возможным с помощью воздействия концентрированных потоков энергии. Целью данной работы является исследование структурного состояния титана, легированного цирконием путём воздействия низкоэнергетических сильноточных электронных пучков. Воздействию подвергались образцы титанового сплава ВТ1-0 с циркониевым покрытием. Плотность поглощенной энергии варьировалась от 15 до 30 Дж/см². При взаимодействии пучка низкоэнергетических (20 кэВ) электронов с поверхностью материала основная часть энергии переходит в тепловую, вызывая плавление поверхностного слоя, в результате чего расплавленный слой легируется цирконием, концентрация которого снижается от 27 до 13 ат.% при повышении плотности поглощенной энергии от 15 до 30 Дж/см² вследствие увеличения глубины расплава. Из-за изоморфности кристаллических решеток титана и циркония в результате кристаллизации в поверхностном слое образуется твердый раствор α -Ti(Zr), параметры решетки которого определяются концентрацией циркония. В модифицированном слое выявлено также формирование остаточной фазы α -Ti, относительное содержание которой снижается с увеличением числа импульсов, что обусловлено равномерным распределением циркония по глубине. Структурные изменения в поверхностном слое титана, заключающиеся в диспергировании зёрненной структуры и формировании твердого раствора, обуславливают увеличение микротвердости в два раза.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАМЯТИ

В.М. Асташинский¹⁾, И.Л. Дорошевич²⁾, Н.Т. Квасов²⁾,
Ю.А. Петухов²⁾, В.В. Углов³⁾

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

²⁾Белорусский государственный университет информатики и радио-
электроники, Минск, Беларусь

³⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Как показали исследования последних лет в области развития материальной базы информатики, использование магнитных наноматериалов в устройствах хранения и передачи информации позволяет повысить плотность ее записи в 10^4 раз. При этом запись бита информации осуществляется в отдельную наноразмерную однодоменную частицу, имеющую два энергетических состояния, отличающихся ориентацией магнитного момента и разделенных потенциальным барьером. Сама магнитная память представляет собой упорядоченную систему магнитных кластеров, не связанных друг с другом.

Нами разработаны физические основы технологии получения таких формирований, состоящих из сферических частиц железа или никеля размером от 5 до 100 нм с использованием компрессионной плазмы. Малоизученным, однако, остается вопрос о радиационной стойкости наноразмерных элементов памяти при их работе, в частности, в условиях открытого космоса. В настоящем сообщении приводятся результаты компьютерного моделирования радиационных повреждений в наноразмерных ферромагнитных кластерах при облучении протонами, нейтронами и электронами. Приводятся оценки радиуса R_d зоны неустойчивости выбитого из узла решетки атома, который (R_d) характеризует радиационную стойкость материалов. Рассмотрена специфика взаимодействия элементарных частиц с кластерами в зависимости от соотношения размеров кластера и длины волны де Бройля налетающей частицы.

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СИСТЕМЫ «ТИТАН-КРЕМНИЙ», МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИЛЬНОТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ И КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

В.В. Углов¹⁾, Н.Т. Квасов²⁾, Ю.А. Петухов²⁾,
Р.С. Кудактин¹⁾, Н.Н. Коваль³⁾, Ю.Ф. Иванов³⁾,
А.Д. Тересов³⁾, В.М. Асташинский⁴⁾, А.М. Кузьмицкий⁴⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
Минск, Беларусь

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

³⁾ Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

⁴⁾ Институт физики НАН Б, Минск, Беларусь

Низкоэнергетические сильноточные электронные пучки (НСЭП) и компрессионные плазменные потоки (КПП) представляют особый вид энергетических потоков, характеризующихся высокой плотностью энергии (до 100 Дж/см²) и продолжительностью воздействия (до 200 мкс).

В работе представлены результаты исследований структурно-фазовых превращений в системе «титан-кремний», обработанной НСЭП и КПП (длительность 50-200 мкс, плотность поглощенной энергии - 12-15 Дж/см²).

Исследования морфологии поверхности и структуры поперечного сечения показали, что в модифицированном слое формируются дендриты кремния. В случае воздействия КПП период ветвей первого порядка составляет ~ 1 мкм; при воздействии НСЭП дендритный рост приводит к образованию зерен размером 10-50 мкм (характерный диаметр стволов и ветвей ~ 1 мкм). При увеличении количества импульсов НСЭП форма, размеры и распределение дендритов становится практически такими же, как и в результате воздействия КПП.

В результате исследований фазового состава выявлено образование аморфной фазы и кристаллического силицида (C54-TiSi₂ – для НСЭП, Ti₅Si₃ – для КПП).

Структурные превращения и фазообразование обсуждаются на основе термодинамики и кинетики химических реакций, массопереноса в поверхностном расплаве и у фронта кристаллизации.

ЛЕГИРОВАННЫЕ ФОСФОРОМ СЛОИ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА, ПОЛУЧЕННЫЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ И ОТЖИГОМ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИИ-ТЕМПЕРАТУРЕ

В.П. Попов¹, Л.Н. Сафронов¹, О.В. Наумова¹, Ю.Н. Пальянов², И.Н. Куприянов², П.Н. Черных³, Г.П. Похил³,
¹⁾ ИФП СО РАН, ²⁾ ИГ и М СО РАН, ³⁾ НИИ ЯФ МГУ

Алмаз является привлекательным материалом для электроники высоких мощностей и высоких частот переключений. Классические примеси для кремния - бор и фосфор имеют в алмазе достаточно глубокие уровни, а потому при комнатной температуре доля свободных носителей заряда низка. Требуются дозы имплантации, выше критических для аморфизации алмаза, а последующий высокотемпературный отжиг, как правило, приводит к графитизации всего имплантированного слоя, начиная с поверхности. В то же время, высокотемпературные обработки при давлениях >35 кбар позволяют избежать графитизации. Целью работы являлось формирование монокристаллических слоёв в легированном бором алмазе, содержащих большую концентрацию атомов фосфора в узлах решетки.

Сколотые по плоскости (111) пластины синтетических алмазов типа 1а, легированные бором в процессе роста до концентраций $(1\div 2)\times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ имплантировались ионами фосфора P^+ с энергией 30 - 150 кэВ в диапазоне доз $(1\div 10)\times 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Отжиг облученных образцов проводился при высоких Р-Т параметрах для предотвращения графитизации.

Измерениями спектров обратнорассеянных ионов гелия в режиме каналирования, а также электрофизическими измерениями полученных р-п переходов показано, что при выбранных режимах облучения и отжига решетка не содержит кристаллических дефектов, регистрируемых с помощью РОР/каналирования, а атомы фосфора занимают замещающие положения. При этом коэффициент выпрямления полученных р-п переходов превышает 10^7 при напряжении $\pm 9 \text{ В}$, а токи утечки составляют не более $5\times 10^{-9} \text{ А/см}^2$.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРИИ ЯОР ПРОТОНОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АНОДНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

А.М. Борисов¹⁾, В.Г. Востриков¹⁾, Е.А. Романовский¹⁾, Н.В. Ткаченко¹⁾,
П.Н. Белкин²⁾, И.Г. Дьяков²⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ Костромской государственный университет имени Н.А. Некрасова,
Кострома, Россия

Исследован поверхностный слой малоуглеродистых сталей после их насыщения углеродом в условиях анодного электролитного нагрева. Методом спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов 7–8 МэВ определены распределения концентраций кислорода и углерода в модифицированном слое. В качестве электролитов использовались водные растворы хлорида аммония с одной из углеродсодержащих добавок (глицерин, ацетон, сахароза). Обрабатывались цилиндрические образцы диаметром 10 мм и длиной 10 мм из сталей 10 и 20. После насыщения углеродом образцы охлаждались в электролите. Во избежание отслаивания оксидного слоя напряжение нагрева плавно снижалось до ~ 300 °С, а затем отключалось. Структура поверхностного слоя изучалась на металлографическом микроскопе ЕС МЕТАМ РВ-21, микротвердость поверхностного слоя образцов измерялась на приборе ПМТ-3М при нагрузке массой 50. Измерения концентраций кислорода и углерода при одной и той же температуре 900 °С, но различных концентрациях хлорида аммония подтвердили торможение диффузии атомов углерода оксидным слоем, который образуется в результате высокотемпературного окисления стальных образцов в парах воды и электрохимического окисления анионами электролита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки по мероприятию 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров», контракт № 02.740.11.0389, по тематическому плану НИР КГУ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ и Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ 09-08-99069-р_офи).

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В МЕТАЛЛАХ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ЧЕРЕЗ ОСАЖДАЕМУЮ НА ПОВЕРХНОСТЬ МИШЕНИ ГАЗО-МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПЛЕНКУ

Г.А. Вершинин¹⁾, Т.С. Грекова¹⁾, И.Г. Геринг¹⁾,
И.А. Курзина²⁾, Ю.П. Шаркеев²⁾

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

²⁾Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Россия

При воздействии на металлические материалы импульсно - периодическим пучком ионов металлов вакуумно - дуговых источников (с осаждением плазмы из элементов материала катода на поверхность мишени в промежутках между воздействием пучком ускоренных ионов) обнаружен усиленный перенос внедряемых ионов на аномально большие глубины с образованием интерметаллидных фаз. Одновременно с этим на поверхности мишени накапливаются атомы из остаточной атмосферы вакуумной системы, которые, перемешиваясь в поверхностных слоях ионным пучком, вместе с атомами осажденного металла в виде атомов отдачи внедряются вглубь модифицируемого материала. С увеличением дозы внедряемых ионов толщина пленки растет со средней скоростью 4 нм/мин. Целью данной работы является анализ особенностей формирования концентрационных профилей алюминия в титане марки ВТ1-0 при имплантации через осаждаемую пленку сложного состава. Проведенное исследование позволяет утверждать, что глубинные с широким максимумом концентрационные профили алюминия в титане, имплантированного импульсно - периодическим полиэнергетическим пучком источника «Радуга-5» через осаждаемую газо-металлическую пленку, формируются путем статистического распределения внедряемых ионов на первоначальном этапе (в течение ~25 минут) и последующего термического перераспределения в оставшееся время. Имплантация атомов отдачи ответственна за неоднородное распределение внедряемых ионов вблизи границы раздела пленки с подложкой.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИАЦИОННОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ПЛЕНКИ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

В.К. Егоров¹⁾, В.И. Андрейчук²⁾, А.Д. Мокрушин¹⁾, Л.А. Песин²⁾

¹⁾ИПТМ РАН, Черногловка, 142432 Россия

²⁾Челябинский государственный педагогический университет, Челябинск,
Россия

Актуальной задачей микро- и нанoeлектроники является разработка технологии создания планарной схемотехники на гибких подложках. Одним из направлений решения этой задачи представляется поиск методов получения проводящих и полупроводящих областей на поверхностях полимерных диэлектрических подложек путем радиационно-стимулированной карбонизации тонкого поверхностного слоя материала самих этих подложек. Таким материалом может быть диэлектрическая пленка поливинилиденфторида. Было показано, что воздействие ионизирующего облучения любого вида вызывает уменьшение содержания фтора в приповерхностном слое пленки при неизменном количестве содержания углерода /1/.

Данные исследования, проведенные с использованием метода резерфордского обратного рассеяния ионов H^+ и He^+ с энергией $E_0=1.5$ МэВ и метода ядер отдачи, посвящены непосредственному определению толщины карбонизированного слоя на поверхности поливинилиденфторидной пленки в условиях воздействия на нее потока рентгеновского излучения. Кроме того исследования показали, что явление карбонизации имеет место и в процессе взаимодействия ионных пучков с материалом пленки, несмотря на низкое значение интенсивности диагностирующих ионных потоков. На основании данных, отражающих изменение содержания фтора и водорода в поверхностном слое пленки в процессе накопления радиационно-стимулирующей дозы ионного воздействия, предложен механизм кинетики карбонизации поливинилиденфторида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pesin L.A., Gribov I.V., Kuznetsov V.L. et al // Chem. Phys. Let. 2003. v372. #5-6. P. 825.

ЗАХВАТ ИМПЛАНТИРОВАННОГО ДЕЙТЕРИЯ НА НАНОВЫДЕЛЕНИЯХ В СТАЛЯХ

Г.А. Распопова, В.Л. Арбузов

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

На образцах аустенитной стали X15H16M3T1 и двухфазной мартенситно-аустенитной стали X16H9M3 методом ядерных реакций (реакция $D(d,p)T$) изучена радиационно-индуцированная сегрегация дейтерия при комнатной температуре.

Установлено, что при облучении ионами $D^{+}_{700\text{keV}}$ в изучаемых сталях происходят РИСФП (радиационно-индуцированные структурно-фазовые превращения). В стали X15H16M3T1 образуются частицы Ni_3Ti , а в двухфазной стали в областях мартенсита в условиях неполного $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения в необлученном состоянии – частицы “нового” аустенита /1,2/.

Захват имплантированного дейтерия на элементы структуры оказался чувствительным к их фазовому составу и линейным размерам: в мартенсите на дефектах решетки захватывается больше дейтерия, чем в аустените, а количество захваченного дейтерия находится в обратной зависимости от поперечных размеров элементов структуры.

Показано, что наноразмерные частицы фаз, образовавшихся за счет РИСФП, являются эффективными ловушками водорода. Это приводит к подавлению водородного охрупчивания изученных облученных сталей.

Работа выполнена по плану РАН шифр “Импульс” и при частичной финансовой поддержке проекта УрО РАН №09-М-23-2004

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Распопова Г.А., Арбузов В.Л. //, ВАНТ, 2009, №2, с. 14-19.
2. Распопова Г.А., Арбузов В. Л., Сагарадзе В. В. и др. //, ФММ, 2007, т.103, №2, с. 180-190.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕЗИСА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОСОДЕРЖАЩИХ ДЕФЕКТОВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДИКИ ЯДЕРНОГО МИКРОАНАЛИЗА.

В.Б Выходец¹⁾, Т.Е Куренных¹⁾, Н.Ю. Таренкова²⁾

¹⁾Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²⁾ОАО Корпорация ВСМПО-АВИСМА, Верхняя Салда, Россия

Получена база данных по характеристикам газосодержащих дефектов металлургического происхождения в титановых сплавах (по размерам дефектов, микротвердости и концентрации в них азота, кислорода, ванадия и алюминия). Все исследованные дефекты обнаружены в полуфабрикатах и готовой продукции в течение 10-летнего мониторинга промышленного производства. Минимальный размер исследованных дефектов был в диапазоне от 0.2 до 2 мм.

Для исследования по легким элементам специально разработан и аттестован вариант ускорительной методики ядерного микроанализа повышенной локальности (~ 0,1 мм).

Установлено, что модификация дефектов при плавке и термообработке осуществляется по диффузионному механизму.

Получены гистограммы распределения дефектов по среднему содержанию в них кислорода и азота, а также концентрации алюминия и ванадия в центре дефектов.

Предложены математические модели, описывающие изменение размеров источников дефектов и их химического состава при плавке по газовым примесям и атомам легирующих элементов.

Разработана методика, позволяющая для каждого обнаруженного дефекта установить его источник (продукт плавки или тип шихтового материала), а также определить размер и содержание газовых примесей и атомов легирующих элементов в источнике дефекта до плавки. Статистически установленная эффективность идентификации по предложенной методике составляет 80 %. Разработанная методика идентификации источников дефектов рекомендована для практического использования.

Работа выполнена поддержке РФФИ грант № 11-03-00877-а.

ЙОДНАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ

С.С. Зырянов, А.П. Селиванов, О.В. Рябухин, Ф.Г. Нешов
УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, Екатеринбург,
Россия

Рассмотрено воздействие йодной среды на металлические образцы - нерж. сталь 1X18N10T и сплав Э125 (Zr-2,5%Nb) - при различных условиях влажности (20-25% и 70-75%) и при дополнительном облучении протонами с энергией 5,7 МэВ на ускорителе Р7-М. Содержание йода в камере облучения $4,78 \cdot 10^{-6}$ г/см³, температура среды 25°C.

На облученных образцах методом резерфордовского обратного рассеяния были выявлены 2 области с различным содержанием йода – область попадания пучка протонов и область, лежащая выше места прямого попадания пучка. При облучении сплава Э125 в среде с относительной влажностью 20-25% концентрация йода на поверхности образца достигает 21 ат.% на глубине до 0,115 мкм в области попадания пучка и 1 ат.% на глубине до 0,190 мкм в вышележащей области. При относительной влажности 70 - 75% концентрация йода составляет 1 ат.% на глубине до 0,019 мкм в области попадания пучка. Выше области попадания пучка, при этом, следов йода методом РОР не выявлено.

Для образца стали 1X18N10T при относительной влажности 20-25% наблюдаются концентрации йода 23 ат.% на глубине до 0,58 мкм в области попадания пучка и 0,4 ат.% на глубине до 0,47 мкм в вышележащей области, при относительной влажности 70-75% - 13 ат.% на глубине до 0,58 мкм и 0,4 ат.% на глубине 0,47 мкм соответственно.

В целом, отмечается сдерживающее влияние повышенной влажности воздуха на процессы коррозии, одна из возможных причин – появление на поверхности образца тонкой пленки воды, которая не позволяет йоду взаимодействовать с поверхностью. Коррозия вне области прямого попадания протонов предполагает участие в данном процессе не только паров йода, воды и пучка заряженных частиц, но и продуктов радиолиза среды.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАРГАНЦА В ПЛЕНКАХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ТИПА $A_{2(1-x)}Mn_xB_6$ МЕТОДОМ РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Д.И. Курбатов¹⁾, А.Б. Крамченков²⁾, М.И. Захарец²⁾, А.В. Климов¹⁾

¹⁾ Сумский государственный университет, Сумы, Украина

²⁾ Институт прикладной физики НАН Украины,
Сумы, Украина

Легированные марганцем пленки магнитных твердых растворов типа $A_{2(1-x)}Mn_xB_6$ ($Zn_{1-x}Mn_xS$, $Zn_{1-x}Mn_xSe$, $Cd_{1-x}Mn_xTe$ и др.) в последнее время привлекают все большее внимание как новый класс материалов, которые принято называть спинтронными полупроводниками (DMS) /1/.

Концентрация марганца в таких системах значительным образом влияет на магнитные, магнитооптические и оптоэлектронные свойства данных материалов /2/. Следовательно, возникает задача экспериментального определения концентрации и объемного распределения этой примеси в зависимости от условий осаждения пленок типа $A_{2(1-x)}Mn_xB_6$.

Пленки твердых растворов $Zn_{1-x}Mn_xS$ и $Cd_{1-x}Mn_xTe$ были получены методом сублимации в квазизамкнутом объеме /3/ на ситалловые подложки при разных температурах осаждения. Концентрация марганца определялась методом RBS протонов с энергией первичного пучка 1,5-2 МэВ. Обработка экспериментальных спектров проводилась при помощи программного комплекса SIMNRA.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen W.M., Buyanova I.A. Handbook of Spintronic Semiconductors, Singapore, Pan Stanford Publishing, 2010, p. 400.
2. Yuan H.J. et. al. // J. Cryst.Growth, 2004, 271, 403.
3. Kosyak V. et. al. // J. Cryst.Growth, 2010, 312, 1726.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ЯДЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО МИКРОЗОНДА

А.Г. Пономарев¹⁾, Д.В. Магилин¹⁾, К.И. Мельник¹⁾, А.В. Романенко¹⁾,
В.И. Мирошниченко¹⁾, В.Е. Сторижко¹⁾

¹⁾Институт прикладной физики НАН Украины, Сумы, Украина.

Исследованы распределения элементов в конструкционной корпусной стали и интерфейсах швов получаемых твердофазным соединением циркониевого сплава с нержавеющей конструкционной сталью с тонкими прослойками меди и ниобия, меди и свинца. Подобные композиты могут найти применение в качестве конструкционных материалов атомного машиностроения (оболочки ТВЭЛ и т.п.). Карты распределений элементов получены с применением ядерного сканирующего микронзонда ИПФ НАНУ в режиме детектирования характеристического рентгеновского излучения (μ -PIXE). Анализ результатов позволяет делать заключения об эволюции примесей в конструкционных материалах в условиях тепловых и радиационных нагрузок.

ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ МОДУЛИ НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ ПЛАНАРНЫХ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ПРИКЛАДНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Н.И. Маслов

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

Неохлаждаемые планарные (плоскостные) кремниевые координатные детекторы (ПККД) и детектирующие модули на их основе могут использоваться в различных условиях физического эксперимента и прикладных исследований. Для ПККД применяются наработанные десятилетиями технологии производства интегральной микроэлектроники. ПККД находят все большее распространение ввиду их высокой стабильности, надежности и возможности использования при комнатных температурах.

Рассматриваются одноканальные и многоканальные детектирующие модули на основе ПККД при использовании как в условиях вакуума, так и в естественных условиях физического эксперимента для измерения заряженных частиц, рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне энергий от единиц кэВ до энергий в десятки и сотни МэВ. При использовании в естественных условиях осуществляется герметизация модулей для защиты от воздействия дестабилизирующих факторов окружающей среды.

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ ИОНОВ В МЕТАЛЛАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПУЧКАМИ ВАКУУМНО-ДУГОВЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

¹⁾Омский государственный университет

им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия,

²⁾Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Россия

Проанализированы в зависимости от режимов облучения и структуры исходных образцов металлических систем распределения по глубине мишени ионов металлов и кислорода, имплантированных при воздействии импульсно-периодическими пучками источников с вакуумно-дуговым разрядом (установки Радуга-5, Диана-2, Mevva-V.RU). Присутствие в приповерхностном слое модифицированного материала атомов *C, N, O* с концентрацией и распределением по глубине, близким с основным элементом, указывает на образование ионов газов в разрядной системе источника, их ускорение и имплантацию вместе с ионами металлического катода. При интерпретации наблюдаемых закономерностей массопереноса учитывается энергетически неоднородный состав пучка, поскольку в используемых источниках с дуговым разрядом генерируются ионы в различном зарядовом состоянии. Путем моделирования установлено, что формирование концентрационных профилей элементов происходит преимущественно по двум механизмам: первоначально примесь распределяется статистически, а с увеличением флюенса внедренных ионов и, соответственно, концентрации генерируемых ионным пучком различных дефектов структуры преобладающий вклад начинают давать диффузионные процессы и распыление поверхности образцов. Наблюдаемые максимумы в концентрационных профилях имплантируемых металлов, удаленные от поверхности, обусловлены статистическим распределением внедряемых элементов, а вблизи поверхности – диффузионными процессами и имплантацией ядер отдачи.

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Э110 МОДИФИЦИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Н.С. Пушилина, И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев,
О.М. Степанова, С.В. Иванова
Томский политехнический университет, Томск, Россия

Полученные в настоящее время экспериментальные результаты свидетельствуют о возможности в широких пределах управлять микроструктурой, фазовым составом, прочностными свойствами поверхностных слоев металлов и сплавов с помощью импульсных электронных пучков (ИЭП). В работе проведены экспериментальные исследования физико-механических свойств циркониевого сплава Э110, облученного ИЭП. Воздействие импульсного электронного пучка с плотностью энергии $E_s=15-20 \text{ Дж/см}^2$ модифицирует поверхностный слой циркониевого сплава на глубину $\sim 10 \text{ мкм}$. Согласно проведенным нами расчетам температура поверхности во время облучения составляет 3250 К , максимальные значения скорости охлаждения (до 10^8 К/с). При этом, глубина расплавленного слоя составляет порядка 8 мкм . После облучения ИЭП происходят следующие изменения в свойствах исходного сплава Э110: уменьшается размер зерна, наблюдается повышение твердости материала, увеличение концентрации ниобия в поверхностном слое после облучения. Происходит изменение дефектной структуры сплава. Анализ фазового состава, размеров областей когерентного рассеяния (ОКР), внутренних упругих напряжений ($\Delta d/d$) показал, что воздействие ИЭП приводит к росту величины $\Delta d/d$, размер ОКР уменьшается в 5 раз по сравнению с необлученным образцом.

ОСАЖДЕНИЕ ПЛЕНОК АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ИОННОЙ АБЛЯЦИЕЙ И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ПАССИВАЦИЯ

А.В. Кабышев, Ф.В. Конусов, С.Н. Ложников, Г.Е. Ремнев,
М.С. Салтымаков
Институт физики высоких технологий, Томск, Россия

Соединения $A^{III}B^V$ в том числе и арсенид галлия остаются основными материалами оптоэлектроники /1/. Развитию технологии изготовления приборов на их основе способствуют исследования пассивации поверхности соединений различными способами /2/. Импульсные методы осаждения пленок GaAs обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами получения материала /3, 4/. Осаждение GaAs из плазмы, создаваемой мощным ионным пучком, не уступает по скорости роста и качеству пленкам, синтезированным другими методами. В работе исследованы электрические и фотоэлектрические свойства пленок GaAs, осажденных на поликор из плазмы, сформированной ионным пучком. Установлено влияние на характеристики пленок термического отжига в вакууме, на воздухе и химической халькогенидной пассивации. Характеристики пленок в зависимости от условий их осаждения и отжига в вакууме меняются в широких пределах. Оптимальная модификация свойств достигается после предварительного отжига пленок в вакууме при 600–800 К с последующей обработкой в пассивирующем растворе в течение 10–20 минут. Халькогенидная пассивация пленок стабилизирует характеристики фотопроводимости, замедляет степень окисления поверхности. Отжиг на воздухе при 300–600 К также оказывает пассивирующее влияние вследствие физадсорбции молекул газов поверхностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болховитянов Ю.Б. // УФН, 2008, т.178, № 5, с.459.
2. Simonsmeier T. // J.Appl.Phys., 2005, v.97, p.084910.
3. Ullrich B. // Appl.Phys.Lett., 2005, v.87, p.151115/1.
4. El Hadadi B. et al. // Vacuum, 2005, v. 80, № 4, p.272.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Н.А. Евтеева, Ю.П. Черданцев, А.М. Лидер,
Г.В. Гаранин, Н.С. Пушила
Томский политехнический университет, Томск, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Н.А. Евтеева, Ю.П. Черданцев, А.М. Лидер, Г.В.Гаранин, Н.С. Пушила
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Использование технологии водородной модификации материалов диктует необходимость определения скорости накопления и дегазации материалов, величины потока и вычисления профиля концентрации водорода. В работе проведен расчет профилей распределения водорода методом конечных разностей с использованием обычных уравнений диффузии. Результат расчёта представлен в виде объемных графиков, показывающих зависимость концентрации водорода в образцах от времени и координаты. При различных начальных распределениях концентрации водорода на поверхности образца выполнен расчет динамики перераспределения водорода в титане

На рисунке 1 представлена динамика распределения водорода с начальным распределением C_H в виде экспоненты. С ростом глубины максимум функции распределения концентрации водорода от времени смещается в область больших времен. Наибольший градиент концентрации (по времени) вблизи поверхности, наблюдается на глубине 1,2-1,6 мм в интервале 1750-2000 секунд. С течением времени водород распределяется по всему образцу равномерно.

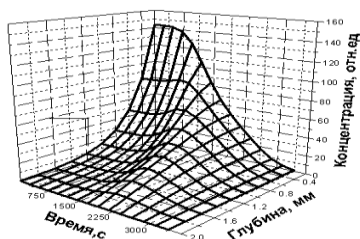


Рисунок 1 Распределение концентрации водорода в образце титана

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ГЕРМАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНОВ ВОДОРОДА

Ю.М. Покотило¹⁾, А.Н. Петух¹⁾, А.В. Гиро¹⁾, А.С. Камышан²⁾

¹⁾БГУ, Минск, Беларусь

²⁾НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь

Методом нестационарной емкостной спектроскопии и вольт-фарадных характеристик исследовались кристаллы германия и сплавы $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ с различным содержанием кремния ($0 < x < 0,031$), имплантированные ионами водорода с энергией 300 кэВ в диапазоне доз 10^{13} - 10^{15} см⁻².

Показано, что постимплантационная термообработка кристаллов в диапазоне температур 250-300 °С в течение 30 минут приводит к формированию в приповерхностных слоях на глубине пробега ионов водорода низкоомной субмикронной n^+ -области, обусловленной образованием мелких водородосодержащих доноров (Н- доноров)[1].

Установлено, что доза облучения существенным образом влияет на соотношение между концентрацией радиационных дефектов и Н-доноров, сформированных в n^+ -области кристалла.

Показано, что примесь кремния подавляет образование Н-доноров. Обсуждается механизм этого явления и природа Н-доноров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Markevich V.P., Dobaczewski L., Bonde Nielsen K., Litvinov V.V., Petukh A.N., Pokotilo Yu.M., Abrosimov N.V., Peaker A.R.// Thin Solid Films 517 (2008), 419.

МАССОПЕРЕНОС В КРЕМНИИ ЭЛЕМЕНТОВ Со ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННОГО ПРИ АССИСТИРОВАНИИ СОБСТВЕННЫМИ ИОНАМИ

О.М. Михалкович¹⁾, В.Е. Гусаков²⁾, И.С. Ташлыков¹⁾

¹⁾Белорусский государственный педагогический университет,
Минск, Беларусь

²⁾НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь

Осаждение покрытий, ассистированное собственными ионами (ОПАСИ), является одним из перспективных методов модифицирования свойств поверхности. Ионная имплантация ксенона в кремний широко применяется, т.к. приводит к значительному повреждению его структуры. Малоизученным остается процесс массопереноса в кремнии элементов Со покрытия нанесенного методом ОПАСИ, и влияние предварительного введения ксенона в кремний на диффузионные процессы при последующем нанесении покрытий. Элементный послойный анализ конструкций покрытие/подложка выполняли, используя резерфордовское обратное рассеяние (РОР) 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 РОР по программе RUMP. Для изучения локализации атомов покрытия, проникающих в (100)-кремний, применяли метод РОР в сочетании с каналированием ионов He^+ .

Атомы кобальта в риповерхностной области подложки располагаются преимущественно (65-70%) в междоузлиях. С увеличением глубины анализа доля междоузельных атомов кобальта уменьшается до 15-20 % на глубине ~ 780 нм. Установлено, что предварительное облучение кремния ионами Xe^+ с $E = 10$ кэВ и дозами от $1 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ до $2.7 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ вызывает рост доли атомов кобальта в замещающих положениях на всей глубине проникновения и имеет выраженную дозовую зависимость.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСШЕГО ОКСИДА
ВОЛЬФРАМА ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ИОНАМИ He^+

Н.В. Алов, Д.М. Куцко
Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

В настоящей работе исследовано восстановление поверхности высшего оксида WO_3 при бомбардировке низкоэнергетическими ионами He^+ ($E = 3$ кэВ) в широком диапазоне доз ($\Phi = 10^{15} - 10^{18} \text{ см}^{-2}$). Определение состава восстановленного слоя методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) проводили *in situ* в условиях сверхвысокого вакуума ($p = 10^{-8}$ Па) на электронном спектрометре *Leybold LHS-10*.

В результате анализа тонкой структуры РФЭС-спектров остоного уровня $W 4f$ установлено, что облучение ионами He^+ приводит к восстановлению поверхности оксида WO_3 . Степень ионно-лучевого восстановления существенно зависит от дозы ионного облучения. Обнаружено, что при бомбардировке ионами He^+ в поверхностных слоях оксида WO_3 сначала образуются оксиды WO_x ($2 < x < 3$) и WO_2 , а при увеличении дозы облучения – металлический вольфрам.

Результаты экспериментов по ионно-лучевому восстановлению поверхности высшего оксида WO_3 обсуждаются в рамках феноменологической модели. Показано, что при облучении поверхности оксида WO_3 ионами He^+ происходит преимущественное распыление кислорода из поверхностных слоев и образование новых оксидных фаз с более низкой стехиометрией, чем у WO_3 , а также формирование тончайшего слоя металлического вольфрама. Проведено сопоставление процессов ионно-лучевого восстановления поверхности высшего оксида WO_3 в результате облучения низкоэнергетическими ионами инертных газов (Ar^+ и He^+) и ионами химически активного газа (O_2^+).

РОЛЬ ЛИТИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЛУЧЕННЫХ И ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ ZnO

В.А. Никитенко, С.Г. Стояхин, С.В. Мухин

Московский государственный университет путей сообщения, Москва,
Россия

Оксид цинка является широко известным материалом микро- и оптоэлектроники. В настоящем сообщении обобщены результаты исследований оптических (спектры отражения, пропускания, люминесценции и фото-ЭПР, $T=4\div 400$ К) и электрофизических свойств облученных электронами ($E=4$ МэВ, $f_1=7,5\cdot 10^{18}$ см⁻²; $f_2=1,2\cdot 10^{19}$ см⁻²) и ионами высоких энергий (углерод - $E=90$ МэВ, $f=1,3\cdot 10^{14}$ см⁻²; кислород - $E=110$ МэВ, $f=1,3\cdot 10^{14}$ см⁻²) монокристаллов ZnO-Li. Объектами исследования служили монокристаллы ZnO, полученные гидротермальным методом и легированные в процессе роста литием в концентрации $10^{17}\div 10^{18}$ см⁻³, а также специально термообработанные в Li₂CO₃ при $400\div 700$ °С в течение 2-7 суток.

Установлена основополагающая роль лития в формировании рассмотренных свойств исследуемых образцов ZnO. В частности, облучение монокристаллов ZnO-Li электронами ($E=4$ МэВ, $f=1,2\cdot 10^{19}$ см⁻²) приводит не только к появлению анионных вакансий V_0^+ (F^+ -центров по данным фото-ЭПР), но и $[F_{Li}]^\times$ - центров, соответствующих вакансиям кислорода, локализованным вблизи литиевых точечных дефектов Li_{Zn}. Комплексообразование с литием сопровождается некоторой температурной стабилизацией вакансий кислорода. Если в чистом виде F-центры «залечиваются» при температурах $530\div 610$ К, то в сочетании с литием необратимые ионные процессы происходят уже при температурах $610\div 650$ К.

Показано, что путем высокоэнергетичной имплантации ионов кислорода ($E\approx 100$ МэВ) в монокристаллы ZnO-Li с последующим их отжигом на воздухе возможно получить инверсию типа проводимости оксида цинка.. Важной особенностью таких образцов является заметное усиление экситон-фононной люминесценции, обусловленной аннигиляцией свободных экситонов.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ НА ИЗОЛЯТОРЕ ИМПЛАНТАЦИЕЙ БОЛЬШИХ ДОЗ ИОНОВ ВОДОРОДА

И.Е. Тыщенко, В.А. Володин

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

В работе представлены данные по созданию слоев гидрированного пористого кремния-на-изоляторе (КНИ), сформированных имплантацией больших доз ионов водорода в КНИ структуры. В качестве исходного материала использовались КНИ структуры с толщиной отсеченного кремния ~ 280 нм и толщиной захороненного слоя SiO_2 около 400 нм. Имплантация осуществлялась ионами H^+ с энергией 24 кэВ дозой $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Последующие отжиги проводились в печи при температурах $T_a = 200\text{--}1000^\circ \text{C}$ в течение 20 минут. Исследования велись методами спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) и фотолюминесценции (ФЛ) при температурах 83–300 К. Сразу после имплантации в спектрах КРС было обнаружено 2 пика с максимумами 480 и 513 см^{-1} , соответствующих частоте оптических фононов в аморфной и нанокристаллической фазах. Смещение частоты оптического фонона $\Delta\omega$ относительно ее значения в объемном Si соответствовало размерам нанокристаллов Si ~ 2.5 нм. С ростом T_a в интервале $200\text{--}500^\circ \text{C}$ величина $\Delta\omega$ практически не менялась. После более высоких температур отжига появлялся пик на частоте оптического фонона в объемном Si (520 см^{-1}). В спектрах ФЛ, измеренных при комнатной температуре, наблюдалась полоса вблизи 1.62 эВ, интенсивность которой падала с ростом T_a в диапазоне $200\text{--}500^\circ \text{C}$, а максимум смещался к 1.57 эВ. Интенсивность ФЛ в зависимости от температуры измерений имела немонотонный характер. Полученные данные объясняются в рамках модели излучательной рекомбинацией квантово ограниченных экситонов с учетом изменения заселенности уровней синглетного и триплетного возбужденного состояний экситонов с ростом температуры.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БОРА И УГЛЕРОДА В СОЕДИНЕНИИ B_4C , ПОЛУЧЕННОМ МЕТОДОМ CVD

В.В.Левенец, А.А.Щур, Б.М.Широков
ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

При газофазном методе получения карбида бора предполагается создание гомогенных объектов, поэтому, представляет интерес, изучить реальное распределение В и С, особенно в пограничных областях. Распределение бора изучалось с помощью резонанса с энергией 163 кэВ из реакции $^{11}B(p,\gamma)^{12}C$, разрешение по глубине около 400 Å. При изучении распределения С использовался резонанс с энергией 429 кэВ из реакции $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$, разрешение - 470 Å. Распределение бора и углерода до глубины 1 мкм исследовалось на двух образцах B_4C (рис.1). Ток пучка - 1,5-2,0 мкА. Каждый спектр измерялся до заряда в 3000 мкКл.

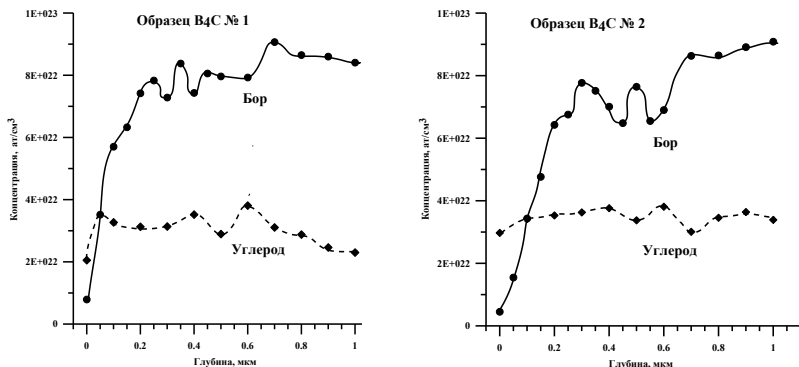


Рис. 1. Профили распределения бора и углерода

Из приведенных кривых следует, что поверхностные слои несколько обеднены бором и стехиометрия получаемого соединения отличается от B_4C . Однако, начиная с глубины около 1 мкм, стехиометрия становится близкой к B_4C . Связано это вероятно с переходными процессами при завершении газофазного процесса. Это необходимо учитывать при получении карбида бора, при использовании полученных образцов, а также при проведении анализа.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР, СОЗДАННЫХ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Б.А. Бедулин¹⁾, Д.М. Жигунов³⁾, Д.Э. Османова¹⁾,
А.С. Патракеев¹⁾, В.Ю. Тимошенко³⁾, В.С. Черныш¹⁾, А.А. Шемухин^{1),2)}
¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
²⁾ФГУП МРТИ РАН, Москва, Россия
³⁾ЦКП МГУ, Москва, Россия

Многообещающие перспективы в развитии электронных устройств связываются с созданием светоизлучающих приборов нового поколения, созданных на основе кремниевых и других нанокластеров с использованием квантово-размерных эффектов.

В работе представлены результаты измерений фотолюминесцентных (ФЛ) характеристик структур, полученных имплантацией ионов кремния в матрицы SiO_x на ускорителе HVEE-500 НИИЯФ МГУ. Исходные подложки формировались термическим окислением кремниевых монокристаллических пластин. В зависимости от условий окисления выращенные пленки имели различный стехиометрический состав, который контролировался перед имплантацией методом резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия He^+ с энергией 2 МэВ на ускорителе ЭГ-8 НИИЯФ МГУ.

Образцы облучались ионами кремния с энергиями в диапазоне от 70 до 120 кэВ и дозами 10^{15} - 10^{17} ион/см². Затем проводился отжиг полученных структур при температуре 1050°C. Генерация фотолюминесценции в исследуемых образцах осуществлялась с помощью облучения Ar лазером с длиной волны 488 нм. Спектры излучения регистрировались с помощью спектрографа MS 3504 I (SOLAR TII) и монохроматора МДР 12 (ЛОМО). Обсуждается зависимость оптических свойств изготовленных структур от дозы и энергии ионного облучения.

ПРИМЕНЕНИЕ РОР ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА
ПОГЛОЩАЮЩИХ СЛОЕВ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
ОСАЖДЕННЫХ НА СТЕКЛЯННУЮ ПОДЛОЖКУ

А.И. Туровец¹⁾, Д.А. Сильванович¹⁾, В.С. Куликаускас²⁾,
В.Ф. Гременок³⁾, И.С. Ташлыков¹⁾

¹⁾БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

³⁾НПЦ НАНБ по материаловедению, Минск, Беларусь

Поглощающие слои системы PbSnS были нанесены на стеклянные подложки методом «горячей стенки». Для элементного анализа формируемых структур применялся метод резерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия с $E_0 = 2$ МэВ. Изучение послойной концентрации элементов проводилось с применением компьютерной программы RUMP моделирования экспериментальных энергетических спектров РОР.

Согласно экспериментальным данным, поверхностный слой PbSnS толщиной 1,2 мкм, не содержит посторонних элементов. В его состав входят 7 ат. % свинца, 40 ат. % олова и 53 ат. % серы. Полученные профили распределения элементов указывают на то, что данный состав в пределах ± 2 ат. % является однородным по толщине. На протяжении следующих 150 нм содержание серы незначительно увеличивается, а олова уменьшается. Была обнаружена взаимная диффузия элементов подложки (Si, O) в пленку и наносимого покрытия (Pb, Sn, S) в подложку. Толщина промежуточного слоя в области межфазной границы составляет ~ 300 нм. Состав подложки соответствует $\text{Si}_{0,3}\text{O}_{0,7}$.

Полученные экспериментальные данные подтверждают одно из важных достоинств метода «горячей стенки»: возможность получения тонких плёнок с однородным по глубине и близким к стехиометрии составом. Таким образом, данный метод применим для получения тонких плёнок PbSnS с соответствующими требованиями по композиционному составу.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ В КРЕМНИИ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ЦИНКА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОТЖИГОМ

В.С. Куликаускас¹⁾, Д.В. Петров¹⁾, П.Н. Черных¹⁾,

В.В. Привезенцев²⁾, А.А. Шемухин¹⁾

¹⁾ НИИЯФ им. Д.В. Скобельцина, МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²⁾ ФТИАН РАН, Москва, Россия

В последнее время широко исследуются свойства наночастиц (НЧ) металлов и окислов в различных матрицах, поскольку такие материалы могут быть использованы в современных устройствах оптоэлектроники [1]. Представлены результаты исследования формирования НЧ в Si, ионно-легированном Zn.

Пластины Cz-n-Si(100) были имплантированы ионами $^{64}\text{Zn}^+$ с дозой $D=2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и энергией $E=100 \text{ кэВ}$. После этого пластины были отожжены в N_2 при $t=400^\circ\text{C}$ в течение 60 мин, затем при $t=600^\circ\text{C}$ в Ar в течение 30 мин, и наконец при $t=800^\circ\text{C}$ в O_2 в течение 30 мин.

Радиационные дефекты в Si и профили распределения импланта Zn исследовались методом резерфордовского обратного рассеяния (RBS) ионов He^+ с энергией 2 МэВ с использованием техники каналирования.

Топография поверхности образцов была исследована в помощью сканирующего туннельного микроскопа Solver P47 (NT-MDT) в режиме атомно-силовой микроскопии (АСМ). Также использовался растровый электронный микроскоп (РЭМ) LYRA 3 (TESCAN) в сочетании с рентгеновским энерго-дисперсионным микроанализом.

Полученные результаты указывают на формирование в имплантированном слое НЧ Zn и соединений на его основе: ZnO , ZnSiO_3 и Zn_2SiO_4 , причем в процессе отжига фазовый состав имплантированного слоя изменялся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wong E.M. and Searson P.C. // Appl. Phys. Lett., 1999, **74**, 2939.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА Zn-Ni ПОКРЫТИЙ, ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.М. Анищик¹⁾, Н. Валько²⁾, Н.И. Поляк¹⁾, И.И. Алесчик²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск

²⁾Учреждение образования «Гродненский государственный университет им. Янки Купалы», Гродно, Беларусь

Процесс электроосаждения защитных покрытий Zn-Ni под рентгеновским облучением характеризуется повышением выхода металла по току, равномерностью его распределения по подложке, при этом формируются слои с улучшенными эксплуатационными характеристиками /1/.

Сформированные под рентгеновским излучением покрытия Zn-Ni и контрольные (необлученные) из кислого (pH=3), слабокислого (pH=4) и нейтрального (pH=7) электролитов подвергались отжигу в течение 1 ч последовательно при каждой из температур $T=100, 200$ и 300 °C.

Обнаружено, что сформированные под рентгеновским облучением покрытия имеют мелкозернистую структуру, более чувствительную к термообработке. В зависимости от типа электролита после отжига наблюдается изменение их механических характеристик. Так, микротвердость контрольных образцов увеличивается на 10 – 40 %, а облученных – на 20 – 60 %; коэффициент трения облученных образцов, полученных из кислого электролита, уменьшается. Для всех покрытий после отжига характерно значительное уменьшение содержания никеля и увеличение кислорода в поверхностном слое. Изменение их свойств в результате отжига обусловлено изменением структуры и фазового состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анищик В.М., Валько Н., Поляк Н.И.// Труды XX Международного совещания «Радиационная физика твердого тела» (Севастополь, 5-10 июля 2010), т. 2, М., ГНУ «НИИ ПМТ», 2010 , с. 407.

ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК, ВЫРАЩЕННЫХ НА ИОННО-МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ Al, Ti, Zr, W, В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Н.В. Волков, Б.А. Калинин, И.В. Олейников, Е.Ю. Бондаренко
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва, Россия

Задача повышения свойств оксидных соединений и стабилизация их структурно-фазового состояния в настоящее время оказываются важными, поскольку получить обычными методами термостабильные, радиационностойкие соединения с заданными свойствами практически невозможно. В этой связи поиск новых эффективных методов получения оксидов металлов с заданными свойствами и их контроля важен и актуален.

Целью работы явилось определение влияния состояния приповерхностных слоев подложек (химический состав, структурно-фазовое состояние, шероховатость поверхности) на кинетику роста и морфологию оксидных пленок и выявление роли структурно-фазового состояния оксидных пленок и покрытий в изменении их оптических и электрофизических свойств.

Модифицирование поверхности образцов Al, Ti, Zr, W проводилось с помощью пучков ионов He^+ и Ar^+ с широким энергетическим спектром (гауссоподобным) со средней энергией 6 – 20 кэВ. Как показывают эксперименты, в результате одновременного воздействия ионов с различной энергией зона модифицирования по глубине значительно увеличивается (в 2–5 раз), механические напряжения в модифицированном слое на порядок оказываются ниже, плотность радиационных дефектов оказывается небольшой.

Оксидные пленки были получены при окислении образцов материалов в кипящей воде, в пароводяной среде (17 МПа), в газовой среде (при пониженном давлении).

В результате проведенных исследований показано, что ионное легирование поверхности материалов позволяет стабилизировать состояние оксидных пленок и получить у них новые свойства, повышающие их функциональность.

Предложены физические методы определения и контроля свойств оксидных пленок на основе современных (разрушающих и неразрушающих) методов исследований материалов: оптическая микроскопия с цифровой обработкой изображения, профилометрия, растровая ионная микроскопия с разрешением 10 нм, инфракрасная спектроскопия (ИКСС) сверхвысокого разрешения и инфракрасная сканирующая микроскопия (ИКСМ) с разрешением 10–50 мкм.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ В ЗОНЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО КОНТАКТА В ПРОЦЕССЕ ИЗНОСА ОБРАЗЦОВ СТАЛЕЙ В РЕЖИМЕ СУХОГО ТРЕНИЯ

Н.В. Волков, И.В. Олейников, Пью Вин Тхейн
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва, Россия

Как известно, трение определяет работоспособность, надежность и долговечность деталей и узлов различных механизмов. В этой связи особое значение приобретает диагностика процесса износа и прогноз надежности трибосопряжений оборудования в максимально-предельных условиях их эксплуатации.

Известно, что их коррозионная и эрозионная стойкость, сопротивление разрушению, износу, фреттинг-коррозии и водородное охрупчивание определяются структурно-фазовым состоянием (СФС) приповерхностных слоев сплавов, которые могут значительно изменяться с помощью радиационно-пучковых технологий (РПТ) [1]. Современное развитие атомной и космической техники выдвинуло ряд совершенно новых задач в области трибологии, которые могут решаться только на основе совершенствования методов проведения ускоренных испытаний трибосопряженных узлов устройств, создания более совершенных диагностирующих приборов и методик, уточнения параметров имитирующих рабочие условия.

В настоящей работе представлены результаты изучения в режиме сухого трения процесса износа сталей Ст3, 45, У8 и Р6М5, находящихся в отожженном и ионно-модифицированном состояниях.

По измеренным параметрам – ширине и глубине дорожки износа оценен ресурс работы выбранных материалов. По изменению электросопротивления в зоне трибологического контакта установлено, что на начальной стадии износ происходит в условиях упруго-пластической деформации материала, а затем возрастает вклад абразивной составляющей износа в следующей последовательности для образцов сталей: 45, У8, Ст3, Р6М5.

С помощью оптической и растровой электронной микроскопии установлено, что повышение износостойкости ионно-легированной алюмином поверхности образцов сталей связано с образованием пластичного ионно-модифицированного приповерхностного слоя, обеспечивающего более равномерное распределение нагрузки в зоне контакта, что снижает вероятность охрупчивания и выкрашивания материала, т.е. с подавлением абразивной компоненты износа.

ЛИТЕРАТУРА

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

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ДЕТЕКТОР ИЗЛУЧЕНИЙ РЕНТГЕНОВСКОГО ДИАПАЗОНА

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

Детекторы излучения, предназначенные для работы с интенсивными источниками (например, синхротронными), наряду с высокой эффективностью и хорошим амплитудным разрешением должны иметь максимально возможный динамический диапазон, т.е. минимальное мертвое время. Поскольку характерное время отклика стандартного ФЭУ составляет ~ 10 нс, именно значение постоянной времени высвечивания сцинтиллятора является фактором, лимитирующим быстродействие детектора.

В докладе подробно рассмотрен быстродействующий сцинтилляционный детектор гамма-, рентгеновского и синхротронного излучения на основе сцинтилляционного кристалла алюмоиттриевого перовскита $\text{YAlO}_3\text{:Ce}$. Конверсионная эффективность сцинтиллятора $\text{YAlO}_3\text{:Ce}$ составляет $\sim 40\%$ от конверсионной эффективности NaI(Tl) . Время же высвечивания $\text{YAlO}_3\text{:Ce}$ (~ 28 нс) примерно на порядок величины меньше, чем у NaI(Tl) . В разработанном нами детекторе на кристалле $\text{YAlO}_3\text{:Ce}$ величина FWHM квази-гауссова импульса с выхода предварительного усилителя-формирователя составляет ~ 100 нс (см. рис. 1), что обеспечивает его загрузочную способность более чем 5 МГц. Энергетическое разрешение по гамма-линии 14,4 кэВ источника ^{57}Co составляет 38% (см. рис. 2).

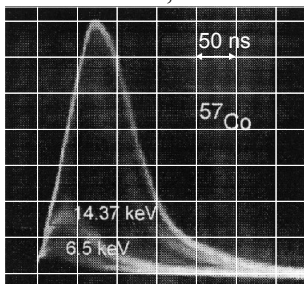


Рис. 1

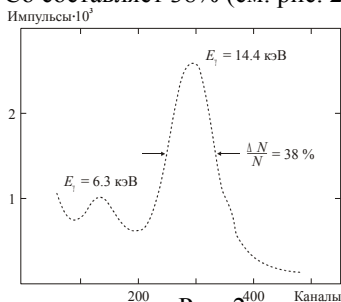


Рис. 2

Для линии 59,6 кэВ источника ^{241}Am значение энергетического разрешения не превышает 20%.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ И СЛАБЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ

Б.А. Староверов¹⁾, А.А. Вирюс²⁾, А.С. Помельникова³⁾,
М.Н. Шипко^{4), 5)}, М.А. Степович^{5), 6)}

- ¹⁾ Костромской государственный технологический университет,
Кострома, Россия
- ²⁾ Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Россия
- ³⁾ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
- ⁴⁾ Ивановский государственный энергетический университет
им. В.И. Ленина, Иваново, Россия
- ⁵⁾ Ивановский филиал Российского государственного торгового-
экономического университета, Иваново, Россия
- ⁶⁾ Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Ка-
луга, Россия

Методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа, а также рентгенофазовым и ядерным гамма-резонансным методами изучено влияние электронного облучения и слабых низкочастотных импульсных магнитных полей на физико-механические свойства металлов и прецизионных сплавов специального машиностроения и точной механики. Изучалось влияние внешних воздействий на спиновое состояние частиц и, как следствие, на локальные характеристики кристаллической решетки. Установлены условия, реализация которых улучшает физико-механические свойства объектов исследования.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Калужской области (проект № 11-02-97504), а также в рамках аналитической ведомственной целевой программы Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» (код проекта 2.1.2/14218).

РАСЧЕТ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДА В КАТОДНОМ ПЯТНЕ
НОРМАЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА АТМОСФЕРНОГО
ДАВЛЕНИЯ

В.И. Кристя

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

Тлеющий разряд в газе атмосферного давления обычно стягивается на катоде в пятно, т.е. горит в нормальном режиме. После зажигания разряда поверхность катода в пятне и газ вблизи него нагреваются потоком тепла, выделяющегося при движении заряженных частиц в катодном слое разряда, что приводит к локальному снижению концентрации газа, уменьшению нормальной плотности разрядного тока и увеличению радиуса пятна с течением времени. Экспериментальные и теоретические исследования параметров нормального тлеющего разряда атмосферного давления и температуры газа в его катодном слое и на поверхности катода проводились в ряде работ лишь в установившемся режиме разряда. Динамика же указанных величин на этапе установления изучалась лишь экспериментально в [1/.

В данной работе построена модель переноса тепла в объеме электрода после зажигания нормального тлеющего разряда в случае, когда размер пятна много меньше характерных размеров электрода. Сформулирована система уравнений, описывающая изменение средней температуры его поверхности в пятне с течением времени. Показано, что в предельном случае достаточно большого времени горения разряда из нее следует уравнение для установившейся температуры, полученное в [2/. Рассчитана зависимость температуры электрода от времени для разряда в гелии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arkhipenko V.I., Kirillov A.A., Safronau Y.A., Simonchik L.V., Zgirkowski S.M. // Plasma Sources Sci. Technol., 2008, V.17, №4, 045017.
2. Кристя В.И. // Поверхность, 2010, №3, С.107.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

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

В настоящей работе разработана модель изменения зарядового состояния структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), находящихся в режиме сильнополевой туннельной инжекции электронов в диэлектрик постоянным током, учитывающая действие ионизирующих излучений на образец. Проведено моделирование изменения зарядового состояния МДП-структур с наноразмерными диэлектрическими пленками при воздействии различных видов радиационных излучений.

Показано, что ионизационные процессы, протекающие в диэлектрических пленках МДП-структур, находящихся в режиме сильнополевой туннельной инжекции электронов импульсом постоянного тока, можно использовать для регистрации радиационных излучений. При этом для повышения точности регистрации измерение ионизационного тока желательно проводить при нескольких амплитудах импульса постоянного тока, как меньших, так и больших амплитуды ионизационного тока. Предложен алгоритм обработки экспериментальных данных, полученных при контроле радиационных излучений сенсорами на основе МДП-структур [1].

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы ГК №П470 и 16.740.11.0151.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андреев В.В., Столяров А.А., Васютин М.С., Михальков А.М. // Вестник МГТУ им.Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2010. С.118-127.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ НА СОСТАВ И СВОЙСТВА НАНОПЛЕНОК CaF_2/Si (обзор)

Д.А. Ташмухамедова, А.К. Ташатов, Б.Б. Мавлонов, Ш.С. Толипов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

В последние годы установлено, что низкоэнергетическая ионная бомбардировка является эффективным средством создания одно- и многокомпонентных нанокристаллов и нанопленок. В данной работе изучено влияние ионной имплантации и последующего отжига на состав и эмиссионные свойства пленок CaF_2 .

Имплантация ионов Ba^+ с $E_0 = 1$ кэВ приводит к увеличению значения коэффициента ВЭЭ σ до 3 раз, а с $E_0 = 5$ кэВ до 1,5 раза. Установлено, что при низких энергиях ионов с ростом температуры σ_m убывает, а при высоких E_0 кривые $\sigma_m(T)$ проходят через максимум, положение которого с ростом E_0 смещается в сторону более высоких T . Изучено влияние длительных внешних воздействий на свойства пленок: а) установлено, что при $T \leq T_{\text{обр}}$ (где $T_{\text{обр}}$ – температура образования пленки) состав и структура пленки практически не меняется 100 и более часов; б) показано, что эти пленки выдерживают длительную электронную бомбардировку (более 100 часов) вплоть до плотности тока $j_e \leq 30$ мкА/см²; в) выдержка образцов в атмосфере воздуха приводит к значительному ухудшению их эмиссионных свойств. Кратковременный отжиг в условиях сверхвысокого вакуума полностью восстанавливает эмиссионную эффективность ионно-имплантированных образцов. Показано, что при определенных значениях плотности тока j_e или температуры T происходит отжиг определенных типов дефектов. Отжиг дефектов всегда приводит к уменьшению σ пленки. Поэтому на зависимостях $\sigma_m(j_e)$ и $\sigma_m(T)$ наблюдаются ступени.

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФАЗ CoSi_2/Si , СОЗДАННЫХ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Д.А. Ташмухамедова, Х.Х. Курбанов, М.И. Махмудов, Н. Ахунов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Известно, что при низкоэнергетической ($E_0=0,5 - 5$ кэВ) и низкодозной ($D \leq 10^{15} \text{ см}^{-2}$) имплантации ионов в приповерхностную область твердых тел формируются нанокластерные фазы. Наши дальнейшие исследования показали, что использование гладких и чистых поверхностей позволяет получить регулярно расположенные почти с одинаковыми размерами нанокластерные фазы. После отжига (лазерный + температурный) формируются эпитаксиальные нанокристаллические фазы.

В данной работе, используя зависимость удельного сопротивления ρ от размеров нанокристаллов CoSi_2/Si мы попытались оценить критические размеры нанокристаллов, при которых наблюдается квантово-размерные эффекты, в частности туннелирование электронов. Диаметр ионного пучка составлял $\sim 1,5 - 2$ мм. На исследуемом образце Si предварительно создавались контактные полосы, путем напыления атомов Ni. Расстояние между полосами составляло $\sim 1 - 1,2$ мм. Ионы Co имплантировались на участки, расположенные между полосами никеля.

Значение ρ для нелегированного Si составляло $\sim 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Формирование отдельных кластерных фаз начиналось с $D=(2 - 4)\cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. До дозы $D=(6 - 8)\cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ не наблюдалось заметного изменения значения ρ (показания амперметра). Начиная с $D = 2\cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, наблюдалось заметное увеличение тока. Это увеличение грубо можно оценить как начало туннельного перехода электронов. При этом средний диаметр кластерных фаз CoSi_2 (квантовых ям) лежал в пределах $200 - 250 \text{ \AA}$, а расстояние между краями кластеров, т.е. размеры кремниевых фаз составляли $250 - 300 \text{ \AA}$ (барьеры).

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОСТАВ И СТРУКТУРУ ПЛЕНОК BaSi_2/Si , СОЗДАННЫХ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Б.Е. Умирзаков, М.Т. Нормурадов, Д. Буназаров, Б.Г. Пирматов
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Интерес к тонким пленкам силицидов металлов прежде всего обусловлен присущим им уникальным физическим свойствам. На их основе можно изготовить чрезвычайно сложные приборы твердотельной электроники. При создании различных приборных структур (датчиков, детекторов, транзисторов, ИС и др.) используемые в них тонкие пленки подвергаются различным видам внешних воздействий. Такие длительные воздействия могут возникать и при эксплуатации приборов. Поэтому в данной работе мы исследовали влияние длительного прогрева, электронной бомбардировки, выдержки в атмосфере воздуха на состав и эмиссионные свойства системы $\text{Me}_x\text{Si}_y/\text{Si}$.

Результаты экспериментов показали, что:

1. Прогрев системы BaSi_2/Si до $T = 1000$ К практически не приводит к заметному изменению состава и свойств поверхности в течение 100 и более часов. Начиная с $T = 1100$ К наблюдается разложение BaSi_2 на составляющие и интенсивная десорбция бария с поверхности.
2. В случае электронной бомбардировки существенное изменение эмиссионных свойств силицида наблюдается, начиная с плотности тока $j_e = 3 \text{ мА} \cdot \text{см}^{-2}$ (энергия электронов $E_e = 0,5 - 1 \text{ кэВ}$).
3. При длительной выдержке силицидных пленок в атмосфере воздуха их эмиссионные свойства существенно изменяются. Это обусловлено адсорбцией атомов и молекул газов, входящих в состав воздуха (более 90 % кислорода). Толщина этих слоев составляет 5-6 атомных слоев. Кратковременный высокотемпературный отжиг в условиях сверхвысокого вакуума практически полностью удаляет чужеродные атомы. Состав и свойства, характерные для данного силицида, при этом полностью восстанавливаются.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОФИЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ

Б.Е. Умирзаков, М.А. Миржалилова, В.Х. Холмухамедова, А.Б. Муминов
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

Низкоэнергетическая ионная имплантация в сочетании с температурным отжигом в последние годы часто используется для получения нанокристаллов и нанопленок на поверхности полупроводниковых и диэлектрических пленок.

В данной работе приводятся результаты по исследованию влияния лазерного отжига на профили распределения атомов по глубине для ионно-легированного GaAs.

Лазерный отжиг GaAs, имплантированного ионами Na^+ с $E_0 = 1$ кэВ при $D = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, начиная с плотности энергии $W = 0,6 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$, приводил к перераспределению атомов Na, Ga и As. Уже при $W = 0,7 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$ концентрация Na на поверхности и вблизи нее заметно уменьшается, а в более глубоких слоях – увеличивается. Увеличение W до $1,2 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$ приводит к уменьшению поверхностной концентрации Na до 25 – 30 ат.%. Такая же концентрация Na содержится до глубины 45 – 50 Å. В этих слоях преимущественно образуются соединения типа $\text{Ga}_{0,4}\text{Na}_{0,6}\text{As}$. В интервале $d = 45 - 80$ Å концентрация атомов Na резко уменьшается и при $d = 80$ Å ее значение приближается к нулю. При $W = 1,2 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$ происходит полная кристаллизация приповерхностного слоя. Однако в ней содержится большое количество дендритных структур и наблюдается фасетирование. Для получения регулярной монокристаллической структуры необходимо было проводить лазерный отжиг в сочетании с кратковременным высокотемпературным ($T \sim 1000$ К) прогревом.

ТЕПЛОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНКАХ КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

Б.М. Абдурахманов, М.М. Адилов., Х.Б. Ашуров, Ш.К. Кучканов,
С.Е. Максимов, С.Ж. Ниматов

Институт электроники им. У.А. Арифова Академии Наук
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

Тепловольтаическое преобразование (ТП) [1] тепловой составляющей излучения Солнца и тепла нагретых тел с применением немонокристаллического кремния является актуальной инженерной задачей. В [2] обоснована целесообразность применения молекулярно-ионных технологий для создания структур для ТП, поскольку эти технологии наиболее легко обеспечивают управление параметрами получаемых структур.

Исследованы изотипные поликристаллические плёнки Si различного типа проводимости, полученные на поверхности диэлектриков ионно-стимулированным осаждением при испарении из графитового тигля с разогревом электронным пучком. Температура подложек варьировалась от 500⁰С до 950⁰С, скорость осаждения составляла 2-12 мкм/мин. Конструкция установки позволяет изменять степень ионизации осаждаемого потока и варьировать энергию бомбардирующих ионов.

Проведённые исследования показывают, что при нагреве образцов в отсутствии градиента температуры наблюдается возникновение э.д.с., что свидетельствует о наличии тепловольтаического эффекта в изотипных поликристаллических полупроводниковых плёнках, полученных методом ионно-стимулированного осаждения. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о существенной роли кислорода в возникновении тепловольтаического эффекта в изотипных кремниевых образцах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abdurahmonov B.M., Olimov L.O., Saidov M.S. //Appl. Solar Energy, 2008, V.44, № 1, P.46-52.
2. Абдурахмонов Б.М., Адилов М.М. и др. Препринт Р-8-693. Ташкент: Институт ядерной физики АН РУз, 2010. 36 с

ПОВЕРХНОСТНО-ИОНИЗАЦИОННАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ
МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ.

Д.Т.Усманов

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

В настоящей работе приведены результаты масс-спектрометрического изучения поверхностной ионизации (ПВИ) [1] ряда пестицидов (параквата, диквата, пиримикарба и амитраза), используемых в сельском хозяйстве Узбекистана, для селективного и чувствительного обнаружения их следовых количеств в окружающей среде и продуктах питания.

Масс-спектрометрические эксперименты проводились с помощью модифицированного химического масс-спектрометра MX-1320.

Найдено, что молекулы исследованных соединений путем ПВИ ионизируются с высокой эффективностью. Масс-спектры ПВИ пестицидов малолинейчатые и состоят из линий ионов M^+ , $(M-H)^+$, $(M-H-R_i)^+$, а также мономолекулярных продуктов распадов колебательно-возбужденных материнских ионов на пути их движения в масс-спектрометре. Масс-спектры ПВИ параквата и диквата содержат линии молекулярных ионов $[M]^+$ с m/z 156. Масс-спектр ПВИ амитраза состоит из линий $(M-H)^+$ иона с $m/z=292$ и ионов $(M-H-R_i)$ с $m/z=252, 161, 149, 121$, где линия иона с $m/z=161$ является главной. Малолинейчатость ПВИ масс-спектров, большая ионизационная эффективность процесса позволяют зафиксировать линии осколочных ионов, интенсивность которых $\sim 10^6$ раз меньше интенсивности линий первичных ионов. Определенные из кривых Аррениуса величины теплот сублимации молекул опиатов фенантреновой структуры растут от диквата к амитразу. Полученные температурные зависимости токов ионов имеют характерный вид и обусловлены скоростями гетерогенных реакций образования их продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

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

СВЕРХСТРУКТУРЫ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ

Ниматов С.Ж., Руми Д.С., Шакаров Ф.
ТГТУ, Ташкент, Узбекистан,

Низкоэнергетическая ионная бомбардировка поверхности монокристаллов твердых тел представляет научный и практический интерес в связи с растущей потребностью нанотехнологий, так как позволяет получать на поверхности наноструктуры без существенного влияния на нижележащие слои. В работе методом дифракции электронов низкой энергии (ДЭНЭ) с контролем контраста интенсивностей фона упруго отраженных электронов и рефлекса дифракционной картины исследованы условия образования сверхструктур на поверхности Si(111) при низкоэнергетической (до 500 эВ) бомбардировке положительными ионами щелочных металлов и отрицательными ионами хлора.

Идентифицированы сверхструктуры Si(111)-(4x4)Li; Si(111)-($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$)Na-R30⁰; Si(111)-(1x1)Na; Si(111)-(5x5)Cl; Si(111)-(1x1)NaCl-R30⁰; Si(111)-(2x2)Rb. При бомбардировке ионами K⁺ и Cs⁺ сверхструктур не обнаруживались.

Анализ результатов экспериментов показывает, что значительная часть энергии ионного пучка в процессе релаксации поверхности расходуется на протекание химической реакции с одновременным образованием упорядоченной двумерной фазы силицида. При увеличении дозы облучения выше $3 \cdot 10^{15}$ ион/см² наблюдалось резкое снижение контраста ДЭНЭ до полного исчезновения, что предполагает нарушение стехиометрического состава для двумерной фазы силицида. Последующее кратковременное нагревание при температуре 400 – 600К приводит к восстановлению сверхструктуры, связанное с термодесорбцией лишних атомов щелочного металла.

Исследование кинетики диссоциативной поверхностной ионизации многоатомных молекул

И.М. Сайдумаров, Б.М.Максудов
Ташкентский государственный
технический университет, Ташкент, Узбекистан

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты изучения диссоциативной адсорбции молекул амитриптилина, лидокаина, тетраэтиламмоний хлорида, имипрамина и новокаина на поверхности окисленной вольфрамовой ленты методами МН и МП, позволяющие определить в единых условиях эксперимента константы скоростей термодесорбции и гетерогенной реакции диссоциации молекул на поверхности.

Полученные в ММН энергии в случае адсорбции молекулы амитриптилина, имипрамина были отнесены к энергиям термодесорбции радикала $(\text{CH}_3)_2\text{N}^+\text{CH}_2$ ($m/e=58$), а в случае адсорбции молекулы лидокаина, новокаина и тетраэтиламмоний хлорида были отнесены к энергиям термодесорбции радикала $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{N}^+\text{CH}_2$ ($m/z=86$) на поверхности окисленного вольфрама. Энергии же, полученные в ММП, были отнесены к энергиям гетерогенной реакции диссоциации молекул амитриптилина, имипрамина, лидокаина, новокаина и тетраэтиламмоний хлорида, необходимым для разрыва С-С связей (выделения радикалов $(\text{CH}_3)_2\text{N}^+\text{CH}_2$ ($m/e=58$) и $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{N}^+\text{CH}_2$ ($m/z=86$)).

Впервые показана возможность определения кинетических характеристик взаимодействия многоатомных частиц с поверхностью твердого тела нестационарными методами поверхностной ионизации при адсорбции молекулы имипрамина и лидокаина на поверхности окисленной вольфрамовой ленты.

СООТНОШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЯ К НИЗКОИНТЕНСИВНОМУ БЕТА-ОБЛУЧЕНИЮ

А.А. Дмитриевский¹⁾, Н.Ю. Ефремова¹⁾,
А.Р. Ловцов¹⁾, А.В. Умрихин²⁾

¹⁾ ТГУ имени Р. Державина, Тамбов, Россия

²⁾ УИЦ «Нанотехнологии и наноматериалы»

ТГУ имени Р. Державина, Тамбов, Россия

Использование кремния в качестве конструкционного материала /1/ обуславливает актуальность исследований его механических свойств в условиях внешних воздействий, в том числе низкоинтенсивных. Так, например, облучение кремния бета-частицами от ^{90}Y - ^{90}Sr источника (с флюенсом всего $1,3 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$) вызывает обратимые изменения микро-твердости H , достигающие 15 % /2/. Настоящая работа посвящена исследованию микро- и нано-твердости, а также электрической проводимости кремния в условиях действия низкоинтенсивного бета-облучения.

Обнаружено, что бета-индуцированные изменения H (твердость измерялась методом CSM на наноиндентометре NanoIndenter G200) наиболее ярко проявляются в интервале глубин внедрения индентора от 2 до 3 мкм, что может свидетельствовать о формировании слоя с повышенной концентрацией дефектов. В связи с этим, при тестировании проводимости, облучению подвергались образцы кремния различной толщины (от 1 мм до ~ 15 мкм). Показано, что величина H является более чувствительной характеристикой (по сравнению с проводимостью) к действию низкоинтенсивного бета-облучения.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Springer Handbook of Nanotechnology Ed. B. Bhushan. (2004) 1222.
2. Ю.И. Головин, А.А. Дмитриевский, Н.Ю. Сучкова // ФТТ, 2006, Т. 48, № 2, 262.

ОСОБЕННОСТИ НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК TiN ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ

Р.Ш. Тешев¹⁾, З.М. Хамдохов¹⁾, А.З. Хамдохов¹⁾,
В.С. Куликаускас²⁾, П.Н.Черных²⁾

¹⁾Кабардино-Балкарский государственный университет,
Нальчик, Россия

²⁾НИИ ядерной физики МГУ, Москва, Россия

В данной работе представлены результаты исследования однородности по химическому составу пленок, полученных путем электродугового распыления титановой мишени в зависимости от давления азота в вакуумной камере с помощью атомного силового микроскопа (АСМ) «Интегра АУРА» и метода обратного рассеяния.

Вакуумно-дуговое распыление титановой мишени проводили на установке УВНИПА-1-001 с магнитной сепарацией плазменного потока. Перед напылением вакуумную камеру откачивали до давления 6×10^{-4} Па. Процесс осаждения пленки TiN обеспечивался использованием очищенного азота в вакууме не ниже 7×10^{-1} Па и не выше 5×10^{-2} Па. При изменении давления азота остальные параметры процесса оставались на оптимальном уровне.

В качестве подложки использовалась пластина кремния КДБ-20 с ориентацией (100). Методом обратного рассеяния обнаружено, что уменьшение давления азота в камере с верхнего предела до нижнего ведет к увеличению содержания металлического компонента-титана в осажденном слое TiN с 11% до 17%.

АСМ-изображения фазы участков поверхности пленок TiN размером 5×5 мкм, полученных при разных давлениях азота, имеют ярко выраженные темные области, что свидетельствует о неоднородности поверхности по своим химическим свойствам. Темные области на микрофотографии, по-видимому, соответствуют наночастицам титана, вкрапленным в пленку TiN.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Стр.

А

Абдрашитов С.В.	63
Абдувайтов А.А.	96
Абдурахманов Б.М.	166
Авилкина В.С.	80, 97
Адаменко С.В.	33
Адилов М.М.	166
Азов А.Ю.	17
Акилбеков А.Т.	120
Александров В.А.	8, 24
Алексеев В.И.	45
Алесчик И.И.	155
Алов Н.В.	148
Андреев А.А.	87
Андреев В.В.	12
Андреев Д.В.	161
Андреев Е.А.	86
Андрейчук В.И.	135
Андрианова Н.Н.	80, 97
Анищик В.М.	155
Арбузов В.Л.	136
Артемов А.С.	79
Асташинский В.М.	119, 121, 122, 130, 131
Ахунов Н.	163
Ахунов Ш.Дж.	93, 94
Ашуров Х.Б.	166

Б

Бабаев А. А.	13
Бакланов Д.А.	43, 54, 55
Балакшин Ю.В.	118
Балашова Л.Л.	38
Басков В.А.	53
Бедулин Б.А.	152
Белкин П.Н.	133
Белкова Ю.А.	14
Белова Н.Е.	85
Беляков В.С.	103

Березнеева Е.В.	126
Бетц Г.	77
Бецофен С.Я.	125
Бибик Н.В.	121
Биржевой Г.А.	109
Бихерт Е.В.	120
Блажевич С.В.	56, 57
Блинов Ю.Ф.	23
Богданов М.Р.	16
Богданов О.В.	62, 63
Богданов Р.И.	16
Бондаренко Е.Ю.	156
Бондаренко Н.В.	35
Борисов А.М.	80, 97, 123, 124, 125, 133
Боровицкая И.В.	88, 116, 117
Бочек Г.Л.	52, 67
Буга С. Г.	9
Буназаров Д.	164

В

Валько Н.	155
Васютин Д.С.	161
Васютин М.С.	12
Веригин Д.А.	71
Вершинин Г.А.	134, 142
Виноградов А.Я.	84
Виргильев Ю.С.	97
Вирюс А.А.	159
Владимиров Б.В.	125
Внуков И.Е.	43, 54, 55
Волков Н.В.	157, 156, 106
Володин В.А.	150
Востриков В.Г.	123, 124, 125, 133
Вохмянина К.А.	21
Высоцкий В.И.	5, 31, 32, 33, 34, 51
Высоцкий М.В.	33, 51
Выходец В.Б	137

Г

Гаранин Г.В.	145
Геринг Г.И.	134
Гиро А.В.	146
Гоголев А.С.	64

Головач Г.П.	31
Голубков С.А.	118
Гомоюнова М.В.	110
Горбунова О.А.	58
Горшков П.В.	116, 117
Гребенюк Г.С.	110
Грекова Т.С.	134, 142
Гременок В.Ф.	153
Григорьев П.Ю.	99
Гришин В.К.	72
Гусаков В.Е.	147

Д

Дабагов С. Б.	13
Давлеткильдеев Н.А.	105
Данелян Л.С.	88
Данилов Ю.А.	102
Даулетбекова А.К.	120
Деев А.С.	
Деев А.С.	52, 67
Диденко П.И.	108
Дидык А.Ю.	116, 117
Дмитриевский А.А.	169
Донаев С.	29
Донаев С.	95
Дорошевич И.Л.	130
Дудин Ю.А.	18
Дьяков И. Г.	133

Е

Евтеева Н.А.	126, 145
Егоров В.К.	79, 135
Егоров Н.Н.	118
Емельчинко Г.А.	79
Емцев В.В.	83
Ермаков Ю.А.	87
Ермоленко А.А.	9
Ефремов А.А.	108
Ефремова Н.Ю.	169

Ж

Жандармов Ю.В.	54
Жигунов Д.М.	152
Жохов А.А.	79

Жукова П.Н.	21, 45, 58
Журкин Е.Е.	99

З

Забает В.Н.	64
Затекин В.В.	88, 124
Захарец М.И.	139
Здоровец М.В.	120
Зуев И.С.	46
Зырянов С.С.	138

И

Иванов А.М.	83
Иванов И.А.	118
Иванов Л.И.	88, 116, 117
Иванов Ю.Ф.	129, 131
Иванова С.В.	124, 126, 143
Иешкин А.Е.	87
Израилева Л.К.	111
Иррибарра Э.	45
Исаханов З.А.	29, 95, 96

К

Кабиров З.А.	43
Кабышев А.В.	144
Кадменский А.Г.	3
Кадыров Т.	96
Казаков А.В.	7
Калин Б.А.	106, 156
Камышан А.С.	146
Каплин В.В.	49, 65, 66
Карабешкин К.В.	103
Карасёв Н.Н.	84
Карасёв П.А.	84, 103
Квасов Н.Т.	119, 130, 131
Ким В.В.	53
Кириллин И.В.	36
Климов А.В.	139
Коваль Н.Н.	129, 131
Ковивчак В.С.	82, 104, 105
Козлов А.В.	4
Козловский В.В.	83
Колосова И.В.	56, 57
Конусов Ф.В.	144

Концевой Е.В.	129
Коржик М.В.	158
Корнилова А.А.	5
Корнич Вал.Г.	77
Корнич Г.В.	9, 77
Коротченко К.Б.	47, 48
Коршунов С.Н.	88
Кощеев В.П.	11, 30
Крамченков А.Б.	139
Кривозубов О.В.	105
Кристя В.И.	160
Кубанкин А.С.	45
Кудактин Р.С.	131
Кузин П.С.	16
Кузьмицкий А.М.	121, 122, 131
Кулешов А.К.	122
Куликаускас В.С.	80, 88, 116, 117, 123, 124, 153, 154, 170
Кунашенко Ю.П.	47, 60, 61
Куприянов И.Н.	132
Куприянова Т.А.	59
Курбанов Р.	95
Курбанов Х.Х.	163
Курбатов Д.И.	139
Куренных Т.Е.	137
Курзина И.А.	134, 142
Курилкин М.О.	106
Курильчик Е.В.	17
Куцко Д.М.	148
Кучканов Ш.К.	166
	Л
Ладных М.С.	45
Лактионова С.А.	43, 54, 55
Лам Ф.Т.	43
Лебедев А.А.	83
Левенец В.В.	151
Левшунова В.Л.	6, 18
Лесневский Л.Н.	124
Лидер А.М.	126, 145
Лобко А.С.	158
Ловцов А.Р.	169
Ложников С.Н.	144

Лучкин С.Ю.	106
Лучков Б.И.	53
Лысова Г.В.	109
Лысова И.В.	25, 26, 28
Лямина О.И.	59
Ляховецкий М.А.	124
Ляховицкий М.М.	88

М

Мавлонов Б.Б.	162
Магилин Д.В.	140
Максимов С.Е.	91, 166
Максудов Б.М.	169
Максюта Н.В.	30, 31
Малышевский В.С.	7
Мансурова А.Н.	88
Мартыненко Ю.В.	85
Маслов Н.И.	52, 67, 107, 141
Махмудов М.И.	163
Машкова Е.С.	80, 97
Мельник К.И.	140
Миникаев Л.Р.	59
Миннебаев К.Ф.	86
Миржалилова М.А.	165
Мирошниченко В.И.	140
Мисевич О.В.	158
Михайлов К.А.	104
Михалкович О.М.	147
Михальков А.М.	12
Мокрушин А.Д.	135
Моргун Д.А.	11
Морозов С.Н.	93, 94
Мотавех Х.А.	3
Муминов А.Б.	165
Мухин С.В.	149
Мухтаров З.Э.	95
Мухышбаева А.	120
Мясников Э.Н.	46
Мясникова А.Э.	46

Н

Нажмудинов Р.М.	45
Насонов Н.Н.	21, 45, 58

Науменко А.	71
Наумова О.В.	132
Нешов Ф. Г.	128, 138
Никитенко В.А.	149
Никитин Д.П.	72
Никулин В.Я.	116, 117
Ниматов С.Ж.	166, 168
Новиков Н.В.	15, 81
Нормурадов М.Т.	164
Носков А.В.	56, 57
О	
Оганесян Г.А.	83
Оксенгендлер Б.Л.	91
Олейников И.В.	156, 157
Османова Д.Э.	152
П	
Падерина О.В.	128
Пальянов Ю.Н.	132
Панасюк М.И.	3
Панина Т.А.	11, 30
Панова Т.В.	82, 104, 105
Панькин Н.А.	89
Парамонова В.В.	88
Патракеев А.С.	86, 87, 115, 118, 152
Песин Л.А.	135
Петров Д.В.	86, 115, 118, 154
Петух А.Н.	146
Петухов В.П.	73
Петухов Ю.А.	119, 130, 131
Пивоваров Ю.Л.	48, 62, 63
Пирматов Б.Г.	164
Питиримова Е.А.	80, 102
Покотило Ю.М.	146
Поляк Н.И.	155
Поляков А.Н.	70
Помельникова А.С.	159
Пономарев А. Г.	140
Попов В.П.	132
Потылицын А.П.	64, 71
Похил Г.П.	6, 17, 18, 19, 20, 21, 132
Пронин И.И.	110

Пуцько А.В.	119
Пустовит А.Н.	98
Пушилина Н.С.	126, 143, 145
Пьо Вин Тхейн	157
Р	
Разин С.В.	64
Распопова Г.А.	136
Растовцев П.Н.	54
Ремнев Г.Е.	144
Рогов А.В.	85
Родионов П.	34
Роман М.В.	115
Романенко А.В.	140
Романовский Е.А.	123, 124, 125, 133
Руденький В.М.	32
Рузибаева М.К.	29
Руманов Э.Н.	111
Руми Д.С.	168
Рябухин О.В.	128, 138
С	
Сабиров А.С.	25, 27
Сабо С.Е.	106
Сайдумаров И.М.	169
Салтымаков М.С.	144
Самойлов В.Н.	100, 101
Самсонов А.М.	8
Сафронов Л.Н.	132
Селиванов А.П.	138
Селищева А.В.	43, 54, 55
Серба П.В.	22, 23
Сергиенко В.И.	45
Силенко А.Я.	39
Сильванович Д.А.	153
Солдатенко Е.А.	122
Староверов Б.А.	159
Стельмах В.Г.	92
Степанов А.В.	26
Степанова О.М.	143
Степович М.А.	59, 70, 159
Столяров А.А.	161
Сторишко В.Е.	140

Стоюхин С.Г.	149
Строкан Н.Б.	83
Сухих Л.Г.	71
Сысоев Н.Н.	5
Сыщенко В.В.	44, 69

Т

Та Ч.Т.	43, 55
Тангишев Р.Р.	59
Таренкова Н.Ю.	137
Тарновский А.И.	44
Ташатов А.К.	162
Ташлыков И.С.	78, 147, 153
Ташлыкова-Бушкевич И.И.	127, 128
Ташмухамедова Д.А.	162, 163
Теплова Я.А.	14, 81
Тересов А.Д.	129, 131
Тетельбаум Д.И.	6, 17, 18
Тешев Р.Ш.	170
Тимошенко В.Ю.	152
Тимченко Н.А.	64
Титов А.И.	84, 103
Ткаченко Н.В.	123
Ткаченко Н.В.	124, 125
Ткаченко Н.В.	133
Толипов Ш.С.	162
Толмачев А. И.	90
Томак В.И.	5
Трофименко С.В.	69
Трутьев В.И.	36, 68
Туаенко В.Ю.	53
Туляков Н.Ю.	100, 101
Тураев Н.Ю.	91
Туровец А.И.	78, 153
Тухфатуллин Т.А.	63
Тыщенко И.Е.	150
Тюрин В.Н.	124

У

Углов В.В.	119, 121, 122, 129, 130, 131
Углов С.Р.	49, 50, 64, 65, 66
Умирзаков Б.Е.	29, 95, 96, 164, 165
Умрихин А.В.	169

Усманов Д.Т. 167

Ф

Файнберг Ю.А. 81
 Федоров А.А. 158
 Фикс Е. И. 62
 Филиппов Г.М. 10, 24, 25
 Филиппов М.Н. 59

Х

Хабло В.А. 53
 Хамдохов А.З. 170
 Хамдохов З.М. 170
 Холмухамедова В.Х. 165

Ч

Черданцев Ю.П. 126, 143, 145
 Чердынцев В.В. 20
 Черенда Н.Н. 121, 129
 Черкасский В.А. 4
 Чернов И.П. 126, 143
 Черных П.Н. 18, 115, 132, 154, 170
 Черныш В.С. 6, 86, 87, 115, 118, 152
 Чеченин Н.Г. 3

Ш

Шакаров Ф. 168
 Шаркеев Ю.П. 134, 142
 Шатохин Р.А. 43, 54, 55
 Шемухин А.А. 86, 115, 118, 152, 154
 Шепелевич В.Г. 128
 Шиманский В.И. 129
 Шипко М.Н. 159
 Широков Б.М. 151
 Шпет Ю.В. 61
 Штанов Ю.Н. 11
 Шульга В.И. 77, 85, 97
 Шульга Н.Ф. 4, 36, 44, 68, 69

Щ

Щур А.А. 151

Э

Эпельфельд А.В. 125

Я

Ядгаров Э.Д. 92

A**Araki A.** 71**Aryshev A.** 71**C****Christen J.** 70**F****Fukuda M.** 71**H****Hempel T.** 70**K****Karataev P.** 71**Kovalev G.V.** 37**N****Noltemeyer M.** 70**U****Urakawa J.** 71

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,
П. Похил., В.С. Черныш, Н. Чеченин

Редактор К.И. Стратилатова