

1. ТЕМА 4.2. «Взаимодействие ионов с веществом»
 Краткие сведения о значимых научных результатах за 2008 год

4.2 Взаимодействие ионов с веществом

Исследование неупругих и упругих столкновений быстрых ионов в различных средах

Я.А. Теплова, (тел. 939-49-03, teplova@anna19.sinp.msu.ru). Исследовалось образование Li-подобных ионов бора и азота в метастабильном $4P_{5/2}$ состоянии в результате захвата одного и двух электронов He- и H-подобными ионами в газовых средах. Установлена зависимость (Рис.1) механизма захвата двух электронов от наличия в атоме среды электронов с параллельными спинами.

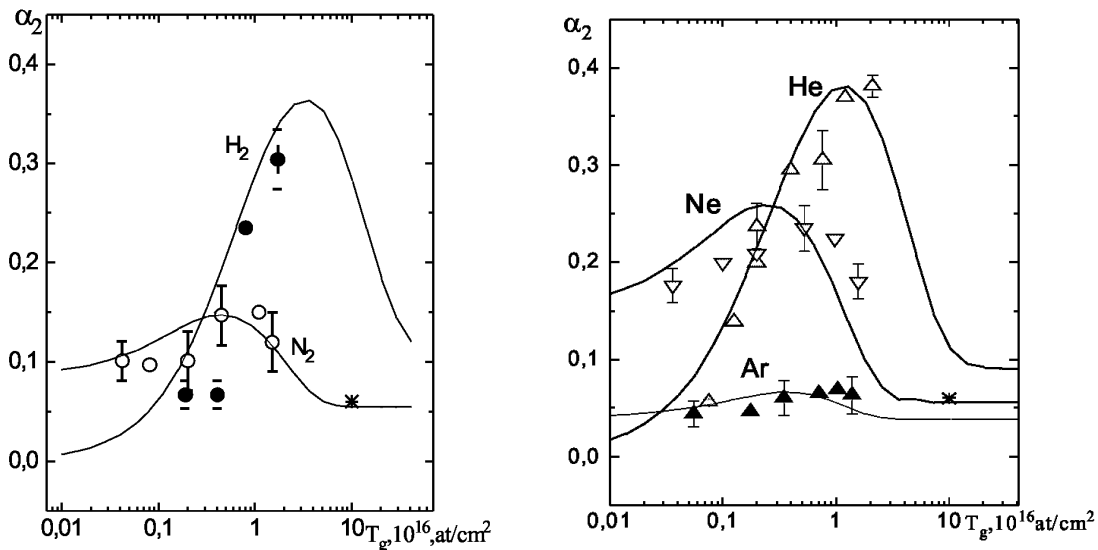


Рис.1 Зависимость α_2 от толщины мишени T_g для ионов бора при скорости $V=3,65 \text{ a.e.}$ Эксперимент: (●)- в водороде H_2 , (○)- в азоте N_2 , (*) - в целлулоиде, (Δ)- в гелии (He), (∇)- в неоне (Ne), (▲)- в аргоне (Ar), (*) - в целлулоиде. Расчеты - сплошные линии.

Рассчитаны энергетические потери и зарядовые распределения для ионов, находящихся в основном и метастабильном состояниях, с атомными номерами $Z=3-7$ и скоростью 3.65 a.e. в азоте. Показано, что наличие в ионных пучках метастабильных частиц приводит к увеличению среднего заряда и потерь энергии.

На основе экспериментальных данных о зарядовых распределениях ионов получены сечения потери и захвата электрона ионами углерода с начальными зарядами $i=0-6$ и скоростями $2.7-8 \times 10^8 \text{ cm/s}$ в газах (He, N_2 , Ar). Вычислено сечение потери электрона быстрыми ионами B, N, Ne в столкновениях с атомами гелия. Проведена систематизация экспериментальных сечений потери и захвата электронов и создан банк данных.

В работе принимали участие: Ю.А. Белкова, И.С. Дмитриев, Н.В. Новиков, Я.А. Теплова, Ю.А. Файнберг

Работа отражена в публикациях:

1. И.С. Дмитриев, Я.А. Теплова, Ю.А. Файнберг // Оптика и Спектроскопия, 2008, т.105, №2, с.210-214.
2. Н.В. Новиков. // Поверхность, 2008, №4, с.47- 50.
3. И.С. Дмитриев, Я.А. Теплова, Ю.А. Белкова, Н.В. Новиков // Поверхность, 2008, №4, с.11-14.
4. Н.В. Новиков, Я.А. Теплова // Поверхность, 2008, №5 с.34-37.
5. Ю.А. Белкова, Я.А. Теплова. // Известия РАН. Сер. Физ., 2008, т.72, №5, с.658-680.

В.И. Шульга (тел.: 939-3605,), **В.С. Черныш** (тел. 939-3770,) Экспериментально и методом компьютерного моделирования проведено исследование влияния поверхностной сегрегации атомов на распыление Ni-Pd сплавов ионами Ag с энергией 3-10 кэВ. Из сравнения с экспериментом определена равновесная концентрация атомов в первом монослое мишени. Проведена серия расчетов по распылению сплава CuPt ионами Ag с энергией 1–320 кэВ. Показано, что особенность распыления этого сплава, наблюдавшаяся ранее экспериментально, связана с перестройкой поверхности в области максимальных значений коэффициента распыления.

В работе принимали участие: А.С. Патракеев, В.С. Черныш, В.И. Шульга,

Публикации:

1. В.С. Черныш, А.С. Патракеев, С.С. Еловигов, В.И. Шульга // Поверхность, 2008 №2, с.9–14.
2. V.S. Chernysh, A.S. Patrakeev, V.I. Shulga // Rad. Eff. and Defects in Solids, 2008, v.163, p.597–603.
3. V.I. Shulga // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., 2008, v.B266, p.949–954.

Е.С.Машкова (тел: 939- , esm@anna19.sinp.msu.ru)

Продолжались исследования проявления анизотропии углеродных материалов на распыление и ионно-электронную эмиссию, структуру и морфологию поверхностного слоя при высоких ($\sim 10^{19}$ ион/см²) флюенсах ионного (30 кэВ N₂⁺, Ag⁺) облучения.

Выявлено, что ионно-индуцированный рельеф базовой грани высокоориентированного пиролитического графита марки УПВ-1Т может контролироваться анизотропными диффузионными процессами, приводящими к квазипериодическим поверхностным наноструктурам. Формирующаяся при этом морфология поверхности приводит к устойчивому по длительности облучения 2-3 кратному подавлению распыления по сравнению с другими углеродными материалами.

Выявлены ионно-индуцированные структурно-морфологические изменения в поверхностном слое однонаправленного углерод-углеродного композиционного материала марки КУП-ВМ. Найдено, что ионное облучение приводит к потере анизотропии структуры поверхностного слоя композита: аморфизации при комнатной температуре либо рекристаллизации при повышенных температурах. Модифицирование волокнистой морфологии при ионном облучении зависит от температуры мишени. При повышенной температуре (200-400°С) наблюдается гофрирование волокон: ребра гофров перпендикулярны оси волокна, грани имеют правильную призматическую форму и наноразмерную шероховатость. Более подробно, см. «8-4_extended».

В работе принимали участие:

Г.П. Похил (тел. 939-3605, pokhil@anna19.sinp.msu.ru). Исследовано прохождение электронов с энергией от 1 кэВ до 30 кэВ через стеклянные поликапилляры, поликапиллярные конусы и кварцевые трубки. Измерены спектры электронов и выход рентгеновского излучения. Из результатов измерения спектра

электронов на входе и выходе трубки следует, что энергия электронов практически не меняется после прохождения через трубку. Это говорит о том, что электроны проходят через диэлектрический канал без столкновений со стенкой, которая, видимо, заряжается предыдущими электронами. Измерение спектра рентгеновского излучения на выходе кварцевой трубки и на выходе поликапиллярного столбика указывает на то, что в результате столкновений части электронов пучка со стенкой канала происходит ионизация атомов стенки. Исследование этих спектров позволяет получить дополнительную информацию о механизме транспортировки заряженных частиц в диэлектрических каналах. Трансмиссия электронов через трубки и капилляры уменьшается с увеличением тока электронного пучка. Видимо процессы зарядки стенки канала и стекания заряда, которые определяют распределение потенциала внутри канала, существенно зависят от величины тока. Результаты измерений зависимости коэффициента трансмиссии от времени показали, что вначале степень прохождения электронов очень высока, потом медленно спадает и выходит на плато. Очевидно, за это время устанавливается некое равновесие в процессах зарядки стенок и стекания заряда.

В работе принимали участие:

Публикации: К.А. Вохмянина, Г.П. Похил ,

1. Г.П. Похил , К.А. Вохмянина Дрейфовая модель guiding эффекта // Поверхность №3, с.71-73 (2008)
2. Г.П. Похил, В.В. Чердынцев О возможности неоднократного перехода от охлаждения к нагреву каналированных ионов // Поверхность №3, с.74-77 (2008)
3. Y. Iwai, T. Ikeda, T.M. Kojima, Y. Yamazaki, K. Maeshima, N. Imamoto, T. Kobayashi, T. Nebiki, T. Narusawa, and G.P. Pokhil, Appl. Phys. Lett. **92**, 023509 (2008)
4. Г.П.Похил , К.А.Вохмянина, Л.А. Жиляков, Т. Ikeda, Y. Kanai, Y. Iwai, Т.М. Kojima, Y. Yamazaki //Известия РАН, серия физическая, 2008, т.72, №5, стр. 674-679 [G.P. Pokhil, K.A. Vokhmyanina, L.A. Zhilyakov, T. Ikeda, Y. Kanai, Y. Iwai, T.M. Kojima, Y. Yamazaki, Ion Guiding through a Flat Insulating Channel // ISSN 1062-8738, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2008, Vol. 72, No. 5, pp. 638-643]

В.П. Петухов (тел. 939-2147, petukhov@anna19.sinp.msu.ru). По программе договора между НИИЯФ МГУ и БелГУ для исследования спектров рентгеновского излучения, возбуждаемого заряженными частицами, разработана схема спектрометрического тракта и изготовлен рентгеновский спектрометр с фокусировкой по Иоганну. Прибор, выполненный по этой схеме, позволяет не только регистрировать спектры на выходе спектрометра, но и вращать кристалл анализатор монохроматора в процессе сканирования по спектру. В состав спектрометра входят: монохроматор, детектор, анализатор импульсов, шаговый двигатель и блок управления шаговым двигателем. Для регистрации рентгеновских квантов на выходе монохроматора использован Блок Детектирования Пропорциональный (БДП). В качестве детектора квантов можно использовать как отпаянные, так и проточные счетчики типа СИР. Спектрометр имеет высокую светосилу и позволяет регистрировать рентгеновское излучение в диапазоне от 0,2 кэВ до 30 кэВ с высоким разрешением.

По программе гранта РФФИ 08-02-00673 разработан и изготовлен рентгеновский спектрометр, предназначенный для регистрации рентгеновских спектров в научных исследованиях процессов генерирования рентгеновского излучения при воздействии импульсов излучения сверхсильного фемтосекундного лазера на твердые и газовые мишени. Блок детектирования спектрометра (БДП) позволяет регистрировать излучение в диапазоне энергий от 2 кэВ до 20 кэВ.

Н.М. Кабачник (тел. 939-3605, nmk@anna19.sinp.msu.ru). Развита теоретический метод для описания развития во времени ионизации атома сильным

электромагнитным полем. Метод основан на численном решении нестационарного уравнения Шредингера, включающем взаимодействие электронов с полем ионного остатка и с сильным полем лазера. Метод использован для описания экспериментов по аттосекундной хронологии, в которых атом ионизовался двумя импульсами: фемтосекундным инфракрасным импульсом лазера и аттосекундным ВУФ импульсом с изменяемой задержкой между импульсами. В расчетах ионизация вторым ВУФ импульсом учитывалась в приближении внезапных возмущений. Расчеты проведены для ионизации атомов неона. Развитая теория позволила описать все характерные особенности результатов эксперимента. Предсказана интерференция (биения) при когерентной ионизации слабосвязанных возбужденных состояний иона неона. Работа проводилась совместно с А.К. Казанским (С.-Петербургский университет) и И.П. Сажиной.

Разработана теория угловых корреляций при двухфотонной последовательной двойной ионизации атомов. Показано, что угловые распределения как первого, так и второго фотоэлектронов существенно отличаются от угловых распределений при однократной ионизации атома и иона. Рассчитаны функции угловых корреляций между двумя испущенными электронами. Расчеты проведены для атомов неона и аргона. Результаты расчетов в целом хорошо согласуются с первыми измерениями, выполненными с использованием лазера на свободных электронах (FLASH). Работа выполнена совместно с Ш.Фрише (ФРГ) и А.Н. Грум-Гржимайло (НИИЯФ МГУ).

В.С. Куликаускас (939-5554, vaclav@anna19.sinp.msu.ru). Изучены слоистые гомогенные пленки двух типов, образующихся в токамаке Т-10, где происходит эрозия углеродных материалов и соосаждение углерода с дейтерием. Образец пленки первого типа был покрыт сажевым налетом, а образец второго типа представлял собой тонкую полупрозрачную пленку золотистого цвета. Содержание углерода в пленках составляет 50–70 ат%. Атомные отношения (D/C) при отжиге (4 часа) уменьшаются до $0,03 \pm 0,01$ для обоих типов пленок при 573 К. Отношения (D/C) хорошо согласуются с результатами исследований пленок из токамака TFTR. Поддержание углеродных поверхностей и других частей вакуумной камеры реактора при температуре ~ 573 К может предотвратить накопление изотопов водорода и увеличить безопасность.

Проведено изучение накопления водорода и дейтерия после облучения ванадиевого сплава V–3,5Ga плазмой и ионами водорода ($E=6$ кэВ, доза $1,0 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$). Установлено, что происходит насыщение поверхностных слоев толщиной 15–40 нм водородом и дейтерием как с облученной (интегральная концентрация дейтерия — $(3-5) \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$), так и с необлученной стороны мишеней (интегральная концентрация дейтерия — $1,2 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$). Эффект сверхглубокого проникновения изотопов водорода имеет большое значение при выборе материалов термоядерного синтеза, в том числе для первой стенки реактора. Сплав V–Ga по этой причине не может работать в условиях непосредственного контакта с плазмой без специальной защиты.

(ЛАС) Исследовалось образование Li-подобных ионов бора и азота в метастабильном $4 \ 5/2$ состоянии в результате захвата одного и двух электронов He- и H-подобными ионами в газовых средах. Установлена зависимость механизма захвата двух электронов от наличия в атоме среды электронов с параллельными спинами. Рассчитаны энергетические потери и зарядовые распределения для ионов, находящихся в основном и метастабильном состояниях, с атомными номерами $Z=3-7$ и скоростью 3.65 а.е. в азоте. Показано, что наличие в ионных пучках метастабильных частиц приводит к увеличению среднего заряда и потерь энергии.

На основе экспериментальных данных о зарядовых распределениях ионов получены сечения потери и захвата электрона ионами углерода с начальными зарядами от $i=0$ до $i=6$ и скоростями $2.7 - 8 \times 10^8$ см/с в различных газовых средах (He, N₂, Ar). Вычислено сечение потери электрона быстрыми ионами бора, азота и неона в

столкновениях с атомом гелия. Проведена систематизация экспериментальных результатов по сечениям потери и захвата электронов и создан банк данных.