

4.2. Взаимодействие ионов с веществом

Н. Г. Чеченин. chechenin@sinp.msu.ru

А. Ф. Тулинов. tulinov@anna19.npi.msu.su

Я.А. Теплова. teplova@anna19.npi.msu.su

Путем анализа экспериментальных данных о величинах парциальных сечений потери электронов σ_{nl} ($nl=1s, 2s, 2p$) ионами с атомными номерами (1-11) в газах установлено, что при скорости ионов 1,83 а.е., наряду с известным соотношением $\sigma_{2s}/\sigma_{2p} < 1$ при энергии связи электронов больше 20 эВ, наблюдается аномальная величина парциальных сечений $\sigma_{2s}/\sigma_{2p} \sim 2-3$ при энергии связи 10-20 эВ, что, возможно, связано с изменением экранировки внешней оболочки атомов в зависимости от ее заселенности [1].

Исследовано влияние плотности ионного тока на температурные зависимости коэффициента ионно-электронной эмиссии $\gamma(T)$ поликристаллического графита МПГ-8, высокоориентированного пиролитического графита УПВ-1Т и стеклоуглеродов при облучении атомарными и молекулярными ионами азота с энергиями в десятки кэВ. Наибольшее влияние плотности тока обнаружено для стеклоуглеродов. С увеличением плотности тока отжиг радиационных нарушений в процессе облучения стеклоуглеродов происходит при все меньших температурах T_a . Для низкотемпературных стеклоуглеродов скачкообразная зависимость $\gamma(T)$ трансформируется в монотонную, разупорядочения поверхностного слоя в интервале температур от -180 до 400°C не наблюдается. Учитывая, что теплопроводность стеклоуглеродов на порядок величины меньше, чем у графитов, можно заключить, что влияние плотности ионного тока связано, в основном, с локальным повышением температуры при облучении материалов с низкой теплопроводностью [2].

Исследованы процессы формирования нанорельефа на поверхности монокристаллов Si и Ge при облучении ионами Ar^+ и Ne^+ с энергиями 3, 5 и 10 кэВ. В экспериментах были использованы образцы кремния трех типов: чистый (нелегированный) Si с удельным сопротивлением 5 к Ω ×см и образцы Si легированного фосфором - КЭФ 4,5 и КЭФ 0,5. Образцы облучались в камере сверхвысоковакуумного ускорителя пучком ионов, падающим по нормали к поверхности образца. Топография поверхности образцов изучалась в атомно-силовом микроскопе Solver P47-PRO. Установлено, что при дозах облучения выше 10^{17} ион/см² на поверхности всех исследованных материалов формируется стабильный нанорельеф. Установлено, что при облучении ионами Ar^+ и Ne^+ средняя высота нанохолмов на Ge почти в 2 раза выше, чем на чистом Si. Обнаруженное различие объясняется различием в величине коэффициента распыления для Si и Ge. Показано, что характеристики нанорельефа – средняя высота и ширина нанохолмов определяются параметрами ионного облучения. Впервые обнаружено, что с увеличением концентрации легирующей примеси в кремнии средняя высота нанорельефа уменьшается [3,4].

В рамках сотрудничества с НЦ «Курчатовский институт» выполнена серия экспериментов по моделированию возможных процессов в ИТЭР. Установлено, что 1) с ростом температуры происходит перераспределение гелия в стальных диагностических зеркалах, а именно, концентрация гелия в них уменьшается, а распределение по глубине размывается; 2) в плазме рабочей смеси 44% Ar, 34% CH_2D_2 и 22% D_2 при температуре зеркал 150–300°C происходит рост углеводородной пленки, в которой концентрация дейтерия превышает концентрацию водорода и достигает постоянного значения (24%) при глубинах больше 125 нм; 3) нагрев до 350°C приводит к химическим реакциям и модифицирует поверхность с образованием пленок оксидов, карбидов и других

соединений металлов, что сопровождается падением коэффициента отражения от зеркал 4) при температуре 400°C концентрация дейтерия резко понижается, концентрация водорода составляет ~18%.

При исследовании нового, обнаруженного в 2006 г. эффекта двойного управления пучком (double-guiding) ионов с помощью плоского, непроводящего капилляра обнаружено новое явление - скачкообразное изменение поверхностной проводимости диэлектрика при достижении критической величины поверхностного заряда диэлектрика, подвергающегося облучению ионами. Построена теоретическая модель эффекта двойного управления ионами с помощью диэлектрических капилляров.

Проведен теоретический анализ первых экспериментов по аттосекундной хроноскопии - нового метода исследования, позволяющего изучать развитие во времени процесса фотоионизации атомов сильным лазерным полем. В экспериментах измерялось зарядовое распределение ионов, возникающее при ионизации атомов двумя импульсами: аттосекундным ВУФ импульсом и коротким ИК импульсом мощного лазера, в зависимости от временной задержки между импульсами [5].

В работе принимали участие :

Андрианова Н.Н., Балашова Л.Л., Бедняков А.А., Белкова Ю.А., Борисов А.М., Гранкина Т.В., Дмитриев И.С., Затекин В.В., Кабачник Н.М., Куликаускас В.С., Люберцев С.Ю., Машкова Е.С., Новиков Н.В., Немов А.С., Патракеев А.С., Петухов В.П., Похил Г.П., Теплова Я.А., Тулинов А.Ф., Файнберг Ю.А., Ходырев В.А., Черныш В.С., Чеченин Н.Г., Чувильская Т.В., Чуманов В.Я., Широкова А.А., Шульга В.И.

Студенты физического факультета МГУ: Алышев Сергей Владимирович (6 курс), Петров Дмитрий Валерьевич (5 курс), Баранов Константин Владимирович (5 курс), Бедулин Борис Андреевич (4 курс), Шемухин Андрей Александрович (4 курс), Иешкин Алексей Евгеньевич (3 курс), Андреев Евгений Андреевич (3 курс)

НИИГрафит, Москва: Виргильев Ю.С., Сорокин А.И.; Нижегородский Госуниверситет им. Н.И.Лобачевского: Питиримова Е.А.; California Institute of Technology, USA: Parilis E.S.; РНЦ «Курчатовский институт»: Гусева М.И., Гуреев В.М., Данелян Л.С., Колбасов Б.Н., Коршунов С.Н., Скорлупкин И.Д., Столярова В.Г.

Работа отражена в публикациях:

1. Н.В.Новиков, Я.А.Теплова. //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2007, №3, с.33-36.
2. Borisov A.M., Mashkova E.S. // Nucl.Instrum.Methods in Phys.Res. 2007. V. B 258. pp.109-115.
3. В.С. Черныш, А.С. Патракеев, Е.С. Солдатов, Д.В. Петров, С.В. Алышев. //Поверхность, 12, (2007), С.28-32.
4. V.I.Shulga. Comparative study of silicon and germanium sputtering by 1–20 keV Ar ions. Nucl. Instr. and Meth. B254 (2007) 200–204.
5. A.K. Kazansky and N.M. Kabachnik. //J. Phys. B, 40 (2007) F299-F305.