

4.2. Взаимодействие ионов с веществом

Н. Г. Чеченин. chechenin@sinp.msu.ru

Я.А. Теплова. teplova@anna19.sinp.msu.ru

Предложен метод теоретической оценки равновесного зарядового распределения ионов, прошедших через вещество, основанный на корректировке сечений перезарядки в газах с помощью множителя, учитывающего эффект плотности. Метод позволил провести оценку зарядового распределения быстрых ионов азота, прошедших слой графита и отраженных от медной поверхности при скользких углах падения (рис.1).

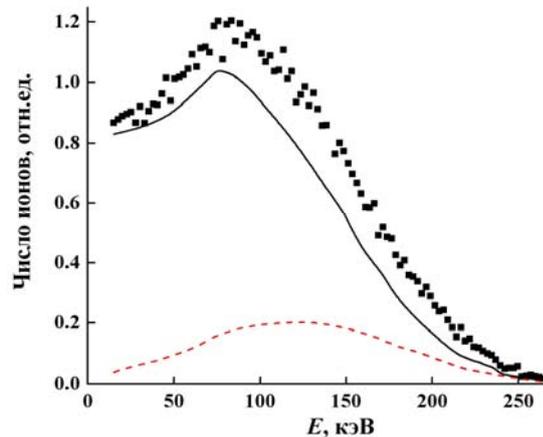


Рис. 1. Энергетическое распределение ионов и атомов азота, отраженных медной поверхностью при энергии налетающих ионов $E_0 = 300$ кэВ, угле падения $\alpha = 4^\circ$ и угле рассеяния $\theta = 8^\circ$: (■) – экспериментальные данные для всех отраженных частиц; сплошная и пунктирная линии – результаты расчета распределения отраженных атомов азота и ионов N^+ , соответственно.

Предложены эмпирические оценки параметров, характеризующих ширину и асимметрию равновесного зарядового распределения ионов в аморфной однокомпонентной среде в зависимости от заряда ядра атома мишени и скорости ядра столкновения. Получены аналитические выражения для неравновесных зарядовых фракций и средних зарядов ионов в зависимости от толщины тонких пленок. Проведены расчеты зарядовых распределений и потерь энергии для ионов бора и азота с энергией 0.75 МэВ/нуклон при прохождении их через тонкие органические пленки и ионов неона с энергией 2.0 МэВ/нуклон в углероде.

Разработана компьютерная программа и проведены первые расчеты распыления двумерных и трехмерных рельефных поверхностей кремния и углерода ионами аргона в интервале энергии 1-30 кэВ. В расчетах использованы два вида поверхностного потенциального барьера: изотропный и плоский с учетом и без учета зависимости параметров барьера от координат точки выхода атомов из твердого тела. Данные об угловом и энергетическом распределении атомов при распылении, учитывающие влияние поверхностного нанорельефа, получены в данной работе впервые.

Проведены экспериментальные и компьютерные исследования ионно-индуцированной модификации поверхностей графитов и композиционных углерод-углеродных и углерод-керамических материалов при облучении их тяжелыми ионами с энергиями в десятки кэВ в интервалах температур от комнатной до сотен градусов Цельсия. Выявлены особенности распыления, эрозии, морфологических и структурных изменений поверхностей материалов, применяемых в атомных реакторах, термоядерных устройствах и аэрокосмической технике. Эти особенности связаны с высокими флюенсами ионного облучения и соответствующими уровнями радиационных нарушений, ответственными за структурные переходы. Показано, что ионно - индуцированная

модификация приводит к потере анизотропии структуры оболочки полиакрилонитрильных (ПАН) углеродных волокон вследствие аморфизации при относительно низких температурах или в результате рекристаллизации при больших температурах отжига радиационных нарушений). В последнем случае наблюдается гофрирование углеродных ПАН- волокон, которому соответствует уровень радиационных повреждений, достаточный для рекристаллизации мозаичной структуры оболочки волокон.

Рассмотрено прохождение быстрыми тяжелыми ионами галактических космических лучей через многослойную структуру – прототип интегральной схемы. Оценка индуцированного ионом количества электронно-дырочных пар в чувствительной области транзистора проведена с учетом потерь энергии в корпусе микросхемы, а также в защитных оксидных слоях, в контактах и металлизированных слоях. Проведены расчеты энергии различных частиц, вызывающих генерацию заряда, способного приводить к одиночному сбою бортовой электроники. Показано, что имеется пространство, из которого тяжелые фрагменты ядерных реакций могут проникать в подзатворную область транзистора, обладая кинетической энергией, достаточной для индуцирования заряда с концентрацией выше критической.

Предложен метод измерения поляризации пучков фотонов в лазерах на свободных электронах (ЛСЭ) с использованием циркулярного дихроизма. Если фотоионизация атома происходит при одновременном воздействии циркулярных фотонов ЛСЭ и синхронизированного с ним оптического лазера, то выход фотоэлектронов меняется при изменении знака циркулярной поляризации (циркулярный дихроизм). Поскольку циркулярная поляризация оптического лазера может достигать 100%, то величина дихроизма при двуцветной ионизации прямо пропорциональна степени циркулярной поляризации ЛСЭ, которую и требуется измерять. В эксперименте на ЛСЭ ФЕРМИ подтверждено наличие дихроизма и измерена поляризация пучка ЛСЭ.

Разработан и изготовлен энергодисперсионный Рентгеновский Флуоресцентный Анализатор, позволяющий проводить качественный и количественный анализ химических элементов от Al до U, содержащихся в твердотельных и жидких образцах, а также в тонких поверхностных слоях. В состав анализатора (рис.2) входят: рентгеновская трубка (фирмы OXFORD) мощностью 50Вт; детектор рентгеновских квантов Si –PIN диод (фирмы АМРТЕС) с разрешением 170 эВ на энергии 5.9 кэВ; трехкоординатный гониометр; многоканальный анализатор импульсов и программное обеспечение. Для создания параллельного коллимированного пучка применена рентгеновская капиллярная оптика Кумахова, позволяющая получать зондирующий пучок высокой интенсивности диаметром ~ 100мкм.

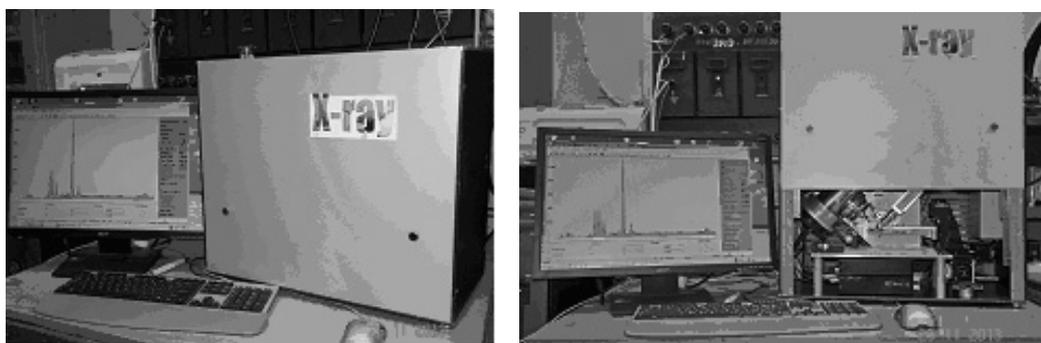


Рис. 2. *Общий вид Рентгеновского Флуоресцентного Анализатора.*

Для определения концентрации элементов из результатов измерения интенсивности характеристических линий используется метод фундаментальных параметров. Порог обнаружения составляет несколько единиц ppm. Методом рентгеновского флуоресцентного анализа исследован элементный состав загрязнений материалов

космических аппаратов после экспонирования на внешней поверхности орбитальных станций «МИР» и «МКС».

Методами рентгено-флуоресцентного анализа, резерфордского обратного рассеяния ионов и рентгеновского микроанализа на растровом электронном микроскопе выполнен элементный анализ состава и структура загрязнений на поверхности панелей после воздействия факторов космического пространства. Показано, что основными элементами, входящими в состав загрязнений, являются углерод, кислород, кремний, сера, кальций, железо и цинк, являющиеся компонентами материалов, расположенных на панели. Рентгеновский фазовый анализ образцов загрязнений показал, что в них присутствует углерод в виде аморфного графита с небольшой частью кристаллической структуры. Остальные компоненты находятся в аморфном состоянии. Не обнаружен диоксид кремния в кристаллическом виде и другие его соединения.

На ускорителе AN-2500 создана установка для проведения экспериментов по воздействию ускоренных ионов водорода и гелия на живую клетку, которая находится в питательной среде. Для формирования пучка используется эффект гайдинга. Поток быстрых ионов, двигаясь в коническом стеклянном капилляре, фокусируется до микронного размера. На выходе из капилляра имеется «тонкое» окно, через которое ионы выходят из вакуума в среду. Капилляр можно вводить в живую клетку подобно микропипетке в биохимических опытах. С помощью приобретенного прибора PUL-100 освоена методика изготовления стеклянных конических капилляров с выходным отверстием порядка 1 мкм.

В работе принимали участие:

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

Работа отражена в публикациях:

1. Novikov N. V., Teplova Ya. A. // Physics Letter A, 2013, v.377, p.463-466.
2. Belkova Yu.A., Teplova Ya.A. // Radiation Effects and Defects in Solids, 2013, v.168, p.365-371.
3. Teplova Ya.A., Novikov N.V., Belkova Yu.A. // Helium: Occurrence, application and biological effects. Editor S. B. Davis. Nova Science Publishers, Inc. 2013, P.87-114.
4. Shulga V.I. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 2013, Vol. 316, pp. 76-80.
5. Andrianova N.N., Borisov A.M., Mashkova E.S., Parilis E.S. and Virgiliev Yu.S. // Ch.5 Ion-Induced Modification and Crimping of Carbon Composite Fibers in: Horizons in World Physics (Ed. Albert Reimer) Nova Science Publishers, Inc. 2013. V.280. pp.171-190.
6. Chumanov V.Ya., Kadenskii A.G. and Chechenin N.G. // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2013, Vol. 7, No. 2, pp. 254-261.
7. Kazansky A.K., Sazhina I.P., Kabachnik N.M. // J. Phys. B, 2013, V. 46, P.025601, (8pp).
8. Dusterer S., Rading L., ... N.M. Kabachnik. // J. Phys. B, 2013, V. 46, P.164026, (5pp).