

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Зырянова Степана Сергеевича «Анализ и модификация поверхности твердых тел с использованием пучков ускоренных заряженных частиц», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на стыке специальностей 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Актуальность темы диссертационной работы

Несмотря на длительный период исследования процессов взаимодействия пучков ускоренных заряженных частиц с твердым телом их потенциальные возможности широкого применения в современных радиационных технологиях далеко не исчерпаны. Это относится как к модификации свойств материалов и диагностике их поведения, так и к анализу состава и структуры поверхности. Актуальность данной диссертационной работы очевидна и не вызывает сомнений, так как в ней решены сложные и важные научно-методические задачи по дальнейшему расширению возможностей пучковых технологий для модификации свойств материалов и проведения анализа состава и структуры их поверхности.

Рецензируемая диссертационная работа С.С. Зырянова восполняет пробел по изучению характеристик ядерного обратного рассеяния заряженных частиц околосбарьерных энергий, посвящена выявлению аналитических возможностей обратного рассеяния протонов и ионов гелия этого энергетического диапазона, а также создание соответствующего научно-методического и аппаратного обеспечения. Следует особо отметить, что диссертантом совместно с коллективом циклотрона Р7-М Уральского федерального университета создана на канале ускорителя многофункциональная установка, позволяющая реализовывать одновременное воздействие ионизирующего излучения, температуры, влажности и различной газовой среды. Возможности разработанного комплекса в совокупности с полученными результатами характеристик ЯОР продемонстрированы исследованием гетерогенных систем (радиационная коррозия в различных средах) и материалов с низкой радиационной стойкостью (полиэтилентерефталат, полиэтилен). Все отмеченные выше является целью и задачами диссертационного исследования. Поставленная цель в работе достигнута. Основные результаты сформулированы в виде пяти защищаемых положений и выводов.

Первое положение посвящено обоснованию экспериментальной методики измерения на «толстых» мишенях энергетической зависимости дифференциального сечения рассеяния протонов околосбарьерных энергий на ядрах В, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn. Получены функции $\sigma(E)$ для угла 160° в диапазоне 4,5-6,6 МэВ для образцов естественного изотопного состава. Результаты

достоверны, дополняют имеющиеся базы данных по сечениям рассеяния протонов и использованы автором в последующих разделах диссертации.

Исследуя спектры ОР высокоэнергетичных протонов автор предложил методику определения границы резерфордовского и ядерного обратного рассеяния. Этому посвящено второе защищаемое положение. Оценка границы перехода РОР/ЯОР позволили автору целенаправленно выбрать энергию пучка таким образом, чтобы селективно управлять чувствительностью анализа на различные элементы. Так, при анализе на В, С, О в тяжелой матрице чувствительность может быть увеличена на три порядка. Практическая значимость этих результатов продемонстрирована в гл.4 при исследовании упрочняющих покрытий.

Третье защищаемое положение посвящено радиационно-стимулированной коррозии стали Ст3 и нержавеющей стали 1Х18Н10Т широко используемых в реакторостроении, контейнерах для хранения РАО и других радиационных технологиях. Используя уникальные возможности циклотрона и созданного исследовательского канала, изучена как атмосферная, так и йодная коррозия в зависимости от флюенса, температуры, влажности и химического состава среды. Убедительно показано, что за счет радиационно-химических процессов коррозия ускоряется на три порядка и формируются специфические соединения в зависимости от состава окружающей среды. Следует отметить, что диссертант применил сложные, высокоинформативные методы анализа (мессбауэровская и РФЭ спектроскопии) совместно с методом обратного рассеяния и ядер отдачи для изучения элементного и вещественного состава образующихся на поверхности химических соединений. Подобный анализ проведен впервые, результаты его убедительны и достоверны.

Четвертое положение иллюстрирует достоверность полученных диссертантом ядерных характеристик, эффективность научно-методологического подхода использования протонов околобарьерных энергий для элементного анализа и распределения по глубине легких элементов в упрочняющих покрытиях. Это позволило технологам, совместно с которыми проводилась работа, научно обоснованно управлять процессами и оптимизировать режимы нанесения износостойких покрытий.

Принципиально важным научно-методологическим подходом, реализованным диссертантом, явилось использование созданной установки для исследования *in situ* поведения материалов с низкой радиационной стойкостью (полимеры). Исследователи, как правило, изучают последствия радиационного воздействия, не учитывая высокой скорости дегградации полимерных соединений под пучком (изменение свойств, структуры и состава поверхности материала и окружающей среды и т.п.). Успешность данного подхода продемонстрирована автором на результатах изучения радиационной деструкции лавсана и радиационно-

химического окисления полиэтилена, установления специфических дозовых стадий протекания этих процессов. Так, при достижении некоторой D_0 , химсостав полимера начинает существенно меняться за счет ухода летучих продуктов радиационной деструкции, что приводит к уменьшению тормозной способности исследуемого материала. Это обстоятельство потребовало от исследователя постоянно контролировать состав образцов непосредственно в процессе облучения, т.е. набор дозы проводить совместно со снятием спектра ОР. Реализованный диссертантом подход при исследовании нерадиационнотойких сред показал свою эффективность, позволил установить принципиальные отличия процессов радиолитического и окисления изученных полимеров от радиационно-стимулированных процессов при облучении электронами и γ -излучением. Все это и составляет суть пятого защищаемого положения.

Достоверность всех защищаемых положений не вызывает сомнений: диссертантом использован экспериментальный комплекс и аппаратура, отвечающие метрологическим требованиям, экспериментальные результаты грамотно обработаны с учетом их погрешности. Более того, в работе продемонстрировано хорошее согласие результатов диссертанта с результатами других исследователей, полученных независимыми способами. Следует отметить комплексный подход к постановке диссертационного исследования и использование взаимодополняющих апробированных методов.

Диссертация содержит обстоятельный обзор и анализ литературных источников, как по методам экспериментальной ядерной физики, так и физики конденсированного состояния. Диссертант в достаточной степени владеет методами анализа и систематизации данных.

Практическая значимость результатов работы несомненна. Она в полной мере отражена в разделе «научная и практическая значимость». С чем я полностью согласен. Однако автор опустил и не отметил: практическую значимость созданной им экспериментальной установки; его результаты по ядерным характеристикам дополнили имеющиеся базы данных; впервые обнаружена неконтролируемая технологическая примесь сурьмы в «экологически» особо чистом материале – лавсане производства Владимирского завода полимерных пленок; полученные диссертантом результаты и созданные экспериментальные методики используются в учебном процессе физико-технологического института УрФУ.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, апробированы на 10 международных и всероссийских конференциях, опубликованы в трех статьях периодических изданий перечня ВАК РФ, и найдут широкое применение в научных организациях, занимающихся пучковыми технологиями (НИИ ядерной физики МГУ, Томский политехнический университет, Институт реакторных материалов «Росатома», ИЯФ РК и др.).

Таким образом, детальное знакомство с диссертационной работой Зырянова С.С. позволяет оппоненту утверждать о надежности и достоверности ее результатов, обоснованности научных положений и выводов, научной и практической значимости. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию, а основные результаты полно отражены в публикациях и доступны научной общественности.

Диссертационная работа Зырянова С.С. может быть охарактеризована как законченное исследование, вносящее оригинальный и надежный вклад, как в физику конденсированного состояния, так и в методы экспериментальной физики.

По содержанию работы и качеству ее оформления, по методам получения результатов, по глубине анализа и сделанным на их основе выводам серьезных замечаний у оппонента нет.

Тем не менее, как и в любой работе, нельзя не отметить ряд замечаний:

1. На с.47 достаточно подробно рассмотрена система контроля параметров облучаемой мишени (влажность среды, температура образца, ток пучка). Однако в тексте, описывающем систему контроля параметров, не анализируется и не приводится погрешность измерения температуры.
2. Энергетический спектр обратного рассеяния протонов представляет собой непрерывную функцию от глубины рассеяния. Почему извлекаемая из него информация о глубине распределения бора носит иной характер? (рис.59, с.107).
3. Специалистам в области разработки методов ядерного анализа понятны результаты, приведённые, например, на рис. 30, 31 и рис 32, 33. Если энергетические спектры рис.30 и рис. 32 согласуются с приведённой схемой формирования спектра обратного рассеяния (рис. 2), то приведённые результаты на рис. 31 и рис.32 имеют обратную шкалу отсчёта. Это не очень удобно и может вызвать непонимание, что особенно хорошо видно из сравнения рис 32 и рис.33, где одинаковые числа по шкале абсцисс, но в случае рис 31 поверхность образца находится в ~ 250 канале, а в случае рис. 32 в нуле.

Кроме того, имеются недостатки в оформлении работы:


1. На с.61, рисунок 21(а), энергетическая цена канала для бора отличается от всех других элементов.
2. Рисунок 17(б) на с.58 трудно читается.

Общее заключение

Отмеченные недостатки имеют частный характер и не сказываются на общей высокой оценке диссертационной работы С.С. Зырянова. Считаю, что автор достиг

поставленной цели. Им внесен весомый научный и практический вклад в дальнейшее развитие физических и методологических основ анализа и модификации поверхности твердых тел с использованием циклотронных пучков заряженных частиц. Автор проявил высокое экспериментальное мастерство и глубокий научный подход к чрезвычайно трудным и сложным задачам физики твердого тела. По объему и значимости полученных результатов, а также по степени апробации работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Зырянов Степан Сергеевич, безусловно, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук. Работа может быть защищена на стыке двух специальностей 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, так как в равной степени соответствует областям исследований, определяемым паспортами указанных специальностей.

21 ноября 2014 г.



Крючков Юрий Юрьевич

Доктор физико-математических наук, профессор

Профессор кафедры общей физики

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

Телефон 8 (3822) 22-36-44

E-mail: kyu@tpu.ru

Подпись профессора Крючкова Юрия Юрьевича подтверждаю

Учёный секретарь Учёного совета Национального исследовательского

Томского политехнического университета



Ананьева Ольга Афанасьевна