

Отзыв

на автореферат диссертации **Свечникова Н.Ю.**

«Углеродородные пленки в термоядерных установках: структура и свойства», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертация Свечникова Н.Ю посвящена построению концепции структуры и основных физических свойств аморфных гладких углеводородных пленок CD_x с большим относительным содержанием дейтерия ($x \sim 0.5$), осажденных на стенках вакуумной камеры под воздействием разрядов дейтериевой плазмы в токамаке Т-10 (НИЦ «Курчатовский институт») в результате эрозии графитовых элементов и в сравнении с электронной структурой пленок CH_x -Me из плазменных разрядов сильноточного плазменного ускорителя КСПУ-Т с высокоинтенсивным потоком водородной плазмы. Данная задача является частью фундаментальной физической проблемы взаимодействия плазмы с материалами первой стенкой и распыления материалов стенки, в данном случае, углеродных, с сопутствующей адсорбцией изотопов водорода, включая H, D, T, которые участвуют в работе термоядерной установки. Именно эти гладкие толстые пленки (чешуйки, или флейки, “flakes”), осаждаемые на стенках вакуумной камеры при средней температуре стенок 300–400 К, являются основным накопителем изотопов водорода и углеводородов. Кроме того, накопление изотопов водорода H, D и радиоактивного трития в наноструктурах с сильно развитой поверхностью является как проблемой обеспечения радиационной безопасности при работе токамака, так и при возможных аварийных ситуациях, например, при прорыве воды охлаждения в горячую камеру реактора, когда данные пленки

и пыль могут служить катализатором для разложения воды и образования гремучего газа.

Актуальность темы диссертации связана с развитием проектов термоядерных установок, включая сооружение международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР, нового термоядерного токамака JT-60SA в Японии, в котором будут применяться углеродные материалы. **Актуальность и практическая ценность** полученных в данной диссертационной работе результатов для Республики Казахстан связана с будущими научными исследованиями на Казахстанском Материаловедческом Токамаке (КТМ), т.к. в нем внутренняя поверхность вакуумной камеры будет облицована графитом FP-479. Первая стадия физического пуска токамака КТМ успешно завершена в июне 2017 года. до конца этого года планируется вторая стадия и ввод комплекса КТМ в эксплуатацию при участии специалистов НИЦ «Курчатовский институт».

Полученные в диссертации экспериментальные результаты по созданию концепции структуры и фундаментальным свойствам углеводородных продуктов эрозии плазменных разрядов, а также по выработке практических рекомендаций по наблюдению *in situ* за их накоплением, по уменьшению паразитного накопления трития и по использованию широкого набора методов исследования, являются **новыми** и представляют несомненную **актуальность, новизну и практическую значимость в целом.**

Достоверность результатов обусловлена широким набором использованных экспериментальных методик (фотолюминесцентная (ФЛ) спектроскопия, инфракрасная (ИК) Фурье-спектроскопия отражения и комбинационное рассеяние (КР), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), термодесорбционная (ТД) масс-спектроскопия и термогравиметрический анализ (ТГА), рентгеноструктурный анализ (РСА), рентгенофлуоресцентный анализ примесей с использованием СИ (РФА-СИ), рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) и рентгеновская оже-спектроскопия, рентгеновское поглощение EXAFS FeK-края примесей и

NEXAFS C1s, малоугловое рентгеновское рассеяние (SAXS), высокоугловое рентгеновское рассеяние (WAXS), дифракция нейтронов, измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ),, причем некоторые из методик были применены для исследования данных материалов впервые. Достоверность полученных результатов усиливается в результате проведенного сравнения с помощью различных методик исследования, а также при сравнении с основными свойствами более изученных экспериментально и теоретически модельных аналогов пленок CD_x, каковыми являются аморфные мягкие пленки a-C:H(D).

При моделировании интенсивности потоков водородной плазмы близким к значениям для реактора ИТЭР, впервые были получены результаты по электронной структуре и химическому составу углеводородных пленок CH_x под воздействием сильноточного плазменного ускорителя КСПУ-Т.

Основные результаты диссертации изложены в 24-х публикациях в рецензируемых российских и иностранных журналах и в 26-и докладах на международных и Всероссийских конференциях. Содержание реферата указывает на большой объем полученных экспериментальных результатов. Представленный материал ясно изложен. Видно, что работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и является законченным исследованием с решением поставленных целей.

Основные выводы диссертации касаются построения концепции структуры и основных физических свойств гладких пленок CD_x в зависимости от формирующих их плазменных процессов, создания *in situ* мониторинга по колебательным модам C-H, C-D продуктов эрозии в процессе накопления и термодесорбции изотопов водорода, создания методологии исследования структуры пленок, химического состава, электронной структуры, адсорбционных состояний изотопов водорода, фотолюминесцентных и поверхностных электрических свойств, спиновых состояний углерода и примесей, а также получения сведений по электронной

структуре и химическому составу углеводородных пленок C_nH_x-Me из плазменных разрядов сильноточного плазменного ускорителя КСПУ-Т с близкой к ИТЭР интенсивностью потоков водородной плазмы.

Вместе с тем, к автореферату можно сделать *следующие замечания*.

1) В разделе на защиту выносятся сказано: «Методология исследования структуры пленок, химического состава, электронной структуры, фотолюминесцентных и поверхностных электрических свойств, адсорбционных состояний изотопов водорода, спиновых состояний углерода и примесей, способ контроля за литиизацией токамака». В отношении литиизации есть упоминание только на стр. 35 автореферата, о том, что во всех пленках впервые обнаружены следы лития после предшествующей литиизации, что не может рассматриваться в качестве способа контроля за литиизацией токамака, а является лишь констатацией факта предшествующей литиизации.

2) В связи с указанным на стр.8 утверждением: «Полученные физические результаты и методология исследований могут быть использованы при аналогичных комплексных исследованиях новых материалов», а также для термоядерных установок в рамках проекта токамака JT-60SA с первой стенкой и дивертором из углеродных материалов», – было бы интересно знать, проводились ли аналогичные исследования углеродных пленок в Японии.

Вопросы к работе возникают в результате знакомства с авторефератом, возможно, что в диссертации есть ответы на указанные вопросы. В целом работа является хорошо проработанной, актуальной и востребованной для исследований на токамаках, а указанные замечания не уменьшают высокой оценки диссертационной работы Свечникова Н.Ю.

Большой объем исследований, новизна и высокая научная и практическая ценность полученных диссертантом результатов, позволяют сделать вывод, что *работа соответствует требованиям, предъявляемым*

к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор, Свечников Николай Юрьевич, достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Доктор физико-математических наук, профессор
Исполнительный директор
Научно-технического центра безопасности ядерных технологий (НТЦ БЯТ).

050020, Республика Казахстан, г. Алматы, *Ташкибаевой 4,*

Телефон: 8-7272-64-68-01

E-mail: tazhibayeva@ntsc.kz

Лашкаровна



Тажибаяева Ирина

Научная специализация Тажибаевой Ирины Лашкаровны:

01.04.07 – Физика твердого тела

Дата: *07.08.2017*

Подпись Тажибаевой Ирины Лашкаровны

ЗАВЕРЯЮ:

ученый секретарь НТЦ БЯТ,
кандидат физ.мат.наук

Т.А. Проходцева