

УДК 539.213.26:543.51:535.376:533.924:543.423.8

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЛОИСТЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ХЛОПЬЕВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ В ТОКАМАКЕ Т-10/В.Г. Станкевич, Н.Ю. Свечников, Я.В. Зубавичус, А.А. Велигжанин, В.А. Соменков, Л.П. Суханов, К.А. Меньшиков, А.М. Лебедев, Б.Н. Колбасов, К.Ю. Вуколов, Л.Н. Химченко, Д. Раджаратнам. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 3—12.

Образующиеся в токамаке Т-10 углеводородные плёнки и хлопья с большим атомным отношением дейтерия к углероду являются аморфными. В них находятся кластеры (скопления наноструктур) и нанопоры размером около 1 нм. Межплоскостные расстояния между структурами, рассеивающими рентгеновские лучи, составляют 0,7, 0,24 и 0,12 нм, причём на нейтронограммах видны только две последние структуры. На пристеночной стороне плёнок преобладают графитоподобные sp^2 -углеродные структуры. На стороне плёнок, обращённой к плазме, больше алмазоподобных sp^3 -углеродных структур. Спектры отражённого инфракрасного излучения меняются в зависимости от количества дейтерия в плёнках, что, возможно, позволит применять их для контроля накопления изотопов водорода в плёнках и толщины образующихся плёнок (9 рис., 1 табл., список лит. — 23 назв.).

УДК 535.433:539.26

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ В ОСАЖДЁННЫХ ПЛЁНКАХ ИЗ ТОКАМАКА Т-10/В.С. Неверов, А.Б. Кукшин, Н.Л. Марусов, И.Б. Семёнов, В.В. Волошинов, А.П. Афанасьев, А.С. Тарасов, А.А. Велигжанин, Я.В. Зубавичус, Н.Ю. Свечников, В.Г. Станкевич. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 13—24.

Проведён численный анализ вкладов в кривые рентгеновского рассеяния от различных каналов интерференции (между отдельными углеродными наноструктурами в аморфной среде и других каналов) для интерпретации дифрактометрии плёнок, образованных внутри вакуумной камеры токамака Т-10. Показана применимость ранее сформулированного метода оптимизационной идентификации топологического состава углеродных наноструктур размером от ~1 до ~10 нм по кривым рассеяния в диапазоне значений модуля вектора рассеяния $5 \text{ нм}^{-1} < q < 70 \text{ нм}^{-1}$ для плотностей образца до $1,8 \text{ г/см}^3$ при условии, что в оптимизации дополнительно учтены нелинейные эффекты интерференции рассеяния на аморфном компоненте, а наноструктурный компонент преобладает над аморфным углеводородным. Во-первых, показано, что учёт возможной кластеризации наноструктур может улучшить совпадение с экспериментом в области меньших значений q , пока не включённых в интерпретируемый диапазон. Во-вторых, сформулирована и на расширенном классе наноструктур выполнена оптимизация по модифицированной процедуре, учитывающей вклад примесей и нелинейные эффекты вследствие конечной плотности частиц в образце. В-третьих, прямое моделирование рентгеновского рассеяния на оптимальном ансамбле углеродных наноструктур в аморфной среде (углеводороды с примесью тяжёлых атомов) с учётом всех каналов интерференции показало малые отличия от кривой, полученной путём модифицированной оптимизации без учёта рассмотренных эффектов интерференции (10 рис., 1 табл., список лит. — 19 назв.).

УДК 621.039.665

АНАЛИЗ ТРАНСМУТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ В ИТЭР/К.Ю. Вуколов, Д.В. Марковский, И.И. Орловский, Р.А. Форрест. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 25—28.

В составе оптических диагностик термоядерного реактора ИТЭР планируется использование металлических зеркал для передачи излучения из плазмы к детекторам. В процессе эксплуатации диагностические зеркала будут подвергаться значительному нейтронному облучению, способному вызывать изменение элементного состава (трансмутацию) материала зеркал. В работе представлены результаты расчёта скорости трансмутации для наиболее вероятных материалов диагностических зеркал ИТЭР и оценено её влияние на оптические свойства зеркал. Кроме того, продемонстрирована несостоятельность оценки скорости трансмутации материалов в ИТЭР на основе экспериментальных результатов, полученных в ядерном реакторе (4 рис., список лит. — 11 назв.).

УДК 621.039.623.634:546.34

LiWALL FUSION — THE NEW CONCEPT OF MAGNETIC FUSION (ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ С ЛИТИЕВОЙ СТЕНКОЙ — НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК С МАГНИТНЫМ УДЕРЖАНИЕМ ПЛАЗМЫ)/L.E. Zakharov. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 29—38.

Использование выдающейся способности слоёв жидкого лития откачивать изотопы водорода открывает новый подход к термоядерному синтезу с магнитным удержанием плазмы, называемый термоядерный синтез с литиевой стенкой. Он основан на новых режимах удержания, характеризующихся низкой плотностью и высокой температурой на границе плазмы. Этот подход сочетает инжекцию пучков быстрых атомов топлива в плазму с максимально возможным подавлением внешних источников нейтрального газа, который может охладить пограничную плазму. Предотвращение охлаждения края плазмы подавляет турбулентность в плазменном шнура, связанную с температурным градиентом. Такой подход значительно более рационален для управляемого термоядерного синтеза, чем современные подходы, ориентирующиеся на большую мощность нагрева плазмы для компенсации по существу неограниченных турбулентных потерь энергии (7 рис., 1 табл., список лит. — 11 назв.).

УДК 533.924

МОРФОЛОГИЯ И СОСТАВ ПЫЛИ И КРУПНЫХ ЧАСТИЦ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ТОКАМАКЕ ГЛОБУС-М/Р.Х. З а л а в у т д и н о в, А.Е. Г о р о д е ц к и й, А.П. З а х а р о в, В.К. Г у с е в, А.Н. Н о в о х а ц к и й. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 39—47.

Методами растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа и рентгенографии изучены морфология, элементный состав и структура облицовочных графитовых (марка РГТ-91) плиток, пыли и крупных частиц, появившихся в результате эксплуатации токамака Глобус-М. Показано, что углеродная пыль с размером частиц от 1 до 100 мкм образовывалась как в результате хрупкого разрушения защитных плиток под действием концентрированных плазменных потоков, так и при эрозии предварительно осаждённых в процессе боронизации бороуглеродных плёнок в высокотемпературной водородной плазме и в чистящих гелиевых разрядах с последующей конденсацией эрозионных продуктов в затененных от разряда местах. Металлическая пыль с размером частиц от 10 до 1000 мкм формировалась в результате водородного охрупчивания нержавеющей стали в процессе её взаимодействия с изотопами водорода. При этом на них были видны следы от униполярных микродуг, которые приводили к плавлению стали. Частицы нержавеющей стали становились магнитными, и некоторые из них были сильно окислены или покрыты бороуглеродными плёнками (14 рис., 5 табл., список лит. — 19 назв.).

УДК 546.45'26:661.845.63:66.094.3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УГЛЕРОДА С БЕРИЛЛИЕМ И ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ/Б.Н. К о л б а с о в, Д.А. Д а в ы д о в, О.В. Х о л о п о в а. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 48—53.

При работе Международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР в результате взаимодействия плазмы с первой стенкой будет образовываться бериллиевая пыль, которая будет мигрировать в дивертор и оседать на углеродных элементах внутренней стороны дивертора. Измерения на токамаке JET показали, что атомное отношение Be/C в плёнках, пересаженных на эти пластины, иногда превышает 3. Образование таких бериллиево-углеродных плёнок может уменьшить химическую эрозию углеродных элементов дивертора и удержание трития при его соосаждении с образующейся углеродной пылью. При температуре более 900 К возможно образование карбида бериллия, что чревато заметным увеличением термического сопротивления обращённых к плазме элементов дивертора и возможностью образования метана и ацетилена при некоторых авариях (5 рис., 1 табл., список лит. — 20 назв.).

УДК 533.9.08

ИМПУЛЬСНЫЙ БОЛОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИЛЬНОТОЧНОМ X-ПИНЧЕ: РАСЧЁТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ/Ю.Л. Б а к ш а е в, С.А. Д а н ь к о, Е.Е. С о к о л о в, К.В. Ч у к б а р. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 54—62.

Представлено описание конструкции болометра из алюминиевой фольги и схемы измерений энергии мягкого рентгеновского излучения (МРИ). Проведены измерения энергии МРИ до 1 кэВ на сильноточном импульсном генераторе С-300 с помощью болометра с временным разрешением 19 и 300 нс, зарегистрирована полная энергия в несколько килоджоулей с энергией квантов до 1 кэВ. Болометр на основе фольги А1 8 мкм выдержал многократные пуски при токе 1,6—1,8 МА без изменения его сопротивления. На основе уравнения теплопроводности для «стержня» конечной длины проведены анализ временного разрешения болометра и оценки предельных тепловых нагрузок в зависимости от длительности импульса РИ (10 рис., 2 табл., список лит. — 13 назв.).

УДК 533.9.082

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОВ НА УСТАНОВКЕ СОКОЛ-П ПРИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 10^{17} — 10^{19} Вт/см²/В.И. А ф о н и н, Д.А. В и х л я е в, Д.С. Г а в р и л о в, А.Г. К а к ш и н, Е.А. Л о б о д а, В.Ю. П о л и т о в, А.В. П о т а п о в, К.В. С а ф р о н о в, П.А. Т о л с т о у х о в. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 63—67.

В статье представлены результаты исследований спектров мягкого и жёсткого рентгеновского излучения из мишеней Al, Cu и Ag в диапазоне энергий квантов $\epsilon = 0,6$ —3000 кэВ при интенсивности лазерного излучения от 10^{17} до 10^{19} Вт/см². Определена температура тепловой и горячей части электронов $T_1 = 0,6$ кэВ ($0,6 < \epsilon < 4,5$ кэВ), $T_2 = 68$ кэВ ($25 < \epsilon < 90$ кэВ) и $T_3 = 600$ кэВ ($\epsilon > 100$ кэВ) (6 рис., 1 табл., список лит. — 13 назв.).

УДК 533.9.082.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ИСТОЧНИКА ЗОНДИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИФ-ДИАГНОСТИКИ ДИВЕРТОРНОЙ ПЛАЗМЫ ИТЭР/А.В. Г о р б у н о в, Н.А. М о л о д ц о в, Д.А. Ш у в а е в, Д.А. Щ е г л о в. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2011, вып. 1, с. 68—72.

Одной из диагностик для измерения параметров диверторной плазмы ИТЭР принята лазерно-индуцированная флуоресценция (ЛИФ). Перестраиваемый лазерный источник зондирующего излучения является основным элементом ЛИФ, от стабильности работы которого в сложных условиях рабочих режимов ИТЭР зависит надежность измерений. Целью настоящей работы являлся поиск оптимальных параметров перестраиваемого лазерного источника с помощью моделирования сигналов флуоресценции для различных режимов работы ЛИФ-системы. Показано, что благодаря эффекту насыщения при определённых параметрах источника зондирующего излучения (спектральная ширина линии, площадь сечения луча) уровень сигнала флуоресценции перестаёт зависеть от спектральной плотности мощности зондирующего излучения при энергии зондирующего источника больше или равной 0,1 мДж в импульсе во всём диапазоне параметров плазмы, в котором предполагается использование диагностики ($10 < T_e < 100$ эВ, $10^{19} < n_e < 10^{20}$ м⁻³) (4 рис., список лит. — 5 назв.).

