

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2546333

**СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОТ ЭРОЗИИ ПЕРВОЙ СТЕНКИ  
РЕАКТОРА ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА С МАГНИТНЫМ  
УДЕРЖАНИЕМ**

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский Государственный политехнический университет" (ФГАОУ ВО "СПбПУ") (RU)*

Автор(ы): *с.м. на обороте*

Заявка № 2013148722

Приоритет изобретения **31 октября 2013 г.**

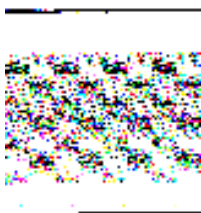
Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **03 марта 2015 г.**

Срок действия патента истекает **31 октября 2033 г.**

*Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Л.Л. Кирий*





(51) МПК

*G21B* 1/13 (2006.01)*G21F* 1/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013148722/07, 31.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
31.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.10.2013

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 77486 U1, 20.10.2008.  
**МИХАЙЛОВ В.Н., ЕВТИХИН В.А. и др.** Литий в термоядерной космической энергетике XXI века. Москва, Энергоиздат, 1999, стр. 33. US6411666 B1, 25.06.2002.  
KR20090103545, 01.10.2009

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая,  
29, ФГАОУ ВО "СПбПУ", Отдел  
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Кутеев Борис Васильевич (RU),  
Сергеев Владимир Юрьевич (RU),  
Гончаров Павел Романович (RU),  
Вагнер Фридрих (DE)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский  
Государственный политехнический  
университет" (ФГАОУ ВО "СПбПУ") (RU)

## (54) СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОТ ЭРОЗИИ ПЕРВОЙ СТЕНКИ РЕАКТОРА ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА С МАГНИТНЫМ УДЕРЖАНИЕМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к средствам управляемого ядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы и может быть использовано в термоядерных реакторах для защиты стенок. В заявленном способе предусмотрена организация потоков жидкого металла в тех местах первой стенки, на которые ожидаются наибольшие потоки высокоэнергетичных альфа-частиц, возникающих в результате синтеза. При этом для защиты первой стенки может использоваться литий как наиболее легкий из тугоплавких материалов. Толщина литиевого покрытия должна обеспечивать поглощение быстрых альфа-частиц в жидкой фазе материала, которое не будет приводить к его структурным

изменениям. Слой жидкого рабочего металла создают путем инъекции в плазму частиц рабочего металла в жидком и/или твердом состоянии. Толщину упомянутого слоя выбирают больше глубины проникновения альфа-частиц с энергией не более 4 МэВ. Температуру поверхности первой стенки реактора ядерного синтеза с магнитным удержанием поддерживают выше температуры плавления рабочего металла и ниже температуры его кипения. Техническим результатом является увеличение времени непрерывной работы реактора ядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы путем повышения износостойкости материалов первой стенки. 2 з.п. ф-лы, 1 ил.

RU  
2 546 333  
C1

RU  
2 546 333  
C1



Изобретение относится к способам защиты от эрозии первой стенки реакторов управляемого ядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы, а именно способам защиты тех мест первой стенки, на которые ожидаются наибольшие потоки высокоэнергетичных частиц, в том числе альфа-частиц.

5 Известен способ защиты первой стенки в инерциальном термоядерном реакторе, где мишень с термоядерным топливом инжектируют в камеру реактора и затем инициируют микровзрыв с помощью ее сжатия и нагрева потоками энергии высокой плотности. Для защиты стенок реактора от ударной волны и быстрых частиц вдоль них прокачивают струи жидкого лития, выполняющие защитную функцию [авторское  
10 свидетельство SU №1529475]. Данный способ не применим в системах с магнитным удержанием вследствие взаимодействия литиевых потоков с магнитным полем. Кроме того, известен способ защиты пластин дивертора термоядерного реактора, состоящий в нанесении пленки жидкого металла на пластины дивертора с использованием предварительного напыления [авторское свидетельство SU №818335]. Данный способ  
15 не может обеспечить самовосстанавливаемость покрытия при распылении и, таким образом, не подходит для использования в термоядерном реакторе с длительным рабочим циклом до десятков месяцев. Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ защиты первой стенки от нейтронов, использующий протекание толстого слоя жидкого лития, играющего роль первой стенки тороидального дейтерий-  
20 тритиевого термоядерного реактора с магнитным удержанием плазмы [патент US №6411666], который выбран в качестве прототипа. Недостатками данного способа являются значительный объем жидкого лития, снижающий характеристики безопасности реактора, и склонность толстых слоев лития к разбрызгиванию.

Технической задачей изобретения является увеличение времени непрерывной работы  
25 реактора ядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы путем повышения износостойкости материалов тех частей первой стенки реактора, которые подвержены воздействию высокоэнергетичных альфа-частиц или ускоренных ионов основного топлива (дейтерий и тритий).

Поставленная задача решается за счет того, что при создании слоя жидкого металла  
30 на первой стенке реактора ядерного синтеза, в плазму инжектируют частицы рабочего металла в жидком и/или твердом состоянии, создают тонкий слой жидкого металла на поверхности первой стенки, толщину которого  $H$  выбирают из условия  $H > H_p$ , где  $H_p$  - глубина проникновения альфа-частиц с энергией не более 4 МэВ, при этом толщину  
35 слоя жидкого металла поддерживают и регулируют с помощью инъекции, температуру поверхности первой стенки поддерживают выше температуры плавления рабочего металла и ниже температуры кипения рабочего металла.

На фиг.1 представлена схема реализации предлагаемого способа, где 1 - система  
40 ввода рабочего металла в жидком и/или твердом состоянии в плазму, 2 - реактор ядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы, 3 - система сбора, охлаждения и очистки рабочего металла, 4 - система подачи (возврата) рабочего металла в систему ввода 1.

Способ реализуется следующим образом.

В плазму инжектируют частицы рабочего металла в жидком и/или твердом состоянии, которые используют как для создания тонкого слоя жидкого металла на поверхности  
45 первой стенки реактора 2, так и для компенсации абляции этого слоя за счет высокоэнергетичных альфа-частиц, возникающих в результате синтеза, либо иных интенсивных потоков энергии.

Для формирования слоя жидкого металла на стенке реактора 2 частицы рабочего

металла инжeksiруют в плазму таким образом, чтобы он испарялся и ионизовался внутри сепаратрисы, что обеспечивает покрытие всей поверхности стенки реактора 2 выходящими за последнюю замкнутую магнитную поверхность потоками рабочего металла.

5 Толщину слоя с помощью инжeksiции частиц рабочего металла поддерживают достаточной для торможения быстрых альфа-частиц в жидкой фазе рабочего металла, который при этом не испытывает структурные изменения, толщину слоя жидкого  
10 металла  $H$  выбирают из условия  $H > H_p$ , где  $H_p$  - глубина проникновения альфа-частиц с энергией не более 4 МэВ. Температуру поверхности первой стенки поддерживают выше температуры плавления рабочего металла и ниже температуры кипения рабочего  
15 металла.

Предпочтительным рабочим металлом для защиты первой стенки является литий как металл с наименьшим зарядом ядра и достаточно высокой температурой кипения. Испаренный литий собирают, охлаждают, очищают и подают для повторного ввода  
20 в плазму. Таким образом обеспечивают стационарную защиту первой стенки реактора.

Предлагаемый способ может быть реализован на практике за счет создания слоя жидкого рабочего металла на первой стенке реактора ядерного синтеза с помощью системы ввода 1 рабочего металла в тороидальную камеру реактора ядерного синтеза 2, системы сбора, охлаждения и очистки 3 рабочего металла в жидком состоянии из  
25 тороидальной камеры реактора ядерного синтеза и системы подачи (возврата) 4 рабочего металла в систему ввода 1. При этом за счет тонкого слоя жидкого рабочего металла обеспечивается защита тех мест первой стенки реактора ядерного синтеза 2, на которые ожидаются наибольшие потоки высокоэнергетичных частиц, в том числе  
30 альфа-частиц. Система ввода 1 рабочего металла может представлять собой инжектор, который обеспечивает возможность управления скоростью ввода в плазму рабочего металла в жидком и/или твердом состоянии. При первоначальном создании слоя жидкого рабочего металла (при работе реактора с дейтериевой плазмой) скорость ввода рабочего металла должна быть больше, чем для дальнейшего поддержания толщины слоя (при работе реактора с дейтерий-третиевой плазмой). Максимальная скорость ввода, которая  
35 определяется параметрами дейтериевой плазмы (без синтеза альфа-частиц) в реакторе ядерного синтеза 2, необходима при первоначальном создании поверхностного слоя толщиной более  $H_p = 60$  мкм на элементах первой стенки. При работе реактора с дейтерий-третиевой плазмой (при синтезе альфа-частиц) умеренные скорости ввода должны обеспечивать поддержание толщины слоя жидкого металла на первой стенке не менее  
40  $H_p = 60$  мкм, необходимого для полного торможения быстрых альфа-частиц в жидкой фазе. Для стационарной работы устройства кроме инжектора 1 рабочего металла необходима система 3 для сбора, охлаждения и очистки рабочего металла, предотвращающая испарение и кипение собранного рабочего металла, перед  
45 последующей подачей в систему 4 возврата рабочего металла в систему ввода 1. Под действием силы тяжести тонкая пленка жидкого рабочего металла будет стекать в нижнюю часть установки, где должна располагаться система сбора рабочего металла. Поскольку потоки частиц из плазмы загрязняют рабочий металл, необходима его очистка, в первую очередь от гелия. Как указано выше, предпочтительным рабочим металлом является литий.

Реализация предлагаемого способа включает решение проблемы износостойкости материалов первой стенки термоядерных устройств, предназначенных как для выработки энергии, таких как ДЕМО (демонстрационный термоядерный энергетический

реактор), так и для производства свободных нейтронов, таких как ТИН (токамак - источник нейтронов). Основными конструкционными материалами для термоядерного реактора, в настоящее время, рассматриваются углерод, бериллий и вольфрам.

Максимальные значения числа смещений атома в узле решетки (с.н.а. - смещений на атом) порядка  $10^4$  при дозе  $10^{21}$  альфа-частиц/сек значительно превышают значения 40-50, допустимые при условии сохранения кристаллической решетки материалов типа бериллий и вольфрам. Такие же большие дозы альфа-частиц не изменяют, однако, состояние жидкого лития и позволяют организовать работу первой стенки в стационарном режиме указанных выше устройств.

Предложенный способ обеспечит существенное упрощение конструкции промышленных термоядерных электростанций на основе токамака. Он также заметно повысит ресурс первой стенки реактора и сократит затраты на обслуживание и замену обращенных к плазме компонент, подверженных интенсивным потокам энергии, частиц плазмы и нейтронов. Реализация указанного способа может быть проведена с относительно низкими затратами ввиду использования дешевого материала покрытия - лития - и несложных технологических систем, обеспечивающих реализацию способа.

#### Формула изобретения

1. Способ защиты от эрозии первой стенки реактора ядерного синтеза с магнитным удержанием, при котором создают слой жидкого рабочего металла на первой стенке реактора ядерного синтеза с магнитным удержанием, отличающийся тем, что слой жидкого рабочего металла создают путем инжекции в плазму частиц рабочего металла в жидком и/или твердом состоянии, толщину упомянутого слоя  $H$  выбирают из условия  $H > H_p$ , где  $H_p$  - глубина проникновения альфа-частиц с энергией не более 4 МэВ, при этом температуру поверхности первой стенки реактора ядерного синтеза с магнитным удержанием поддерживают выше температуры плавления рабочего металла и ниже температуры его кипения.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве рабочего металла используют литий.



