



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 022 373** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁵ **G 21 B 1/00, G 21 G 1/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 5014312/25, 15.08.1991

(46) Дата публикации: 30.10.1994

(56) Ссылки: 1. Yoshiaki A., Yue-Chanc Z. Achievement of an intense cold fusion reaction. - Fusion Technology, 1990, v.18, N 1, pp.95-102.2. Карабут А.Б. и др. Ядерная реакция на катоде в газовом разряде. Письма в ЖТФ, 1990, т.16, в.12, с.53-57.

(71) Заявитель:

Научно-производственное объединение "Луч"

(72) Изобретатель: Ромоданов В.А.,

Савин В.И., Скуратник Я.Б., Шахурин М.В.

(73) Патентообладатель:

Научно-исследовательский институт
Научно-производственного объединения "Луч"

(54) СПОСОБ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

(57) Реферат:

Использование: ядерная физика твердого тела и может быть использовано в ядерной и водородной энергетике, очистке газовых смесей от трития, переработке и накоплении изотопов для аналитических работ и в медицинских целях. Сущность изобретения: для обеспечения экологичности процесса осуществления ядерных реакций при бомбардировке мишени ускоренными ионами

дейтерия из плазмы тлеющего разряда бомбардировку проводят ионами с энергией $(200-20000) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж при этом температуру мишени поддерживают в диапазоне 80 - 700 К со скоростью изменения температуры не выше $0,04 \text{ К} \cdot \text{с}^{-1}$. Через зону взаимодействия ионов с мишенью вдоль поверхности мишени, прокачивают плазмообразующий газ со скоростью $(2 \pm 50) \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. 1 табл.



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 022 373** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.⁵ **G 21 B 1/00, G 21 G 1/00**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 5014312/25, 15.08.1991

(46) Date of publication: 30.10.1994

(71) Applicant:
Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie "Luch"

(72) Inventor: Romodanov V.A.,
Savin V.I., Skuratnik Ja.B., Shakhurin M.V.

(73) Proprietor:
Nauchno-issledovatel'skij institut
Nauchno-proizvodstvennogo ob"edinenija "Luch"

(54) PROCESS OF CARRYING OUT OF FUSION NUCLEAR REACTION IN SOLIDS

(57) Abstract:

FIELD: nuclear physics of solids.
SUBSTANCE: for provision of ecological purity of process of fusion nuclear reactions under bombardment of target with accelerated ions of deuterium from plasma of glow discharge bombardment is conducted with ions having energy (200-20000). $1,6 \cdot 10^{-19}$ J J.

In this case target temperature is maintained within 80-700 K with velocity of change of temperature not higher than 0,04 K.s⁻¹. Plasma-forming gas is pumped with velocity of (2÷50)m.s⁻¹ through zone interaction of ions with target along surface of target. EFFECT: expanded field of application. 1 tbl

RU 2 0 2 2 3 7 3 C 1

RU 2 0 2 2 3 7 3 C 1

Изобретение относится к ядерной физике и физике твердого тела и может быть использовано в ядерной и водородной энергетике, очистке газовых смесей от трития, переработке и накоплении изотопов для аналитических работ и в медицинских целях.

Генерация нейтронов при облучении ионами дейтерия твердотельных мишеней снижает экологичность систем ядерного синтеза. Повреждаемость нейтронами многих конструкционных материалов может привести к необходимости захоронения высокоактивных материалов на десятки и сотни лет.

В этом отношении тритий как продукт реакции синтеза намного безопаснее, может использоваться как сырье для термоядерных реакторов, нейтронных генераторов и в медицинских целях. Однако при широком использовании ядерных систем с наработкой трития его производство может превысить естественные потребности, что приведет как к проблемам расширения использования энергетики подобного типа, так и к проблемам утилизации и захоронения. Поэтому поиск условий, при которых в реакциях ядерного синтеза с дейтерием не образовалось бы большого количества не только нейтронов, но и трития, является актуальной задачей, позволяющей существенно повысить экологичность способа.

Известен способ получения реакции ядерного синтеза в твердом теле при электролизе тяжелой воды с катодом из палладия, заключающийся в предварительном насыщении палладия дейтерием и интенсивном термоциклировании в процессе электролиза палладиевого катода посредством изменения электрической мощности вблизи резкого изменения предела растворимости. При этом температура палладия изменялась в пределах от 350 до 390 К. Отмечена интенсивная генерация потока нейтронов, достигающая 10^8 нейтр $\cdot$ с $^{-1}$ [1].

Недостатком известного способа является генерация интенсивного потока нейтронов.

Известен способ получения ядерных реакций синтеза, заключающийся в бомбардировке атомов Li, Be, B ускоренными до энергий в несколько мегаэлектронвольт изотопами водорода и организации таким образом цепных реакций с восстановлением активных центров через несколько промежуточных звеньев цепи. Реакции такого типа, например $^1\text{H} + ^{10}\text{B} = ^3\text{He}$, могут быть экологически достаточно чистыми (Дж. Мак-Нелли. Цепные реакции синтеза. - В сб. под ред. А. А. Филикова. Проблемы лазерного термоядерного синтеза. М.: Атомиздат, 1976, с.296).

Недостатком известного способа является трудность создания и поддержания в горячем состоянии высокотемпературной плазмы, большая вероятность вторичных реакций ядерного синтеза с образованием радиоактивных изотопов, а также нейтронов.

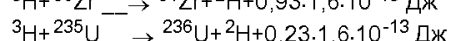
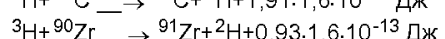
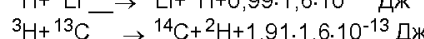
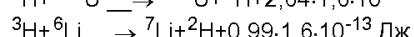
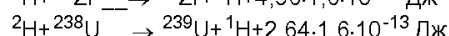
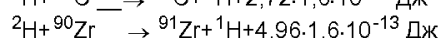
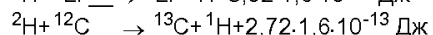
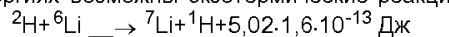
Наиболее близким к предлагаемому, выбранному в качестве прототипа, является способ, заключающийся в бомбардировке металлов ускоренными ионами дейтерия из плазмы тлеющего разряда в диапазоне энергий $(100-1000) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж при температурах в пределах 300-800 К [2].

Недостатком известного решения является повышенная генерация нейтронов, до 10^7 нейтр $\cdot$ с $^{-1}$.

Целью изобретения является обеспечение экологичности процесса ядерного синтеза путем снижения выхода нейтронов и трития в общем балансе продуктов реакций.

Цель достигается тем, что при бомбардировке мишеней ускоренными ионами из плазмы тлеющего разряда проводят бомбардировку твердотельных мишеней ионами дейтерия с энергией $(20-20000) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, при этом температуру мишени поддерживают в диапазоне от 80 до 700 К со скоростью изменения температуры не выше $0,04 \text{ K} \cdot \text{с}^{-1}$, причем через зону взаимодействия ионов с мишенью осуществляют прокачку плазмообразующего газа со скоростью $(2-50) \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Сущность изобретения заключается в том, что используется низкоэнергетическая бомбардировка мишеней при пониженных температурах с жесткой стабилизацией уровня и использованием наиболее высоких энергий низкоэнергетического диапазона. При повышенных температурах возрастает вероятность протекания реакции ядерного синтеза $^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^3\text{H} + ^1\text{H}$, при этом реакция $^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + \text{n}$ при низких энергиях практически не идет. Таким образом, при повышенных температурах в области низких энергий генерация нейтронов практически не заметна, поскольку этот процесс является вторичным, а ускорительные механизмы за счет растрескивания поверхности при таких температурах маловероятны. Однако накопление трития в высокотемпературных низкоэнергетических реакциях синтеза тоже не всегда желательно. Реакции ядерного синтеза при низких энергиях протекают за счет туннелирования внешнего нейтрона, энергия связи которого у дейтериев и тритиев сравнительно мала. Ввиду этого слабо связанный нейтрон может туннелировать не только к другому дейтерону, но и к ядрам материала твердотельной мишени. Расчеты показывают, что при низких энергиях возможны экзотермические реакции:



Это реакции, в результате которых происходит переход трития в дейтерий, а дейтерия - в протий и выделяется энергия. Материал мишени меняет при этом свой изотопный состав, в результате чего могут образовываться и новые элементы за счет радиоактивного распада. Соответствующим подбором материала мишени, например ^6Li или ^{90}Zr , мы можем иметь в результате нерадиоактивные продукты даже при использовании в качестве сырья радиоактивного трития. Это соображение справедливо и для материала мишени.

Взаимодействие ионов с ядрами мишени в

реакциях подобного типа значительно менее эффективно из-за повышенного Кулоновского потенциала ядер, препятствующего их сближению на расстояния, достаточно близкие для туннелирования нейтронов и прохождения ядерных реакций. Расчеты, выполненные по теории пробегов быстрых частиц в твердом теле Линдхарда, Шарфа, Шиота (ЛШШ), показали, что низкоэнергетический оптимум для реакций дейтериев с элементами мишени лежит на один-два порядка выше по сравнению с чисто водородными реакциями и для лития составляет около $200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Эта энергия и является минимальной для ядерных реакций тяжелых изотопов водорода с другими элементами таблицы Менделеева, поскольку отношение ядерных потерь к электронным при понижении энергии резко падает. Этот оптимум для углерода составляет уже $700 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, а для дейтерий-уран $5000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж или уран-дейтерий около $600000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Т.е. верхний предел для урана по условиям эффективности должен быть около $1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж, однако при этом уровне энергий уже интенсивно идут обычные высокоэнергетические реакции, продуктами которых являются среди прочих нейтроны и тритий. Поэтому высокоэнергетический предел для заявляемых низкоэнергетических реакций мы выбираем на уровне $20000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, так как при этих энергиях сечение высокоэнергетических реакций дейтерий-дейтерий и дейтерий-третий еще почти на два порядка ниже максимума. Такое соотношение обеспечивает в большинстве случаев приемлемый уровень экологичности ядерных систем синтеза, хотя при этом эффективность реакций в твердом теле для элементов таблицы Менделеева тяжелее никеля снижается примерно вдвое.

Для реакций тяжелый изотоп водорода-атом матрицы эффективность мало зависит от температуры в отличие от реакций дейтерий-дейтерий. Поскольку реакции дейтерий-дейтерий эффективно идут при температурах выше 700 К, то эту температуру мы выбираем как предельно максимальную. При температурах выше 700 К становятся заметными реакции дейтерий-дейтерий с образованием трития.

При понижении температуры увеличивается концентрация атомов водорода в мишени и соответственно увеличивается эффективность реакции. При криогенных температурах возможно использование максимальных концентраций водорода в таких элементах, как углерод, кремний или азот. При этом резко возрастает стоимость обеспечения подобных реакций, что делает практическое их использование при температурах ниже температуры жидкого азота нецелесообразным. Поэтому ниже 80 К найти практическое применение указанным реакциям, за исключением отдельных случаев, будет невозможным.

Нейтроны, возникающие в низкоэнергетических реакциях ядерного синтеза, в значительной мере являются следствием нарушений сплошности гидридообразующих материалов (Царев В. А. Низкотемпературный ядерный синтез. -

Успехи физических наук, 1990, т. 160, в.11, с.1 - 53). Особенно ярко этот эффект проявляется при пониженных температурах. Значительно повысить устойчивость гидридообразующих материалов к растрескиванию под облучением можно как за счет уменьшения толщины, так и за счет уменьшения колебаний температуры. Так при заданной толщине гидрида параметром, определяющим устойчивость гидрида, будет скорость изменения температуры, которая не должна приводить к разрушению. Из этих соображений скорость изменения температуры не должна превышать более $0,04 \text{ K} \cdot \text{с}^{-1}$ для большинства гидридов.

Реакции синтеза в твердом теле при пониженных температурах приведут к образованию на поверхности мишени модифицированного по составу материала, который необходимо будет время от времени заменять. Накопление в поверхностном слое изотопов, отличных от исходных, приведет к тому, что вновь образовавшиеся изотопы мишени будут далее реагировать с изотопами водорода, образуя целый ряд элементов, в том числе и радиоактивных. Для предотвращения накопления вновь образовавшихся изотопов материала мишени предлагается их сдвигать с поверхности продувкой плазмообразующего газа через зону взаимодействия ионов с мишенью вдоль поверхности. Это возможно осуществить, так как интенсивное катодное распыление мишени приводит к тому, что часть атомов с поверхности уходит в область плазмы, однако совсем не может улететь из-за повышенных давлений газа в отличие от вакуума. Из-за наличия пристеночного слоя с переменной скоростью в потоке газа эффект продувки становится заметным при скорости около $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Выше $50 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ поднимать скорость прокачки газа не имеет смысла из-за того, что при этой скорости практически все частицы уносятся с потоком и состав поверхности сохраняется в допустимых пределах.

Пример осуществления.

Практическое выполнение способа проверяли при бомбардировке мишеней из различных материалов ускоренными ионами дейтерия и дейтерия с добавками трития из плазмы тлеющего разряда. Эксперименты проводили в диапазоне энергий от $20 \cdot 1,6 \times 10^{-19}$ Дж до $10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-16}$ Дж при температурах от 80 до 1500 К. Твердотельные мишени выполняли в виде пластин или покрытий на пластинах.

Поток нейтронов измеряли стационарной системой РТН и дозиметрическим прибором РУП-1. В системе РТН использовали 60 датчиков СНМ-12 с замедлителем из парафина, а в РУП-1 применяли сцинтиллятор для быстрых нейтронов на основе сернистого цинка, активированного серебром и вмонтированного в полиметилметакрилат. Чувствительность обеих систем не превышала $0,1 \text{ нейтр} \cdot \text{с}^{-1}$.

Регистрацию трития проводили, анализируя плазмообразующий газ из экспериментальной рабочей камеры до и после процесса ионной бомбардировки. Пробный газ сжигали, а полученную воду исследовали на β -активность жидкостным сцинтилляционным методом.

Как видно из представленных формул реакций, в них не образуются нейтроны и тритий. Обнаружить реакцию подобного типа можно по регистрации заряженных частиц или тепла. Учитывая, что пробег заряженных частиц в твердом теле небольшой (десятки микрометров), то достаточно надежным способом регистрации реакций предложенного типа является калориметрирование. Выделение тепла определяли двумя методами. Один по перепаду температур на молибденовой трубке, измеряемому двумя блоками термопар, при теплосбросе на охлаждаемую водой подложку. В этом случае температура экспериментов не превышала 700 К для образцов из гидридообразующих элементов, приваренных к молибдену.

Другой метод заключался в измерении перепада температур между гидридообразующим элементом и молибденом вблизи сварного шва. В этом случае перепад температур определяли пирометром в диапазоне 1200-1600 К, а при расчете тепла, выделяемого за счет ядерного синтеза, температуру молибденовой части образца принимали за исходную.

Результаты, характеризующие предлагаемый способ и пределы действующих параметров, представлены в таблице.

В первой серии экспериментов представлены результаты по наработке тепла за счет ядерного синтеза для ванадия, циркония и ниобия. Видно, что в представленных условиях ядерный синтез дает добавку около 30% от вкладываемой мощности как при низких, так и при повышенных температурах. Уровень нейтронов находился на фоновом уровне, а скорость реакции по тритию для получения тепла явно недостаточна, поскольку на 1 Вт надо иметь скорость реакции около 10^{12} частиц·с⁻¹. В указанных экспериментах тепловая мощность, выделяемая за счет ядерного синтеза, составляла в среднем несколько десятков Ватт. Поскольку по тритиевому каналу реакции для получения тепла не хватает 6-7 порядков, то это обстоятельство служит убедительным доказательством того, что зафиксированный избыток тепла принадлежит заявляемым реакциям дейтрон-ядро атома мишени. Зафиксировать при этом характеристическое γ -излучение, которое бы свидетельствовало о возможной реакции ${}^2\text{H}+{}^2\text{H} \rightarrow {}^4\text{He}+\gamma$ также не удалось. Положительные результаты дал и вторично-ионный анализ образцов из ниобия после экспериментов по синтезу, который

зафиксировал наряду с 93-й массой также и наличие 94-й массы. Это доказывает, что происходит изменение изотопного состава материала мишени в процессе ионной бомбардировки ионами дейтерия, поскольку в исходном материале значимых количеств 94-й массы не обнаружено.

Вторая группа экспериментов с литием, эрбием и цирконием выявила, что при температурах не выше 700 К тритий может не только не накапливаться, но его содержание в процессе эксперимента может даже уменьшаться. Это также свидетельствует в пользу того, что при заявленных условиях идет реакция не только с дейтерием, но и с тритием.

Остальные эксперименты показывают пределы протекания заявленных реакций и характеризуют величину изменения заданных параметров. Так, при снижении энергии бомбардирующих ионов до $100,16 \cdot 10^{-19}$ Дж (поз.7) фиксируемый избыток тепла сравним с погрешностью измерений. При температурах выше 700 К фиксируются значительные потоки трития в плазмообразующем газе (поз. 1-5, 10). При скорости изменения температуры выше $0,04 \text{ К} \cdot \text{с}^{-1}$ (поз.16) может наблюдаться повышенная эмиссия нейтронов.

Отсутствие продувки газа может сопровождаться появлением через некоторое время дополнительного вторичного излучения (поз. 3, 4, 13, 17). Повышение скорости продувки существенно увеличивает время заявляемого процесса до возможного появления дополнительного излучения (поз. 18).

Технические преимущества заявляемого способа в сравнении с прототипом заключаются в следующем.

При осуществлении реакции ядерного синтеза значительно снижается генерация нейтронов. Повышается эффективность ядерного синтеза по сравнению с чисто тяжеловодородными реакциями.

Формула изобретения:

СПОСОБ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ, заключающийся в бомбардировке твердотельной мишени ускоренными ионами дейтерия из плазмы тлеющего разряда, отличающийся тем, что бомбардировку мишени проводят ионами дейтерия с энергией $(200 - 20000) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, при этом температуру мишени поддерживают в диапазоне 80 - 700 К со скоростью изменения температуры не выше $0,04 \text{ К} \cdot \text{с}^{-1}$, причем через зону взаимодействия ионов с мишенью осуществляют прокачку плазмообразующего газа со скоростью 2 - 50 м · с⁻¹.

№ п/п	Активный элемент	Время ионной бомбарди- ровки, ч	Энергия ионов, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж	Темпера- тура, К	Скорость продувки, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Скорость измене- ния тем- пературы, $\text{К} \cdot \text{с}^{-1}$	Отноше- ние β -ак- тивности к исход- ной	Избыток перепада темпера- тур (мощ- ности), К (Вт)	Время за- держки вторичн. излучен., ч	Поток нейтро- нов, нейтр $\cdot \text{с}^{-1}$	Поток третия, ат $\cdot \text{с}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Nb	40	500	1540	2	0,01	-	30 (20)	40	0,2-Фон	$5 \cdot 10^5$
2	Nb	40	600	1520	2	0,01	-	40 (30)	40	0,2	$8 \cdot 10^5$
3	Nb	40	600	1640	0	0,01	-	60 (40)	20	20-40	10^6
4	Zr	10	300	1530	0	0,01	-	20 (10)	8	10-20	10^5
5	V	10	400	1250	2	0,01	-	30 (20)	10	0,2	-
6	Nb	40	200	500	2	0,01	-	30 (5)	40	0,2	-
7	Nb	40	100	300	2	0,01	-	5 (0)	40	0,2	-
8	Li	46	350	700	2	0,01	0,44	-	46	0,2	$-2 \cdot 10^4$
9	Li	5	200	80	2	0,01	0,1	-	-	0,2	$-8 \cdot 10^6$
10	Li	63	380	900	2	0,01	-	-	63	0,2	$0,5 \cdot 10^5$
11	Zr	142	540	700	2	0,01	0,15	-	142	0,2	-10^5

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	Er	100	480	700	2	0,01	0,54	-	100	0,2	-5 · 10 ⁴
13	Li	12	9000	700	0	0,04	-	-	5	0,3	-
14	Be	3	9000	700	2	0,04	-	-	3	0,2	-
15	Ti	3	9000	700	2	0,04	-	-	3	0,2	-
16	Ti	10	9000	700	2	0,4	-	-	0,5	0,2-200	-
17	Pd	12	9000	700	0	0,04	-	-	6	0,3	-
18	Er	1000	1000	700	50	0,01	-	-	1000	0,2	-