

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **025124**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2016.11.30**

(51) Int. Cl. **H01L 31/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201290620**

(22) Дата подачи заявки  
**2011.01.01**

---

**(54) ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ФОТОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО**


---

(31) **61/293,282**

(56) **US-B1-7399987**

(32) **2010.01.08**

**US-A-3821556**

(33) **US**

**US-A1-20090110591**

(43) **2013.01.30**

**US-A1-20090065056**

(86) **PCT/US2011/020001**

**US-A-3284241**

(87) **WO 2011/084903 2011.07.14**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ТРАЙ АЛЬФА ЭНЕРДЖИ, ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:  
**Таджима Тосики (DE), Биндербауэр  
Михль (US)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

---

(57) Системы и способы для преобразования энергии высокоэнергетических фотонов в электричество, которые используют последовательности материалов с различными зарядами атомного ядра, чтобы извлекать преимущество из испускания большого множества электронов одним высокоэнергетическим фотоном посредством каскадной электронной эмиссии Оже. В одном варианте исполнения преобразователь высокоэнергетических фотонов предпочтительно включает в себя линейную многослойную пластину нанометрического масштаба, составленную из слоев первого материала, проложенных между слоями второго материала, имеющего зарядовое число атомного ядра, отличное от зарядового числа атомного ядра первого материала. В других вариантах исполнения слои нанометрического масштаба сконфигурированы в трубчатой или оболочкообразной конфигурации и/или включают в себя слои третьего материала-изолятора.

---

**B1****025124****025124****B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Описанные здесь варианты исполнения, в целом, относятся к преобразованию энергии фотонов и, в частности, к системам и способам, которые способствуют преобразованию энергии из высокоэнергетических фотонов в электричество.

### **Уровень техники**

Существует много хорошо известных устройств, которые преобразуют энергию фотонов в оптическом диапазоне в электричество, таких как, например, фотогальванических элементов ("солнечных элементов"). Эти устройства обычно составлены из двух материалов (т.е. полупроводников на основе кремния) с различными физическими свойствами, такими как различное электронное сродство (см. P. Würfel, *The Physics of Solar Cells*, 1<sup>st</sup> Ed, Wiley-VCH (2004)). Когда один из материалов освещен солнечным светом, солнечные фотоны возбуждают фотоэлектроны из валентной зоны в зону проводимости, что обеспечивает электрическую подвижность. Энергетическая запрещенная зона между валентной зоной и зоной проводимости обычно составляет величину порядка электрон-вольта, что подобно энергии падающих солнечных фотонов. Размещение рядом двух материалов с различным электронным сродством порождает электрическое напряжение по границе между материалами, которое может отбираться в виде электрической энергии.

Существуют, однако, и неизвестные устройства для преобразования в электричество энергии из фотонов, работающих в режиме высокоэнергетических фотонов, таком как, например, дальнего ультрафиолетового диапазона, рентгеновские и гамма-лучи. Такие устройства можно было бы использовать для решения широкого диапазона приложений, например, такие устройства можно было бы использовать в качестве преобразователей энергии для преобразования высокоэнергетических фотонов, испущенных радиоактивными материалами, такими как, например, отработанные топливные стержни ядерных реакций расщепления, фотонов, испущенных из детонационных источников, таких как, например, взрывчатые вещества, и фотонов, испущенных из высокотемпературной плазмы, из пучков ускоренных частиц, а также в качестве устройств для космического применения как источников питания, для экранирования и т.п. Трудности, связанные с созданием таких устройств, проистекают из высокой способности проникновения высокоэнергетических фотонов в вещество, что является следствием много меньшего взаимодействия таких фотонов с веществом по сравнению с фотонами видимого света, а также следствием того факта, что для большинства материалов средний свободный пробег электронов обычно на много порядков короче по величине, чем средний свободный пробег высокоэнергетических фотонов. Вследствие такого несоответствия в средних свободных пробегах электроны, испущенные из атомов в материале, используемом для улавливания высокоэнергетических фотонов, стремятся вступить в рекомбинацию, при этом их энергия преобразуется в тепло внутри захватывающего эти высокоэнергетические фотоны материала.

Таким образом, желательно предоставить системы и способы, которые способствовали бы преобразованию энергии из высокоэнергетических фотонов в электричество.

### **Сущность изобретения**

Описанные здесь варианты исполнения направлены на преобразование энергии из высокоэнергетических фотонов в электричество. Принцип, лежащий в основе предоставленных здесь вариантов исполнения, основан на выбивании электронов высокоэнергетическими протонами из атома (включая выбивание электронов из глубоко расположенной внутренней оболочки из атомов материалов с большими атомными числами (с большим  $Z$ )). Выбитые электроны несут кинетическую энергию, которая может привести к миграции этих выбитых электронов в различные области устройства, где накопление выбитых электронов может образовать электрический потенциал, который может затем приводить в действие внешнюю электрическую цепь. Спектр представляющих интерес фотонов включает в себя фотоны в невидимом режиме, включая, но не ограниваясь этим, дальнего ультрафиолетового диапазона, рентгеновские, гамма-лучи и т.п.

Предложенные здесь системы и способы используют группы материалов с различными зарядами атомного ядра, чтобы извлекать преимущество из испускания большого множества электронов одним высокоэнергетическим фотоном посредством каскадной электронной эмиссии Оже. В одном варианте исполнения преобразователь высокоэнергетических фотонов предпочтительно включает в себя линейную многослойную пластину нанометрического масштаба, составленную из первого множества слоев материала для поглощения высокоэнергетических фотонов и испускания электронов, в комбинации со вторым множеством слоев другого материала для поглощения или накопления электронов. Материал второго множества слоев имеет зарядовое число атомного ядра, отличное от зарядового числа атомного ядра материала первого множества слоев. Первое и второе множество слоев предпочтительно расположены бок о бок (т.е. поверхность к поверхности), располагаясь друг между другом, и ориентированы под касательным (малым) углом к направлению распространения высокоэнергетических фотонов. В другом варианте исполнения слои нанометрического масштаба сконфигурированы в трубчатой или оболочкообразной конфигурации. В еще одном варианте исполнения эти слои включают в себя третье множество слоев изолирующего материала.

Описанные здесь системы и способы могут быть использованы в широком диапазоне задач - от детектирования и поглощения энергии до преобразования энергии высокоэнергетических фотонов в ускорен-

телях частиц и фотонов от чрезвычайно разогретого вещества (такого как высокотемпературная плазма) и/или детонирующих источников, которые обильно испускают высокоэнергетичные фотоны (таких как взрывчатые вещества), захвата энергии излучения радиоактивных ядерных отходов (таких как отработанные топливные стержни ядерных реакций расщепления) и космического применения (такого как источники питания, экранирование и т.п.), а также в других областях, которые легко могут быть названы специалистами в данной области техники.

Специалистам в данной области техники по ознакомлении с нижеследующими иллюстрациями и подробным описанием будут или станут очевидны другие системы, способы, признаки и преимущества примерных вариантов исполнения.

### **Краткое описание чертежей**

Детали примерных вариантов исполнения, включая их конструкцию и работу, частично могут быть почерпнуты из рассмотрения сопроводительных иллюстраций, в которых одни и те же позиционные обозначения относятся к одинаковым конструктивным частям. Компоненты на чертежах не обязательно выполнены в масштабе, вместо этого акцент делается на иллюстрации принципов изобретения. Более того, все иллюстрации предназначены для передачи общей идеи, и при этом относительные размеры, формы и другие сопутствующие подробности могут быть показаны схематично, а не буквально или точно.

Фиг. 1A представляет собой схематичное изображение линейного многослойного элемента преобразователя высокоэнергетичных фотонов нанометрического масштаба;

фиг. 1B - схематичное изображение альтернативного линейного многослойного элемента преобразователя высокоэнергетичных фотонов нанометрического масштаба;

фиг. 1C - схематичное изображение преобразователя высокоэнергетичных фотонов, содержащего массив линейных многослойных элементов преобразователя нанометрического масштаба, показанных на фиг. 1A;

фиг. 1D - схематичное изображение преобразователя высокоэнергетичных фотонов, содержащего массив линейных многослойных элементов преобразователя нанометрического масштаба, показанных на фиг. 1B;

фиг. 1E - схематичное изображение цепи преобразователя высокоэнергетичных фотонов;

фиг. 1F - схематичное изображение цепи альтернативного преобразователя высокоэнергетичных фотонов, соединенного с внешней цепью, содержащей нагрузку;

фиг. 2A - вид в перспективе цилиндрического линейного многослойного элемента преобразователя высокоэнергетичных фотонов нанометрического масштаба;

фиг. 2B - вид в перспективе альтернативного цилиндрического линейного многослойного элемента преобразователя высокоэнергетичных фотонов нанометрического масштаба;

фиг. 2C - вид в перспективе преобразователя высокоэнергетичных фотонов, содержащего массив цилиндрических многослойных элементов преобразователя нанометрического масштаба, показанных на фиг. 2A;

фиг. 2D - вид с торца преобразователя высокоэнергетичных фотонов, содержащего массив цилиндрических многослойных элементов преобразователя нанометрического масштаба, показанных на фиг. 2B;

фиг. 2E, 2F и 2G - виды с торца преобразователей высокоэнергетичных фотонов с альтернативными геометрическими конфигурациями;

фиг. 3 - схему, иллюстрирующую характеристики распространения падающих высокоэнергетичных фотонов  $\gamma$ , а также характеристики перемещения электронов  $e^-$ , которые выбиты из своих атомов в слое материала под воздействием падающих высокоэнергетичных фотонов  $\gamma$ ;

фиг. 4A - схематичное изображение составного элемента преобразователя, включающего в себя множество линейно наложенных слоев;

фиг. 4B - вид в перспективе составного элемента преобразователя, включающего в себя множество линейно наложенных слоев;

фиг. 5 - схематичное изображение, показывающее сборку составных элементов, изображенных на фиг. 4A и 4B, скомпонованных вдоль согласованной поверхности, которая пересекает поток фотонов, испущенный из источника потока фотонов, и, по существу, перпендикулярна ему;

фиг. 6A, 6B и 6C - условные изображения, показывающие сборку составных элементов, изображенных на фиг. 4A и 4B, скомпонованных вдоль согласованных поверхностей, которые пересекают потоки фотонов, испущенные из источников потока фотонов, и, по существу, перпендикулярны им.

Следует заметить, что по всем иллюстрациям элементы одинаковых конструкций или выполняющие одинаковые функции, как правило, представлены подобными позиционными обозначениями. Кроме того, следует заметить, что эти иллюстрации предназначены лишь для способствования описанию предпочтительных вариантов исполнения.

### **Подробное описание изобретения**

Каждые из раскрытых ниже дополнительных признаков и идей могут быть использованы по отдельности или в сочетании с другими признаками или идеями для получения систем и способов, предна-

значенных для способствования преобразованию энергии из высокоэнергетичных фотонов в электричество. Теперь с более подробными деталями и со ссылками на приложенные чертежи будут описаны характерные примеры настоящего изобретения, которые используют многие из этих дополнительных признаков и идей как по отдельности, так и в комбинации. Это детальное описание предназначено лишь для того, чтобы довести до сведения специалистов в данной области техники дополнительные детали для реализации на практике предпочтительных аспектов настоящих идей, и не предназначено ограничивать объем изобретения. Поэтому раскрытые в нижеследующем подробном описании комбинации признаков и этапов могут не являться необходимыми для реализации изобретения на практике в более широком смысле, а вместо этого приведены лишь для конкретного описания характерных примеров настоящих идей.

Более того, различные признаки этих характерных примеров, а также зависимые пункты формулы изобретения могут быть скомбинированы таким образом, который не является специально и явно пронумерованным, чтобы предоставить дополнительные полезные варианты исполнения настоящих идей. Кроме того, специально обращается внимание на то, что все признаки, раскрытые в описании и/или в формуле изобретения, предназначены быть раскрытыми отдельно и независимо один от другого как в целях первоначального раскрытия, так и с целью ограничения заявленного предмета изобретения независимо от построений признаков в вариантах исполнения и/или в формуле изобретения.

Также специально отмечается, что все диапазоны величин или указания групп объектов раскрывают любую возможную промежуточную величину или промежуточный объект как в целях первоначального раскрытия, так и с целью ограничения заявленного предмета изобретения.

Описанные здесь варианты исполнения направлены на преобразование энергии из высокоэнергетичных фотонов (таких как фотоны с энергией предпочтительно в диапазоне около 100 эВ или выше) в электричество. Принцип, лежащий в основе вариантов исполнения, основан на выбивании электронов высокоэнергетичными протонами из атома (включая выбивание электронов из глубоко расположенной внутренней оболочки из атомов материалов с большими атомными числами (с большим  $Z$ )). Выбитые электроны несут кинетическую энергию, которая может привести к миграции этих выбитых электронов в различные области устройства, где накопление выбитых электронов может образовать электрический потенциал, который затем может отводиться для приведения в действие внешней электрической цепи. Спектр представляющих интерес фотонов включает в себя фотоны предпочтительно в невидимом режиме, включая, но не ограничиваясь этим, лучи дальнего ультрафиолетового диапазона, рентгеновские лучи, гамма-лучи и т.п. Порядки величин энергии таких фотонов больше, а значит и предел тепловой скорости (теоретический коэффициент Карно равен почти единице) гораздо больше, чем энергия фотонов в видимом режиме. Вследствие высокой энергии падающих фотонов, обычно в 100 эВ или большей, описанные здесь системы и способы способны обладать чрезвычайно высокой эффективностью преобразования энергии по сравнению с другими стандартными преобразователями энергии фотонов, такими как фотогальванические устройства (например, солнечные элементы), или с устройствами, основанными на термоэлектрическом эффекте (эффект Зеебека).

Как более подробно обсуждается ниже, системы и способы, применяемые для использования этого потенциально большого выигрыша, эффективно канализируют энергии высокоэнергетичных фотонов в приемлемые виды электрической энергии, которая затем может отбираться для питания внешней цепи, и, таким образом, охватывают широкий диапазон приложений, включая те из них, в которых присутствуют сильные магнитные поля (такие, что динамика электронов определяется их вращательными перемещениями в этих магнитных полях). В результате, описанные здесь системы и способы могут быть использованы в широком диапазоне приложений - от детектирования и поглощения энергии до преобразования энергии высокоэнергетичных фотонов в ускорителях частиц, прямого преобразования энергии высокоэнергетичных фотонов из другого чрезвычайно разогретого вещества (такого как высокотемпературная плазма) и/или детонирующих источников (таких как взрывчатые вещества), которые обильно испускают высокоэнергетичные фотоны, захвата энергии излучения радиоактивных ядерных отходов (таких как отработанные топливные стержни ядерных реакций расщепления) и в космических приложениях (таких как источники питания, экранирование и т.п.), а также в других приложениях, которые легко могут быть выявлены специалистами в данной области техники.

Предоставленные здесь системы и способы используют последовательности слоев материалов с различными зарядами атомного ядра, чтобы извлекать преимущество из испускания большого множества электронов одним высокоэнергетичным фотоном, обусловленного каскадной электронной эмиссией Оже. В одном варианте исполнения преобразователь высокоэнергетичных фотонов предпочтительно включает в себя линейную многослойную пластину нанометрического масштаба, составленную первым множеством слоев материалов для поглощения высокоэнергетичных фотонов и испускания электронов, скомбинированным со вторым множеством других материалов для поглощения или накопления электронов, испущенных из первого множества слоев. Материалы второго множества слоев имеют зарядовые числа атомного ядра, отличающиеся от зарядовых чисел атомного ядра материалов первого множества слоев. В другом варианте исполнения слои нанометрического масштаба сконфигурированы в трубчатой или оболочкообразной конфигурации. Эти нанометрические слои способствуют отделению фотоэлек-

тронов от донорских атомов.

Используя эти структуры, получившийся преобразователь может уменьшить падающий на материалы поток энергии, которые в противном случае были бы открыты для высокоэнергетичных фотонов, тем самым уменьшая степень нагрева этих материалов и, кроме того, может улучшить ситуацию с разрушением этих материалов, которые в противном случае были бы подвержены серьезным повреждениям от высокоэнергетичного фотонного облучения.

Рассмотрим более подробно чертежи, на которых показаны системы и способы преобразования энергии высокоэнергетичных фотонов в электричество с высокой эффективностью. По причинам вышеприведенного обсуждения предполагается, что устройство или устройства преобразователя помещены в сильные магнитные поля, которые могут определенно влиять на орбиты электронов. Однако, как далее станет очевидно из рассмотрения характерных масштабов длины устройства, параметры орбит электронов подвергаются минимальному воздействию этих магнитных полей (при практически достижимых усилиях), так что варианты исполнения в равной степени применимы и к приложениям, в которых магнитное поле мало или отсутствует, таким как, например, приложения, связанные с топливными стержнями ядерных реакций расщепления.

Обратимся к фиг. 1A-1F, на которых показаны варианты исполнения преобразователя энергии фотонов, имеющего линейную конструкцию. Как показано на фиг. 1A, самый основной образующий блок или элемент 10 преобразователя энергии фотонов, имеющего линейную конструкцию, состоит из первого слоя 12 из материала типа А, имеющего первое атомное число  $Z_1$  и предпочтительно содержащего компоненту с высоким атомным числом, такую как, например, тугоплавкий металл или окись металла. Этот первый слой 12 предпочтительно расположен между двумя слоями 14 материала типа В, имеющего второе атомное число  $Z_2$ , отличное от атомного числа первого слоя 12 материала типа А и предпочтительно содержащего металл, который предпочтительно характеризуется меньшим атомным числом, чем атомное число первого слоя 12 материала типа А (т.е.  $Z_2 < Z_1$ ). Как показано на фиг. 1B, основной образующий блок 10, необязательно, может быть усовершенствован добавкой изоляционного слоя 16 из материала типа С. Примерный набор материалов типов А, В и С может включать, не будучи этим ограничен, А = вольфрам (W), В = алюминий (Al), С = изолятор, такой как  $\text{SiO}_2$ . Альтернативно, в качестве изолятора просто может быть свободно текущий гелий, который может также действовать и как охладитель. Однако специалист в данной области техники легко выявит, что в соответствии с сущностью настоящего изобретения они могут быть заменены на другие материалы.

В показанных на фиг. 1C и 1D предпочтительных вариантах исполнения преобразователи 11 и 13 включают в себя последовательность или массив основных образующих блоков, уложенных в боковом направлении "бок о бок" (т.е. поверхность к поверхности) так, чтобы максимальная теоретическая совокупная длина пробега фотона, проходимого фотоном во всех слоях 12 типа А, была сравнима со средним свободным пробегом высокоэнергетичных фотонов  $\nu$ , подлежащих поглощению материалом типа А, или превышала ее. Как показано на фиг. 1C и 1D, между смежными слоями материала типа А помещен один или более слоев 14 материала типа В, а, необязательно, между смежными слоями материала типа В помещен слой 16 изолирующего материала типа С.

Укладка образующих блоков или элементов 10 преобразователя "бок о бок" обеспечивает геометрию всей конструкции, которая хорошо подходит для обеспечения эффективной эмиссии электронов, обусловленной высокоэнергетичными фотонами  $\nu$ , поглощенными в материале типа А. Поскольку, как показано на фиг. 3, поляризация фотонов  $\vec{E}$  перпендикулярна направлению распространения фотона  $\nu$ , то направление выбитого электрона  $\vec{e^-}$  лежит, в основном, в плоскости  $P_e$  (при соответствующем образом затухающем угловом распределении при удалении от этой плоскости, но с максимумом в этой плоскости), перпендикулярной направлению распространения фотонов  $\nu$  (но такая плоскость содержит поляризацию фотонов  $\nu$ ). Как показано на фиг. 1A и 1B, слои 12 и 14 элементов 10 преобразователя уложены бок о бок в таком направлении, что вектор, нормальный к граничным поверхностям между этими слоями, обычно является ортогональным к направлению распространения фотонов  $\nu$ . В одной описанной ниже предпочтительной конфигурации граничные поверхности между слоями могут быть выровнены под касательным (малым) углом к направлению распространения падающих высокоэнергетичных фотонов  $\nu$ . В результате электроны  $\vec{e^-}$ , которые выбиты внутри слоев 12 материала типа А из своих атомов под воздействием падающих высокоэнергетичных фотонов  $\nu$ , способны перемещаться в основном ортогонально в соседние слои 14 материала типа В.

Центральным для принципа каждого варианта исполнения и любой его модификации является требование, чтобы испущенные фотоэлектроны  $\vec{e^-}$  не захватывались и/или не поглощались в слое 12 материала типа А, а поглощались в слое 14 материала типа В. Для обеспечения того, чтобы выбитые электроны  $\vec{e^-}$  не захватывались внутри слоя 12 материала типа А и для увеличения вероятности того, что выбитые электроны  $\vec{e^-}$  покинут слой 12 материала типа А и мигрируют из слоя 12 материала типа А в слой 14 материала типа В, толщина  $l_1$  каждого слоя 12 материала типа А предпочтительно меньше чем длина среднего свободного пробега электронов в таком материале типа А или порядка этой величины. Толщина  $l_2$  каждого слоя 14 материала типа В предпочтительно больше, чем длина среднего свободного пробега

электронов в материале типа В или порядка этой величины. Предпочтительно нанометрическая компоновка слоев в этих вариантах исполнения является отражением внутренних физических принципов, заключающихся в том, что средний свободный пробег электрона в материале типа А  $l_e(Z_1)$  не слишком отличен от среднего свободного пробега электрона в материале типа В  $l_e(Z_2)$ , хотя в то же время средний свободный пробег фотона в материале типа А гораздо меньше, чем его средний свободный пробег в материале типа В, т.е.  $l_p(Z_1) \ll l_p(Z_2)$ .

Например, для падающих фотонов с энергией 100 кэВ типичные размеры толщин слоев для этих систем включают в себя  $l_1$  для материала типа А, равную приблизительно 1 нм, и  $l_2$  для материала типа В, равную приблизительно 100 нм, а также  $l_3$  для необязательного материала типа С, регулируемую по необходимости для предотвращения электрической дуги между соседними слоями. Для магнитных полей с индукцией В до 10 Тл эти размеры меньше, чем гирорадиус электронов  $\rho_e$ . Поэтому при таких масштабах длин электроны не намагничены, но их динамика в основном находится в режиме столкновения. В результате, элемент 10 преобразователя или преобразователи 11 и 13, обсуждавшиеся ранее, применимы также к приложениям, в которых магнитные поля отсутствуют или пренебрежимо малы.

Миграция электронов  $e^-$ , выбитых из атомов внутри слоев 12 материала типа А под воздействием падающих высокоэнергетичных фотонов  $\nu$ , в соседние слои 14 материала типа В приводит к накоплению заряда и в конечном счете создает потенциал между слоями 12 и 14 материалов типа А и В. Обратимся к фиг. 1Е и 1F, на которых все слои 12 и 14 типа А и типа В подсоединены к цепям таким образом, что каждый слой 12 типа А и каждый слой 14 типа В выступает как отдельный электрод. Как легко будет понятно специалистам в данной области техники, существует почти бесконечное число альтернатив и вариантов соединения этих слоев или группировок слоев последовательным или параллельным образом. Оптимальная компоновка такой цепи определяется как дающая наиболее благоприятный результат в конкретной задаче. Например, отдельные слои 12 и 14 могут быть соединены таким образом, при котором, как показано на фиг. 1Е, каждый слой 12 материала типа А подсоединен к одному из ближайших слоев 14 материала типа В, или же, как показано на фиг. 1F, каждый слой 12 материала типа А может быть подсоединен к одному из ближайших слоев 14 материала типа В, который отделен от него изоляционным слоем 16 материала типа С. В этих конфигурациях электрически соединенные слои эффективно образуют нанобатареи, и образованная естественным образом, разность электрического потенциала соответствует порядку кинетической энергии мигрирующих электронов. Общее созданное напряжение для питания нагрузки равно напряжению отдельной ячейки 15 нанобатареи или сумме последовательных ячеек 17 и 19 нанобатареи. Как показано на фиг. 1F, внешняя цепь 20, содержащая нагрузку 22, соединена с ячейками 17 и 19 нанобатареи, которые изображены как соединенные последовательно, но могут быть соединены параллельно. Нагрузка 22 может содержать электрически запитываемые системы или компоненты, системы сбережения энергии, электрическую сеть и т.п.

Альтернативно, регулировкой сопротивления нагрузки цепи между электродными слоями 12 и 14 можно производить внешнее управление напряжением в установившемся состоянии и соответственно изменять толщину изолирующего слоя 16.

В другом варианте исполнения образующий блок 10 включает в себя конфигурацию типа цилиндрической трубки или оболочки. Как показано на фиг. 2А, цилиндрический элемент 110 преобразователя содержит цилиндрический сердечник 112 из материала типа А, окруженный цилиндрической трубкой или оболочкой 114 из материала типа В. Как показано на фиг. 2В, опять-таки, возможно необязательно окружить каждую оболочку 114, выполненную из материала типа В, изолирующей оболочкой 116 из материала типа С. В этой цилиндрической конфигурации к различным толщинам применимы одинаковые размерные правила, т.е. радиус цилиндрического сердечника из материала типа А меньше, чем примерно половина среднего свободного пробега электрона в материале типа А или порядка этой величины, около  $l_e(Z_1)/2$ , в то время как толщина оболочки 114 из материала типа В порядка среднего свободного пробега электрона в материале типа В, около  $l_e(Z_2)$ .

Преимущество компоновки элемента 110 преобразователя в виде цилиндрической трубки или оболочки состоит в большей эффективности захвата испущенных электронов по мере их испускания с равной вероятностью по всему азимутальному направлению в  $360^\circ$ . Как показано на фиг. 3 и описано ранее, электроны  $e^-$  выбиваются главным образом в направлении в плоскости  $P_e$  (при соответствующим образом затухающем угловом распределении при удалении от этой плоскости, но с максимумом в этой плоскости), перпендикулярной направлению распространения фотонов  $\nu$  и параллельной направлению поляризации ( $\vec{E}$ ) фотонов. В зависимости от угла поляризации фотона выбитый электрон  $e^-$  может быть направлен в любую сторону по азимуту около  $360^\circ$ , и в этом случае цилиндрическая компоновка ячейки ведет к более высокой степени захвата электронов в материале типа В и к заметно более высокой эффективности захвата электронов по сравнению с показанными на фиг. 1А-1F линейными конфигурациями.

Аналогично вышеописанному преобразователю с линейной геометрией цилиндрические образующие блоки 110 объединяются для образования общих конструкций, которые соответствуют тем же самым ограничениям по физическим размерам, что и преобразователь с линейной геометрией. В качестве примера на фиг. 2С изображена одна конкретная компоновка 111 укладки. Альтернативно, как показано

на фиг. 2D, в другой компоновке 113 укладки изолирующий материал 116 может заполнять пустые пространства между смежными элементами или ячейками 110 преобразователя. Такие пустые пространства могут служить в качестве каналов для циркуляции газообразных охладителей, таких как находящийся под давлением гелий. Это образует эффективное средство охлаждения, поскольку поглощение фотонов гелием в диапазоне представляющих интерес энергий фотонов пренебрежимо мало. Электрические соединения также подобны конфигурациям с линейной геометрией и подобным же образом допускают множество различных вариантов соединения слоев или оболочек 112 и 114 образующих блоков 110.

На фиг. 2E, 2F и 2G показаны альтернативные геометрические конфигурации. На фиг. 2E показана линейная уложенная со смещением многослойная компоновка, в которой слои 112 материала типа А смещены и расположены смежно со слоями 114 материала типа В. Фиг. 2F показывает множество сердечников 112 из материала типа А, окруженных материалом типа В, заполняющим пустые пространства 114 между сердечниками 112. Хотя показаны имеющие квадратную форму сердечники 112, они могли бы быть круглыми, овальными и т.п. Фиг. 2G подобна конфигурации по фиг. 2D за тем исключением, что сердечник 112 и слой 114 оболочки имеют квадратную форму. В этих случаях размеры элементов 112, 114 и 116 удовлетворяют тем же самым ограничениям, что и обсуждавшиеся применительно к фиг. 1A-1C и к фиг. 2A-2D. Динамика электронов по краям квадратов различна, но помимо этих краевых эффектов остальные физические свойства в основном подобны случаям с цилиндрической конфигурацией.

Основной образующий блок при любой геометрии, который, как описано выше, составлен из вплоть до трех видов материалов, является пригодным для естественной генерации отделения электронов от их исходных мест в донорских атомах, которые были ионизированы высокоэнергетичными фотонами. Это, в свою очередь, порождает генерацию электрических напряжений между слоями и/или вдоль необязательного изолятора. Как обсуждалось выше, такая компоновка может быть электрически соединена с цепью для выполнения "электрической" работы или для передачи энергии от преобразователя. В качестве еще одного варианта, следует заметить, что между этими слоями может быть приложено внешнее напряжение (напряжение смещения), которое обеспечит дополнительное управление электрическими свойствами и минимизирует потенциал, чреватый возникновением между любыми из этих слоев электрической дуги.

Обратимся к фиг. 4A и 4B, на которых для того чтобы максимизировать облучаемую площадь поверхности, чтобы гарантировать, что падающий высокоэнергетичный фотон  $\nu$  захвачен слоем 121 материала типа А, а не просто проходит через слой 214 материала типа В, уложенные слои 121 и 214 материалов типа А и В и необязательный слой 216 изолирующего материала типа С составного элемента или ячейки 200 преобразователя предпочтительно наклонены под касательным (малым) углом  $\theta$  к направлению распространения падающего высокоэнергетичного фотона  $\nu$ , который, например, может быть порядка  $1/100$  радиан. Наклон составного элемента 200 преобразователя, кроме того, обеспечивает адекватное охлаждение бомбардируемого материала типа А и минимизирует толщину каждого отдельного слоя 121 материала типа А (относительно среднего свободного пробега электронов), а также совокупную эффективную толщину всех слоев 121 материала типа А по всей сборке преобразователя. Наклон составного элемента 200 преобразователя под касательным углом, кроме того, вызывает выбивание электронов в основном перпендикулярно поверхности материала типа А. Он также сокращает необходимое количество повторных слоев для каждого составного элемента 200 на коэффициент, приблизительно равный  $1/\theta$ , поскольку в том случае, когда угол  $\phi$  ориентации поверхности составного элемента 200 выставлен нормально к направлению распространения падающего высокоэнергетичного фотона  $\nu$ , расстояние пропускания в материале типа А увеличено на тот же самый коэффициент. Также он максимизирует исход электронов в смежный слой материала типа В.

В альтернативном варианте исполнения показанный на фиг. 4A и 4B составной элемент 200 преобразователя содержит множество цилиндрических элементов 110 преобразователя (показанных на фиг. 2A и 2B), уложенных "бок о бок" и наклоненных под касательным углом  $\theta$ .

Обратимся к фиг. 4B, на которой для того чтобы эффективно поглощать большую часть высокоэнергетичных фотонов с энергией порядка 100 кэВ, необходимо, чтобы высота Н устройства в общем направлении преобладающего распространения фотонов достигала порядка длины около 1 см. Это обуславливается желанием перехватить весь поток фотонов материалом типа А с достаточной его совокупной толщиной в направлении распространения фотонов. Поскольку толщина каждого слоя материала типа В типично много больше, чем толщина каждого слоя материала типа А ( $l_1 \ll l_2$ ), то для обеспечения того, чтобы высокоэнергетичные фотоны встречали материал типа А на совокупном расстоянии, больше, чем их средний свободный пробег в таком материале, общая высота Н полной укладки образующих блоков, выступающих в направлении потока фотонов, должна быть гораздо большей, чем средний свободный пробег конкретных фотонов в материале типа А. Поэтому высота полной укладки образующих блоков должна превышать средний свободный пробег фотонов в материале типа А на коэффициент по меньшей мере  $l_2/l_1$  или, в случае включения изолирующего слоя, на коэффициент по меньшей мере  $(l_3+l_2)/l_1$ .

Как упоминалось выше, вся конструкция обеспечивает также эффективное охлаждение материалов

преобразователя, поскольку они нагреваются в результате поглощения фотонов, а также последующим электронным нагревом. Охлаждению способствует то, что общая площадь поверхности в настоящем варианте исполнения, как показано на фиг. 4А, увеличена по сравнению с простой компоновкой укладки слоев с углом ориентации  $\phi$ , перпендикулярным направлению падающего потока фотонов, на коэффициент  $1/\theta$ . Можно также по встроенным в конструкцию трубкам пустить поток находящегося под давлением газообразного охладителя или просто соединить укладки с теплоотводами. Специалисты в данной области техники легко выявят, что может быть множество других способов увеличить охлаждение, и что конкретные исполнения будут продиктованы конкретным приложением.

Как показано на фиг. 5, сборка 220 составных элементов 200 преобразователя может быть скомпонована вдоль соответствующей поверхности 230, которая пересекает поток фотонов 242, испущенный из данного источника 240 потока фотонов, и, по существу, перпендикулярна ему. Эта конфигурация обеспечивает гибкость и адаптируемость к широкому спектру приложений, в которых могла бы присутствовать необходимость (или выгода от) генерации энергии из испущенного потока фотонов.

Другие примеры общей геометрии типичных приложений показаны на фиг. 6А, 6В и 6С. Фиг. 6А показывает систему 300 удержания плазмы, которая включает в себя цилиндрическую камеру 330, имеющую поверхность 334, которая пересекает поток 342 фотонов, испущенный из источника 340 потока фотонов, показанного в виде горячей плазмы, и, по существу, перпендикулярна ему. Система 300 удержания плазмы дополнительно содержит расположенный вдоль цилиндрической камеры 330 генератор 332 магнитного поля, а также массив 332 составных элементов 200 преобразователя, закрепленных вдоль поверхности 334 камеры 330. Каждый из составных элементов ориентирован под касательным углом к направлению распространения падающих высокоэнергетичных фотонов  $\nu$  потока 342 фотонов. Фиг. 6В показывает систему 400 удержания плазмы, которая включает в себя цилиндрический контейнер 430, имеющий поверхность 434, которая пересекает поток 442 фотонов, испущенный из источника 440 потока фотонов, показанного в виде горячей плазмы или в виде отработанных топливных стержней ядерных реакций расщепления, и, по существу, перпендикулярна ему. Система 400 удержания плазмы дополнительно содержит массив 432 составных элементов 200 преобразователя, закрепленных по поверхности 334 контейнера 430. Каждый из этих составных элементов ориентирован под касательным углом к направлению распространения падающих высокоэнергетичных фотонов  $\nu$  потока 442 фотонов. Фиг. 6С показывает систему 500 ускорения частиц, которая включает в себя цилиндрическую трубку 530, имеющую поверхность 534, которая пересекает поток 542 фотонов, испущенный из источника 540 потока фотонов, показанного в виде пучка ускоренных частиц. Система 500 ускорителя дополнительно содержит расположенный вдоль цилиндрической трубки 530 генератор 532 магнитного поля, а также массив 532 составных элементов 200 преобразователя, закрепленных вдоль поверхности 534 трубки 530. Каждый из составных элементов ориентирован под касательным углом к направлению распространения падающих высокоэнергетичных фотонов  $\nu$  потока 542 фотонов.

В каждом случае испущенные высокоэнергетичные фотоны встречаются материал типа А на совокупном расстоянии, большем, чем их средний свободный пробег в таком материале А. Это обеспечивает их должное поглощение атомами внутри слоев типа А и в конечном счете усиленное преобразование тока фотонов в ток электронов. Окружая объем испускания потока материал типа А плотно покрывает все площади поверхности, открытые облучению потоком высокоэнергетичных фотонов, в то же время обеспечивая возможность охлаждения и электрических соединений.

Следует заметить, что в соответствии с представленными здесь вариантами исполнения из конкретного атома в материале типа А вследствие поглощения высокоэнергетичных фотонов испускается множество электронов. Это обусловлено тем, что электрон, который выбит из конкретного глубокого состояния во внутренней электронной оболочке, создает свободное место, которое быстро заполняется в соответствии с процессом Оже, что, в свою очередь, запускает вторичные и третичные процессы Оже или каскад процессов. В дополнение к этому вторичное повторное испускание фотонов запускает такие же процессы в соседних атомах. Соответственно, в принципе, один фотон может запустить совокупную эмиссию около 100 электронов (а иногда и больше). Поэтому эта множественная ионизация дает двойную выгоду. Во-первых, она служит для умножения количества электронов от изначально падающего фотона на коэффициент от 100 до 1000, что приводит к сильному усилению тока. Во-вторых, она служит для уменьшения энергии электронов с десятков килоэлектрон-вольт до просто десятков электрон-вольт. Таким образом, сгенерированное напряжение является управляемым в том, что касается проблем, связанных с пробоем. Это обеспечивает повышенное преобразование энергии фотонов в электричество (заряд и ток), в то же время минимизируя нагрев мишени. На самом деле эта система служит в качестве эффективного средства охлаждения путем выведения большей части выделенной фотоном энергии (в виде электрической энергии) из материала, который расположен рядом с источником фотонов и свободно отводит преобразованную энергию в удаленные места, которые не расположены вблизи излучения.

Однако приведенные здесь примеры вариантов исполнения предназначены быть лишь иллюстративными примерами и ни в коем случае не являются ограничивающими. Более того, специалисты в данной области техники легко поймут, что соответствующим изменением параметров подобные системы



могут быть одинаково приспособлены к фотонам различных энергий.

В вышеизложенном описании изобретение было представлено со ссылками на его конкретные варианты исполнения. Однако должно быть очевидно, что к нему могут быть применены различные модификации и изменения без отклонения от более широкой сущности и объема изобретения. Например, читатель должен понимать, что конкретный порядок и комбинация этапов процесса, показанные в описанных здесь блок-схемах процесса, являются, если не оговорено иное, лишь иллюстративными, а изобретение может быть реализовано с использованием иных или дополнительных этапов процесса или иных комбинаций или порядка этапов процесса. В качестве другого примера каждый признак одного варианта исполнения может быть смешан и использован в сочетании с другими признаками, показанными в других вариантах исполнения. По желанию подобным же образом могут быть использованы признаки и процессы, известные специалистам в данной области техники. Кроме того, ясно, что по мере необходимости признаки могут добавляться или исключаться. Соответственно, настоящее изобретение не ограничено ничем иным, кроме прилагаемой формулы изобретения и ее эквивалентов.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Преобразователь энергии для преобразования эмиссий высокоэнергетических фотонов в электрическую энергию, содержащий

один или более слоев первого материала, который поглощает высокоэнергетические фотоны, имеющие энергии в диапазоне около 100 эВ или более, и испускает электроны, выбитые из атома в первом материале высокоэнергетическим фотоном, поглощенным в первом материале, при этом каждый слой из упомянутых одного или более слоев первого материала имеет толщину, меньшую, чем длина свободного пробега выбитых электронов в первом материале, при этом высокоэнергетические фотоны находятся в невидимом режиме, и при этом один или более слоев материала в упомянутых одном или более слоях первого материала имеют совокупную толщину, при измерении по направлению распространения высокоэнергетического фотона большую, чем длина свободного пробега для этого высокоэнергетического фотона в первом материале, и

один или более слоев второго материала, который накапливает электроны, испущенные из упомянутых одного или более слоев первого материала, и электрически связан с упомянутыми одним или более слоями первого материала, при этом каждый слой из упомянутых одного или более слоев второго материала имеет толщину, большую, чем длина свободного пробега электронов, испущенных из упомянутых одного или более слоев первого материала, во втором материале, при этом один или более слоев из упомянутых одного или более слоев второго материала располагается между смежными слоями из упомянутых одного или более слоев первого материала.

2. Преобразователь по п.1, дополнительно содержащий один или более слоев третьего материала, при этом каждый слой из упомянутых одного или более слоев располагается между смежными слоями из упомянутых одного или более слоев из упомянутых одного или более слоев второго материала.

3. Преобразователь по п.1, в котором один или более слоев первого и второго материалов расположены поверхностью к поверхности.

4. Преобразователь по п.1, в котором каждый слой из упомянутых одного или более слоев первого материала сконфигурирован в виде цилиндрического сердечника, а каждый слой из упомянутых одного или более слоев второго материала сконфигурирован в виде цилиндрической оболочки, концентрически расположенной вокруг цилиндрического сердечника первого материала, и в котором радиус цилиндрического сердечника менее чем 1/2 длины свободного пробега выбитых электронов в первом материале.

5. Преобразователь по п.4, дополнительно содержащий один или более слоев третьего, изолирующего материала, сконфигурированного в виде цилиндрической оболочки, концентрически расположенной вокруг цилиндрической оболочки из второго материала.

6. Преобразователь по любому из пп.1-5, в котором первый материал содержит компоненту с высоким зарядовым числом атомного ядра.

7. Преобразователь по п.6, в котором компонента с высоким зарядовым числом атомного ядра представляет собой тугоплавкий металл или окись металла.

8. Преобразователь по п.6, в котором компонентой с высоким зарядовым числом атомного ядра является вольфрам.

9. Преобразователь по любому из пп.1-8, в котором зарядовое число атомного ядра второго материала отличается от зарядового числа атомного ядра первого материала.

10. Преобразователь по любому из пп.1-8, в котором зарядовое число атомного ядра второго материала меньше, чем зарядовое число атомного ядра первого материала.

11. Преобразователь по любому из пп.1-10, в котором вторым материалом является металл.

12. Преобразователь по п.11, в котором металлом является алюминий.

13. Преобразователь по любому из пп.2 и 5, в котором третьим материалом является SiO<sub>2</sub>.

14. Преобразователь по п.1, в котором каждый из слоев из упомянутых одного или более слоев первого материала проложен между двумя слоями из упомянутых одного или более слоев второго материала.

15. Преобразователь по любому из пп.1-14, в котором высокоэнергетичные фотоны, поглощаемые первым слоем материала, включают в себя рентгеновские, дальнего ультрафиолетового диапазона или гамма-лучи.

16. Преобразователь по любому из пп.1-15, в котором первое и второе множество слоев соединены с имеющей нагрузку электрической цепью.

17. Преобразователь по п.16, в котором нагрузкой является электрически запитываемый компонент, система сбережения электричества или электрическая сеть.

18. Преобразователь по любому из пп.1-17, в котором один или более слоев первого и второго материала могут соединяться с поверхностью, которая перехватывает поток фотонов, испущенный из источника потока фотонов, и, по существу, перпендикулярна направлению его распространения, и в котором каждый слой из упомянутых одного или более слоев первого и второго материала ориентирован под касательным углом к направлению распространения этого потока фотонов.

19. Преобразователь по п.18, в котором каждый слой из упомянутых одного или более слоев первого материала сконфигурирован в виде цилиндрического сердечника, а каждый слой из упомянутых одного или более слоев второго материала сконфигурирован в виде цилиндрической оболочки, концентрически расположенной вокруг цилиндрического сердечника первого материала, и в котором радиус цилиндрического сердечника менее чем  $1/2$  длины свободного пробега выбитых электронов в первом материале.

20. Преобразователь по п.19, дополнительно содержащий один или более слоев третьего, изолирующего материала, сконфигурированного в виде цилиндрической оболочки, концентрически расположенной вокруг цилиндрической оболочки из второго материала.

21. Система преобразователя энергии для преобразования эмиссий высокоэнергетичных фотонов в электрическую энергию, содержащая

стенку, окружающую источник потока фотонов и имеющую поверхность, которая перехватывает поток фотонов, испущенный из источника потока фотонов, и, по существу, перпендикулярна направлению его распространения, при этом поток фотонов содержит высокоэнергетичные фотоны в невидимом режиме, при этом высокоэнергетичные фотоны имеют энергии в диапазоне около 100 эВ или более, и

множество составных элементов преобразователя, покрывающих поверхность упомянутой стенки, при этом каждый составной элемент преобразователя содержит первое множество слоев первого материала, который поглощает высокоэнергетичные фотоны и испускает электроны, выбитые из атома в первом материале высокоэнергетичным фотоном, поглощенным в первом материале, при этом каждый слой первого множества слоев имеет толщину, меньшую, чем длина свободного пробега выбитых электронов в первом материале, при этом совокупная толщина множества слоев первого материала в составных элементах преобразователя при измерении по направлению распространения потока фотонов больше, чем длина свободного пробега для фотона из потока фотонов в первом материале, и второе множество слоев второго материала, который накапливает электроны, испущенные из первого множества слоев первого материала, и электрически связано с первым множеством слоев первого материала, при этом каждый слой второго множества слоев второго материала имеет толщину, большую, чем длина свободного пробега электронов, испущенных из первого множества слоев первого материала, во втором материале, при этом один или более слоев второго множества слоев второго материала располагается между смежными слоями первого множества слоев первого материала.

22. Система преобразователя по п.21, в которой каждый слой из первого и второго множества слоев ориентирован под касательным углом к направлению распространения потока фотонов.

23. Система преобразователя по п.21, в которой каждый составной элемент преобразователя дополнительно содержит третье множество слоев третьего материала, при этом каждый слой третьего множества слоев располагается между смежными слоями из упомянутых одного или более слоев второго множества слоев второго материала.

24. Система преобразователя по п.21, в которой первое и второе множество слоев расположены поверхностью к поверхности.

25. Система преобразователя по п.21, в которой каждый слой первого множества слоев первого материала сконфигурирован в виде цилиндрического сердечника, а каждый слой второго множества слоев второго материала сконфигурирован в виде цилиндрической оболочки, концентрически расположенной вокруг цилиндрического сердечника первого материала, при этом радиус цилиндрического сердечника менее чем  $1/2$  длины свободного пробега выбитых электронов в первом материале.

26. Система преобразователя по п.25, в которой каждый составной элемент преобразователя дополнительно содержит третье множество слоев третьего, изолирующего материала, сконфигурированного в виде цилиндрической оболочки, концентрически расположенной вокруг цилиндрической оболочки из второго материала.

27. Система преобразователя по любому из пп.21-26, в которой первый материал содержит компоненту с высоким зарядовым числом атомного ядра.

28. Система преобразователя по п.27, в которой компонента с высоким зарядовым числом атомного ядра представляет собой тугоплавкий металл или окись металла.

29. Система преобразователя по п.27, в которой компонентой с высоким зарядовым числом атомно-

го ядра является вольфрам.

30. Система преобразователя по пп.21-29, в которой зарядовое число атомного ядра второго материала отличается от зарядового числа атомного ядра первого материала.

31. Система преобразователя по пп.21-29, в которой зарядовое число атомного ядра второго материала меньше, чем зарядовое число атомного ядра первого материала.

32. Система преобразователя по пп.21-31, в которой вторым материалом является металл.

33. Система преобразователя по п.32, в которой металлом является алюминий.

34. Система преобразователя по любому из пп.22 и 26, в которой третьим материалом является  $\text{SiO}_2$ .

35. Система преобразователя по п.21, в которой каждый из слоев первого множества слоев первого материала проложен между двумя слоями второго множества слоев второго материала.

36. Система преобразователя по любому из пп.21-35, в которой высокоэнергетичные фотоны, поглощаемые первым слоем материала, включают в себя рентгеновские, дальнего ультрафиолетового диапазона или гамма-лучи.

37. Система преобразователя по любому из пп.21-36, в которой первое и второе множество слоев соединены с имеющей нагрузку электрической цепью.

38. Система преобразователя по п.37, в которой нагрузкой является электрически запитываемый компонент, система сбережения электричества или электрическая сеть.

39. Способ преобразования энергии из высокоэнергетичных фотонов в электричество, содержащий этапы, на которых

поглощают высокоэнергетичный фотон из потока фотонов, испущенного из источника потока фотонов, в одном из первого множества слоев первого материала, связанного с поверхностью стенки, окружающей источник потока фотонов, при этом поверхность, по существу, перпендикулярна направлению распространения потока фотонов, при этом высокоэнергетичный фотон имеет энергию в диапазоне около 100 эВ или более и находится в невидимом режиме, и при этом множество слоев материала в первом множестве слоев первого материала имеет совокупную толщину, при измерении по направлению распространения потока фотонов большую, чем длина свободного пробега для фотона из потока фотонов в первом материале, и

накапливают в одном из второго множества слоев второго материала один или более электронов, выбитых высокоэнергетичным фотоном из атома в первом материале,

при этом каждый слой первого множества слоев первого материала имеет толщину, меньшую, чем длина свободного пробега выбитых электронов в первом материале, при этом второе множество слоев второго материала электрически соединено с первым множеством слоев первого материала, при этом каждый слой из первого и второго множества слоев ориентирован под касательным углом к направлению распространения потока фотонов.

40. Способ по п.39, в котором каждый слой второго множества слоев второго материала имеет толщину, большую, чем длина свободного пробега электронов, испущенных из первого множества слоев первого материала, во втором материале, при этом один или более слоев второго множества слоев второго материала располагается между смежными слоями первого множества слоев первого материала.

41. Способ по п.39, в котором первое и второе множество слоев расположены поверхностью к поверхности.

42. Способ по п.39, в котором каждый слой первого множества слоев первого материала сконфигурирован в виде цилиндрического сердечника, а каждый слой второго множества слоев второго материала сконфигурирован в виде цилиндрической оболочки, концентрически расположенной вокруг цилиндрического сердечника первого материала, и в котором радиус цилиндрического сердечника менее чем 1/2 длины свободного пробега выбитых электронов в первом материале.

43. Способ по любому из пп.39-42, в котором первый материал содержит компоненту с высоким зарядовым числом атомного ядра.

44. Способ по п.43, в котором компонента с высоким зарядовым числом атомного ядра представляет собой тугоплавкий металл или окись металла.

45. Способ по п.43, в котором компонентой с высоким зарядовым числом атомного ядра является вольфрам.

46. Способ по любому из пп.39-45, в котором зарядовое число атомного ядра второго материала отличается от зарядового числа атомного ядра первого материала.

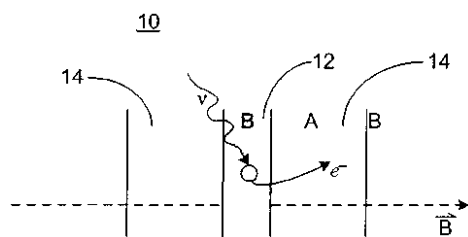
47. Способ по любому из пп.39-45, в котором зарядовое число атомного ядра второго материала меньше, чем зарядовое число атомного ядра первого материала.

48. Способ по любому из пп.39-47, в котором вторым материалом является металл.

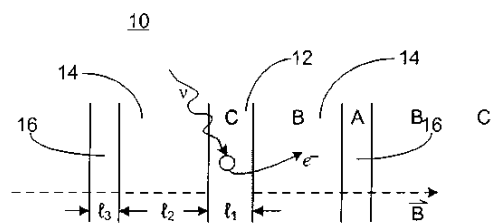
49. Способ по п.48, в котором металлом является алюминий.

50. Способ по п.39, в котором каждый из слоев первого множества слоев первого материала проложен между двумя слоями второго множества слоев второго материала.

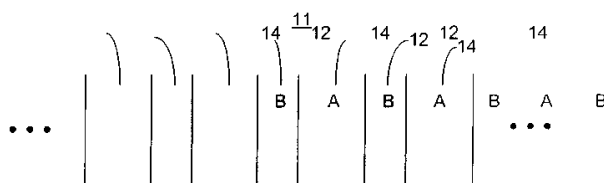
51. Способ по любому из пп.39-50, в котором высокоэнергетичные фотоны, поглощаемые первым слоем материала, включают в себя рентгеновские, дальнего ультрафиолетового диапазона или гамма-лучи.



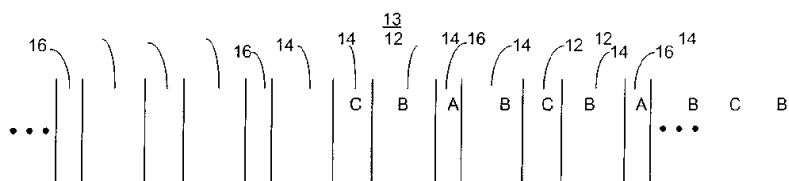
Фиг. 1А



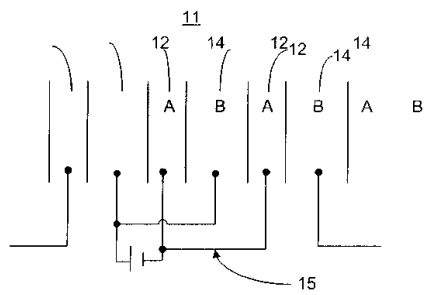
Фиг. 1В



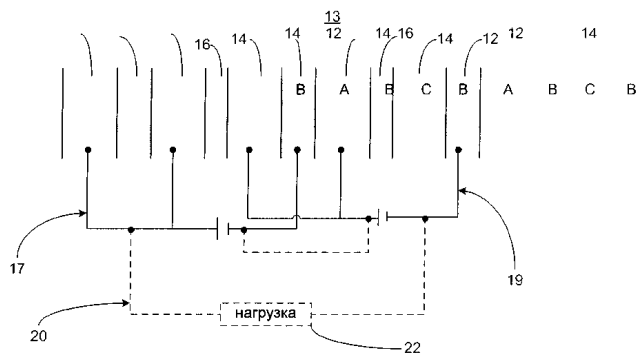
Фиг. 1С



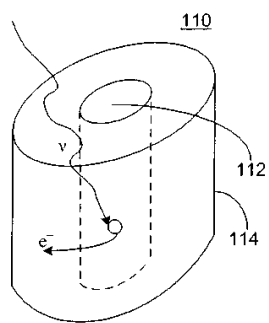
Фиг. 1D



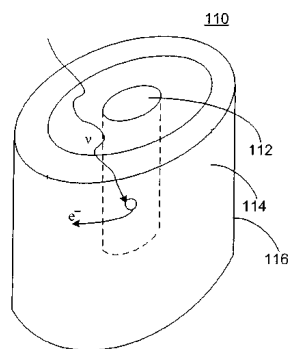
Фиг. 1Е



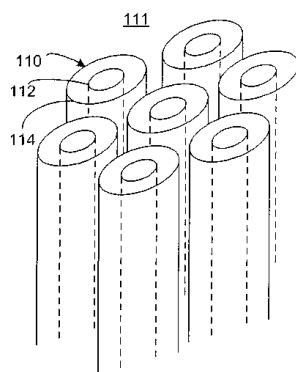
Фиг. 1F



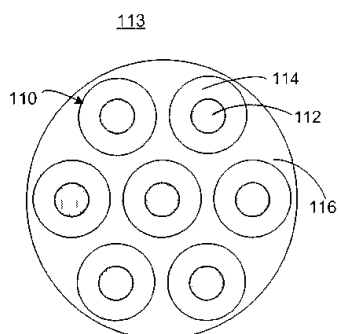
Фиг. 2А



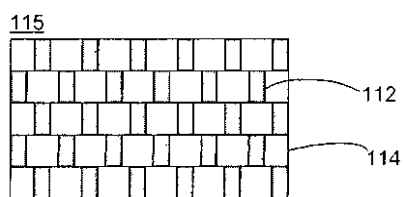
Фиг. 2В



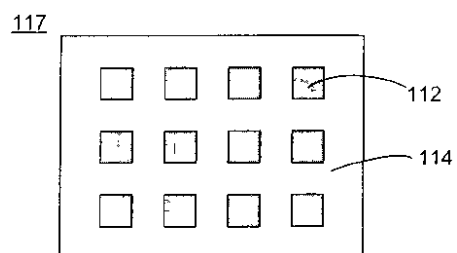
Фиг. 2С



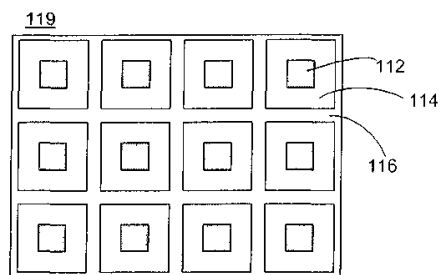
Фиг. 2D



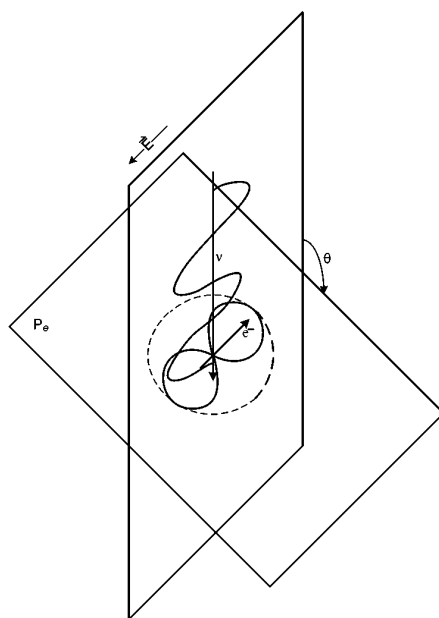
Фиг. 2Е



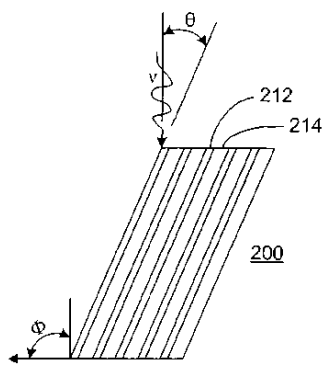
Фиг. 2F



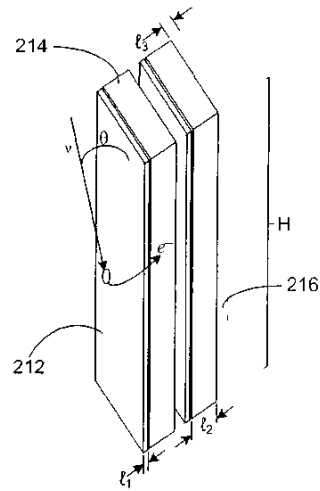
Фиг. 2G



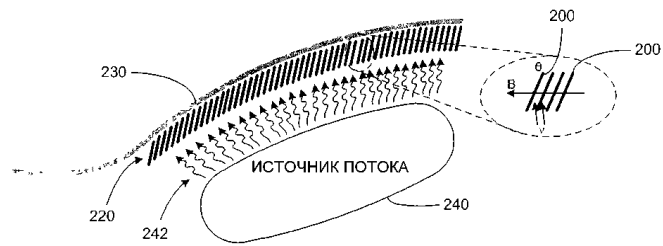
Фиг. 3



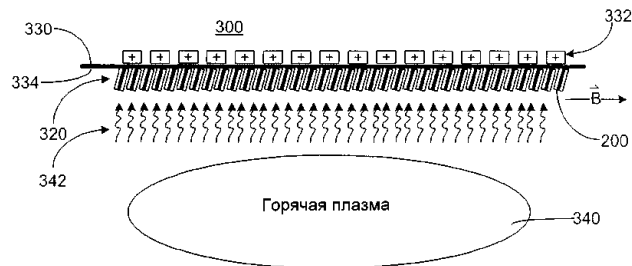
Фиг. 4A



Фиг. 4В



Фиг. 5



Фиг. 6А



Фиг. 6В



Фиг. 6С

