

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 690**

51 Int. Cl.:

H01L 31/00 (2006.01)
G21H 1/04 (2006.01)
G01T 1/28 (2006.01)
G21H 1/06 (2006.01)
H01L 31/115 (2006.01)
H01L 31/0725 (2012.01)
H01L 31/0352 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.01.2011 PCT/US2011/020001**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.07.2011 WO11084903**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.01.2011 E 11732017 (6)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 2522033**

54 Título: **Conversión de fotones de alta energía en electricidad**

30 Prioridad:

08.01.2010 US 293282 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

26.03.2019

73 Titular/es:

**TAE TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
19631 Pauling
Foothill Ranch, CA 92610, US**

72 Inventor/es:

**TAJIMA, TOSHIKI y
BINDERBAUER, MICHL**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 705 690 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Conversión de fotones de alta energía en electricidad.

5 **Campo técnico**

Las formas de realización descritas en la presente memoria se refieren, en general, a la conversión de energía fotónica y, más particularmente, a sistemas y procedimientos que facilitan la conversión de energía de fotones de alta energía en electricidad.

10

Antecedentes de la técnica

Existen muchos dispositivos ampliamente conocidos que convierten la energía de fotones dentro de la banda óptica, en electricidad, tales como, por ejemplo, células fotovoltaicas ("células solares"). Estos dispositivos están constituidos, en general, por al menos dos materiales (concretamente, semiconductores basados en silicio) con diferentes propiedades físicas, tales como diferentes afinidades electrónicas (véase *The Physics of Solar Cells*, 1ª Edición, Wiley-VCH (2004), de P. Würfel). Cuando uno de los materiales se ilumina con luz solar, los fotones solares excitan fotoelectrones de una banda de valencia hacia una banda de conducción, lo cual genera movilidad eléctrica. La banda prohibida entre las bandas de valencia y de conducción es, típicamente, del orden de un electrón-voltio, que es similar a la energía de los fotones solares incidentes. La disposición de dos materiales con afinidades electrónicas diferentes da origen a un voltaje eléctrico a través de los límites de los materiales, el cual se puede derivar para obtener energía eléctrica.

15

20

25

30

35

No obstante, no existen dispositivos conocidos para la conversión, en electricidad, de energía de fotones que estén actuando en el régimen de fotones de alta energía, tales como, por ejemplo, los rayos XUV, X y gamma. Dichos dispositivos se podrían usar en una amplia variedad de aplicaciones – por ejemplo, dichos dispositivos se podrían usar como convertidores de energía para la conversión de fotones de alta energía emitidos por materiales radioactivos, tales como, por ejemplo, barras de combustible de fisión gastadas, emitidos desde fuentes de detonación, tales como, por ejemplo, explosivos, y emitidos desde plasmas de alta temperatura y haces de partículas aceleradas, y como dispositivos en aplicaciones espaciales en calidad de fuentes de alimentación, blindajes, y similares. Las dificultades en la obtención de dichos dispositivos surgen por la gran penetrabilidad de los fotones de alta energía a través de la materia, lo cual es consecuencia de una interacción mucho menor de dichos fotones con la materia en comparación con la luz visible, y por el hecho de que, para la mayoría de los materiales, el recorrido libre medio de los electrones es, típicamente, muchos órdenes de magnitud menor que el recorrido libre medio de los fotones de alta energía. Como consecuencia de esta disparidad en los recorridos libres medios, los electrones emitidos desde un material usado para atrapar los fotones de alta energía tienden a sucumbir a una recombinación mientras que su energía se convierte en calor dentro del material que atrapa los fotones de alta energía.

40

De este modo, es deseable proporcionar sistemas y procedimientos que faciliten la conversión de energía de fotones de alta energía en electricidad.

45

50

55

60

65

El documento US2003019517-A1 da a conocer un aparato y un procedimiento para producción de energía solar, que comprende una estructura multicapa de estado sólido que incluye una capa fotosensible, un conductor delgado, una capa de separación de cargas, y un conductor óhmico trasero, en donde se produce absorción de luz en una capa fotosensible y los portadores de carga generados de esta manera son transportados a través del conductor delgado cruzando la barrera energética de potencial adyacente. El voltaje en circuito abierto de la célula solar se puede manipular escogiendo de entre una amplia selección de materiales que constituyen el conductor delgado, la capa de separación de cargas y la capa óhmica trasera. El documento US5111099 da a conocer un aparato y un procedimiento para convertir energía radioactiva en energía eléctrica, incluyendo el aparato una cubierta protectora radioactiva exterior y una fuente de combustible radioactivo situado dentro de la cubierta. En su forma de realización preferida, se proporcionan tres campos magnéticos mutuamente perpendiculares para separar partículas alfa y beta emitidas desde la fuente de combustible radioactivo y para dirigir las partículas alfa a una primera región predeterminada de la cubierta mientras que las partículas beta se dirigen a una segunda región predeterminada. Adyacente a la primera región se sitúa un colector de partículas alfa para recoger las partículas alfa dirigidas a esa región, mientras que, en la segunda región, se sitúa un colector de partículas beta para recoger partículas beta dirigidas a la misma. Se proporciona una estructura para permitir la extracción de subproductos gaseosos de dentro de la cubierta, y se proporcionan conductores de salida para utilizar las partículas alfa y beta recogidas con el fin de crear corriente eléctrica. El documento US2004163942-A1 da a conocer una pluralidad de placas metálicas dispuestas de manera alterna para que la superficie principal de una de las placas metálicas quede encarada a la superficie principal de la adyacente de las placas metálicas. Las placas metálicas se clasifican en dos tipos de placas con grosores diferentes. A continuación, haces de energía se irradian perpendicularmente sobre las superficies principales de las placas metálicas, para generar una energía eléctrica por interacciones entre los haces de energía y las placas metálicas. El documento JPS63182870 da a conocer un elemento laminado de detección de radiación.

Sumario

La presente solicitud proporciona un sistema convertidor de energía para convertir emisiones de fotones de alta energía en energía eléctrica de acuerdo con las reivindicaciones que se ofrecen posteriormente.

5 Los sistemas y procedimientos descritos en la presente memoria se pueden utilizar en una amplia variedad de aplicaciones – desde la detección y absorción de energía, a la conversión de energía de fotones de alta energía en aceleradores de partículas y provenientes de otras materias extremadamente calientes (tales como plasmas de alta temperatura) y/o fuentes de detonación que emiten numerosos fotones de alta energía (tales como explosivos), la captura de energía de emisiones de residuos nucleares radioactivos (tales como barras de combustible de fisión gastadas), y aplicaciones espaciales (tales como fuentes de alimentación, blindajes, y similares), así como otras aplicaciones fácilmente reconocibles por el experto en la materia.

15 Para un experto en la materia, tras examinar las figuras y la descripción detallada sucesivas, resultarán evidentes, o llegarán a serlo, otros sistemas, procedimientos, características y ventajas de las formas de realización ejemplificativas.

Breve descripción de las figuras

20 Los detalles de las formas de realización ejemplificativas, incluyendo la estructura y el funcionamiento, se pueden deducir en parte al estudiar las figuras adjuntas, en las cuales los numerales de referencia iguales se refieren a las mismas partes. Los componentes de las figuras no se representan necesariamente a escala, poniéndose énfasis, en cambio, en la ilustración de los fundamentos de la invención. Por otra parte, todas las ilustraciones están destinadas a comunicar conceptos, y, en las mismas, los tamaños relativos, las formas y otros atributos detallados se pueden ilustrar esquemáticamente más que de manera literal o precisa.

La figura 1A es un esquema de un elemento convertidor de fotones de alta energía, de escala nanométrica y estratificado linealmente.

30 La figura 1B es un esquema de un elemento convertidor alternativo de fotones de alta energía, de escala nanométrica y estratificado linealmente.

La figura 1C es un esquema de un convertidor de fotones de alta energía que comprende una matriz de elementos convertidores de escala nanométrica y estratificados linealmente, mostrados en la figura 1A.

35 La figura 1D es un esquema de un convertidor de fotones de alta energía que comprende una matriz de elementos convertidores de escala nanométrica y estratificados linealmente, mostrados en la figura 1B.

40 La figura 1E es un esquema de un circuito convertidor de fotones de alta energía.

La figura 1F es un esquema de un circuito convertidor de fotones de alta energía, alternativo, acoplado a un circuito externo que comprende una carga.

45 La figura 2A es una vista en perspectiva de un elemento convertidor de fotones de alta energía, de escala nanométrica, y estratificado cilíndricamente.

La figura 2B es una vista en perspectiva de un elemento convertidor alternativo de fotones de alta energía, de escala nanométrica y estratificado cilíndricamente.

50 La figura 2C es una vista en perspectiva de un convertidor de fotones de alta energía que comprende una matriz de elementos convertidores de escala nanométrica, estratificados cilíndricamente, mostrados en la figura 2A.

55 La figura 2D es una vista frontal de un convertidor de fotones de alta energía que comprende una matriz de elementos convertidores de escala nanométrica y estratificados cilíndricamente mostrados en la figura 2B.

Las figuras 2E, 2F y 2G son vistas frontales de convertidores de fotones de alta energía con configuraciones geométricas alternativas.

60 La figura 3 es un diagrama que ilustra las características de propagación de fotones incidentes de alta energía ν y las características de migración de electrones e^- que son expulsados desde sus átomos en una capa de material por los fotones incidentes de alta energía ν .

65 La figura 4A es un esquema de una losa de convertidor que comprende una pluralidad de capas apiladas linealmente.

La figura 4B es una vista en perspectiva de una losa de convertidor que comprende una pluralidad de capas apiladas linealmente.

5 La figura 5 es un esquema que muestra un conjunto de las losas representadas en las figuras 4A y 4B, dispuestas según una superficie conformable que intercepta y es sustancialmente perpendicular a un flujo de fotones emitido desde una fuente de flujo de fotones.

10 Las figuras 6A, 6B y 6C son esquemas que muestran un conjunto de las losas representadas en las figuras 4A y 4B, dispuestas según superficies conformables que interceptan y son sustancialmente perpendiculares a flujos de fotones emitidos desde fuentes de flujo de fotones.

15 Debe apreciarse que los elementos de estructuras o funciones similares se representan en general con números de referencia equivalentes con fines ilustrativos en todas las figuras. Debe apreciarse también que las figuras únicamente están destinadas a facilitar la descripción de las formas de realización preferidas.

Descripción detallada

20 Cada una de las características y enseñanzas adicionales que se dan a conocer a continuación se pueden utilizar por separado o en combinación con otras características y enseñanzas para producir sistemas y procedimientos con el fin de facilitar la conversión de energía de fotones de alta energía en electricidad. A continuación se describirán, con mayor detalle y haciendo referencia a los dibujos adjuntos, ejemplos representativos de la presente invención, utilizando dichos ejemplos muchas de estas características y enseñanzas adicionales tanto por separado como combinadas. Esta descripción detallada está destinada, únicamente, a mostrar a un experto en la materia detalles adicionales para poner en práctica aspectos preferidos de las presentes enseñanzas, y no está destinada a limitar el alcance de la invención. Por lo tanto, puede que las combinaciones de características y etapas que se dan a conocer en la siguiente descripción detallada no sean necesarias para poner en práctica la práctica la invención en el sentido más amplio, y las mismas se muestran, en cambio, únicamente para describir en particular ejemplos representativos de las presentes enseñanzas.

30 Por otra parte, las diversas características de los ejemplos representativos y las reivindicaciones dependientes se pueden combinar de maneras que no se enumeran de forma específica y explícita con el fin de proporcionar formas de realización útiles adicionales de las presentes enseñanzas. Además, cabe indicar expresamente que todas las características dadas a conocer en la descripción y/o las reivindicaciones están destinadas a darse a conocer por separado y de manera mutuamente independiente para su exposición original, así como para restringir la materia en cuestión reivindicada con independencia de las composiciones de las características en las formas de realización y/o las reivindicaciones. Cabe indicar, también expresamente, que todos los intervalos de valores o indicaciones de grupos de entidades dan a conocer cada valor intermedio o entidad intermedia posible para su exposición original, así como para restringir la materia en cuestión reivindicada.

40 Las formas de realización descritas en la presente memoria se centran en la conversión de energía de fotones de alta energía (tales como, por ejemplo, fotones con energía preferentemente del orden de aproximadamente 100 eV o mayor) en electricidad. El fundamento que subyace tras las formas de realización se basa en la expulsión de electrones desde un átomo (incluyendo la expulsión de electrones de capas internas asentados a nivel profundo desde un átomo de materiales con un elevado número atómico (Z alto)) por fotones de alta energía. Los electrones expulsados llevan energía cinética, lo cual puede derivar en la migración de los electrones expulsados hacia regiones diferentes de un dispositivo en donde la acumulación de los electrones expulsados puede crear un potencial eléctrico que se puede derivar para excitar un circuito eléctrico externo. El espectro fotónico de interés incluye fotones, preferentemente, en la banda no visible que incluyen, aunque sin carácter limitativo, rayos XUV, rayos X, rayos gamma y similares. La energía de dichos fotones es órdenes de magnitud mayor que la energía de fotones en la banda visible y, por tanto, el margen para la termalización es mucho mayor (el coeficiente de Carnot teórico es prácticamente la unidad). Debido a la alta energía de los fotones incidentes, generalmente 100 eV o mayor, los sistemas y procedimientos descritos en la presente memoria tienen una capacidad de conversión energética con una eficiencia extraordinariamente alta, en comparación con otros convertidores de energía convencionales de fotones, tales como dispositivos fotoeléctricos (por ejemplo, células solares), o dispositivos basados en el efecto termoeléctrico (por ejemplo, efectos Seebeck).

50 Tal como se describe con mayor detalle a continuación, los sistemas y procedimientos usados para aprovechar esta ganancia potencialmente alta canalizan de manera eficaz las energías de los fotones de alta energía hacia una forma adecuada de energía eléctrica, la cual, a continuación, se puede derivar para excitar un circuito externo, y, de este modo, cubrir una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo aquellas en la que hay presencia de fuertes campos magnéticos (tales que la dinámica de los electrones está caracterizada por el movimiento de giro a través de los campos magnéticos). Como consecuencia, los sistemas y procedimientos descritos en la presente memoria se pueden utilizar en una amplia variedad de aplicaciones – desde la detección y la absorción de energía, a la conversión energética de fotones de alta energía en aceleradores de partículas, la conversión energética directa de fotones de alta energía provenientes de otras materias extremadamente calientes (tales como plasmas de alta temperatura) y/o de fuentes de detonación que emiten numerosos fotones

de alta energía (tales como explosivos), la captura de energía de emisiones de residuos nucleares radioactivos (tales como barras de combustible de fisión gastadas), y aplicaciones espaciales (tales como fuentes de alimentación, blindajes, y similares), así como otras aplicaciones fácilmente reconocibles para un experto en la materia.

5

Los sistemas y procedimientos proporcionados en la presente memoria utilizan una serie de capas de materiales con diferentes cargas atómicas para sacar provecho de la emisión de una multitud considerable de electrones por un único fotón de alta energía a través de una cascada de emisiones de electrones Auger. En una forma de realización, un convertidor de fotones de alta energía incluye, preferentemente, una oblea de escala nanométrica, estratificada linealmente, constituida por una primera pluralidad de capas de materiales para absorber fotones de alta energía y emitir electrones en combinación con una segunda polaridad de capas de otros materiales para absorber o captar electrones emitidos desde la primera pluralidad de capas. Los materiales de la segunda pluralidad de capas tienen un número de carga atómica que difiere con respecto a los números de carga atómica de los materiales de la primera pluralidad de capas. En otra forma de realización, las capas de escala nanométrica están configuradas con una configuración tubular o de tipo por cubiertas. Las capas nanométricas facilitan la segregación de fotoelectrones de átomos dadores. Utilizando estas estructuras, el convertidor resultante puede reducir el flujo de energía incidente sobre materiales que, de otro modo, estarían expuestos directamente a fotones de alta energía, reduciendo así el nivel de calentamiento de estos materiales, y también se puede paliar el deterioro de los materiales que, si no, quedan sujetos a daños importantes por irradiación de fotones de alta energía.

10

15

20

25

30

Haciendo referencia de nuevo a las figuras con mayor detalle, se ilustran sistemas y procedimientos para la conversión energética de fotones de alta energía en electricidad con una alta eficiencia. A efectos de la descripción anterior, se supone que el dispositivo o dispositivos convertidores están sumergidos en fuertes campos magnéticos que pueden tener un impacto decisivo en las órbitas electrónicas. No obstante, tal como resultará evidente a continuación, en las escalas de longitud características del dispositivo, las propiedades de las órbitas electrónicas se ven afectadas mínimamente por los campos magnéticos (con intensidades que son alcanzables en la práctica), de manera que las formas de realización son aplicables igualmente a aplicaciones en las que hay una presencia pequeña o nula de campos magnéticos, tales como, por ejemplo, aplicaciones con barras de combustible de fisión gastadas.

35

40

45

Haciendo referencia a las figuras 1A a 1F, se muestran formas de realización de un convertidor de energía fotónica que tiene una estructura lineal. Tal como se representa en la figura 1A, la pieza fundamental más básica o elemento convertidor 10 de un convertidor de energía fotónica que tiene una estructura lineal está compuesta por una primera capa 12 de material de tipo A que tiene un primer número atómico Z_1 y que comprende, preferentemente, un componente de alto número atómico, tal como, por ejemplo, un metal u óxido metálico refractario. La primera capa 12 está interpuesta, preferentemente, entre dos capas 14 de material de tipo B que tienen un segundo número atómico Z_2 diferente del número atómico de la primera capa 12 de material de tipo A, y que comprenden, preferentemente, un metal que, de manera típica, se caracteriza preferentemente por un número atómico inferior al número atómico de la primera capa 12 de material de tipo A (es decir, $Z_2 < Z_1$). Tal como se representa en la figura 1B, la pieza fundamental básica 10 se puede mejorar opcionalmente, con la adición de una capa aislante 16 de material de tipo C. Un conjunto ejemplificativo de materiales de tipo A, B y C puede incluir, aunque sin carácter limitativo: A = tungsteno (W), B = aluminio (Al), C = un aislante tal como SiO₂. Alternativamente, la capa aislante podría ser, simplemente, helio de flujo libre que también puede actuar como refrigerante. No obstante, un experto en la materia reconocerá fácilmente que se pueden utilizar como sustitutos otros materiales de acuerdo con la presente invención.

50

55

En formas de realización preferidas representadas en las figuras 1C y 1D, los convertidores 11 y 13 incluyen una serie o una matriz de las piezas fundamentales básicas apiladas lateralmente lado con lado (es decir, cara con cara) hasta que la longitud del recorrido fotónico total máximo y teórico realizado por el fotón en todas las capas 12 de tipo A es comparable o superior al recorrido libre medio de los fotones de alta energía ν que serán absorbidos por el material de tipo A. Tal como se representa en las figuras 1C y 1D, una o más capas 14 de material de tipo B se interponen con capas adyacentes 12 de material de tipo A, y, opcionalmente, una capa 16 de material aislante de tipo C se interpone con capas adyacentes 14 de material de tipo B.

60

65

El apilamiento de las piezas fundamentales o elementos convertidores 10, lado con lado, proporciona una geometría para la estructura total, que resulta muy adecuada para aceptar eficazmente las emisiones de electrones provocadas por los fotones de alta energía ν absorbidos en el material de tipo A. Puesto que la polarización de los fotones \vec{E} , según se representa en la figura 3, es perpendicular a la dirección de propagación del fotón ν , la dirección del electrón expulsado \vec{e}^- se encuentra principalmente en un plano P_e (con una distribución angular que decae adecuadamente en alejamiento con respecto a ese plano, aunque presentando un pico en ese plano) perpendicular a la dirección de la propagación de los fotones ν (aunque dicho plano contiene la polarización de los fotones ν). Tal como se representa en las figuras 1A y 1B, las capas 12 y 14 de los elementos convertidores 10 están apiladas lado con lado en una dirección tal que el vector normal a las superficies de límite entre capas es, en general, ortogonal a la dirección de la propagación de los fotones ν . En una configuración preferida que se describe posteriormente, las superficies del límite entre capas se pueden

alinearse en un ángulo rasante (pequeño) con la dirección de propagación del fotón incidente de alta energía ν . Como consecuencia, los electrones e^- que son expulsados dentro de las capas 12 del material de tipo A desde sus átomos por los fotones incidentes de alta energía ν pueden migrar de manera general ortogonalmente hacia las capas vecinas 14 de material de tipo B.

Resulta esencial para los fundamentos de cada una de las formas de realización, y de cualquier variante de las mismas, el requisito de que los fotoelectrones emitidos e^- no queden atrapados y/o absorbidos en la capa 12 de material de tipo A, sino que, más bien, queden absorbidos en la capa 14 de material de tipo B. Para garantizar que los electrones expulsados e^- no quedan atrapados dentro de la capa 12 de material de tipo A y aumentar la probabilidad de que los electrones expulsados e^- escapen o migren desde la capa 12 de material de tipo A hacia una capa 14 de material de tipo B, el grosor, ℓ_1 , de cada capa 12 de material de tipo A es preferentemente menor que la longitud del recorrido libre medio de electrones en dicho material de tipo A, o del orden de dicha longitud. El grosor, ℓ_2 , de cada capa 14 de material de tipo B es, preferentemente, mayor que la longitud del recorrido libre medio de electrones en el material de tipo B, o del orden de dicha longitud. Preferentemente, la disposición nanométrica de las capas de estas formas de realización refleja los principios físicos intrínsecos de que el recorrido libre medio de los electrones en el material de tipo A, $\ell_e(Z_1)$, no sea demasiado diferente del recorrido libre medio de los electrones en el material de tipo B, $\ell_e(Z_2)$, aunque, al mismo tiempo, el recorrido libre medio de los fotones en el material de tipo A es mucho menor que su recorrido libre medio en el material de tipo B, es decir, $\ell_p(Z_1) \ll \ell_p(Z_2)$.

Por ejemplo, para fotones incidentes de 100 keV, las dimensiones típicas del grosor de las capas para estos sistemas incluyen ℓ_1 para el material de tipo A igual a aproximadamente 1 nm y ℓ_2 para el material de tipo B igual a aproximadamente 100 nm, ajustándose ℓ_3 para el material de tipo C opcional con el fin de evitar la formación de arcos entre capas vecinas cuando sea necesario. Para campos magnéticos B de hasta 10 T, estas dimensiones son menores que el radio del Larmor ρ_e de los electrones. Por lo tanto, en estas escalas de longitud, los electrones no están magnetizados, sino que su dinámica se encuentra, principalmente, en el régimen colisional. Como consecuencia, los elementos convertidores 10 ó los convertidores 11 y 13 descritos anteriormente son también aplicables a aplicaciones en las que hay ausencia de campos magnéticos o los mismos son insignificadamente pequeños.

La migración hacia las capas vecinas 14 de material de tipo B, de electrones e^- expulsados desde átomos dentro de las capas 12 de material de tipo A por los fotones incidentes de alta energía ν , conduce a una acumulación de carga y, finalmente, genera un potencial entre las capas 12 y 14 de material de tipo A y B. En referencia a las figuras 1E y 1F, todas las capas 12 y 14 de tipo A y de tipo B están conectadas a circuitos de tal manera que cada capa 12 de tipo A y cada capa 14 de tipo B actúa como un electrodo individual. Tal como se pondrá fácilmente de manifiesto para un experto en la materia, existe un número prácticamente infinito de opciones y alternativas para conectar las capas o agrupamientos de capas al estilo en paralelo o en serie. Como consecuencia, la disposición óptima de dicha circuitería es determinable, de manera ventajosa, según la aplicación. Por ejemplo, capas individuales 12 y 14 se pueden conectar de una manera por la cual cada capa 12 de material de tipo A se conecte a una de las capas más próximas 14 de material de tipo B según se representa en la figura 1E, o cada capa 12 de material de tipo A se puede conectar a una de las capas más próximas 14 de material de tipo B que está separada de ella por una capa aislante 16 de material de tipo C según se representa en la figura 1F. En estas configuraciones, las capas acopladas eléctricamente forman de manera eficaz nanobaterías, y la diferencia de potencial eléctrico formada espontáneamente es del orden de la energía cinética de los electrones migrantes. El voltaje total disponible para excitar una carga es igual al voltaje de una pila individual 15 de nanobaterías o de la suma de la serie de pilas 17 y 19 de nanobaterías. Tal como se representa en la figura 1F, un circuito externo 20 que comprende una carga 22 está acoplado a las pilas 17 y 19 de nanobaterías, que se representan como acopladas en serie aunque se podrían acoplar en paralelo. La carga 22 puede comprender un sistema o componente excitable eléctricamente, un sistema de almacenamiento de energía, una red eléctrica o similares.

Alternativamente, ajustando la resistencia de carga del circuito entre las capas electrónicas 12 y 14, el voltaje en régimen estable se puede controlar externamente y el grosor de la capa aislante 16 se puede dimensionar de forma correspondiente.

En otra forma de realización, la pieza fundamental básica incluye una configuración cilíndrica de cubiertas o tubos. Tal como se ilustra en la figura 2A, un elemento convertidor cilíndrico 110 comprende un núcleo cilíndrico 112 de material de tipo A rodeado por un tubo o cubierta cilíndrico 114 de material de tipo B. Tal como se representa en la figura 2B, de nuevo es posible rodear opcionalmente cada cubierta 114 de material de tipo B con una cubierta aislante 116 de material de tipo C. En esta configuración cilíndrica, se aplican las mismas reglas dimensionales a los diversos grosores, es decir, el radio de los núcleos cilíndricos 112 de material de tipo A es inferior a o del orden de aproximadamente la mitad del recorrido libre medio de los electrones en el material de tipo A, aproximadamente $\ell_e(Z_1)/2$, mientras que el grosor de la cubierta 114 de material de tipo B es del orden del recorrido libre medio de los electrones en el material B, aproximadamente $\ell_e(Z_2)$.

La ventaja de la disposición cilíndrica de tubos o cubiertas del elemento convertidor 110 es la mayor eficiencia

que obtiene en la captura de los electrones emitidos ya que los mismos se emiten con una probabilidad igual sobre un azimut completo de 360° . Tal como se representa en la figura 3 y según se ha descrito anteriormente, los electrones e^- son expulsados en una dirección principalmente en un plano P_e (con una distribución angular que decae adecuadamente en alejamiento con respecto a ese plano, pero que presenta un pico en el mismo) perpendicular a la dirección de propagación del fotón ν y paralelo a la polarización (\vec{E}) de los fotones. En función del ángulo de polarización del fotón, el electrón expulsado e^- se puede dirigir a cualquier lugar sobre el azimut de 360° y, en tal caso, la disposición cilíndrica de la célula lleva a una mayor captura de electrones en el material de tipo B y, efectivamente, una mayor eficiencia de captura de electrones en comparación con las configuraciones lineales representadas en la figura 1A a 1F.

De manera similar al convertidor de geometría lineal antes descrito, las piezas fundamentales cilíndricas 110 se agrupan para formar estructuras acumuladas que se adaptan a las mismas limitaciones físicas de tamaño que el convertidor de geometría lineal. Como ejemplo, en la figura 2C se representa una disposición 111 de apilamiento en particular. Alternativamente, tal como se representa en la figura 2D, en otra disposición 113 de apilamiento, un material aislante 116 puede rellenar los espacios vacíos entre elementos convertidores o células 110 adyacentes. Dicho espacio vacío también puede servir como conducto para refrigerantes de gas circulante, tales como helio comprimido. Esto constituye unos medios eficaces de refrigeración debido a que la absorción fotónica por parte del He es despreciable sobre las energías fotónicas de interés. Nuevamente, las conexiones eléctricas son similares a las configuraciones de geometría lineal y, del mismo modo, aportan muchas opciones diferentes en la conexión de las capas o cubiertas 112 y 114 de las piezas fundamentales 110.

En las figuras 2E, 2F y 2G se representan unas configuraciones geométricas alternativas. La figura 2E muestra una disposición estratificada, en apilamiento, lineal y al tresbolillo en la cual capas 112 de material de tipo A están desplazadas para posicionarse adyacentes a capas 114 de material de tipo B. La figura 2F muestra una pluralidad de núcleos 112 de material de tipo A rodeado por material de tipo B que llena los espacios vacíos 114 entre los núcleos 112. Aunque se muestran con forma cuadrada, los núcleos 112 podrían ser circulares, ovalados o similares. La figura 2G es similar a la configuración de la figura 2D con la excepción de que el núcleo 112 y la capa 114 de cubierta tienen forma cuadrada. En estos casos, el dimensionamiento de los elementos 112, 114 y 116 se ajusta a las mismas restricciones descritas en las figuras 1A a 1C y las figuras 2A a 2D. La dinámica de los electrones en los bordes de los cuadrados es diferente, pero, aparte de estos efectos de borde, las otras propiedades físicas son, en general, similares a los casos cilíndricos.

La pieza fundamental básica en cualquiera de las geometrías, que, según se ha descrito anteriormente, está compuesta por hasta tres tipos de materiales, es adecuada para generar espontáneamente separación de electrones desde el sitio original de los átomos dadores, que se han ionizado con fotones de alta energía. Esto, a su vez, da origen a la generación de voltajes eléctricos entre las capas y/o a través del aislador opcional. Tal como se ha descrito anteriormente, una disposición de este tipo se puede conectar eléctricamente a un circuito para materializar un trabajo eléctrico o transmitir energía desde el convertidor. Como variante adicional, debe indicarse que, entre estas capas, también se puede aplicar un voltaje externo (voltaje de polarización), lo cual proporciona un control adicional sobre las propiedades eléctricas y minimiza el potencial de formación de arcos a través de cualquiera de las capas.

Haciendo referencia a las figuras 4A y 4B, para aumentar al máximo el área superficial expuesta a la radiación con el fin de garantizar que el fotón incidente de alta energía ν es capturado por una capa 212 de material de tipo A y no pasa simplemente a través de una capa 214 de material de tipo B, las capas apiladas 212 y 214 de materiales de tipo A y B, y la capa opcional 216 de material aislante de tipo C, de una losa o célula convertidora 200 están inclinadas, preferentemente, con un ángulo θ rasante (pequeño) con respecto a la dirección de propagación del fotón incidente de alta energía ν , que, por ejemplo, puede ser del orden de aproximadamente $1/100$ radianes. La inclinación de la losa de convertidor 200 también garantiza una refrigeración adecuada del material de tipo A bombardeado, y reduce al mínimo el grosor de cada capa individual 212 de material de tipo A (con respecto al recorrido libre medio de electrones) así como el grosor efectivo total de todas las capas 212 de material de tipo A en el conjunto de convertidor completo. La inclinación de la losa de convertidor 200 con un ángulo rasante también provoca que los electrones sean expulsados predominantemente de manera perpendicular a la superficie del material de tipo A. También reduce el número necesario de capas repetidas por losa 200 en un factor de aproximadamente $1/\theta$, en la medida en la que la distancia de transmisión en el material de tipo A se ve potenciada por el mismo factor con respecto al caso en el que el ángulo de orientación Φ de la superficie de losa 200 se ajuste de manera que sea normal a la dirección de propagación del fotón incidente de alta energía ν . También hace que aumente al máximo el escape de electrones hacia la capa adyacente de material de tipo B.

En una forma de realización alternativa, la losa de convertidor 200 representada en las figuras 4A y 4B comprende una pluralidad de elementos convertidores cilíndricos 110 (mostrados en las figuras 2A y 2B) apilados lado con lado e inclinados con un ángulo rasante θ .

Haciendo referencia a la figura 4B, con el fin de absorber eficazmente la mayoría de los fotones de alta energía con una energía del orden de aproximadamente 100 keV, es necesario que la altura H del dispositivo se amplíe a

órdenes de longitud de aproximadamente un centímetro (1 cm) en la dirección general de la propagación predominante de los fotones. Esto es debido al deseo de interceptar el flujo completo de fotones con material de tipo A con un suficiente grosor total en la dirección de propagación de los fotones. Puesto que el grosor de cada capa de material de tipo B es, típicamente, mucho mayor que el grosor de cada capa de material de tipo A ($\ell_1 \ll \ell_2$), la altura total H del apilamiento completo de piezas fundamentales proyectada sobre la dirección del flujo de fotones tiene que ser mucho mayor que el recorrido libre medio de los fotones particulares en el material de tipo A para garantizar que los fotones de alta energía se encuentran con material de tipo A sobre una distancia total mayor que su recorrido libre medio en dicho material. Por lo tanto, la altura del apilamiento completo de piezas fundamentales debe superar el recorrido libre medio de los fotones en el material de tipo A en un factor de por lo menos ℓ_2/ℓ_1 ó, en el caso de inclusión de la capa aislante, en un factor de por lo menos $(\ell_3 + \ell_2)/\ell_1$.

Tal como se ha mencionado anteriormente, la disposición total proporciona también una refrigeración eficaz de los materiales del convertidor cuando los mismos son calentados por la absorción de fotones así como por el subsiguiente calentamiento de los electrones. La refrigeración se facilita gracias a que el área superficial total en la presente forma de realización, según se representa en la figura 4A, está ampliada en comparación con una disposición simple de estratificación de los apilamientos con un ángulo de orientación Φ perpendicular a la dirección del flujo incidente de fotones en un factor de $1/\theta$. También es posible hacer fluir refrigerante de gas comprimido a través de tubos incorporados en la estructura o simplemente conectar los apilamientos a sumideros de calor. Un experto en la materia reconocerá fácilmente que puede haber muchas otras maneras de mejorar la refrigeración, y que la aplicación específica dictaminará implementaciones particulares.

Un conjunto 220 de las losas de convertidor 200, según se representa en la figura 5, se puede disponer según una superficie conformable 230 que intercepta y es sustancialmente perpendicular al flujo fotónico 242 emitido desde una fuente dada de flujo de fotones 240. Esta configuración aporta flexibilidad y adaptabilidad a un amplio espectro de aplicaciones que podrían requerir (o beneficiarse de) la generación de energía a partir del flujo de fotones emitido.

En las figuras 6A, 6B y 6C se representan otros ejemplos de geometrías globales de aplicaciones típicas. La figura 6A muestra un sistema de confinamiento de plasma 300 que incluye una cámara cilíndrica 330 que tiene una superficie 334 que intercepta y es sustancialmente perpendicular a un flujo de fotones 342 emitido desde una fuente 340 de flujo de fotones mostrada en forma de plasma caliente. El sistema de confinamiento 300 comprende, además, un generador de campos magnéticos 332 posicionado a lo largo de la cámara cilíndrica 330 y una matriz 332 de losas de convertidor 200 fijadas a lo largo de la superficie 334 de la cámara 330. Cada una de las losas está orientada en ángulo rasante con respecto a la dirección de propagación de los fotones incidentes de alta energía ν del flujo de fotones 342. La figura 6B representa un sistema de confinamiento 400 que incluye un recipiente cilíndrico 430 que tiene una superficie 434 que intercepta y es sustancialmente perpendicular a un flujo de fotones 442 emitido desde una fuente 440 de flujo de fotones mostrada en forma de plasma caliente o barras de combustible de fisión gastadas. El sistema de confinamiento 400 comprende, además, una matriz 432 de losas de convertidor 200 fijadas sobre la superficie 434 del recipiente 430. Cada una de las losas está orientada en ángulo rasante con respecto a la dirección de propagación de los fotones incidentes de alta energía ν del flujo de fotones 442. La figura 6C muestra un sistema de aceleración de partículas 500 que incluye un tubo cilíndrico 530 que tiene una superficie 534 que intercepta y es sustancialmente perpendicular a un flujo de fotones 542 emitido desde una superficie 540 de flujo de fotones mostrada en forma de un haz de partículas aceleradas. El sistema de acelerador 500 comprende, además, un generador de campos magnéticos 532 posicionado a lo largo del tubo cilíndrico 530 y una matriz 532 de losas de convertidor 200 fijadas a lo largo de la superficie 534 del tubo 530. Cada una de las losas está orientada en ángulo rasante con respecto a la dirección de propagación de los fotones incidentes de alta energía ν del flujo de fotones 542.

En todos los casos, los fotones emitidos de alta energía se encuentran con material de tipo A sobre una distancia total mayor que su recorrido libre medio en dicho material A. Esto garantiza su absorción correcta por parte de átomos dentro de las capas de tipo A y, finalmente, una conversión amplificada de la corriente fotónica en corriente de electrones. Rodeando el volumen emisor de flujo, el material de tipo A cubre densamente todas las áreas superficiales expuestas al flujo de fotones de alta energía, aunque, al mismo tiempo, permitiendo conexiones de refrigeración eléctricas.

Debe indicarse que, de acuerdo con las formas de realización proporcionadas en la presente memoria, desde un átomo particular en el material de tipo A se emiten múltiples electrones debido a la absorción de fotones de alta energía. Esto es debido a que un electrón que es arrancado de un estado de cubierta interna electrónica profunda particular crea un vacío, el cual es llenado rápidamente por medio del proceso Auger, lo cual, a su vez, desencadena procesos Auger secundarios y terciarios, o una cascada de procesos. Además, la re-emisión secundaria de fotones puede desencadenar otros procesos de este tipo en átomos vecinos. Por consiguiente, en principio un fotón puede desencadenar la emisión acumulada de unos 100 electrones (y, en ocasiones, más). Por lo tanto, esta ionización múltiple proporciona un doble beneficio. En primer lugar, sirve para multiplicar la cantidad de electrones por fotón incidente original en un factor de 100 a 1,000, lo cual conduce a una elevada amplificación de la corriente. En segundo lugar, sirve para reducir las energías de los electrones de decenas de

keV a unas simples decenas de eV. De este modo, el voltaje generado es razonable en relación con riesgos de avería. Esto proporciona una conversión mejorada de energía fotónica en electricidad (su carga y corriente), aunque también minimiza el calentamiento del blanco. De echo, el sistema actúa como unos medios refrigerantes eficaces eliminando la mayor parte de la energía fotónica depositada (vía energía eléctrica) del material que se sitúa junto a la fuente de fotones, y transporta rápidamente la energía convertida llevándola a sitios alejados que no están en las proximidades de la radiación.

No obstante, las formas de realización ejemplificativas son proporcionadas en la presente memoria a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo. Por otra parte, un experto en la materia reconocerá fácilmente que sistemas similares se pueden adaptar igualmente a fotones de diferentes energías con una modificación adecuada de los parámetros.

En la anterior memoria descriptiva, la invención se ha descrito haciendo referencia a las formas de realización específicas de la misma. No obstante, resultará evidente que pueden introducirse diversas modificaciones y cambios sin apartarse del alcance de la invención, que se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema convertidor de energía para convertir las emisiones de fotones de alta energía en energía eléctrica que comprende:

5 un convertidor de energía de fotones de alta energía para convertir las emisiones de fotones de alta energía en energía eléctrica que comprende

10 una pluralidad de capas de un primer material (12, 212) que está adaptado para absorber los fotones de alta energía que presentan unas energías en el intervalo de aproximadamente 100 eV o superiores a partir de un flujo de fotones (242, 342, 442, 542), y para emitir los electrones expulsados de un átomo en la primera capa de material por un fotón de alta energía que presenta una energía en el intervalo de aproximadamente 100 eV o superior y absorbido en una capa de la pluralidad de capas de un primer material, presentando cada capa de la pluralidad de capas de un primer material un grosor a lo largo de la dirección de propagación de los electrones expulsados que es inferior a la longitud del recorrido libre medio de los electrones expulsados en el primer material, y

20 en el que la pluralidad de capas de un primer material presenta un grosor total medido a lo largo de la dirección de propagación de un fotón de alta energía que es superior a la longitud de un recorrido libre medio para el fotón de alta energía en el primer material, y

25 una pluralidad de capas de un segundo material (14, 214) que capta electrones emitidos desde la pluralidad de capas de un primer material y acoplada eléctricamente a la pluralidad de capas de un primer material, presentando cada capa de la pluralidad de capas de un segundo material un grosor superior a la longitud del recorrido libre medio en el segundo material de los electrones emitidos desde el primer material, en el que cada capa de la pluralidad de capas de un primer material interpone capas adyacentes de la pluralidad de capas de un segundo material, y en el que las capas están dispuestas de manera que la dirección de propagación de los fotones de alta energía está en un ángulo rasante con respecto a una superficie de límite entre las capas adyacentes de la pluralidad de capas de los primer y segundo materiales, y

30 una pared (230, 330, 430, 530) que rodea una fuente de flujo de fotones (240, 340, 440, 540) y que presenta una superficie que intercepta y es sustancialmente perpendicular a una dirección de propagación del flujo de fotones (242, 342, 442, 542) emitido desde la fuente de flujo de fotones, y una pluralidad de losas de convertidor (220, 320, 420, 520) que cubren la superficie de la pared, proporcionando las losas de convertidor la pluralidad de capas del primer material y la pluralidad de capas del segundo material.

40 2. Sistema según la reivindicación 1 que comprende además una pluralidad de capas de un tercer material (16, 216) acopladas cada una a una capa individual de la pluralidad de capas de un segundo material, comprendiendo el tercer material un material aislante.

3. Sistema según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de capas de los primer y segundo materiales están apiladas cara a cara.

45 4. Sistema según las reivindicaciones 1 a 3, en el que el primer material comprende un componente de número de carga atómica elevado.

5. Sistema según la reivindicación 4, en el que el número de carga atómica del segundo material difiere del número de carga atómica del primero.

50 6. Sistema según las reivindicaciones 1 a 5, en el que el número de carga atómica del segundo material es inferior al número de carga atómica del primer material.

7. Sistema según las reivindicaciones 1 a 6, en el que el primer material está configurado para absorber los fotones de alta energía que incluyen rayos X, XUV o gamma.

55 8. Sistema según la reivindicación 1 a 7, en el que la pluralidad de capas de los primer y segundo materiales está acoplada a un circuito que presenta una carga (22).

60 9. Conversor según la reivindicación 8, en el que la carga es un componente accionable eléctricamente, un sistema de almacenamiento de electricidad o una red eléctrica.

65 10. Conversor según las reivindicaciones 1 a 9, en el que la pluralidad de capas de los primer y segundo materiales es acoplable a una superficie (230, 334, 434, 534) que intercepta y es sustancialmente perpendicular a una dirección de propagación de un flujo de fotones (242, 342, 442, 542) emitido desde una fuente de flujo de fotones (240, 340, 440, 540), y en el que cada capa de la pluralidad de capas de los primer y segundo materiales está orientada en un ángulo rasante con respecto a la dirección de propagación del flujo de fotones.

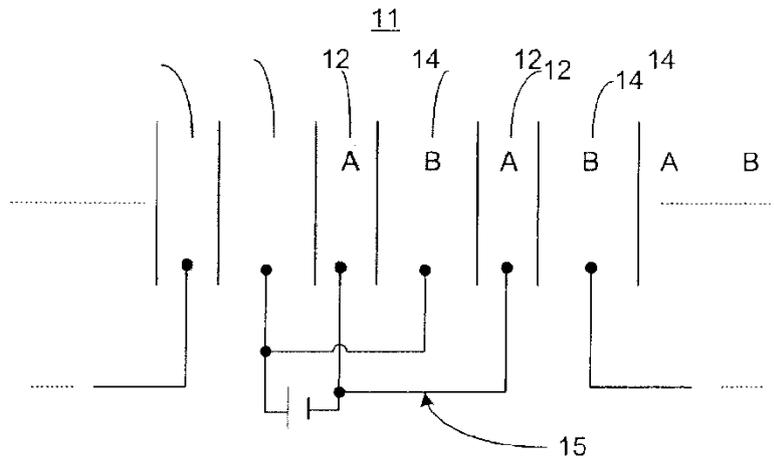


FIGURA 1E

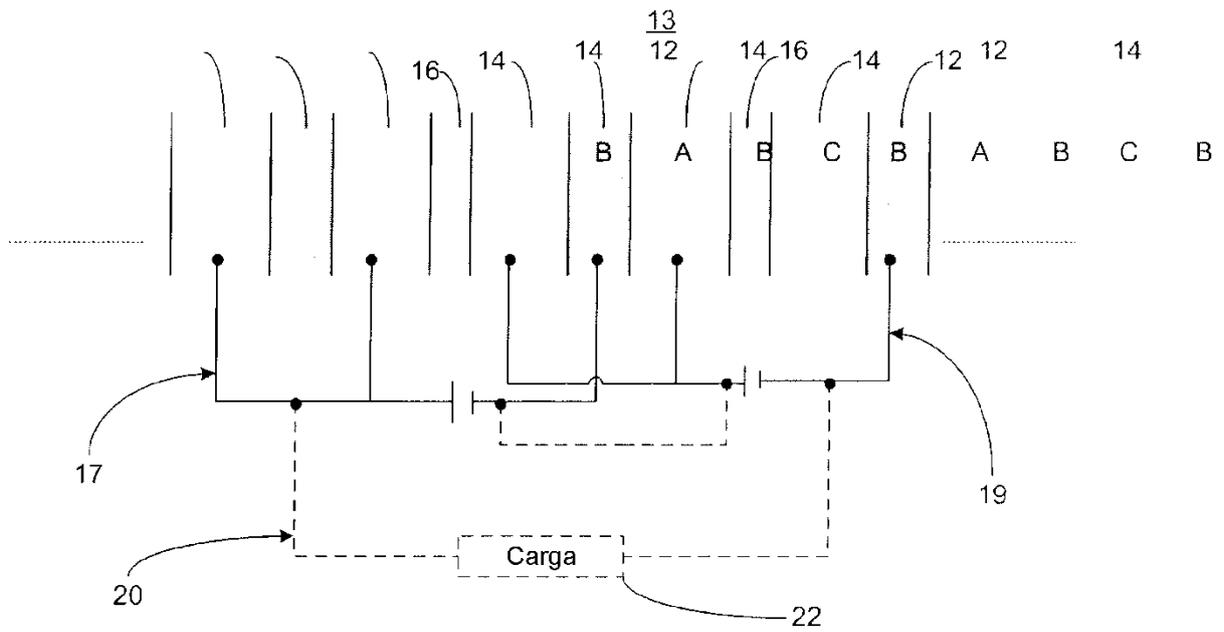


FIGURA 1F

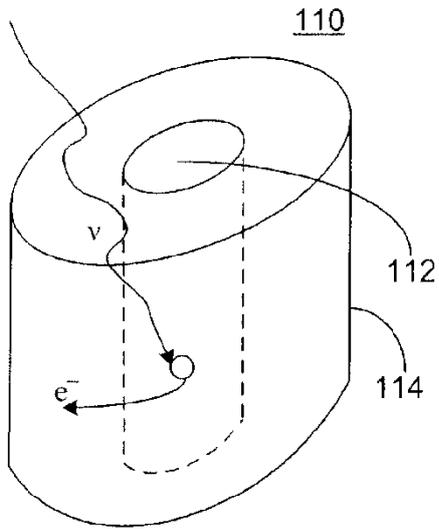


FIGURA 2A

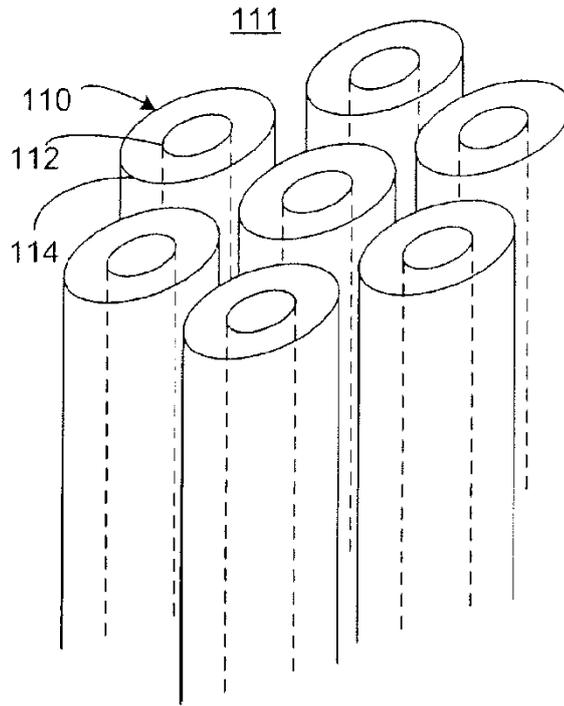


FIGURA 2C

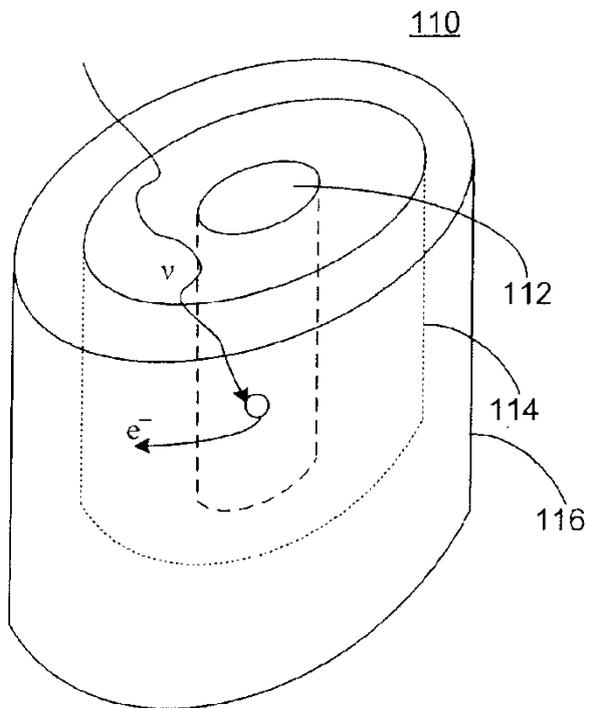


FIGURA 2B

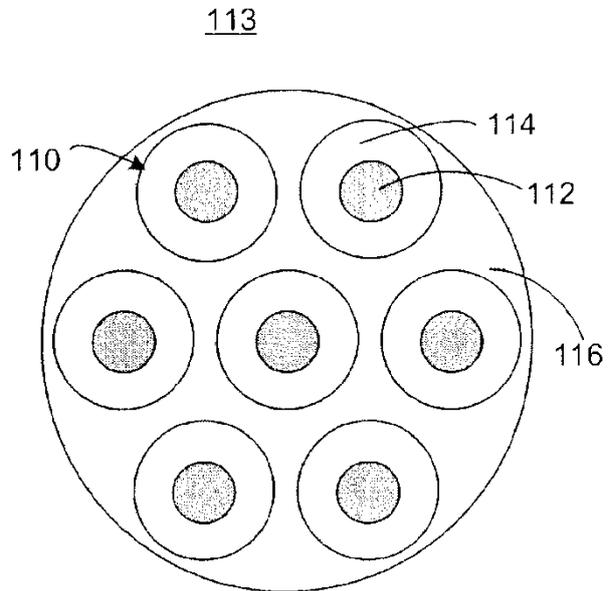


FIGURA 2D

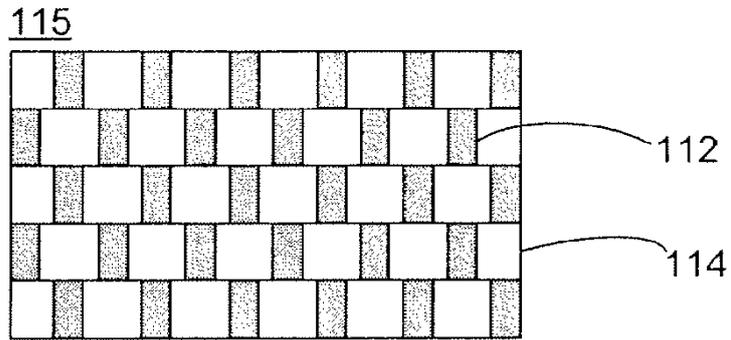


FIGURA 2E

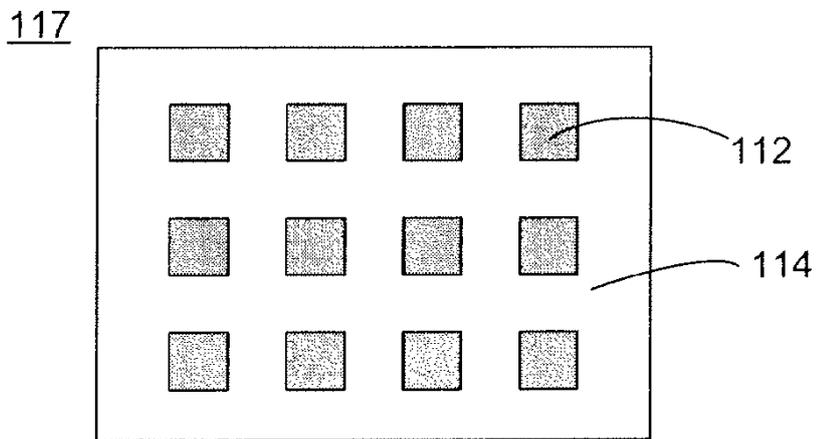


FIGURA 2F

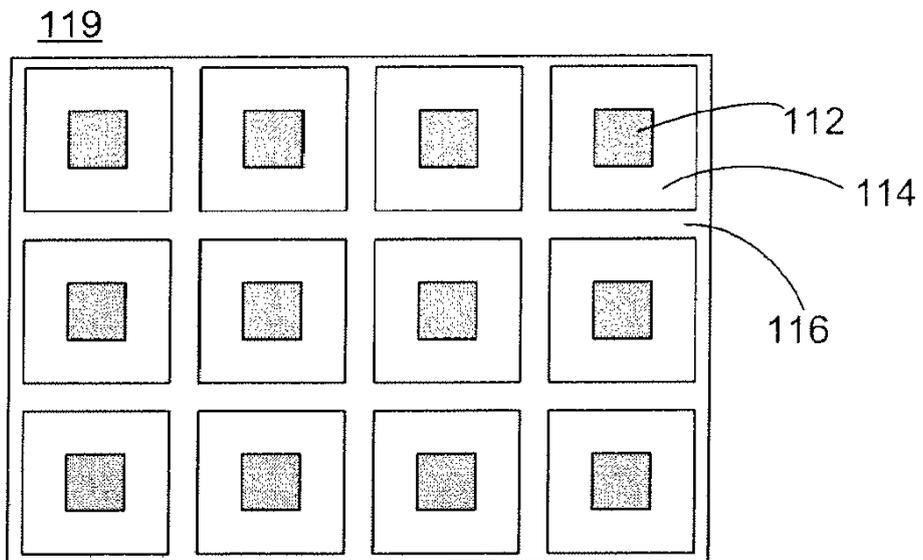


FIGURA 2G

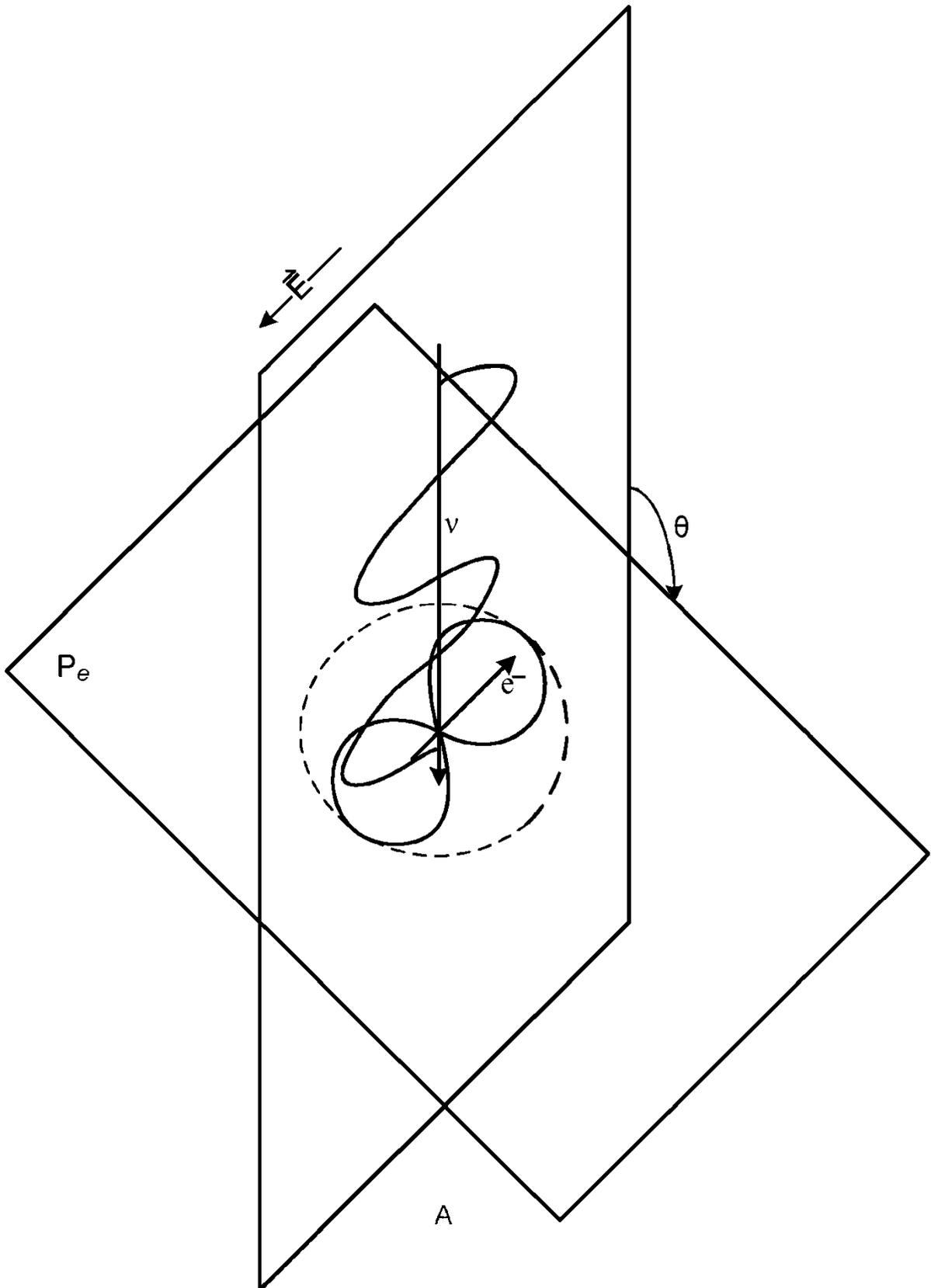
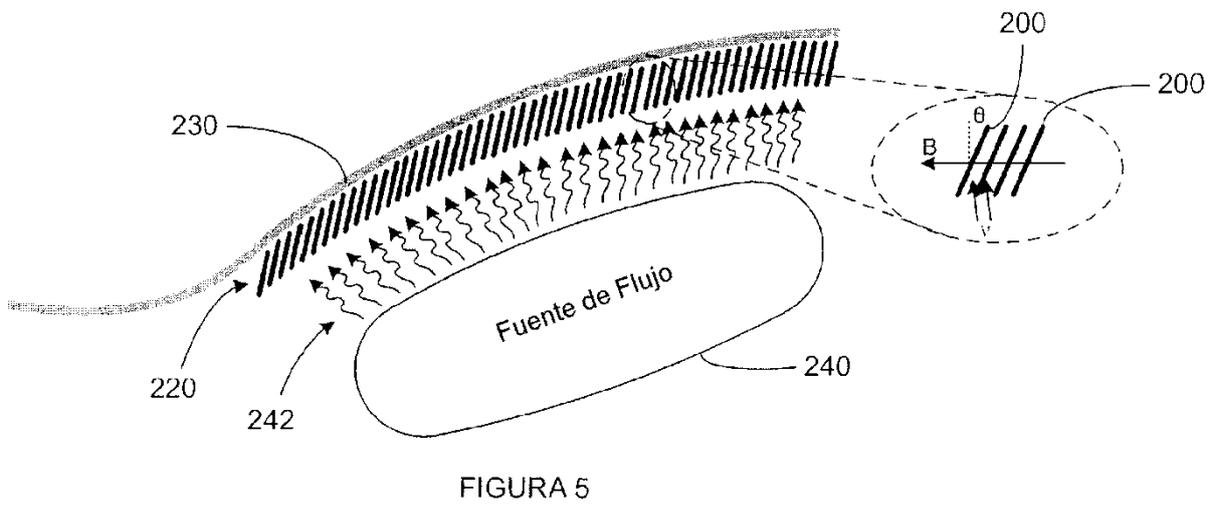
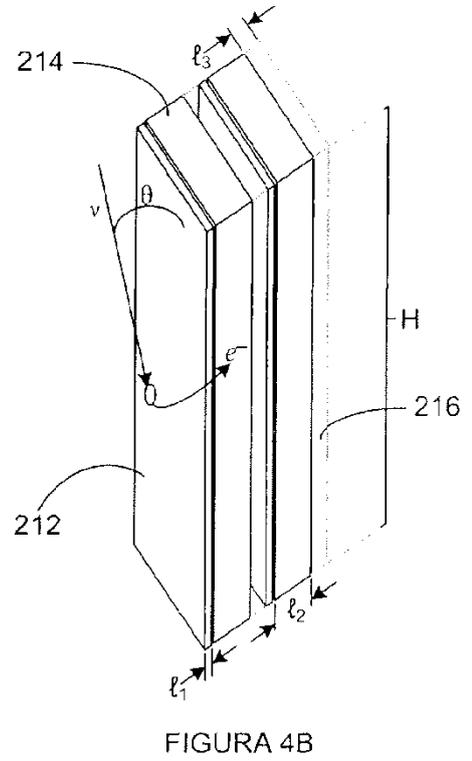
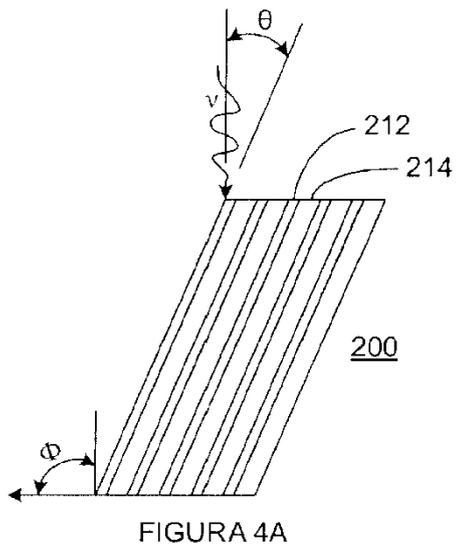


FIGURA 3



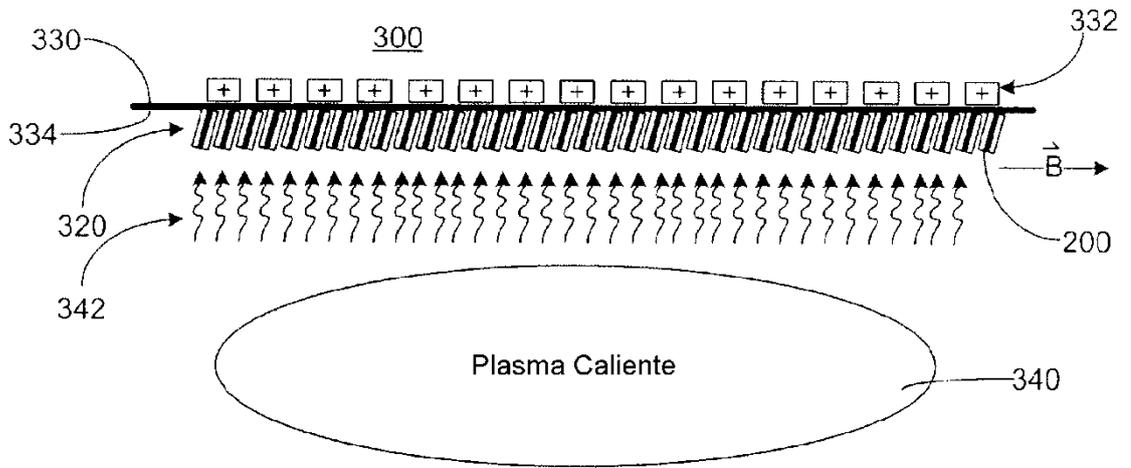


FIGURA 6A

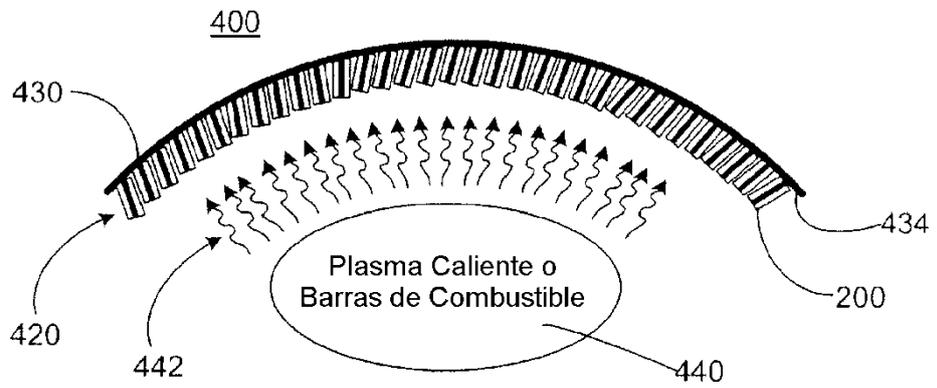


FIGURA 6B

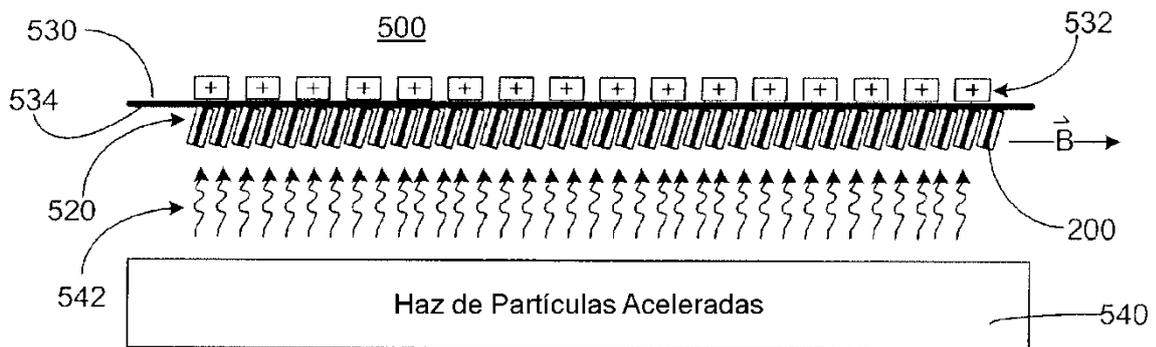


FIGURA 6C