



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112012016873-8 B1



(22) Data do Depósito: 01/01/2011

(45) Data de Concessão: 20/10/2020

(54) Título: CONVERSOR DE ENERGIA DESTINADO À CONVERSÃO DE EMISSÕES DE FÓTONS DE ELEVADA ENERGIA EM ENERGIA ELÉTRICA

(51) Int.Cl.: H01L 31/00.

(30) Prioridade Unionista: 08/01/2010 US 61/293,282.

(73) Titular(es): TAE TECHNOLOGIES, INC..

(72) Inventor(es): TOSHIKI TAJIMA; MICHL BINDERBAUER.

(86) Pedido PCT: PCT US2011020001 de 01/01/2011

(87) Publicação PCT: WO 2011/084903 de 14/07/2011

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/07/2012

(57) Resumo: CONVERSOR DE ENERGIA DESTINADO À CONVERSÃO DE EMISSÕES DE FÓTONS DE ELEVADA ENERGIA EM ENERGIA ELÉTRICA Sistema e métodos para a conversão de energia advinda de fótons de elevada energia em eletricidade que fazem uso de uma série de materiais contendo diferenciadas cargas atômicas para levar vantagem quanto a emissão de uma ampla multiplicidade de elétrons através de um único fóton contendo elevada energia via uma cascata de emissões de elétrons Auger. Em um tipo de modalidade, um conversor de fóton de elevada energia vem a incluir, preferencialmente, uma bolacha em escala nanométrica depositada linearmente concebida a partir de camadas de um primeiro material comprimido entre camadas de um segundo material apresentando um número de carga atômica diferindo do número de carga atômica do primeiro material. Em outro tipo de modalidade, as camadas em escala nanométrica são configuradas em uma configuração em formato de concha ou tubular e/ou incluem camadas de um terceiro material isolante.

“CONVERSOR DE ENERGIA DESTINADO À CONVERSÃO DE EMISSÕES DE FÓTONS DE ELEVADA ENERGIA EM ENERGIA ELÉTRICA”

Campo Técnico

As modalidades descritas neste relatório relacionam-se, genericamente, a conversão de energia fotônica e, mais particularmente, a sistemas e métodos que visam facilitar a conversão de energia advinda de fótons de alta energia em eletricidade.

Fundamentos

Existem muitos dispositivos bastante conhecidos que fazem a conversão elétrica de energia dos fótons na faixa ótica, tal como, por exemplo, células fotovoltaicas (“painéis solares”). Esses dispositivos, em geral, constituem-se em pelo menos dois materiais (ou seja, semicondutores a base de silício) contendo diferenciadas propriedades físicas, tal como diferentes afinidades eletrônicas (consulte, *The Physics of Solar Cells*, P. Wurfel, Primeira Edição, Wiley-VCH (2004)). Quando um dos materiais vem a ser iluminado pela luz solar, os fótons solares excitam os elétrons a partir de uma faixa de valência para uma faixa condutora, caracterizando uma mobilidade elétrica. O intervalo de energia entre as faixas de valência e condução dá-se numa ordem típica de um elétron-volt, algo semelhante a energia dos fótons solares incidentes. O posicionamento de dois materiais apresentando diferenciadas afinidades eletrônicas dá surgimento a uma tensão elétrica ao longo da fronteira limite do material, a qual pode ser derivada para emprego de energia elétrica.

Entretanto não se conhece dispositivos voltados para a conversão da energia em eletricidade a partir do emprego de fótons operando em um regime de fótons de alta energia, tal como, os raios XUV, X e gama. Tais dispositivos podem ser utilizados em uma ampla gama de aplicações – por exemplo, tais dispositivos podem ser utilizados como conversores de energia voltados para a conversão de fótons de alta energia emitidos por meio de materiais radioativos, tais como, por exemplo, barras gastas de combustível nuclear, emitidos por meio de fontes de detonação, tais como, por exemplo, explosivos, e emitidos através de plasmas e feixes de partículas aceleradas sob temperaturas elevadas, e na forma de dispositivos destinados a aplicações espaciais sob modo de fontes de força, blindagem e coisas do gênero. Surgem dificuldades na provisão de tais tipos de dispositivos a partir da grande penetrabilidade dos fótons de alta energia através da matéria, o que advém da consequência de uma interação muito menor de tais fótons com a matéria quando comparando-se com a luz visível, e a partir do fato de que para a maioria dos materiais, o caminho médio livre dos elétrons representa, tipicamente, muitas ordens de magnitude mais curta do que o caminho médio livre dos fótons de alta energia. Como consequência desta disparidade nos caminhos médios livres, os elétrons emitidos a partir de um átomo em um material empregado para capturar fótons de alta energia tendem a sucumbir quando recombinados, enquanto as suas energias vem a serem convertidas em calor no interior do material retido no

fóton de alta energia.

Desse modo, é desejável se proporcionar com sistemas e métodos que viriam a facilitar a conversão de energia em energia elétrica a partir dos fótons de alta energia.

Sumário

5 As modalidades descritas neste relatório são direcionadas para a conversão de energia em energia elétrica a partir dos fótons de alta energia. O princípio norteando as modalidades disponibilizadas por este relatório se baseiam na ejeção de elétrons a partir de um átomo (incluindo-se a ejeção de elétrons profundamente depositados na estrutura interna a partir de um átomo de materiais com elevado número atômico (Z-elevado)) através de fótons
10 de alta energia. Os elétrons ejetados conduzem energia cinética, o que pode levar a migração dos elétrons ejetados em diferentes regiões de um dispositivo aonde o acúmulo dos elétrons ejetados pode vir a criar um potencial elétrico que pode então acionar um circuito elétrico externo. O espectro de fótons de interesse inclui fótons na intervalo não-visível incluindo-se, porém sem qualquer restrição, a faixa dos raios XUV, raios X, raios gama e elementos
15 do gênero.

Os sistemas e métodos disponibilizados através deste relatório fazem uso de uma série de materiais contendo diferentes cargas atômicas para aproveitar da vantagem da emissão de uma imensa multiplicidade de elétrons provendo de um único fóton de alta energia via uma cascata de emissões de elétrons Auger. Em um tipo de modalidade, um conversor de fóton de alta energia inclui, preferencialmente, uma bolacha em escala nanométrica depositada linearmente, formada a partir de uma primeira pluralidade de camadas de um material voltado a absorção de fótons de alta energia e emitindo elétrons combinados a uma
20 segunda pluralidade de camadas de outros tipos de materiais voltados a absorção ou coleta de elétrons. O material referente a segunda pluralidade de camadas apresenta um número de carga atômica diferente do número de carga atômica do material referente a primeira pluralidade de camadas. A primeira e segunda pluralidade de camadas são empilhadas, preferencialmente, de forma lateral, lado a lado (ou seja, face-a-face), interpondo-se uma com a outra, e sendo orientadas junto a um ângulo raso (pequeno) em relação a direção de propagação dos fótons de alta energia. Em outro tipo de modalidade, as camadas em
25 escalas nanométricas são configuradas em um tipo de configuração em forma de concha ou tubular. Em ainda outro tipo de modalidade, as camadas incluem uma terceira pluralidade de camadas contendo material isolante.

Os sistemas e métodos descritos por este relatório podem ser utilizados em uma ampla faixa de aplicações – desde detecção e absorção de energia, até conversão de energia de fótons de alta energia presentes em aceleradores de partículas até fontes de matéria
35 extremamente em fusão (como plasmas sob altas temperaturas) e/ou fontes de detonação emitindo milhões de fótons de alta energia (tais como explosivos), energia capturada a partir

de emissões de refugos nucleares radioativos (tais como barras gastas de combustível nuclear), e aplicações espaciais (tais como fontes de força, blindagem, e elementos do gênero), assim como outros tipos de aplicações prontamente identificáveis aos técnicos da área.

Outros tipos de sistemas, métodos, características e vantagens das modalidades de exemplo tornar-se-ão imediatamente evidentes aos especialistas mediante uma análise das figuras a seguir e da descrição detalhada que se segue.

Breve Descrição das Figuras

Os detalhes referentes as modalidades de exemplo, incluindo-se a estrutura e operação, podem ser capturados em parte através do estudo das figuras de acompanhamento, aonde numerais de referência idênticos representam partes idênticas. Os componentes presentes nas figuras não se apresentam necessariamente em escala, com ênfase sendo dada na ilustração dos princípios da invenção. Além disso, todas as ilustrações são voltadas para explicação dos conceitos, aonde os tamanhos, formatos e outros atributos detalhados relativos podem ser ilustrados esquematicamente ao invés de um rigor preciso ou literário.

A Figura 1A consiste em uma vista esquemática de um elemento de conversão de fóton de alta energia em escala nanométrica depositado linearmente.

A Figura 1B consiste em uma vista esquemática de um elemento alternativo de fóton de alta energia em escala nanométrica depositado linearmente.

A Figura 1C consiste em uma vista esquemática de um conversor de fóton de alta energia compreendendo de uma disposição de elementos de conversão em escala nanométrica depositados linearmente mostrados na Figura 1A.

A Figura 1D consiste em uma vista esquemática de um conversor de fóton de alta energia compreendendo de uma disposição de elementos de conversão em escala nanométrica depositados linearmente mostrados na Figura 1B.

A Figura 1E consiste em uma vista esquemática de um circuito de conversão de fóton de alta energia.

A Figura 1F consiste em uma vista esquemática de um circuito de conversão de fóton de alta energia alternativo acoplado a um circuito externo contendo uma carga.

A Figura 2A consiste em uma vista em perspectiva de um elemento de conversão de fóton de alta energia em escala nanométrica depositado cilindricamente.

A Figura 2B consiste em uma vista em perspectiva de um elemento alternativo de conversão de fóton de alta energia em escala nanométrica depositado cilindricamente.

A Figura 2C consiste em uma vista em perspectiva de um conversor de fóton de alta energia compreendendo de uma disposição de elementos de conversão em escala nanométrica depositados cilindricamente mostrados na Figura 2A.

A Figura 2D consiste em uma vista de extremidade de um conversor de fóton de alta energia compreendendo de uma disposição de elementos de conversão em escala na-

nométrica depositados cilindricamente mostrados na Figura 2B.

As Figuras 2E, 2F e 2G consistem em vistas de extremidade de conversores de fótons de alta energia contendo configurações geométricas alternativas.

5 A Figura 3 consiste em um diagrama ilustrando as características de propagação dos fótons incidentes de alta energia γ e das características de migração dos elétrons e que vem a ser ejetados de seus átomos em uma camada de material por meio dos fótons incidentes de alta energia γ .

A Figura 4A consiste em uma vista esquemática de uma telha de conversão contendo uma pluralidade de camadas empilhadas linearmente.

10 A Figura 4B consiste em uma vista em perspectiva de uma telha de conversão contendo uma pluralidade de camadas empilhadas linearmente.

A Figura 5 consiste em uma vista esquemática apresentando um conjunto de telhas detalhadas pelas Figuras 4A e 4B posicionadas ao longo de uma superfície de conformação interceptando e se apresentando substancialmente perpendicular ao fluxo de fótons emitido a partir de uma fonte de fluxo de fótons.

As Figuras 6A, 6B e 6C consistem em vistas esquemáticas apresentando um conjunto de telhas descrito através das Figuras 4A e 4B posicionadas ao longo das superfícies de conformação interceptando e se apresentando substancialmente perpendiculares aos fluxos de fótons emitidos a partir de fontes de fluxos de fótons.

20 Deve ser observado que os elementos de estruturas ou funções semelhantes são, em geral, representados por numerais de referência idênticos destinados a propósitos ilustrativos ao longo das figuras. Deve ser observado ainda que as figuras se destinam tão somente a facilitar a descrição das modalidades preferidas.

Descrição Detalhada

25 Cada uma das características e ensinamentos adicionais descritos adiante podem ser utilizados separadamente ou em conjunto com outras características e ensinamentos destinados a produção de sistemas e métodos voltados para a conversão de energia advinda de fótons de alta energia em eletricidade. Exemplos representativos da presente invenção, exemplos que fazem uso de muitas dessas características e ensinamentos adicionais, 30 tanto separadamente quanto em combinação, passarão a serem descritos em maiores detalhes tendo como referência os desenhos anexos. Esta descrição detalhada destina-se meramente a instruir um técnico da área com detalhes adicionais para a prática dos aspectos preferidos dos ensinamentos presentes, não pretendendo haver restrições quanto ao escopo da invenção. Portanto, as combinações de características e etapas descritas na descrição detalhada a seguir podem não serem necessárias para a prática da invenção no seu 35 sentido mais amplo, estando incluídas meramente para atender exemplos representativos de descrições particulares dos presentes ensinamentos.

Além disso, diversas características dos exemplos representativos e das reivindicações dependentes podem ser combinadas em maneiras que não são especificamente e explicitamente enumeradas de forma a fornecerem com modalidades adicionais úteis referentes aos ensinamentos presentes. Além disso, observa-se expressamente que todas as características descritas no relatório e/ou nas reivindicações destinam-se a apresentarem descrições separadas e independentes umas das outras sob propósito de ter-se uma descrição original, assim como com a finalidade de vir a se restringir a matéria em questão reivindicada independentemente das composições das características nas modalidades e/ou reivindicações. Ainda se observa expressamente que todas as faixas de valores ou indicações de grupos de entidades descrevem cada possível valor intermediário ou entidade intermediária voltados para a descrição original, assim como para fins de restringir-se a matéria em questão reivindicada.

As modalidades descritas neste relatório são direcionadas a conversão de energia advinda de fótons de alta energia (tais como fótons contendo energia preferencialmente na faixa indo de em torno de 100 eV ou mais) em eletricidade. O princípio regendo as modalidades se baseia na ejeção de elétrons a partir de um átomo (incluindo-se a ejeção de elétrons profundamente depositados na estrutura interna a partir de um átomo de materiais de elevados números atômicos (Z-elevado)) através de fótons de alta energia. Os elétrons ejetados conduzem energia cinética, o que pode levar a migração de elétrons ejetados em diferentes regiões de um dispositivo, aonde o acúmulo de elétrons ejetado pode vir a criar um potencial elétrico que pode ser derivado para acionar um circuito elétrico externo. O espectro de fótons de interesse inclui fótons preferencialmente do regime não-visível, incluindo os raios XUV, raios X e raios gama e elementos do gênero, porém sem ficar-se restrito as mesmas. A energia advinda de tais fótons compreende ordens de magnitudes maiores e, portanto, a margem para a termalização é muito mais abrangente (o coeficiente teórico de Carnot é próximo da unidade), do que a energia advinda dos fótons no regime visível. Em função da alta energia incidente de fóton, em geral de 100 eV ou maior, os sistemas e métodos descritos neste relatório tem a capacidade de extraordinária elevada eficiência de conversão de energia, em comparação com outros tipos de conversores padrões de energia de fótons, tais como dispositivos fotoelétricos (ou seja, painéis solares), ou dispositivos baseados no efeito termoelétrico (por exemplo, efeito de Seebeck).

Conforme discutido em maiores detalhes adiante, tem-se a apresentação dos sistemas e métodos utilizados para delimitações deste canal potencialmente efetivo em ganho de elevado das energias advindas de fótons de alta energia transformadas em um formato apropriado de energia elétrica, que pode vir a ser derivada para acionamento de um circuito externo, e, desse modo abranger uma vasta área de aplicações, incluindo-se aquelas aonde fortes campos magnéticos encontram-se presentes (de modo que a dinâmica dos elétrons

seja caracterizada pelo movimento giroscópico ao longo dos campos magnéticos). Culminando em que os sistemas e métodos descritos por este relatório podem vir a serem empregados em uma vasta área de aplicações – desde detecção e absorção de energia, até conversão de energia de fótons de alta energia em aceleradores de partículas, conversão direta da energia dos fótons de alta energia a partir de matéria extremamente quente (tais como plasmas sob temperaturas elevadas) e/ou fontes de detonação que emitem milhões de fótons de alta energia (tais como explosivos), a energia capturada de emissões de refugos nucleares radioativos (tais como barras gastas de combustível nuclear), e aplicações espaciais (tais como fontes de força, blindagem, e elementos do gênero), assim como outros tipos de aplicações prontamente identificáveis pelos técnicos da área.

Os sistemas e métodos disponibilizados através deste relatório fazem uso de uma série de materiais contendo diferentes cargas atômicas para aproveitar da vantagem da emissão de uma imensa multiplicidade de elétrons provendo de um único fóton de alta energia via uma cascata de emissões de elétrons Auger. Em um tipo de modalidade, um conversor de fótons de alta energia inclui, preferencialmente, uma bolacha em escala nanométrica depositada linearmente formada a partir de uma primeira pluralidade de camadas de materiais voltados para a absorção de fótons de alta energia e emitindo elétrons combinados com uma segunda pluralidade de camadas de outros tipos de materiais voltados a absorção ou coleta de elétrons emitidos a partir da primeira pluralidade de camadas. Os materiais referentes à segunda pluralidade de camadas apresentam um número de carga atômica diferente dos números de cargas atômicas dos materiais referentes a primeira pluralidade de camadas. Em outro tipo de modalidade, as camadas em escalas nanométricas são configuradas em formatos de concha ou tubulares. As camadas nanométrica facilitam a segregação dos elétrons fotônicos a partir dos átomos doadores. A utilização dessas estruturas, o conversor resultante pode reduzir o fluxo de força incidente nos materiais que de outro modo viriam a ser expostos diretamente aos fótons de alta energia, reduzindo assim a quantidade de calor desses materiais e podendo ainda amenizar a degradação dos materiais que de outra forma ficariam sujeitos a severas irradiações prejudiciais de fótons de alta energia.

Voltando atenção aos detalhes nas figuras, tem-se a ilustração dos sistemas e métodos destinados a conversão de energia de fótons de alta energia em eletricidade apresentando elevada eficiência. Para finalidades da discussão que se segue, o dispositivo de conversão ou dispositivos de conversão são considerados como embutidos junto a fortes campos magnéticos que podem impactar decisivamente nas órbitas dos elétrons. Contudo, como pode ficar evidente adiante, no que tange as escalas de comprimento características do dispositivo, as propriedades orbitais do elétron são minimamente afetadas pelos campos magnéticos (com resistências praticamente viáveis), de forma que as modalidades se apresentam igualmente aplicáveis aonde exista muito pouca ou nenhuma presença de campos

magnético, tal como, por exemplo, no caso de barras gastas de combustível nuclear.

Com referência as Figuras de 1A até 1F, tem-se as modalidades de um conversor de energia fotônica contendo uma estrutura linear. De acordo com a descrição presente na Figura 1A, o bloco de construção mais básico ou o elemento de conversão 10 de um con-

5 versor de energia fotônica apresentando uma estrutura linear vem a consistir de uma primeira camada 12 de material tipo A apresentando um primeiro número atômico Z_1 , e preferencialmente, compreendendo de um componente de elevado número atômico, tal como, por exemplo, um metal refratário ou óxido de metal. A primeira camada 12 é preferencialmente comprimida entre duas camadas 14 do material de tipo B apresentando um segundo número

10 atômico Z_2 diferindo do número atômico da primeira camada 12 do material de tipo A, e preferencialmente, compreendendo de um metal vindo a ser tipicamente caracterizado por um número atômico mais baixo do que o número atômico da primeira camada 12 do material de tipo A (ou seja, $Z_2 < Z_1$). De acordo com a descrição dada pela Figura 1B, o bloco de construção básico 10 pode ser acentuado, opcionalmente, por meio da adição de uma camada iso-

15 lante 16 do material de tipo C. Um conjunto de exemplo dos materiais de tipo A, B e C pode incluir, sem ficar-se assim restrito a: A = tungstênio (W), B = alumínio (Al), C = isolante, tal como o SiO_2 . Alternativamente, a camada isolante pode consistir simplesmente do elemento Hélio fluindo livremente atuando também como um refrigerante. Entretanto, um técnico da área irá identificar prontamente outros tipos de materiais substitutos com preservação do

20 espírito da presente invenção.

Nas modalidades preferidas descritas através das Figuras 1C e 1D, os conversores 11 e 13 incluem uma série ou uma disposição dos blocos de construção básicos empilhados lateralmente lado a lado (ou seja, face-a-face) até que o trajeto-extensão máximo gasto teo-

25 reticamente pelo fóton agregado por meio de fótons presentes em todas as camadas 12 do tipo A venha a ser compatível ou maior do que o caminho médio livre dos fótons de alta energia ν vindo a serem absorvidos pelo material do tipo A. De acordo com a descrição presente nas Figuras 1C e 1D, uma ou mais camadas 14 do material de tipo B interpostas nas camadas adjacentes 12 do material de tipo A, e, opcionalmente, uma camada 16 de material isolante do tipo C interpõe-se nas camadas adjacentes 14 do material de tipo B.

30 O empilhamento dos blocos de construção ou elementos de conversão 10 lado a lado proporciona com uma geometria para a estrutura geral que vem a ser bem adequada para uma eficiente acomodação das emissões de elétrons provocadas pelos fótons de alta energia ν absorvida no material de tipo A. Em função da polarização dos fótons E, de acordo com a descrição dada na Figura 3, vir a ser perpendicular a direção de propagação do fóton

35 ν , a direção do elétron ejetado e^- consiste primariamente em um plano P_c (contendo uma distribuição angular de decaimento apropriada afastada daquele plano, porém apresentando um máximo no mesmo) perpendicular a direção da propagação dos fótons ν (porém, tal pla-

no contém a polarização dos fótons ν). De acordo com a descrição dada nas Figuras 1A e 1B, as camadas 12 e 14 dos elementos de conversão 10 vem a serem empilhadas lado a lado em uma direção aonde o vetor normal às superfícies limites entre as camadas se apresente genericamente ortogonalizado na direção da propagação dos fótons ν . Em uma configuração preferencial descrita adiante, as superfícies limites entre as camadas podem ser alinhadas sob um ângulo raso (pequeno) com a direção de propagação do fóton incidente contendo alta energia ν . Tem-se como resultado que os elétrons e^- que vem a serem ejetados de seus átomos no interior das camadas 12 do material de tipo A por meio dos fótons incidentes contendo alta energia ν se apresentam capacitados a migrarem, em regra, de modo ortogonal junto as camadas vizinhas 14 do material de tipo B.

O princípio central de cada modalidade e quaisquer de suas variações consiste no requisito de que os elétrons fotônicos emitidos e^- não venham a serem capturados e/ou absorvidos na camada 12 do material de tipo A, vindo a serem, no entanto, absorvidos na camada 14 do material de tipo B. Para se assegurar que os elétrons ejetados e^- não venham a ser capturados dentro da camada 12 do material de tipo A, e para que se aumente a possibilidade de que os elétrons ejetados e^- escapem ou migrem da camada 12 do material de tipo A para a camada 14 do material de tipo B, a espessura ℓ_1 , de cada camada 12 de material de tipo A deve ser preferivelmente menor ou da ordem do comprimento do caminho médio livre dos elétrons contidos no material do tipo A. A espessura, ℓ_2 de cada camada 14 do material de tipo B apresenta-se preferivelmente maior ou da ordem do comprimento médio livre dos elétrons contidos no material de tipo B. Preferencialmente, a disposição nanométrica das camadas dessas modalidades vem a ser um reflexo dos princípios físicos intrínsecos de que o caminho médio livre dos elétrons no material de tipo A, $\ell_c(Z_1)$ não venha ser muito diferente do caminho médio livre do elétron de material do tipo B, $\ell_c(Z_2)$, enquanto que ao mesmo tempo o caminho médio livre do fóton de material do tipo A é bem menor do que o seu caminho médio livre no material de tipo B, ou seja, $\ell_c(Z_1) \ll \ell_c(Z_2)$.

Por exemplo, para o caso de fótons incidentes de 100keV, as dimensões referentes a espessura da camada típica para esses sistemas incluem o ℓ_1 para material do tipo A igual a aproximadamente 1 nm e ℓ_2 para o material de tipo B igual a aproximadamente 100 nm, com ℓ_3 destinado opcionalmente ao material de tipo C ajustado para prevenção do arqueamento entre as camadas vizinhas quando necessário. No caso de campos magnéticos B indo até 10 T, essas dimensões são menores do que o raio giroscópico ρ_c dos elétrons. Portanto, no que se refere a extensão dessas escalas, os elétrons não se apresentam magnetizados, porém suas características dinâmicas se encontram primariamente no regime de colisão. Resultando em que, os elementos de conversão 10 ou os conversores 11 e 13 discutidos acima são igualmente aplicáveis para aplicações aonde os campos magnéticos se façam ausentes ou sejam desprezíveis.

A migração para as camadas vizinhas 14 do material de tipo B de elétrons e^- ejetados dos átomos presentes na camada 12 de materiais do tipo A por meio de fótons incidentes contendo alta energia v leva a um acúmulo de carga e em última análise gera um potencial entre as camadas 12 e 14 do material de tipo A e B. Com referência as Figuras 1E e 1F, todas as camadas 12 e 14 do tipo A e do tipo B são conectadas aos circuitos, de modo que cada camada 12 do tipo A e camada 14 do tipo B atuem como um eletrodo individual. Conforme pode ser prontamente evidenciado a um técnico da área, existe quase um número infinito de opções e alternativas para se conectar as camadas ou agrupamentos de camadas em paralelo ou em forma de série. A melhor disposição de tal conjunto de circuitos consiste em uma aplicação vantajosa determinante pelo resultado. Por exemplo, as camadas individuais 12 e 14 podem vir a serem conectadas em um modo aonde cada camada 12 do material de tipo A venha a ser conectado a uma das camadas mais próximas 14 do material de tipo B de acordo com a descrição dada na Figura 1E, ou cada camada 12 do material de tipo A pode vir a ser conectada a um das camadas mais próximas 14 do material de tipo B que se apresente separado da mesma por meio de uma camada de isolamento 16 pertinente ao material de tipo C constante na Figura 1F. Nessas configurações, as camadas acopladas eletricamente formam efetivamente nano-baterias e dão formação espontaneamente a uma diferença de potencial elétrico para transmissão de uma carga igual a tensão de uma célula de nano-bateria individual 15 ou igual a soma das células de nano-bateria 17 e 19 em série. De acordo com a descrição dada pela Figura 1F, um circuito externo 20 contendo uma carga 22 vem a ser acoplada junto às células de nano-bateria 17 e 19, as quais são descritas como se apresentando acopladas em série, porém podendo se apresentarem acopladas em paralelo. A carga 22 pode consistir em um sistema ou componente acionado eletricamente, de um sistema de armazenamento de energia, de uma rede elétrica, ou coisa do gênero.

Alternativamente, por meio do ajuste da resistência da carga do circuito presente entre as camadas de eletrodo 12 e 14, a tensão em estado estacionário pode ser controlada externamente e a espessura da camada de isolamento 16 pode vir a ser dimensionada de acordo.

Em outro tipo de modalidade, o bloco de construção básico inclui um tubo cilíndrico ou uma configuração em concha. De acordo com a ilustração pertinente à Figura 2A, um elemento de conversão cilíndrica 110 consiste em um núcleo cilíndrico 112 de material do tipo A envolvido por uma concha ou tubo cilíndrico 114 de material do tipo B. De acordo com a descrição dada pela Figura 2B, é possível novamente de forma opcional se circundar cada concha 114 do material de tipo B com uma concha de isolamento 116 do material de tipo C. Neste tipo de configuração cilíndrica, as mesmas regras dimensionais se aplicam para as diversas espessuras, ou seja, os raios dos núcleos cilíndricos 112 do material de tipo A vem a serem menores ou da ordem de em torno metade do caminho médio livre do elétron no

material de tipo A, em torno de $\int_c(Z_1)/2$, enquanto que a espessura da concha 114 do material de tipo B se apresenta da ordem do caminho médio livre do elétron na material B, em torno de $\int_c(Z_2)$.

A vantagem do uso do tubo cilíndrico ou da disposição em concha do elemento conversor 110 é de que uma eficiência mais elevada dá condição a captura dos elétrons emitidos conforme eles vão sendo emitidos com igual probabilidade ao longo de 360° em azimute. De acordo com a descrição anterior dada e pela Figura 3, os elétrons e^- são ejetados em uma direção primariamente no plano P_c (contendo uma distribuição angular de decaimento apropriada afastada daquele plano, porém sendo um máximo no mesmo) perpendicular à direção de propagação do fóton ν e paralela a polarização (E) dos fótons. Dependendo do ângulo de polarização do fóton, os elétrons ejetados e^- podem vir a serem direcionadas em qualquer sentido em torno dos 360° azimutais, sendo que em tal caso a disposição cilíndrica da célula conduz a uma captura mais elevada de elétrons no material de tipo B, e efetivamente a uma eficiência maior de captura de elétrons em comparação com as configurações lineares descritas pela Figuras de 1A a 1F.

Em semelhança com o conversor de geometria linear descrito anteriormente, os blocos de construção cilíndrica 110 são agrupados para dar formação a estruturas agregadas que se conformam as mesmas restrições de tamanho físico do conversor de geometria linear. Como exemplo, tem-se uma disposição particular de empilhamento 11 detalhada na Figura 2C. Alternativamente, de acordo com a descrição dada na Figura 2D, em um outro tipo de disposição de empilhamento 113, o material de isolamento 116 pode preencher o espaço vazio entre os elementos ou células de conversão adjacentes 110. Tal espaço vazio pode servir ainda como um conduto para circulação dos refrigerantes a gás, tal como o Hélio pressurizado. Isto forma um mecanismo efetivo de resfriamento em função da absorção de fótons pelo He vir a ser desprezível em relação as energias fotônicas de interesse. As conexões físicas são novamente similares as configurações de geometria linear e da mesma maneira possibilitam a presença de muitas opções diferenciadas em conexão com as camadas ou conchas 112 e 114 dos blocos de construção 110.

Configurações geométricas alternativas são apresentadas nas Figuras 2E, 2F e 2G. A Figura 2E apresenta uma disposição assentada linearmente em pilha aonde as camadas 112 do material de tipo A são deslocadas de forma a serem posicionadas nas camadas adjacentes 114 do material de tipo B. A Figura 2F apresenta uma pluralidade de núcleos 112 do material de tipo A circundado pelo material de tipo B preenchendo os espaços vazios 114 existentes entre os núcleos 112. Muito embora mostrados sob formato de quadrados, os núcleos 12 podem se apresentar circulares, ovais, ou coisas do gênero. A Figura 2G é semelhante a configuração presente na Figura 2D com a exceção do núcleo 112 e da camada em concha 114 virem a apresentar um formato quadrado. Nesses casos o dimensionamento

dos elementos 112, 114 e 116 se conforma dentro de restrições idênticas as descritas nas Figuras de 1A a 1C e das Figuras de 2A a 2D. A dinâmica dos elétrons junto à bordas dos quadrados se apresenta diferente, porém a parte desses efeitos advindos das bordas, outras propriedades físicas são, em geral, semelhantes as situações cilíndricas.

O bloco de construção básica, em qualquer tipo de geometria, formado em até três tipos de materiais de acordo com a descrição anterior, é adequado para gerar espontaneamente a separação de elétrons do sítio original de átomos doadores, que pode haver sido ionizado por fótons de alta energia. Isto por sua vez dá surgimento a geração de voltagens elétricas entre as camadas e/ou através de um isolante opcional. De acordo com a discussão acima, tal tipo de disposição pode vir a ser conectada eletricamente junto a um circuito para efetuar o trabalho elétrico ou a transmissão de força ao conversor. Como forma de uma variante adicional, deve-se observar que pode-se aplicar ainda uma tensão externa (tensão polarizada) entre essas camadas, proporcionando-se com um controle a mais em relação as propriedades elétrica e minimizando o potencial quanto ao aquecimento ao longo de qualquer uma das camadas.

Com referência as Figuras 4A e 4B, de forma a se vir a minimizar a área de superfície exposta a radiação garantindo-se que o fóton ν de alta energia incidente seja capturado pela camada 212 do material de tipo A, não passando tão simplesmente através de uma camada 214 do material de tipo B, as camadas empilhadas 212 e 214 dos materiais de tipo A e B, e a camada opcional 216 do material de isolamento do tipo C, de uma telha ou célula de conversor 200 são inclinadas, preferencialmente, sob um ângulo raso (pequeno) θ na direção de propagação do fóton incidente contendo alta energia ν , o qual, por exemplo, pode ser da ordem de em torno 1/100 radianos. A inclinação da telha de conversor 200 assegura também um resfriamento adequado do material de tipo A bombardeado e minimiza a espessura de cada camada individual 212 do material de tipo A (em relação ao caminho médio livre dos elétrons), assim como a espessura efetiva agregada de todas as camadas 212 do material de tipo A no conjunto de conversor integral. A inclinação da telha de conversor 200 a um ângulo raso ocasiona ainda a que os elétrons venham a ser ejetados predominantemente perpendicularmente à superfície do material de tipo A. Isso reduz ainda a quantidade necessária de camadas repetidas por telha 200 por um fator de aproximadamente 1/0, conforme a distância de transmissão no material de tipo A seja acentuada pelo mesmo fator em relação ao caso em que o ângulo de orientação Φ da superfície de telha 200 seja organizado normal a direção de propagação do fóton incidente de alta energia ν . Isto maximiza também o escape de elétrons para a camada adjacente do material de tipo B.

Em uma modalidade alternativa, a telha de conversor 200 descrita nas Figuras 4A e 4B compreendem de uma pluralidade de elementos de conversão cilíndrica 110 (mostrados nas Figuras 2A e 2B) empilhados lado a lado e inclinados a um ângulo raso θ .

Com referência a Figura 4B, de forma a absorver efetivamente a maior parte dos fótons de alta energia contendo energia da ordem de em torno 100 keV, a altura H do dispositivo necessita de se estender a ordens de extensões de em torno de 1 centímetro (1 cm) na direção geral de propagação do fóton predominante. Isto ocorre devido ao desejo de se interceptar o fluxo de fótons integral contendo material do tipo A contendo espessura agregada suficiente na direção de propagação de fótons. Uma vez que a espessura de cada camada de material de tipo B venha a ser tipicamente muito maior do que a espessura de cada camada do material de tipo A ($\lambda_1 < \lambda_2$), a altura total H da pilha completa de blocos de construção projetada na direção do fluxo de fótons necessita de ser muito mais elevada do que o caminho médio livre dos fótons particulares presentes no material de tipo A para garantir-se que os fótons de alta energia encontrem o material de tipo A ao longo de uma distância agregada maior do que os seus caminhos médios livres em tal material. A altura da pilha completa de blocos de construção, portanto, viria a exceder o caminho médio livre dos fótons no material de tipo A por um fator de pelo menos λ_2 / λ_1 ou, no caso de inclusão da camada isolante, por um fator de pelo menos $(\lambda_3 + \lambda_2) / \lambda_1$.

Conforme mencionado anteriormente, o posicionamento genérico mostra-se efetivo no resfriamento dos materiais do conversor conforme eles venham a ser aquecidos pela absorção de fóton assim como por um posterior aquecimento pelos elétrons. O resfriamento é facilitado devido a área de superfície total na modalidade presente de acordo com a descrição detalhada na Figura 4A vir a ser ampliada em comparação com uma simples disposição de acomodação das pilhas sob um ângulo de orientação Φ perpendicular a direção do fluxo de fótons incidente por um fator de 1/0. Ainda é possível se escoar refrigerante de gás pressurizado através dos canos construídos na estrutura ou simplesmente conectar-se as pilhas junto aos sugadores térmicos. Um técnico da área irá prontamente identificar que podem existir muitas outras maneiras de se intensificar o resfriamento e que as referentes implementações particulares poderão vir a serem regidas pela aplicação específica.

Um conjunto 220 das telhas de conversor 200, de acordo com a descrição dada pela Figura 5, pode ser posicionado ao longo de uma superfície de conformação 230 interceptando e sendo substancialmente perpendicular ao fluxo de fótons 242 emitido a partir de uma dada fonte de fluxo de fótons 240. Esta configuração proporciona com flexibilidade e adaptabilidade junto a um amplo espectro de aplicações que podem requerer (ou virem a se beneficiar) da geração de energia a partir de um fluxo de fótons emitido.

Outros exemplos das geometrias genéricas de típicas aplicações são descritos nas Figuras 6A, 6B e 6C. A Figura 6A apresenta um sistema de refreamento de plasma 300 que inclui uma câmara cilíndrica 330 contendo uma superfície 334 interceptando e se apresentando substancialmente perpendicular a um fluxo de fóton 342 emitido a partir de uma fonte de fluxo de fótons mostrada como plasma em fusão. O sistema de retenção 300 incorpora

ainda um gerador de campo magnético 332 posicionado ao longo da câmara cilíndrica 330 e de uma disposição 332 das telhas de conversão 200 fixada ao longo da superfície 334 da câmara 330. Cada uma das telhas vem a ser orientada sob um ângulo raso junto à direção de propagação dos fótons incidentes de alta energia v do fluxo de fótons 342. A Figura 6B

5 mostra um sistema de refreamento 400 que inclui um contêiner cilíndrico 430 incorporando uma superfície 434 interceptando e se apresentando substancialmente perpendicular ao fluxo de fótons 442 emitido a partir de uma superfície 440 do fluxo de fótons emitido em forma de plasma sob fusão ou como barras gastas de combustível nuclear. O sistema de refreamento 400 compreende ainda de uma disposição 432 ou de telhas de conversor 200

10 afixadas em torno da superfície 434 do contêiner 430. Cada uma das telhas é orientada sob um ângulo raso na direção de propagação dos fótons incidentes de alta energia v do fluxo de fótons 442. A Figura 6C apresenta um sistema de aceleração de partículas 500 que inclui um tubo cilíndrico 530 apresentando uma superfície 534 interceptando e sendo substancialmente perpendicular a um fluxo de fótons 542 emitidos a partir de uma fonte 540 do fluxo

15 de fótons apresentado como um feixe de partículas aceleradas. O sistema de acelerador 500 compreende ainda um gerador de campo magnético 532 posicionado ao longo do tubo cilíndrico 530 e uma disposição 532 das telhas de conversão 200 afixadas ao longo da superfície 534 do tubo 530. Cada uma das telhas vem a ser orientada sob um ângulo raso na direção de propagação dos fótons incidentes de alta energia v do fluxo de fótons 542.

20 Em cada caso, os fótons emitidos de alta energia encontram o material de tipo A ao longo de uma distância agregada maior do que os seus caminhos médios livres em tal material A. Isto assegura as suas devidas absorções pelos átomos no interior das camadas do tipo A e em última análise amplificação a conversão da corrente de fótons em corrente de elétrons. Em torno do volume sendo emitido pelo fluxo, o material de tipo A abrange densamente todo o fluxo de fótons de alta energia exposto nas áreas de superfície, enquanto ao

25 mesmo tempo dando condição ao resfriamento e a conexões elétricas.

Deve ser observado que de acordo com as modalidades disponibilizadas por este relatório, que múltiplos elétrons são emitidos a partir de um átomo em particular no material de tipo A em função da absorção dos fótons de alta energia. Isto ocorre devido a um elétron

30 ser expulso de uma órbita eletrônica profunda em particular na concha interna criando um vazio, que deve vir a ser rapidamente preenchido através do processo de Auger, que por sua vez aciona com processos Auger secundários e terciários, ou uma cascata de processos. Além disso, a reemissão secundária de fótons pode acionar processos adicionais nos átomos vizinhos. Por consequência, um fóton pode em princípio fazer acionar a emissão

35 agregada de em torno de 100 elétrons (e as vezes mais). Portanto, esta múltipla ionização proporciona com benefícios diversos. Primeiramente, ela serve para multiplicar a quantidade de elétrons por fóton original incidente por um fator de 100 a 1000, levando a uma amplifica-

ção elevada da corrente. Em segundo lugar, ela serve para reduzir as energias dos elétrons de dez ordens de keV a meramente dez ordens de eV. Desse modo, a tensão gerada pode ser gerenciada em relação a questões relacionadas a interrupções. Isto fornece com uma intensificação da conversão da energia dos fótons em eletricidade (suas cargas e corrente), enquanto minimiza também o aquecimento do alvo em vista. De fato, o sistema serve como um eficaz mecanismo de resfriamento por meio da remoção da maior parte da energia de fótons depositada (via energia elétrica) a partir do material vindo a se acomodar próximo a fonte de fótons e prontamente transportando a energia convertida para sítios afastados longa da vizinhança da radiação.

Modalidades de exemplos fornecidas por este relatório, contudo, se destinam meramente como exemplos ilustrativos e não pretendem serem restritivas de nenhuma forma. Além disso, os técnicos da área irão identificar que sistemas semelhantes podem ser igualmente adaptados aos fótons contendo diferentes níveis de energia a partir de modificações apropriadas dos parâmetros.

Na descrição fornecida, a invenção foi detalhada tendo como referência suas modalidades. Entretanto, fica evidente que diversas modificações e alterações podem vir a serem efetuadas sem haver o desvio do espírito e escopo mais abrangentes da invenção. Por exemplo, o leitor deve compreender que a ordenação específica e combinação das ações do processos apresentadas nos fluxogramas do processo, descritos por este relatório, tem caráter meramente ilustrativo, a menos que de outra forma assim estabelecido, com a invenção podendo ser praticada através do emprego de ações de processo diferentes ou adicionais, ou através de uma combinação diferenciada ou ordenação diferenciada das ações do processo. Como forma de outro exemplo, cada característica de um tipo de modalidade pode vir a ser misturada e conjugada com outras características apresentadas em outras modalidades. As características e processos conhecidos pelos especialistas da área podem ser incorporados de forma semelhante conforme o desejado. Adicionalmente e obviamente, as características podem ser adicionadas ou subtraídas conforme o desejado. Consequentemente, a invenção não apresenta restrições, exceto em vista do quadro de reivindicações anexo e seus equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Conversor de energia para conversão de emissões de fótons de alta energia em energia elétrica, **CARACTERIZADO** por compreender:

uma pluralidade de camadas de um primeiro material (12, 212) que absorve fótons de alta energia (242, 342, 442, 542) e emite elétrons ejetados de um átomo em uma camada individual dentre a pluralidade de camadas do primeiro material através de um fóton de alta energia absorvido na camada individual dentre a pluralidade de camadas do primeiro material, com cada camada dentre a pluralidade de camadas do primeiro material tendo uma espessura medida ao longo da direção dos elétrons emitidos que é menor do que o comprimento do caminho médio livre dos elétrons emitidos no primeiro material, em que a espessura de cada camada dentre a pluralidade de camadas do primeiro material medida ao longo da direção de propagação de um fóton de alta energia é menor do que o comprimento do caminho médio livre dos fótons de alta energia no primeiro material, em que os comprimentos de onda dos fótons de alta energia estão em regime não-visível, e em que uma pluralidade de camadas dentre a pluralidade de camadas de um primeiro material encontrada por um fóton de alta energia ao longo da direção de propagação do fóton de alta energia tendo uma espessura agregada medida ao longo da direção de propagação do fóton de alta energia que é maior que o comprimento de um caminho médio livre para os fótons de alta energia no primeiro material, e

uma pluralidade de camadas de um segundo material (14, 214) que coleta elétrons emitidos a partir da pluralidade de camadas do primeiro material e acoplada eletricamente à pluralidade de camadas do primeiro material, cada camada dentre a pluralidade de camadas do segundo material tendo uma espessura maior do que o comprimento do caminho médio livre no segundo material dos elétrons emitidos a partir da pluralidade de camadas do primeiro material, em que uma ou mais camadas dentre a pluralidade de camadas do segundo material interpõe camadas adjacentes dentre a pluralidade de camadas do primeiro material, em que a direção de propagação dos fótons de alta energia é ortogonal a um vetor normal a uma superfície limite entre camadas adjacentes da pluralidade de camadas dos primeiro e segundo materiais, e em que os elétrons emitidos a partir do primeiro material são emitidos em uma direção perpendicular à direção de propagação dos fótons de alta energia,

em que os fótons de alta energia absorvíveis pela camada do primeiro material inclui raios X, XUV ou gama e tem energias com valores da faixa de 100eV ou maiores.

2. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** por ainda compreender uma pluralidade de camadas de um terceiro material, cada camada dentre a pluralidade de camadas do terceiro material interpondo camadas adjacentes da uma ou mais camadas dentre a pluralidade de camadas do segundo material.

3. Conversor, de acordo com as reivindicações 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de

que terceiro material é SiO₂.

4. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as camadas adjacentes da pluralidade de camadas dos primeiro e segundo materiais são empilhadas face a face.

5 5. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada camada da pluralidade de camadas do primeiro material é configurada como um núcleo cilíndrico e cada camada dentre a pluralidade de camadas do segundo material é configurada como uma concha cilíndrica posicionada concentricamente em torno do núcleo cilíndrico do primeiro material, em que o raio do núcleo cilíndrico é menor do que $\frac{1}{2}$ do comprimento do caminho médio livre dos elétrons ejetados no primeiro material.

6. Conversor, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** por ainda compreender uma pluralidade de camadas de um terceiro material isolante configurada como uma concha cilíndrica posicionada concentricamente em torno da concha cilíndrica do segundo material.

15 7. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro material compreende um componente de número de carga atômica elevada.

8. Conversor, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o componente de número de carga atômica elevada é um metal refratário ou um óxido de metal.

20 9. Conversor, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o componente de número de carga atômica elevada é o tungstênio.

10. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o número de carga atômica do segundo material difere do número de carga atômica do primeiro material.

25 11. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o número de carga atômica do segundo material é menor do que o número de carga atômica do primeiro material.

12. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o segundo material é um metal.

30 13. Conversor, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o metal é o alumínio.

14. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada uma das camadas dentre a pluralidade de camadas do primeiro material é comprimida entre duas camadas da pluralidade de camadas do segundo material.

35 15. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a pluralidade de camadas dos primeiro e segundo materiais são acopladas a um circuito contendo uma carga.

16. Conversor, de acordo com a reivindicação 15, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a carga é um dentre um componente acionável eletricamente, um sistema de armazenamento de eletricidade ou uma rede elétrica.

5 17. Conversor, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a pluralidade de camadas dos primeiro e segundo materiais são acopladas a uma superfície de uma parede que intercepta e é perpendicular a uma direção de propagação de um fluxo de fótons emitido a partir de uma fonte de fluxo de fótons, e em que cada uma das superfícies limite entre as camadas adjacentes da pluralidade de camadas dos primeiro e segundo materiais é orientada a um ângulo raso à direção de propagação do fluxo de fótons.
10

18. Conversor, de acordo com a reivindicação 17, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada camada dentre a pluralidade de camadas do primeiro material é configurada como um núcleo cilíndrico e cada camada dentre a pluralidade de camadas do segundo material é configurada como uma concha cilíndrica concêntrica posicionada em torno do núcleo cilíndrico do primeiro material, em que o raio do núcleo cilíndrico é menor do que $\frac{1}{2}$ do comprimento do caminho médio livre dos elétrons ejetados no primeiro material.
15

19. Conversor, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** por ainda compreender uma pluralidade de camadas de um terceiro material de isolamento configurada como uma concha cilíndrica concêntrica posicionada em torno da concha cilíndrica do segundo material.
20

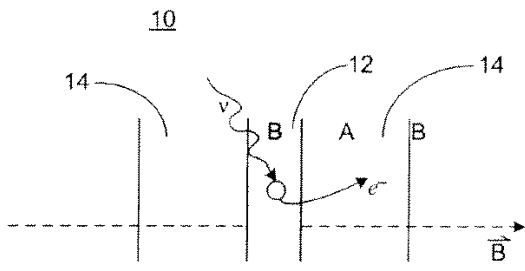


Fig.1A

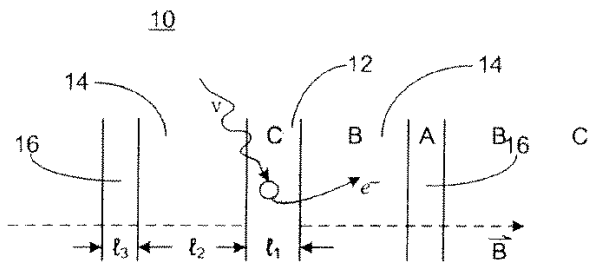


Fig.1B

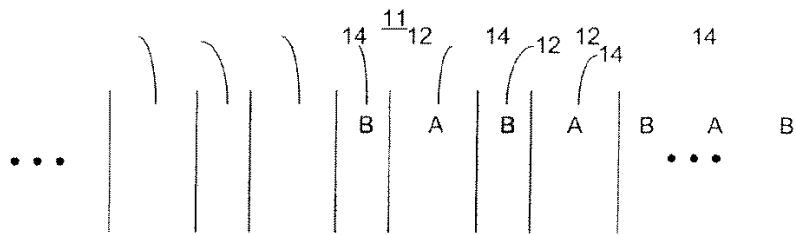


Fig.1C

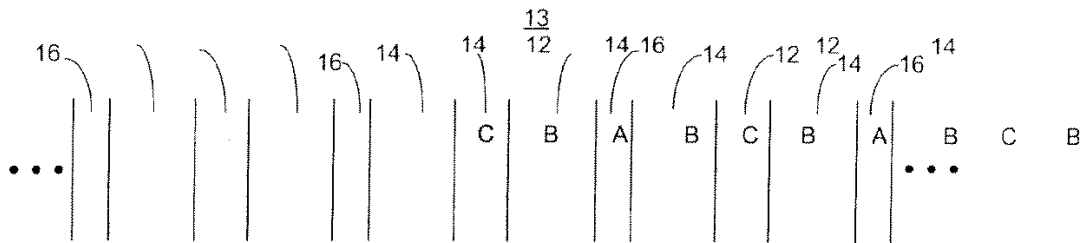
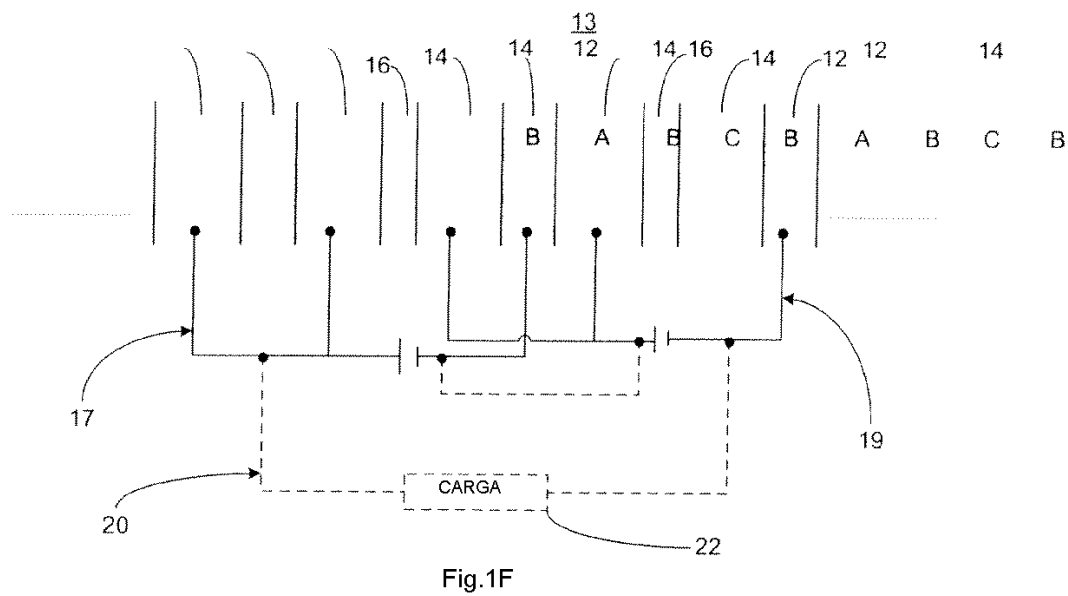
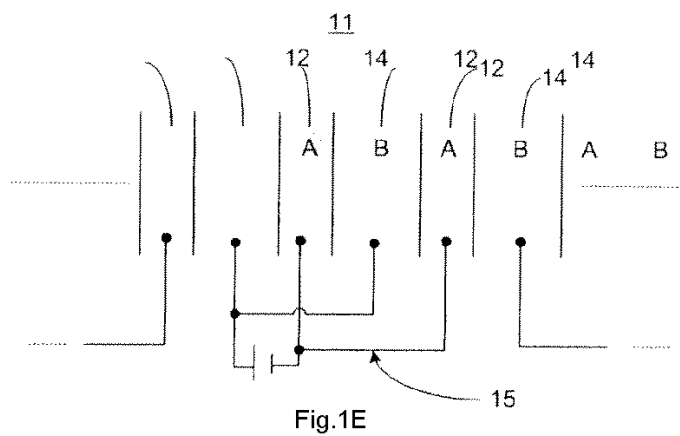


Fig.1D



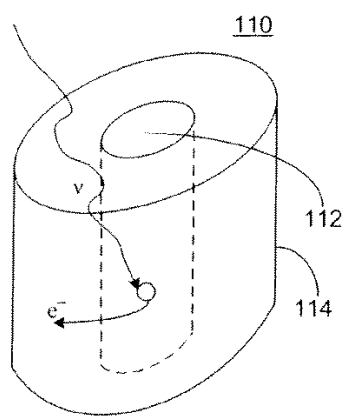


Fig. 2A

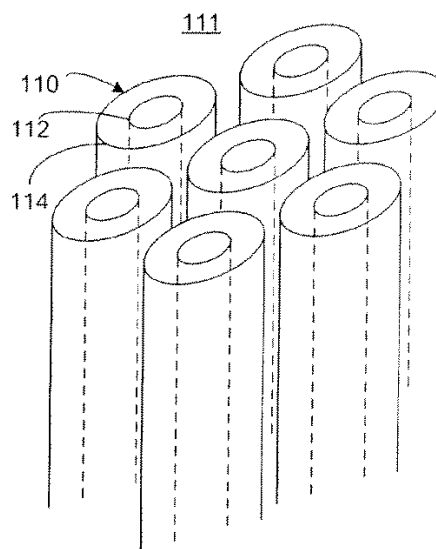


Fig. 2C

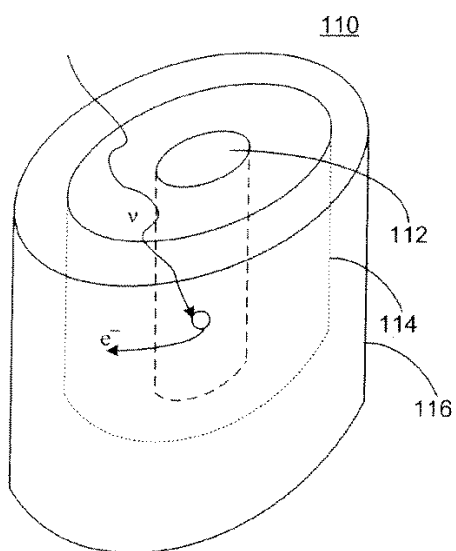


Fig. 2B

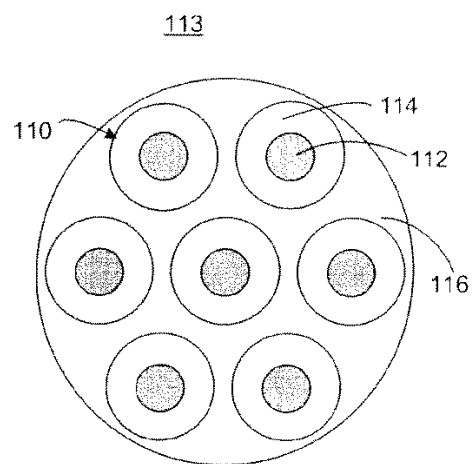


Fig. 2D

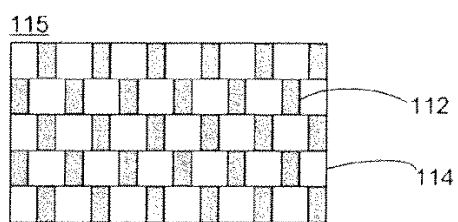


Fig.2E

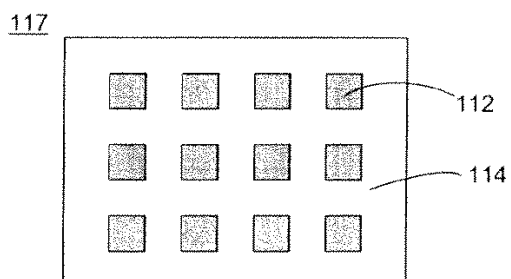


Fig.2F

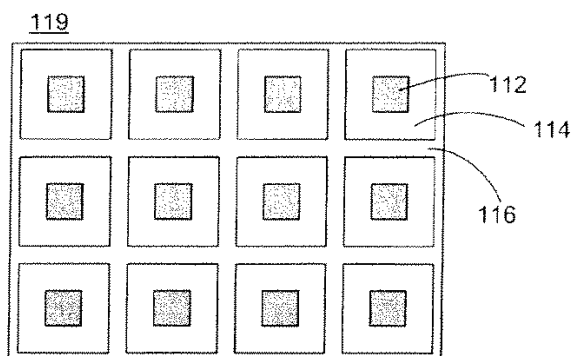


Fig.2G

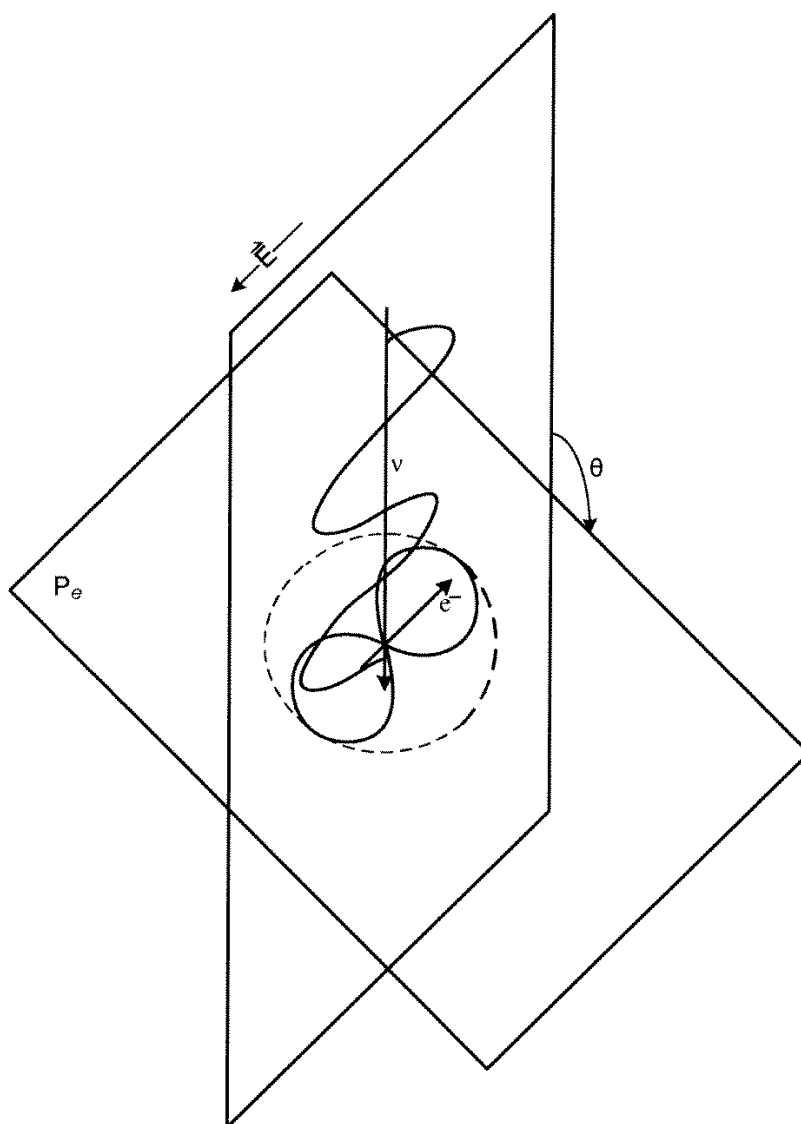


Fig.3

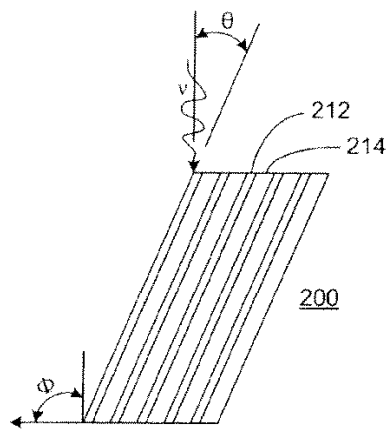


Fig. 4A

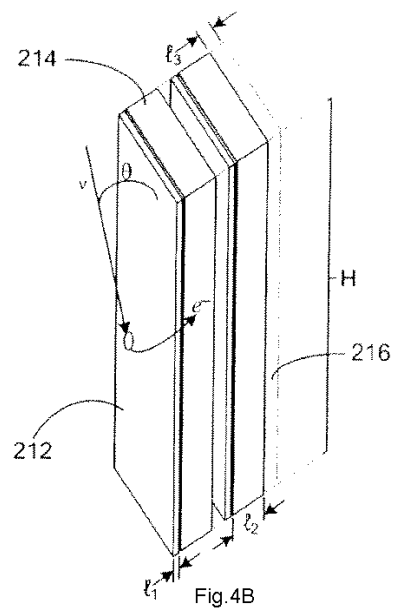


Fig. 4B

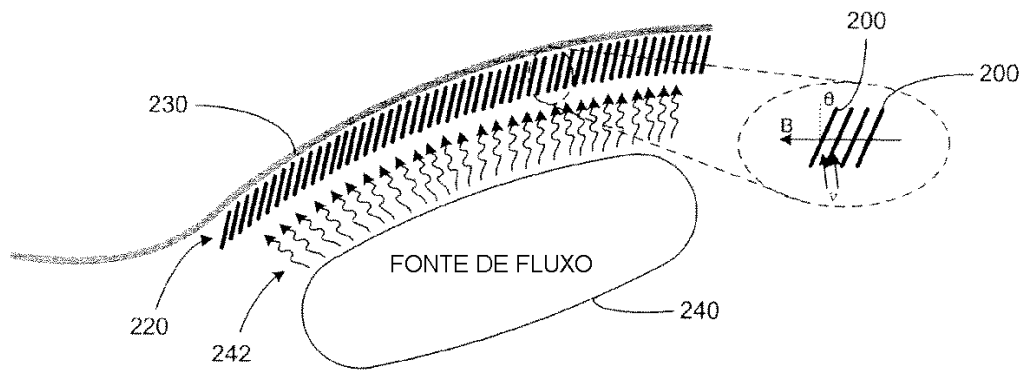


Fig. 5

