

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6097563号
(P6097563)

(45) 発行日 平成29年3月15日 (2017.3.15)

(24) 登録日 平成29年2月24日 (2017.2.24)

(51) Int. Cl. F I
G 2 1 H 1/06 (2006.01) G 2 1 H 1/06

請求項の数 58 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2012-548054 (P2012-548054)	(73) 特許権者	512178835
(86) (22) 出願日	平成23年1月1日 (2011.1.1)		トライ アルファ エナジー, インコー
(65) 公表番号	特表2013-516624 (P2013-516624A)		ポレイテッド
(43) 公表日	平成25年5月13日 (2013.5.13)		アメリカ合衆国 カリフォルニア 926
(86) 国際出願番号	PCT/US2011/020001		88-7010 ランチョ サンタ マル
(87) 国際公開番号	W02011/084903		ガリータ, ビー. オー. ボックス 7
(87) 国際公開日	平成23年7月14日 (2011.7.14)		010
審査請求日	平成25年12月20日 (2013.12.20)	(74) 代理人	100078282
(31) 優先権主張番号	61/293,282		弁理士 山本 秀策
(32) 優先日	平成22年1月8日 (2010.1.8)	(74) 代理人	100062409
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 安村 高明
		(74) 代理人	100113413
			弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高エネルギー光子から電気へのエネルギーの変換

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高エネルギー光子放出を電気エネルギーに変換するための高エネルギー光子エネルギー変換器であって、

高エネルギー光子を吸収する材料の第1の層であって、前記材料の第1の層は、前記材料の第1の層内で吸収された高エネルギー光子によって、材料の第1の層内の原子から放出された電子を放出し、前記第1の層は、前記材料の第1の層内の放出された電子の平均自由行程の長さ未満の前記放出された電子の方向に沿って測定される厚さを有し、前記高エネルギー光子の波長は、非可視領域内にある、材料の第1の層と、

前記材料の第1の層から放出された電子を収集し、前記材料の第1の層に電氣的に連結される、材料の第2の層であって、前記材料の第2の層は、前記材料の第1の層から放出された電子の前記材料の第2の層内の平均自由行程の長さを超える前記放出された電子の前記方向に沿って測定された厚さを有する、材料の第2の層と

を備え、

変換器要素のための前記材料の第1の層および前記材料の第2の層は、前記材料の第1および第2の層の層を含む他の変換器要素に隣接して側方に積層可能であり、前記変換器要素および前記他の変換器要素の前記材料の第1の層は、前記変換器要素および前記他の変換器要素の前記材料の第2の層の隣接する層の間に挟入されており、高エネルギー光子の伝搬の方向に沿って測定される前記変換器要素および前記他の変換器要素の前記第1の材料の層の個々の材料の第1の層の前記厚さは、前記材料の第1の層における前記高エネ

10

20

ルギー光子の平均自由行程の前記長さ未満であり、

前記側方に積層された変換器要素内の前記材料の第 1 の層の複数の層は、総厚を有し、前記側方に積層された変換器要素は、前記変換器要素および前記他の変換器要素を含み、前記材料の第 1 の層の複数の層は、高エネルギー光子によって衝突され、前記高エネルギー光子の伝搬の方向に沿って測定される前記総厚は、前記材料の第 1 の層内の前記高エネルギー光子の平均自由行程の長さよりも大きく、

前記材料の第 1 の層から放出された前記電子は、前記高エネルギー光子の前記伝搬の方向に対して垂直な方向に放出され、前記高エネルギー光子の前記伝搬の方向は、前記変換器要素および前記他の変換器要素の前記材料の第 1 および第 2 の層の隣接する材料の第 1 および第 2 の層の間の境界表面に対する法線ベクトルに対して略直角である、変換器。

10

【請求項 2】

前記材料の第 2 の層に連結された材料の第 3 の層であって、絶縁体材料を備える、材料の第 3 の層をさらに備える、請求項 1 に記載の変換器。

【請求項 3】

前記材料の第 1 および第 2 の層は、対面して積層される、請求項 1 に記載の変換器。

【請求項 4】

前記材料の第 1 の層は、円筒形コアとして構成され、前記材料の第 2 の層は、前記円筒形コアを中心として配置された円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記材料の第 1 の層内で放出された電子の前記平均自由行程の長さの 1 / 2 未満である、請求項 1 に記載の変換器。

20

【請求項 5】

前記材料の第 2 の層の円筒形シェルを中心として配置された円筒形シェルとして構成される、絶縁材料の第 3 の層をさらに備える、請求項 4 に記載の変換器。

【請求項 6】

前記材料の第 1 の層は、高い原子電荷数の構成要素を備える、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項 に記載の変換器。

【請求項 7】

前記高い原子電荷数の構成要素は、金属酸化物である、請求項 6 に記載の変換器。

【請求項 8】

前記高い原子電荷数の構成要素は、タングステンである、請求項 6 に記載の変換器。

30

【請求項 9】

前記材料の第 2 の層の原子電荷数は、前記材料の第 1 の層の原子電荷数と異なる、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項 に記載の変換器。

【請求項 10】

前記材料の第 2 の層の原子電荷数は、前記材料の第 1 の層の原子電荷数より少ない、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項 に記載の変換器。

【請求項 11】

前記材料の第 2 の層は、金属である、請求項 1 から 10 のいずれか 1 項 に記載の変換器。

【請求項 12】

前記金属は、アルミニウムである、請求項 11 に記載の変換器。

40

【請求項 13】

前記材料の第 3 の層は、 SiO_2 である、請求項 2 および 5 のいずれか 1 項 に記載の変換器。

【請求項 14】

前記材料の第 1 の層によって吸収可能な高エネルギー光子は、約 100 eV 以上の範囲内のエネルギーを有する、請求項 1 から 13 のいずれか 1 項 に記載の変換器。

【請求項 15】

前記材料の第 1 の層によって吸収可能な高エネルギー光子は、X 線、XUV 線、またはガンマ線を含む、請求項 1 から 13 のいずれか 1 項 に記載の変換器。

50

【請求項 16】

前記材料の第 1 および第 2 の層は、負荷を有する回路に連結される、請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の変換器。

【請求項 17】

前記負荷は、電氣的に駆動可能な構成要素、電気貯蔵システム、または配電網である、請求項 16 に記載の変換器。

【請求項 18】

前記材料の第 1 および第 2 の層は、光子束源から放出された光子束の伝搬を遮断し、その伝搬の方向に略垂直である、壁の表面に連結可能であり、前記材料の第 1 および第 2 の層の隣接する層間の前記境界表面の各々は、前記光子束の伝搬の方向に対して、浅い角度に配向される、請求項 1 から 17 のいずれか 1 項に記載の変換器。

10

【請求項 19】

高エネルギー光子放出を電気エネルギーに変換するためのエネルギー変換器であって、高エネルギー光子を吸収する第 1 の材料の複数の層であって、前記第 1 の材料の複数の層は、前記第 1 の材料の前記複数の層の個々の層内で吸収された高エネルギー光子によって、前記第 1 の材料の前記複数の層の前記個々の層内の原子から放出された電子を放出し、前記第 1 の材料の前記複数の層の各層は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さ未満の前記放出された電子の方向に沿って測定される厚さを有し、高エネルギー光子の伝搬の方向に沿って測定された前記第 1 の材料の前記複数の層の各層の前記厚さは、前記第 1 の材料における前記高エネルギー光子の平均自由行程の前記長さ未満であり、前記高エネルギー光子の波長は、非可視領域内にあり、前記第 1 の材料の前記複数の層は、前記第 1 の材料内の前記高エネルギー光子の平均自由行程の長さよりも大きい、前記高エネルギー光子の伝搬の方向に沿って測定された総厚を有する前記高エネルギー光子の前記伝搬の方向に沿って高エネルギー光子によって衝突される、第 1 の材料の複数の層と、

20

前記第 1 の材料の前記複数の層から放出された電子を収集し、前記第 1 の材料の前記複数の層に電氣的に連結される、第 2 の材料の複数の層であって、前記第 2 の材料の前記複数の層の各層は、前記第 1 の材料の前記複数の層から放出された電子の前記第 2 の材料内の平均自由行程の長さを超える厚さを有し、前記第 2 の材料の前記複数の層のうちの 1 つ以上の層は、前記第 1 の材料の前記複数の層の隣接する層間に介在する、第 2 の材料の複数の層と

30

を備え、

前記高エネルギー光子の前記伝搬の方向は、前記第 1 の材料の前記複数の層および前記第 2 の材料の前記複数の層の隣接する層間の境界表面に対する法線ベクトルに対して略直角であり、前記第 1 の材料から放出された前記電子は、前記高エネルギー光子の前記伝搬の方向に対して垂直な方向に放出される、変換器。

【請求項 20】

前記第 1 の材料の前記複数の層および前記第 2 の材料の前記複数の層の隣接する層は、対面して積層される、請求項 19 に記載の変換器。

【請求項 21】

前記第 1 の材料の前記複数の層の各層は、円筒形コアとして構成され、前記第 2 の材料の前記複数の層の各層は、前記第 1 の材料の円筒形コアを中心として同心円状に配置された円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第 1 の材料内で放出された電子の前記平均自由行程の長さの $1/2$ 未満である、請求項 19 に記載の変換器。

40

【請求項 22】

前記第 2 の材料の円筒形シェルを中心として同心円状に配置された円筒形シェルとして構成される、第 3 の絶縁材料の複数の層をさらに備える、請求項 21 に記載の変換器。

【請求項 23】

前記第 1 の材料は、高い原子電荷数の構成要素を備える、請求項 19 から 22 のいずれか 1 項に記載の変換器。

50

【請求項 2 4】

前記高い原子電荷数の構成要素は、金属酸化物である、請求項 2 3 に記載の変換器。

【請求項 2 5】

前記高い原子電荷数の構成要素は、タングステンである、請求項 2 3 に記載の変換器。

【請求項 2 6】

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数と異なる、請求項 1 9 から 2 5 のいずれか 1 項に記載の変換器。

【請求項 2 7】

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数より少ない、請求項 1 9 から 2 5 のいずれか 1 項に記載の変換器。

10

【請求項 2 8】

前記第 2 の材料は、金属である、請求項 1 9 から 2 7 のいずれか 1 項に記載の変換器。

【請求項 2 9】

前記金属は、アルミニウムである、請求項 2 8 に記載の変換器。

【請求項 3 0】

前記第 1 の材料の前記複数の層の層はそれぞれ、前記第 2 の材料の前記複数の層の 2 つの層間に挟入される、請求項 1 9 に記載の変換器。

【請求項 3 1】

前記第 1 の材料によって吸収可能な高エネルギー光子は、約 1 0 0 e V 以上の範囲内のエネルギーを有する、請求項 1 9 から 3 0 のいずれか 1 項に記載の変換器。

20

【請求項 3 2】

前記第 1 の材料によって吸収可能な高エネルギー光子は、X 線、X U V 線、またはガンマ線を含む、請求項 1 9 から 3 0 のいずれか 1 項に記載の変換器。

【請求項 3 3】

前記第 1 の材料の前記複数の層および前記第 2 の材料の前記複数の層は、負荷を有する回路に連結される、請求項 1 9 から 3 2 のいずれか 1 項に記載の変換器。

【請求項 3 4】

前記負荷は、電氣的に駆動可能な構成要素、電気貯蔵システム、または配電網である、請求項 3 3 に記載の変換器。

【請求項 3 5】

30

第 3 の材料の複数の層をさらに備え、前記第 3 の材料の前記複数の層の各層は、前記第 2 の材料の前記複数の層のうちの前記 1 つ以上の層の隣接する層間に介在し、ここで、前記第 3 の材料は、絶縁体である、請求項 1 9 から 3 4 のいずれか 1 項に記載の変換器。

【請求項 3 6】

前記第 3 の材料は、 SiO_2 である、請求項 3 5 に記載の変換器。

【請求項 3 7】

前記第 1 の材料の前記複数の層および前記第 2 の材料の前記複数の層は、光子束源から放出された光子束の伝搬を遮断し、その伝搬の方向に略垂直である、壁の表面に連結可能であり、前記第 1 の材料の前記複数の層および前記第 2 の材料の前記複数の層の隣接する層間の前記境界表面の各々は、前記光子束の伝搬の方向に対して、浅い角度に配向される、請求項 1 9 から 3 4 のいずれか 1 項に記載の変換器。

40

【請求項 3 8】

前記第 1 の材料の前記複数の層の各層は、円筒形コアとして構成され、前記第 2 の材料の前記複数の層の各層は、前記第 1 の材料の円筒形コアを中心として同心円状に配置された円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第 1 の材料内で放出された電子の前記平均自由行程の長さの $1/2$ 未満である、請求項 3 7 に記載の変換器。

【請求項 3 9】

前記第 2 の材料の円筒形シェルを中心として同心円状に配置された円筒形シェルとして構成される、第 3 の絶縁材料の複数の層をさらに備える、請求項 3 8 に記載の変換器。

【請求項 4 0】

50

高エネルギー光子放出を電気エネルギーに変換するためのエネルギー変換器システムであって、

光子束源を包囲する壁であって、前記壁は、前記光子束源から放出された光子束の伝搬を遮断し、その伝搬の方向に略垂直である表面を有し、前記光子束は、非可視領域内の波長を有する高エネルギー光子を含む、壁と、

前記壁の表面を被覆する複数の変換器タイルであって、

各変換器タイルは、

高エネルギー光子を吸収する第1の材料の複数の層であって、前記第1の材料の複数の層は、前記第1の材料の前記複数の層の個々の層内で吸収された高エネルギー光子によって、前記第1の材料の前記複数の層の前記個々の層内の原子から放出された電子を放出し、前記第1の材料の前記複数の層の各層は、前記第1の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さ未満の前記放出された電子の方向に沿って測定された厚さを有し、高エネルギー光子の伝搬の方向に沿って測定された前記第1の材料の前記複数の層の各層の前記厚さは、前記第1の材料内の前記高エネルギー光子の平均自由行程の前記長さ未満であり、高エネルギー光子によって衝突される前記変換器タイル内の第1の材料の前記複数の層は、総厚を有し、前記光子束の伝搬の方向に沿って測定される前記総厚は、前記第1の材料内の前記光子束の光子の平均自由行程の長さよりも大きい、第1の材料の複数の層と、

前記第1の材料の前記複数の層から放出された電子を収集し、前記第1の材料の前記複数の層に電氣的に連結される、第2の材料の複数の層であって、前記第2の材料の前記複数の層の各層は、前記第1の材料の前記複数の層から放出される電子の前記第2の材料内の平均自由行程の長さを超える厚さを有し、前記第2の材料の前記複数の層のうちの1つ以上の層は、前記第1の材料の前記複数の層の隣接する層間に介在する、第2の材料の複数の層と

を備える、変換器タイルと

を備え、

前記高エネルギー光子の前記伝搬の方向は、前記第1の材料の前記複数の層および前記第2の材料の前記複数の層の隣接する層間の境界表面に対する法線ベクトルに対して略直角であり、前記第1の材料から放出された前記電子は、前記高エネルギー光子の前記伝搬の方向に対して垂直な方向に放出される、変換器システム。

【請求項41】

前記第1の材料の前記複数の層および前記第2の材料の前記複数の層の隣接する層間の前記境界表面の各々は、前記光子束の伝搬の方向に対して、浅い角度に配向される、請求項40に記載の変換器システム。

【請求項42】

各変換器タイルは、第3の材料の複数の層をさらに備え、前記第3の材料の前記複数の層の各層は、前記第2の材料の前記複数の層のうちの前記1つ以上の層の隣接する層間に介在し、ここで、前記第3の材料は、絶縁体である、請求項40に記載の変換器システム。

【請求項43】

前記第1の材料の前記複数の層および前記第2の材料の前記複数の層は、対面して積層される、請求項40に記載の変換器システム。

【請求項44】

前記第1の材料の前記複数の層の各層は、円筒形コアとして構成され、前記第2の材料の前記複数の層の各層は、前記第1の材料の円筒形コアを中心として同心円状に配置された円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第1の材料内で放出された電子の前記平均自由行程の長さの1/2未満である、請求項40に記載の変換器システム。

【請求項45】

各変換器タイルは、前記第2の材料の円筒形シェルを中心として同心円状に配置された円筒形シェルとして構成される、第3の絶縁材料の複数の層をさらに備える、請求項44

10

20

30

40

50

に記載の変換器システム。

【請求項 4 6】

前記第 1 の材料は、高い原子電荷数の構成要素を備える、請求項 4 0 から 4 5 のいずれか 1 項に記載の変換器システム。

【請求項 4 7】

前記高い原子電荷数の構成要素は、金属酸化物である、請求項 4 6 に記載の変換器システム。

【請求項 4 8】

前記高い原子電荷数の構成要素は、タングステンである、請求項 4 6 に記載の変換器システム。

【請求項 4 9】

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数と異なる、請求項 4 0 から 4 8 のいずれか 1 項に記載の変換器システム。

【請求項 5 0】

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数より少ない、請求項 4 0 から 4 8 のいずれか 1 項に記載の変換器システム。

【請求項 5 1】

前記第 2 の材料は、金属である、請求項 4 0 から 5 0 のいずれか 1 項に記載の変換器システム。

【請求項 5 2】

前記金属は、アルミニウムである、請求項 5 1 に記載の変換器システム。

【請求項 5 3】

前記第 3 の材料は、 SiO_2 である、請求項 4 2 に記載の変換器システム。

【請求項 5 4】

前記第 1 の材料の前記複数の層の層はそれぞれ、前記第 2 の材料の前記複数の層の 2 つの層間に挟入される、請求項 4 0 に記載の変換器システム。

【請求項 5 5】

前記第 1 の材料によって吸収可能な高エネルギー光子は、約 1 0 0 e V 以上の範囲内のエネルギーを有する、請求項 4 0 から 5 4 のいずれか 1 項に記載の変換器システム。

【請求項 5 6】

前記第 1 の材料によって吸収可能な高エネルギー光子は、X 線、X U V 線、またはガンマ線を含む、請求項 4 0 から 5 4 のいずれか 1 項に記載の変換器システム。

【請求項 5 7】

前記第 1 の材料の前記複数の層および前記第 2 の材料の前記複数の層は、負荷を有する回路に連結される、請求項 4 0 から 5 6 のいずれか 1 項に記載の変換器システム。

【請求項 5 8】

前記負荷は、電氣的に駆動可能な構成要素、電気貯蔵システム、または配電網である、請求項 5 7 に記載の変換器システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

(分野)

本明細書に説明される実施形態は、概して、光子エネルギー変換に関し、より具体的には、高エネルギー光子から電気へのエネルギーの変換を促進する、システムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

(背景情報)

例えば、光起電セル(「太陽電池」)等、光学範囲内の光子のエネルギーを電気に変換する、多くの周知の素子が存在する。これらの素子は、概して、異なる電子親和力等、異

10

20

30

40

50

なる物理的特性を伴う、少なくとも2つの材料（すなわち、シリコン系半導体）から成る（P. Wuerfel, The Physics of Solar Cells, 1st Edition, Wiley-VCH (2004) 参照）。材料のうちの1つが、太陽光によって照射されると、太陽光子は、光電子を価電子帯から伝導帯に励起し、電氣的移動度を提供する。価電子帯と伝導帯との間のエネルギーギャップは、典型的には、約1電子ボルトであって、これは、入射太陽光子のエネルギーに類似する。異なる電子親和力を伴う、2つの材料の配設は、電気エネルギーのために活用され得る、材料境界にわたって、電圧を生じさせる。

【0003】

しかしながら、例えば、XUV、X、およびガンマ線等の高エネルギー光子体制で動作する光子からの電気への変換のための公知の素子は、存在しない。そのような素子は、広範囲の用途において使用され得る。例えば、そのような素子は、例えば、爆薬等の爆発源から放出され、加速された粒子の高温プラズマおよびビームから放出される、例えば、使用済み核燃料棒や、電源、遮蔽等の空間用途における素子等、放射性材料によって放出される、高エネルギー光子の変換のためのエネルギー変換器として、使用され得る。そのような素子を提供する際の困難点は、可視光と比較して、そのような光子と物質の相互作用が遥かに小さい結果、物質を通した高エネルギー光子の透過性が大きく、ほとんどの材料の場合、電子の平均自由行程が、典型的には、高エネルギー光子の平均自由行程より何倍も短いことから生じる。平均自由行程の不均衡の結果として、高エネルギー光子を捕捉するために使用される材料内の原子から放出される電子は、再結合に屈する傾向となる一方、そのエネルギーは、高エネルギー光子捕捉材料内において、熱に変換する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

したがって、高エネルギー光子から電気へのエネルギーの変換を促進するであろう、システムおよび方法を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0005】

（概要）

本明細書に説明される実施形態は、高エネルギー光子から電気へのエネルギーの変換を対象とする。本明細書に提供される実施形態の根本にある原理は、高エネルギー光子による、原子からの電子の放出（高原子番号（高Z）材料の原子からの深在性の内殻電子の放出を含む）に基づく。放出された電子は、素子の異なる領域内への放出された電子の移動をもたらすことができる、運動エネルギーを持ち、放出された電子の蓄積は、次いで、外部電気回路を駆動し得る、電位を生成することができる。着目光子スペクトルは、XUV線、X線、ガンマ線等を含むが、それらに限定されない、非可視領域内の光子を含む。

【0006】

本明細書に提供されるシステムおよび方法は、異なる原子電荷を伴う一連の材料を利用して、一連のオージェ電子放出を介した、単一高エネルギー光子による大量の電子の放出を用いる。一実施形態では、高エネルギー光子変換器は、好ましくは、高エネルギー光子を吸収し、電子を吸収または収集するための他の材料の第2の複数の層と組み合わせられた電子を放出するための材料の第1の複数の層から成る、線形に層化されたナノメートル尺度ウエハを含む。第2の複数の層の材料は、第1の複数の層の材料の原子電荷数と異なる原子電荷数を有する。第1および第2の複数の層は、好ましくは、側方に隣り合って（すなわち、対面して）積層され、相互間に介在し、高エネルギー光子の伝搬の方向に対して、グレーディング（浅い）角で配向される。別の実施形態では、ナノメートル尺度層は、管状またはシェル状構成に構成される。さらに別の実施形態では、層は、絶縁体材料の第3の複数の層を含む。

【0007】

本明細書に説明されるシステムおよび方法は、エネルギー検出および吸収から、粒子加

速器内での高エネルギー光子のエネルギー変換、他の超高温物質（高温プラズマ等）および／または多量の高エネルギー光子を放出する爆発源（爆薬等）、放射性核廃棄物（使用済み核燃料棒等）の放出のエネルギー捕捉、および空間用途（電源、遮蔽等）、ならびに当業者にとって容易に認識可能な他の用途まで、広範囲の用途で利用されてもよい。
本願明細書は、例えば、以下の項目も提供する。

（項目１）

高エネルギー光子放出を電気エネルギーに変換するための高エネルギー光子エネルギー変換器であって、

高エネルギー光子を吸収し、前記材料の第１の層内で吸収された高エネルギー光子によって、材料の第１の層内の原子から放出された電子を放出する、材料の第１の層であって、前記材料の第１の層内の放出された電子の平均自由行程の長さ未満の厚さを有する、第１の層と、

前記材料の第１の層から放出された電子を収集し、前記材料の第１の層に電氣的に連結される、材料の第２の層であって、前記材料の第１の層から放出された電子の前記材料の第２の層内の平均自由行程の長さを超える厚さを有する、材料の第２の層と
を備える、変換器。

（項目２）

前記材料の第２の層に連結された材料の第３の層であって、絶縁体材料を備える、材料の第３の層をさらに備える、項目１に記載の変換器。

（項目３）

前記第１および第２の層は、対面して積層される、項目１に記載の変換器。

（項目４）

前記材料の第１の層は、円筒形コアとして構成され、前記材料の第２の層は、前記円筒形コアを中心として配置される、円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第１の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さの１／２倍未満である、項目１に記載の変換器。

（項目５）

前記材料の第２の層の円筒形シェルを中心として配置される、円筒形シェルとして構成される、絶縁材料の第３の層をさらに備える、項目４に記載の変換器。

（項目６）

前記材料の第１の層は、高い原子電荷数の構成要素を備える、項目１から５に記載の変換器。

（項目７）

前記高い原子電荷数の構成要素は、耐火金属または金属酸化物である、項目６に記載の変換器。

（項目８）

前記高い原子電荷数の構成要素は、タングステンである、項目６に記載の変換器。

（項目９）

前記材料の第２の層の原子電荷数は、前記材料の第１の層の原子電荷数と異なる、項目１から８に記載の変換器。

（項目１０）

前記材料の第２の層の原子電荷数は、前記材料の第１の層の原子電荷数より少ない、項目１から８に記載の変換器。

（項目１１）

前記材料の第２の層は、金属である、項目１から１０に記載の変換器。

（項目１２）

前記金属は、アルミニウムである、項目１１に記載の変換器。

（項目１３）

前記材料の第３の層は、SiO₂である、項目２および５に記載の変換器。

（項目１４）

前記材料の第 1 の層は、前記材料の第 2 の層と、前記材料の第 2 の層と同一材料を備える材料の第 3 の層との間に挟入される、項目 1 に記載の変換器。

(項目 1 5)

前記材料の第 1 の層によって吸収可能な高エネルギー光子は、約 1 0 0 e V 以上の範囲内のエネルギーを有する、項目 1 から 1 4 に記載の変換器。

(項目 1 6)

前記材料の第 1 の層によって吸収可能な高エネルギー光子は、X 線、X U V 線、またはガンマ線を含む、項目 1 から 1 4 に記載の変換器。

(項目 1 7)

前記材料の第 1 および第 2 の層は、負荷を有する回路に連結される、項目 1 から 1 6 に記載の変換器。

10

(項目 1 8)

前記負荷は、電氣的に駆動可能な構成要素、電気貯蔵システム、または配電網である、項目 1 7 に記載の変換器。

(項目 1 9)

前記材料の第 1 および第 2 の層は、光子束源から放出された光子束の伝搬を遮断し、その方向に略垂直である、表面に連結可能であり、前記第 1 および第 2 の層の各層は、前記光子束の伝搬の方向に対して、グレージング角に配向される、項目 1 から 1 8 に記載の変換器。

(項目 2 0)

20

高エネルギー光子放出を電気エネルギーに変換するためのエネルギー変換器であって、高エネルギー光子を吸収し、第 1 の材料内で吸収された高エネルギー光子によって、第 1 の材料内の原子から放出された電子を放出する、第 1 の材料の第 1 の複数の層であって、前記第 1 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さ未満の厚さを有する、第 1 の複数の層と、

前記第 1 の材料の第 1 の複数の層から放出される電子を収集し、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層に電氣的に連結される、第 2 の材料の第 2 の複数の層であって、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層から放出される電子の前記第 2 の材料内の平均自由行程の長さを超える厚さを有し、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の 1 つ以上の層は、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の隣接する層間に介在する、第 2 の材料の第 2 の複数の層と

30

を備える、変換器。

(項目 2 1)

第 3 の材料の第 3 の複数の層であって、前記第 3 の複数の層の各層は、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の 1 つ以上の層の隣接する層間に介在する、第 3 の複数の層をさらに備える、項目 2 0 に記載の変換器。

(項目 2 2)

前記第 1 および第 2 の複数の層は、対面して積層される、項目 2 0 に記載の変換器。

(項目 2 3)

前記第 1 の材料の前記第 1 の複数の層の各層は、円筒形コアとして構成され、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料の円筒形コアを中心として同心円状に配置される、円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さの 1 / 2 倍未満である、項目 2 0 に記載の変換器。

40

(項目 2 4)

前記第 2 の材料の円筒形シェルを中心として同心円状に配置される、円筒形シェルとして構成される、第 3 の絶縁材料の第 3 の複数の層をさらに備える、項目 2 3 に記載の変換器。

(項目 2 5)

前記第 1 の材料は、高い原子電荷数の構成要素を備える、項目 2 0 から 2 4 に記載の変

50

換器。

(項目 2 6)

前記高い原子電荷数の構成要素は、耐火金属または金属酸化物である、項目 2 5 に記載の変換器。

(項目 2 7)

前記高い原子電荷数の構成要素は、タングステンである、項目 2 5 に記載の変換器。

(項目 2 8)

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数と異なる、項目 2 0 から 2 7 に記載の変換器。

(項目 2 9)

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数より少ない、項目 2 0 から 2 7 に記載の変換器。

(項目 3 0)

前記第 2 の材料は、金属である、項目 2 0 から 2 9 に記載の変換器。

(項目 3 1)

前記金属は、アルミニウムである、項目 3 0 に記載の変換器。

(項目 3 2)

前記第 3 の材料は、SiO₂ である、項目 2 1 および 2 4 に記載の変換器。

(項目 3 3)

前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の層はそれぞれ、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の 2 つの層間に挟入される、項目 2 0 に記載の変換器。

(項目 3 4)

前記第 1 の材料によって吸収可能な高エネルギー光子は、約 1 0 0 e V 以上の範囲内のエネルギーを有する、項目 2 0 から 3 3 に記載の変換器。

(項目 3 5)

前記材料の第 1 の層によって吸収可能な高エネルギー光子は、X 線、X U V 線、またはガンマ線を含む、項目 2 0 から 3 3 に記載の変換器。

(項目 3 6)

前記第 1 および第 2 の複数の層は、負荷を有する回路に連結される、項目 2 0 から 3 5 に記載の変換器。

(項目 3 7)

前記負荷は、電氣的に駆動可能な構成要素、電気貯蔵システム、または配電網である、項目 3 6 に記載の変換器。

(項目 3 8)

前記材料の第 1 および第 2 の複数の層は、光子束源から放出された光子束の伝搬を遮断し、その方向に略垂直である、表面に連結可能であって、前記第 1 および第 2 の複数の層の各層は、前記光子束の伝搬の方向に対して、グレージング角に配向される、項目 2 0 から 3 7 に記載の変換器。

(項目 3 9)

前記第 1 の材料の前記第 1 の複数の層の各層は、円筒形コアとして構成され、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料の円筒形コアを中心として同心円状に配置される、円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さの 1 / 2 倍未満である、項目 3 8 に記載の変換器。

(項目 4 0)

前記第 2 の材料の円筒形シェルを中心として同心円状に配置される、円筒形シェルとして構成される、第 3 の絶縁材料の第 3 の複数の層をさらに備える、項目 3 9 に記載の変換器。

(項目 4 1)

前記光子束の伝搬の方向に沿って測定される、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の総厚

10

20

30

40

50

は、前記第 1 の材料内の光子束の光子のための平均自由行程の長さを上回る、項目 3 8 から 4 0 に記載の変換器。

(項目 4 2)

高エネルギー光子放出を電気エネルギーに変換するためのエネルギー変換器システムであって、

光子束源を包囲し、前記光子束源から放出される光子束の伝搬を遮断し、その方向に略垂直である、表面を有する、壁と、

前記壁の表面を被覆する、複数の変換器タイルであって、

各変換器タイルは、

高エネルギー光子を吸収し、第 1 の材料内で吸収された高エネルギー光子によって、第 1 の材料内の原子から放出された電子を放出する、第 1 の材料の第 1 の複数の層であって、前記第 1 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さ未満の厚さを有する、第 1 の複数の層と、

10

前記第 1 の材料の第 1 の複数の層から放出された電子を収集し、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層に電気的に連結される、第 2 の材料の第 2 の複数の層であって、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層から放出される電子の前記第 2 の材料内の平均自由行程の長さを超える厚さを有し、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の 1 つ以上の層は、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の隣接する層間に介在する、第 2 の材料の第 2 の複数の層と

を備える、変換器タイルと

20

を備える、変換器システム。

(項目 4 3)

前記第 1 および第 2 の複数の層の各層は、前記光子束の伝搬の方向に対して、グレイジング角に配向される、項目 4 2 に記載の変換器システム。

(項目 4 4)

各変換器タイルは、第 3 の材料の第 3 の複数の層であって、前記第 3 の複数の層の各層は、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の 1 つ以上の層の隣接する層間に介在する、第 3 の複数の層をさらに備える、項目 4 2 に記載の変換器システム。

(項目 4 5)

前記第 1 および第 2 の複数の層は、対面して積層される、項目 4 2 に記載の変換器システム。

30

(項目 4 6)

前記第 1 の材料の前記第 1 の複数の層の各層は、円筒形コアとして構成され、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料の円筒形コアを中心として同心円状に配置される、円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さの $1/2$ 倍未満である、項目 4 2 に記載の変換器システム。

(項目 4 7)

各変換器タイルは、前記第 2 の材料の円筒形シェルを中心として同心円状に配置される、円筒形シェルとして構成される、第 3 の絶縁材料の第 3 の複数の層をさらに備える、項目 4 6 に記載の変換器システム。

40

(項目 4 8)

前記第 1 の材料は、高い原子電荷数の構成要素を備える、項目 4 2 から 4 7 に記載の変換器システム。

(項目 4 9)

前記高い原子電荷数の構成要素は、耐火金属または金属酸化物である、項目 4 8 に記載の変換器システム。

(項目 5 0)

前記高い原子電荷数の構成要素は、タングステンである、項目 4 8 に記載の変換器システム。

50

(項目 5 1)

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数と異なる、項目 4 2 から 5 0 に記載の変換器システム。

(項目 5 2)

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数より少ない、項目 4 2 から 5 0 に記載の変換器システム。

(項目 5 3)

前記第 2 の材料は、金属である、項目 4 2 から 5 2 に記載の変換器システム。

(項目 5 4)

前記金属は、アルミニウムである、項目 5 3 に記載の変換器システム。

10

(項目 5 5)

前記第 3 の材料は、SiO₂ である、項目 4 3 および 4 7 に記載の変換器システム。

(項目 5 6)

前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の層はそれぞれ、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の 2 つの層間に挟入される、項目 4 2 に記載の変換器システム。

(項目 5 7)

前記第 1 の材料によって吸収可能な高エネルギー光子は、約 1 0 0 e V 以上の範囲内のエネルギーを有する、項目 4 2 から 5 6 に記載の変換器システム。

(項目 5 8)

前記材料の第 1 の層によって吸収可能な高エネルギー光子は、X 線、X U V 線、またはガンマ線を含む、項目 4 2 から 5 6 に記載の変換器システム。

20

(項目 5 9)

前記第 1 および第 2 の複数の層は、負荷を有する回路に連結される、項目 4 2 から 5 8 に記載の変換器システム。

(項目 6 0)

前記負荷は、電氣的に駆動可能な構成要素、電気貯蔵システム、または配電網である、項目 5 9 に記載の変換器システム。

(項目 6 1)

前記光子束の伝搬の方向に沿って測定される、各変換器タイルのための前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の総厚は、前記第 1 の材料内の光子束の光子のための平均自由行程の長さを上回る、項目 4 2 から 6 0 に記載の変換器システム。

30

(項目 6 2)

エネルギーを高エネルギー光子から電氣に変換する方法であって、
光子束源を包囲する壁の表面に連結される、第 1 の材料の第 1 の複数の層のうちの 1 つ内に、前記光子束源から放出される光子束の高エネルギー光子を吸収するステップであって、前記表面は、前記光子束の伝搬の方向に略垂直である、ステップと、
第 2 の材料の第 2 の複数の層のうちの 1 つ内に、前記高エネルギー光子によって、前記第 1 の材料内の原子から放出された 1 つ以上の電子を収集するステップと
を含み、

前記第 1 の材料の前記第 1 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さ未満の厚さを有し、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層は、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層に電氣的に連結され、前記第 1 および第 2 の複数の層の各層は、前記光子束の伝搬の方向に対して、グレーディング角に配向される、方法。

40

(項目 6 3)

前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料から放出される電子の第 2 の材料内の平均自由行程の長さを上回る厚さを有し、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層のうちの 1 つ以上の層は、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の隣接する層間に介在する、項目 6 2 に記載の方法。

(項目 6 4)

前記第 1 および第 2 の複数の層は、対面して積層される、項目 6 2 に記載の方法。

50

(項目 6 5)

前記第 1 の材料の前記第 1 の複数の層の各層は、円筒形コアとして構成され、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の各層は、前記第 1 の材料の円筒形コアを中心として同心円状に配置される、円筒形シェルとして構成され、前記円筒形コアの半径は、前記第 1 の材料内で放出された電子の平均自由行程の長さの $1 / 2$ 倍未満である、項目 6 2 に記載の方法。

(項目 6 6)

前記第 1 の材料は、高い原子電荷数の構成要素を備える、項目 6 2 から 6 5 に記載の方法。

(項目 6 7)

前記高い原子電荷数の構成要素は、耐火金属または金属酸化物である、項目 6 6 に記載の方法。

(項目 6 8)

前記高い原子電荷数の構成要素は、タングステンである、項目 6 6 に記載の方法。

(項目 6 9)

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数と異なる、項目 6 2 から 6 8 に記載の方法。

(項目 7 0)

前記第 2 の材料の原子電荷数は、前記第 1 の材料の原子電荷数より少ない、項目 6 2 から 6 8 に記載の方法。

(項目 7 1)

前記第 2 の材料は、金属である、項目 6 2 から 7 0 に記載の方法。

(項目 7 2)

前記金属は、アルミニウムである、項目 7 1 に記載の方法。

(項目 7 3)

前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の層はそれぞれ、前記第 2 の材料の第 2 の複数の層の 2 つの層間に挟入される、項目 6 2 に記載の方法。

(項目 7 4)

前記第 1 の材料によって吸収可能な高エネルギー光子は、約 100 eV 以上の範囲内のエネルギーを有する、項目 6 2 から 7 3 に記載の方法。

(項目 7 5)

前記材料の第 1 の層によって吸収可能な高エネルギー光子は、X 線、XUV 線、またはガンマ線を含む、項目 6 2 から 7 4 に記載の方法。

(項目 7 6)

前記光子束の伝搬の方向に沿って測定される、前記第 1 の材料の第 1 の複数の層の総厚は、前記第 1 の材料内の光子束の光子のための平均自由行程の長さを上回る、項目 6 2 から 7 5 に記載の方法。

【 0 0 0 8 】

例示的实施形態の他のシステム、方法、特徴、および利点は、以下の図および発明を実施するための形態の検討によって、当業者には明白である、または明白となるであろう。

【 図面の簡単な説明 】【 0 0 0 9 】

構造および動作を含む、例示的实施形態の詳細は、付随の図の吟味によって、部分的に得られ得る（同一参照番号は、同一部品を指す）。図中の構成要素は、必ずしも、正確な縮尺ではなく、代わりに、本発明の原理を例証するように、強調されている。さらに、すべての例証は、概念を伝達することを意図しており、相対的サイズ、形状、および他の詳細な属性は、文字通りまたは精密ではなく、図式的に例証され得る。

【図 1 A】図 1 A は、線形に層化されたナノメートル尺度高エネルギー光子変換器要素の概略図である。

【図 1 B】図 1 B は、代替の線形に層化されたナノメートル尺度高エネルギー光子変換器要素の概略図である。

10

20

30

40

50

【図 1 C】図 1 C は、図 1 A に示される、線形に層化されたナノメートル尺度変換器要素のアレイを備える、高エネルギー光子変換器の概略図である。

【図 1 D】図 1 D は、図 1 B に示される、線形に層化されたナノメートル尺度変換器要素のアレイを備える、高エネルギー光子変換器の概略図である。

【図 1 E】図 1 E は、高エネルギー光子変換器回路の概略図である。

【図 1 F】図 1 F は、負荷を備える、外部回路に連結される、代替の高エネルギー光子変換器回路の概略図である。

【図 2 A】図 2 A は、円筒形に層化されたナノメートル尺度高エネルギー光子変換器要素の斜視図である。

【図 2 B】図 2 B は、代替の円筒形に層化されたナノメートル尺度高エネルギー光子変換器要素の斜視図である。

【図 2 C】図 2 C は、図 2 A に示される、円筒形に層化されたナノメートル尺度変換器要素のアレイを備える、高エネルギー光子変換器の斜視図である。

【図 2 D】図 2 D は、図 2 B に示される、円筒形に層化されたナノメートル尺度変換器要素のアレイを備える、高エネルギー光子変換器の端面図である。

【図 2 E】図 2 E、図 2 F、および図 2 G は、代替の幾何学的構成を伴う、高エネルギー光子変換器の端面図である。

【図 2 F】図 2 E、図 2 F、および図 2 G は、代替の幾何学的構成を伴う、高エネルギー光子変換器の端面図である。

【図 2 G】図 2 E、図 2 F、および図 2 G は、代替の幾何学的構成を伴う、高エネルギー光子変換器の端面図である。

【図 3】図 3 は、入射高エネルギー光子 ν の伝搬特徴、および入射高エネルギー光子 ν によって、材料の層内のその原子から放出される、電子 e^- の移動特徴を例証する、略図である。

【図 4 A】図 4 A は、複数の線形に積層された層を備える、変換器タイルの概略図である。

【図 4 B】図 4 B は、複数の線形に積層された層を備える、変換器タイルの斜視図である。

【図 5】図 5 は、光子束源から放出される光子束を遮断し、それに略垂直である、適合表面に沿って配設される、図 4 A および 4 B に描写されたタイルのアセンブリを示す、概略図である。

【図 6 A】図 6 A は、光子束源から放出される光子束を遮断し、それに略垂直である、適合表面に沿って配設される、図 4 A および 4 B に描写されたタイルのアセンブリを示す、概略図である。

【図 6 B】図 6 B は、光子束源から放出される光子束を遮断し、それに略垂直である、適合表面に沿って配設される、図 4 A および 4 B に描写されたタイルのアセンブリを示す、概略図である。

【図 6 C】図 6 C は、光子束源から放出される光子束を遮断し、それに略垂直である、適合表面に沿って配設される、図 4 A および 4 B に描写されたタイルのアセンブリを示す、概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

類似構造または機能の要素は、概して、図面を通して、例証的目的のために、同一参照番号によって、表されることに留意されたい。また、図は、好ましい実施形態の説明を促進するためにのみ意図されることに留意されたい。

【0011】

(詳細な説明)

以下に開示される付加的特徴および教示はそれぞれ、別個に、または他の特徴および教示と併用して、利用され、高エネルギー光子から電気へのエネルギーの変換を促進するためのシステムおよび方法を産生することができる。ここで、別個および組み合わせの両方

10

20

30

40

50

において、これらの付加的特徴および教示の多くを利用する、本発明の代表的実施例について、添付の図面を参照して、さらに詳細に説明される。本発明を実施するための形態は、単に、本教示の好ましい側面を実践するためのさらなる詳細を当業者に教示することを意図し、発明の範囲を限定することを意図するものではない。したがって、以下の詳細な説明に開示される特徴およびステップの組み合わせは、広い意味において、本発明を実践する必要がなく、代わりに、単に、特に、本教示の代表的実施例を説明するように教示されてもよい。

【0012】

さらに、代表的実施例および従属請求項の種々の特徴は、本教示の付加的有用実施形態を提供するために、具体的かつ明示的に列挙されていない方法で組み合わせられてもよい。加えて、説明および/または請求項に開示されるすべての特徴は、本来の開示の目的のために、ならびに実施形態および/または請求項内の特徴の組成から独立して、請求される主題を制限する目的のために、相互から別個かつ独立して、開示されることが意図されることに、特に留意されたい。また、すべての値範囲または実体の群の指示は、本来の開示の目的のために、ならびに請求される主題を制限する目的のために、あらゆる可能性のある中間値または中間実体を開示することにも、明示的に留意されたい。

【0013】

本明細書に説明される実施形態は、高エネルギー光子（例えば、好ましくは、約100 eV以上の範囲内のエネルギーを伴う光子等）から電気へのエネルギーの変換を対象とする。実施形態の根本にある原理は、高エネルギー光子による、原子からの電子の放出（原子番号（高Z）材料の原子からの深在性の内殻電子を含む）に基づく。放出された電子は、素子の異なる領域内への放出された電子の移動をもたすことができる、運動エネルギーを持ち、放出された電子の蓄積は、外部電気回路を駆動するために捕捉され得る、電位を生成することができる。着目光子スペクトルは、好ましくは、XUV線、X線、ガンマ線等を含むが、それらに限定されない、非可視領域内の光子を含む。そのような光子のエネルギーは、可視領域内の光子のエネルギーより数倍大きく、したがって、熱化のための限界は、遥かに大きい（論理的カルノー係数は、略1である）。高入射光子エネルギー（概して、100 eV以上）のため、本明細書に説明されるシステムおよび方法は、光電素子（例えば、太陽電池）または熱電気効果（例えば、ゼーベック効果）に基づく素子等、光子の他の標準的エネルギー変換器と比較して、非常に高い効率のエネルギー変換が可能である。

【0014】

以下にさらに詳細に論じられるように、この潜在的に高利得を活用するために使用される、システムおよび方法は、次いで、外部回路を駆動するように用いることができる、高エネルギー光子のエネルギーを適切な形態の電気エネルギーに効果的に導き、したがって、強磁場が存在するもの（電子動態が、磁場にわたって、ジャイロ運動によって特徴付けられるように）を含む、広範囲の用途を網羅する。その結果、本明細書に説明されるシステムおよび方法は、エネルギー検出および吸収から、粒子加速器内における高エネルギー光子のエネルギー変換、他の超高温物質（高温プラズマ等）および/または多量の高エネルギー光子を放出する爆発源（爆薬等）からの高エネルギー光子の直接エネルギー変換、放射性核廃棄物（使用済み核燃料棒等）の放出のエネルギー捕捉、および空間用途（電源、遮蔽等）、ならびに当業者にとって容易に認識可能な他の用途まで、広範囲の用途において利用されてもよい。

【0015】

本明細書に提供されるシステムおよび方法は、異なる原子電荷を伴う一連の材料層を利用して、一連のオージェ電子放出を介した、単一高エネルギー光子による大量の電子の放出を用いる。一実施形態では、高エネルギー光子変換器は、好ましくは、高エネルギー光子を吸収し、第1の複数の層から放出された電子を吸収または収集するための他の材料の第2の複数の層と組み合わせられた電子を放出するための第1の複数の材料の層から成る、線形に層化されたナノメートル尺度ウエハを含む。第2の複数の層の材料は、第1の複数

の層の材料の原子電荷数と異なる原子電荷数を有する。別の実施形態では、ナノメータ尺度層は、管状またはシェル状構成に構成される。ナノメータ層は、ドナー原子から光電子の分離を促進する。これらの構造を利用して、得られた変換器は、そうでなければ、高エネルギー光子に直接暴露されるであろう、材料に入射する電力束を低減させ、それによって、これらの材料の加熱量を低減してもよく、また、そうでなければ、重度の高エネルギー光子照射損傷を被る、材料の劣化を軽減してもよい。

【0016】

図面を詳細に参照すると、高効率を伴う、高エネルギー光子の電気へのエネルギー変換のためのシステムおよび方法が、例証される。前述の議論の目的のために、変換器素子または複数の素子は、電子軌道に決定的に衝撃を及ぼし得る、強電磁場内に埋め込まれると仮定される。しかしながら、以下から明白であるように、素子の特徴的長さ尺度に基づいて、電子軌道特性は、実施形態が、例えば、使用済み核燃料棒用途等、磁場が殆どまたは全く存在しない用途にも、等しく、適用可能であるように、磁場（実践的に到達可能な強度を伴う）によって、最小限に影響を受ける。

【0017】

図1Aから1Fを参照すると、線形構造を有する、光子エネルギー変換器の実施形態が、示される。図1Aに描写されるように、線形構造を有する、光子エネルギー変換器のほとんどの基本的構築ブロックまたは変換器要素10は、第1の原子番号 Z_1 を有し、好ましくは、例えば、金属酸化物等の高原子番号成分を備える、タイプA材料の第1の層12から成る。第1の層12は、好ましくは、タイプA材料の第1の層12の原子番号と異なる第2の原子番号 Z_2 を有し、好ましくは、典型的には、好ましくはタイプA材料の第1の層12の原子番号より低い原子番号によって特徴付けられる（すなわち、 $Z_2 < Z_1$ ）金属を備える、タイプB材料の2つの層14間に挟入される。図1Bに描写されるように、基本的構築ブロック10は、随意に、タイプC材料の絶縁体層16の追加によって、増強されることができる。例示的な一式のタイプA、B、およびCの材料は、A = タングステン（W）、B = アルミニウム（Al）、C = SiO₂等の絶縁体を含んでもよいが、それらに限定されない。代替として、絶縁体層は、単に、また、冷却剤としても作用することができる、自由流動性ヘリウムであり得る。しかしながら、当業者は、本発明の精神に準拠して、他の材料を代用することができることを容易に認識するであろう。

【0018】

図1Cおよび1Dに描写される好ましい実施形態では、変換器11および13は、すべてのタイプA層12内の光子によって使用される理論的な最大の総光子経路長が、タイプA材料によって吸収されるべき高エネルギー光子 ν の平均自由行程に匹敵するか、またはそれ以上となるまで、側方に隣り合って（すなわち、対面して）積層された一連の基本的構築ブロックまたはそのアレイを含む。図1Cおよび1Dに描写されるように、タイプB材料の1つ以上の層14は、タイプA材料の隣接する層12間に介在し、随意に、タイプC絶縁材料の層16は、タイプB材料の隣接する層14間に介在する。

【0019】

構築ブロックまたは変換器要素10を隣り合って積層することによって、タイプA材料内で吸収された高エネルギー光子 ν によって生じる、電子放出を効果的に収容するために好適な全体的構造に対する幾何学形状を提供する。光子

【0020】

【化1】

\vec{E}
の偏光は、図3に描写されるように、光子 ν の伝搬の方向に垂直であるため、放出された電子 e^- の方向は、主に、平面 P_e にあり（その平面から適切に減衰する角度分布を伴うが、その平面上でピークに達する）、これは、光子 ν の伝搬の方向に垂直である（但し、そのような平面は、光子 ν の偏光を含有する）。図1Aおよび1Bに描写されるように、変換器要素10の層12および14は、層間の境界表面に対する法線ベクトルが、光子 ν の伝搬の方向に略直角であるような方向に、隣り合って積層される。後述の一好ましい構

10

20

30

40

50

成では、層間の境界表面は、入射高エネルギー光子 ν の伝搬の方向を伴う、グレージング（浅い）角に整合することができる。その結果、入射高エネルギー光子 ν によって、その原子から、タイプA材料の層12内で放出される、電子 e^- は、タイプB材料の近傍層14内に略直角に移動することが可能である。

【0021】

各実施形態の中核を成す原理およびその任意の変形例は、放出された光電子 e^- が、タイプA材料の層12内に捕捉および/または吸収されないが、タイプB材料の層14内に吸収されるという要件である。放出された電子 e^- が、タイプA材料の層12内に捕捉されないことを保証し、放出された電子 e^- が、タイプA材料の層12からタイプB材料の層14内に逃出または移動する可能性を増加させるために、タイプA材料の各層12の厚さ l_1 は、好ましくは、そのようなタイプA材料内の電子の平均自由行程の長さ以下である。タイプB材料の各層14の厚さ l_2 は、好ましくは、タイプB材料内の電子の平均自由行程の長さ以上である。好ましくは、これらの実施形態の層のナノメータ配設は、タイプA材料内の電子平均自由行程 $l_e(Z_1)$ が、タイプB材料内の電子平均自由行程 $l_e(Z_2)$ と異なり過ぎない一方、同時に、タイプA材料内の光子平均自由行程が、タイプB材料内のその平均自由行程より遥かに短い、すなわち、 $l_p(Z_1) \ll l_p(Z_2)$ という内在的な物理原理の反映である。

【0022】

例えば、100 keV入射光子の場合、これらのシステムの典型的な層厚さの寸法は、約1 nmに等しいタイプA材料のための l_1 、約100 nmに等しいタイプB材料のための l_2 、必要に応じて近傍層間のアーク放電を防止するために調節される随意のタイプC材料のための l_3 を含む。最大10 Tの磁場Bの場合、これらの寸法は、電子のジャイロ半径 p_e 未満である。したがって、これらの長さ尺度に基づいて、電子は、磁化されないが、その動態は、主に、衝突領域内にある。その結果、前述の変換器要素10または変換器11および13はまた、磁場が不在である、または無視できる程小さい用途にも適用可能である。

【0023】

入射高エネルギー光子 ν によって、タイプA材料の層12内の原子から放出された電子 e^- のタイプB材料の近傍層14内への移動は、電荷の蓄積をもたらし、最終的には、タイプAおよびB材料の層12と14との間に電位を発生させる。図1Eおよび1Fを参照すると、すべてのタイプAおよびタイプB層12および14は、各タイプA層12およびタイプB層14が、個々の電極として作用するように、回路に接続される。当業者には容易に理解できるように、並列または直列に、層または層群を接続するため略無限数の選択肢および代替が存在する。そのような回路の最適配設は、有利には、結果として判定可能な用途である。例えば、個々の層12および14は、タイプA材料の各層12が、図1Eに描写されるように、タイプB材料の最近傍層14のうちの1つに接続されるか、またはタイプA材料の各層12が、図1Fに描写されるように、タイプC材料の絶縁層16によってそこから分離されるタイプB材料の最近傍層14のうちの1つに接続され得るように、接続することができる。これらの構成では、電氣的に連結された層が、ナノバッテリーを効果的に形成し、自発的に形成された電位差は、略移動電子の運動エネルギーである。負荷を駆動させるために利用可能な総電圧は、個々のナノバッテリーセル15の電圧または一連のナノバッテリーセル17および19の合計に等しい。図1Fに描写されるように、負荷22を備える、外部回路20は、直列に連結されるように描写されるが、並列にも連結され得る、ナノバッテリーセル17および19に連結される。負荷22は、電氣的に駆動可能なシステムまたは構成要素、エネルギー貯蔵システム、配電網等を備えてもよい。

【0024】

代替として、電極層12と14との間の回路の負荷抵抗を調節することによって、安定状態の電圧を外部から制御し、適宜、絶縁層16の厚さの大きさが決定され得る。

【0025】

別の実施形態では、基本的構築ブロックは、円筒形チューブまたはシェル構成を含む。

図 2 A に例証されるように、円筒形変換器要素 1 1 0 は、タイプ B 材料の円筒形チューブまたはシェル 1 1 4 によって包囲される、タイプ A 材料の円筒形コア 1 1 2 を備える。図 2 B に描写されるように、再び、随意に、タイプ C 材料の絶縁シェル 1 1 6 によって、タイプ B 材料の各シェル 1 1 4 を包囲することが可能である。本円筒形構成では、同一寸法規則が、種々の厚さに適用される。すなわち、タイプ A 材料の円筒形コア 1 1 2 の半径は、タイプ A 材料内の電子平均自由行程の約半分未満、すなわち、約 $l_e (Z_1) / 2$ 未満であるか、または該電子平均自由行程の約半分程度である一方、タイプ B 材料のシェル 1 1 4 の厚さは、材料 B 内の電子平均自由行程程度、すなわち、約 $l_e (Z_2)$ である。

【 0 0 2 6 】

変換器要素 1 1 0 の円筒形チューブまたはシェル配設の利点は、全 3 6 0 ° の方位角にわたって、放出電子が等しい確率で放出されるときに、それらを捕捉することにおいて高い効率を提供するということである。図 3 に描写され、前述のように、電子 e^- は、光子 ν の伝搬の方向に垂直であり、かつ光子の偏光

【 0 0 2 7 】

【 化 2 】

(E)

に平行である、主に平面 P_e 。(その平面から適切に減衰する角度分布を伴うが、その平面上でピークに達する)におけるある方向に放出される。光子の偏光の角度に応じて、放出された電子 e^- は、約 3 6 0 ° の方位角の至る所に指向することができ、そのような場合、セルの円筒形配設は、タイプ B 材料内により高い電子捕捉をもたらす、事実上、図 1 A から 1 F に描写される線形構成と比較して、より高い電子捕捉効率をもたらす。

【 0 0 2 8 】

前述の線形の幾何学形状の変換器と同様に、円筒形構築ブロック 1 1 0 は、線形の幾何学形状の変換器と同一の物理的サイズ制約に準拠する集約構造を形成するように束ねられる。実施例として、一特定の積層配設 1 1 1 は、図 2 C に描写される。代替として、図 2 D に描写されるように、別の積層配設 1 1 3 では、絶縁材料 1 1 6 は、隣接する変換器要素またはセル 1 1 0 間の隙間を充填することができる。そのような隙間はまた、加圧ヘリウム等、ガス冷却剤を循環させるための導管としての役割を果たすこともできる。これは、He による光子吸収が、着目光子エネルギーにわたって、無視できるものであるため、冷却の効果的手段を形成する。再び、電気接続は、線形の幾何学形状の構成に類似し、同様に、構築ブロック 1 1 0 の層またはシェル 1 1 2 および 1 1 4 を接続する際、多くの異なる選択肢を可能にする。

【 0 0 2 9 】

代替の幾何学的構成は、図 2 E、2 F、および 2 G に示される。図 2 E は、交互に線形に積層された層化された配設を示し、タイプ A 材料の層 1 1 2 は、タイプ B 材料の層 1 1 4 に隣接して位置付けられるようにオフセットされる。図 2 F は、コア 1 1 2 間の隙間 1 1 4 を充填するタイプ B 材料によって包囲される、タイプ A 材料の複数のコア 1 1 2 を示す。正方形形状で示されるが、コア 1 1 2 は、円形、楕円形等であり得る。図 2 G は、コア 1 1 2 およびシェル層 1 1 4 が正方形形状であることを除き、図 2 D の構成と類似する。これらの場合、要素 1 1 2、1 1 4、および 1 1 6 の寸法は、図 1 A から 1 C および図 2 A から 2 D に論じられた同一制約に準拠する。正方形のエッジの電子動態は、異なるが、これらのエッジ効果を除き、他の物理的特性は、円筒形の場合と略類似する。

【 0 0 3 0 】

前述のように、最大 3 種類の材料から成る、いずれの幾何学形状における基本的構築ブロックも、高エネルギー光子によってイオン化されたドナー原子の本来の場所からの電子分離を自発的に発生させるために好適である。そして、これは、層間および/または随意的絶縁体にわたって、電圧の発生を生じさせる。前述のように、そのような配設は、電氣的作業を行ったり、または変換器から電力を伝送したりするために、回路に電氣的に接続され得る。さらなる変形例として、電気特性にさらなる制御を提供し、層のいずれかにわ

10

20

30

40

50

たつてのアーキ放電の潜在性を最小限にする、これらの層間に外部電圧（バイアス電圧）を印加することもできるということに留意されたい。

【0031】

図4Aおよび4Bを参照すると、入射高エネルギー光子 ν が、タイプA材料の層212によって捕捉され、単純にタイプB材料の層214を通過しないことを保証するように、放射暴露表面積を最小限にするために、変換器タイルまたはセル200のタイプAおよびB材料の積層された層212および214ならびにタイプC絶縁材料の随意の層216は、好ましくは、入射高エネルギー光子 ν の伝搬の方向に対して、例えば、約 $1/100$ ラジアンであり得る、グレージング（浅い）角度で傾斜される。変換器タイル200を傾斜させることはまた、衝撃されたタイプA材料の適度な冷却を保証し、タイプA材料の各層212の厚さ（電子の平均自由行程と比較して）を最小限にし、変換器アセンブリ全体内のタイプA材料のすべての層212の総有効厚を最小限にする。グレージング角で変換器タイル200を傾斜させることはまた、主に、電子をタイプA材料の表面に対して垂直に放出させる。また、タイプA材料内の透過距離は、タイル200の表面の配向角度が、入射高エネルギー光子 ν の伝搬方向に垂直に編成される場合と同じだけ、増強されるため、約 $1/$ 倍、タイル200あたりの反復層の必要数を低減させる。また、これは、タイプB材料の隣接する層内への電子の逃出を最小限にする。

10

【0032】

代替の実施形態では、図4Aおよび4Bに描写される変換器タイル200は、隣り合って積層され、グレージング角で傾斜される、複数の円筒形変換器要素110（図2Aおよび2Bに示される）を備える。

20

【0033】

図4Bを参照すると、約 100 keV のエネルギーを伴う、高エネルギー光子の大部分を効果的に吸収するために、素子の高さ H は、主たる光子伝搬の一般的方向に、約1センチメートル（ 1 cm ）の長さまで延在する必要がある。これは、光子伝搬方向に十分な総厚を有するタイプA材料によって、光子束全体を遮断することが所望されるためである。タイプB材料の各層の厚さは、典型的には、タイプA材料の各層の厚さより遥かに大きい（ $l_1 < l_2$ ）ため、光子束の方向に突出される、構築ブロックの完全積層の総高 H は、高エネルギー光子がそのような材料内の平均自由行程を上回る総距離にわたってタイプA材料に衝突することを保証するために、タイプA材料内の特定の光子の平均自由行程を遥かに上回る必要がある。したがって、構築ブロックの完全積層の高さは、少なくとも l_2/l_1 倍、絶縁層の含有の場合には、少なくとも $(l_3 + l_2)/l_1$ 倍、タイプA材料内の光子の平均自由行程を上回り得る。

30

【0034】

前述のように、全体的配設はまた、変換器材料は光子吸収ならびに後続の電子加熱によって加熱されるので、変換器材料の効果的冷却を提供する。総表面積は、本実施形態では、図4Aに描写されるように、入射光子束の方向に垂直な配向角度に、積層を層化する単純配設と比較して、 $1/$ 倍、拡大されるため、冷却が促進される。また、構造に構築されたパイプを通して、加圧されたガス冷却剤を流動させたり、または放熱板への積層に単に接続したりすることも可能である。当業者は、冷却を向上させる多くの他の方法が存在し得、特定の実装が、具体的用途によって決定付けられることを容易に認識するのである。

40

【0035】

変換器タイル200のアセンブリ220は、図5に描写されるように、所与の光子束源240から放出される光子束242を遮断し、それに略垂直である、適合表面230に沿って、配設することができる。本構成は、放出される光子束からのエネルギー発生を必要とし得る（または、そこから利益を享受し得る）、広範囲な用途に対して、柔軟性および適合性を提供する。

【0036】

典型的な用途の全体的な幾何学形状の他の実施例は、図6A、6B、および6Cに描写

50

される。図 6 A は、高温プラズマとして示される、光子束の源 3 4 0 から放出された光子束 3 4 2 を遮断し、それに略垂直である、表面 3 3 4 を有する、円筒形チャンバ 3 3 0 を含む、プラズマ閉じ込めシステム 3 0 0 を示す。閉じ込めシステム 3 0 0 はさらに、円筒形チャンバ 3 3 0 に沿って位置付けられる磁場発生器 3 3 2 と、チャンバ 3 3 0 の表面 3 3 4 に沿って取り付けられた変換器タイル 2 0 0 のアレイ 3 3 2 とを備える。タイルはそれぞれ、光子束 3 4 2 の入射高エネルギー光子 γ の伝搬の方向に対して、グレージング角に配向される。図 6 B は、高温プラズマまたは使用済み核燃料棒として示される、光子束の源 4 4 0 から放出される光子束 4 4 2 を遮断し、それに略垂直である、表面 4 3 4 を有する、円筒形容器 4 3 0 を含む、閉じ込めシステム 4 0 0 を示す。閉じ込めシステム 4 0 0 はさらに、容器 4 3 0 の表面 4 3 4 を中心として取り付けられた変換器タイル 2 0 0 のアレイ 4 3 2 を備える。タイルはそれぞれ、光子束 4 4 2 の入射高エネルギー光子 γ の伝搬方向に対して、グレージング角に配向される。図 6 C は、加速された粒子ビームとして示される、光子束の源 5 4 0 から放出される光子束 5 4 2 を遮断し、それに略垂直である、表面 5 3 4 を有する、円筒形チューブ 5 3 0 を含む、粒子加速システム 5 0 0 を示す。加速器システム 5 0 0 はさらに、円筒形チューブ 5 3 0 に沿って位置付けられる、磁場発生器 5 3 2 と、チューブ 5 3 0 の表面 5 3 4 に沿って取り付けられた変換器タイル 2 0 0 のアレイ 5 3 2 と、を備える。タイルはそれぞれ、光子束 5 4 2 の入射高エネルギー光子 γ の伝搬の方向に対して、グレージング角に配向される。

【 0 0 3 7 】

いずれの場合も、放出される高エネルギー光子は、材料 A 内のその平均自由行程を上回る総距離にわたって、タイプ A 材料に衝突する。これは、タイプ A 層内の原子によるその適切な吸収と、最終的には、光子電流から電子電流への増幅された変換を保証する。束放出体積を包囲することによって、タイプ A 材料は、すべての高エネルギー光子束暴露表面積を密に被覆する一方、同時に、冷却および電気接続を可能にする。

【 0 0 3 8 】

本明細書に提供される実施形態によると、複数の電子が、高エネルギー光子の吸収によって、タイプ A 材料内の特定の原子から放出されることに留意されたい。これは、特定の深い電子内殻状態から不活性化される電子が、空孔を生成し、これは、オージェプロセスによって迅速に充填され、順に、二次および三次オージェプロセス、または一連のプロセスを引き起こすためである。加えて、二次光子再放出は、近傍原子内において、さらなるそのようなプロセスを引き起こすことができる。故に、1 つの光子は、原則として、数百個の電子（および、時として、それ以上）の総放出を引き起こすことができる。したがって、本多重イオン化は、二重の効果を提供する。第 1 に、1 0 0 から 1 , 0 0 0 倍、元々の入射光子あたりの電子の量を倍増する役割を果たし、高電流増幅をもたらす。第 2 に、数十 k e V からほんの数十 e V に、電子エネルギーを低減させる役割を果たす。したがって、発生される電圧は、破壊の懸念に対して、管理可能である。これは、p 光子エネルギーから電気（その電荷および電流）への変換の向上を提供する一方、また、標的の加熱を最小にする。実際、システムは、光子源の隣にあって、放射の近傍にない遠隔場所に、変換されたエネルギーを容易に輸送する材料から、蒸着光子エネルギー（電気エネルギーを介して）の大部分を除去することによって、有効な冷却手段としての役割を果たす。

【 0 0 3 9 】

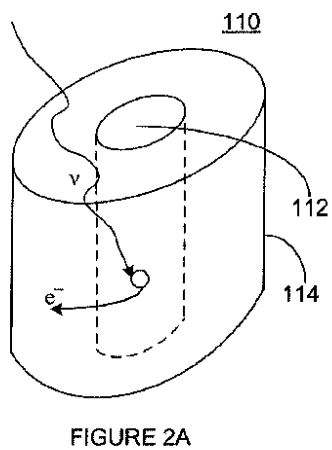
しかしながら、本明細書に提供される例示的实施形態は、単に、例証的实施例として意図され、いかにようにも限定するものではない。さらに、当業者は、類似システムが、パラメータの適切な修正によって、異なるエネルギーの光子にも、等しく、適応することができることを容易に認識するであろう。

【 0 0 4 0 】

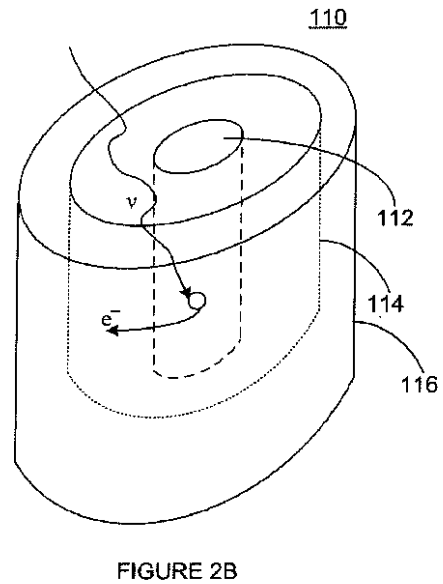
前述の明細書では、本発明は、その具体的実施形態を参照して説明される。しかしながら、より広い発明の精神および範囲から逸脱することなく、種々の修正および変更が、それに行われてもよいことは、明白であろう。例えば、読者は、別様に記載されない限り、本明細書に説明されるプロセスフロー図に示される、プロセス作用の具体的順序および組

み合わせが、単に、例証であって、本発明が、異なるまたは付加的プロセス作用、あるいはプロセス作用の異なる組み合わせまたは順序を使用して、行うことができることを理解されたい。別の実施例として、一実施形態の各特徴は、他の実施形態に示される他の特徴と混合および整合することができる。同様に、当業者に周知の特徴およびプロセスは、所望に応じて、組み合わせられてもよい。加えて、明らかに、特徴は、所望に応じて、追加または削除されてもよい。故に、本発明は、添付の請求項およびその均等物に照らしてのみ、制限されるべきである。

【図 2 A】



【図 2 B】



【図 2 C】

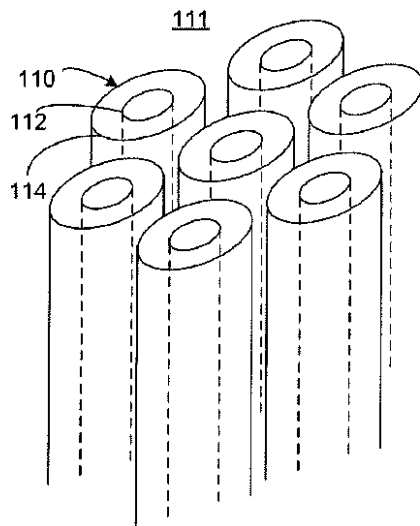


FIGURE 2C

【図 2 D】

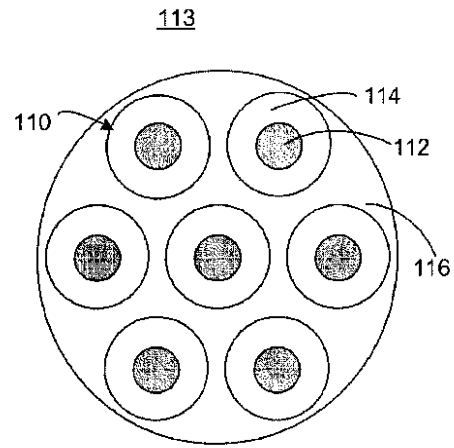


FIGURE 2D

【図 2 E】

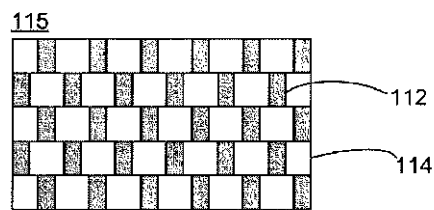


FIGURE 2E

【図 2 G】

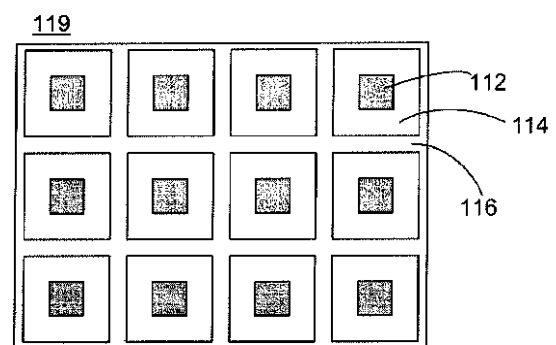


FIGURE 2G

【図 2 F】

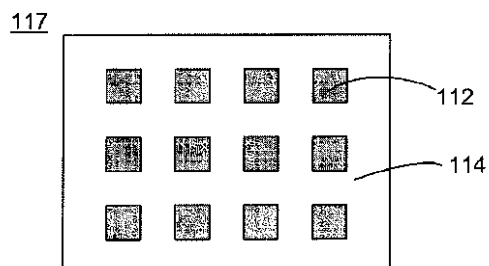
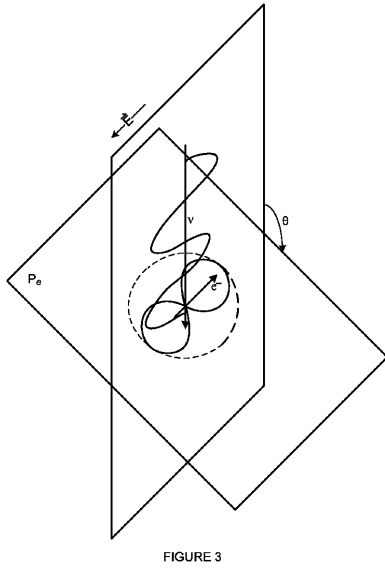
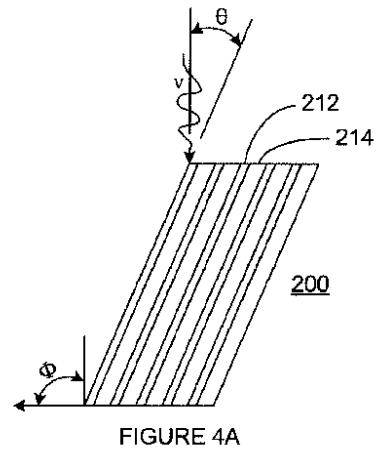


FIGURE 2F

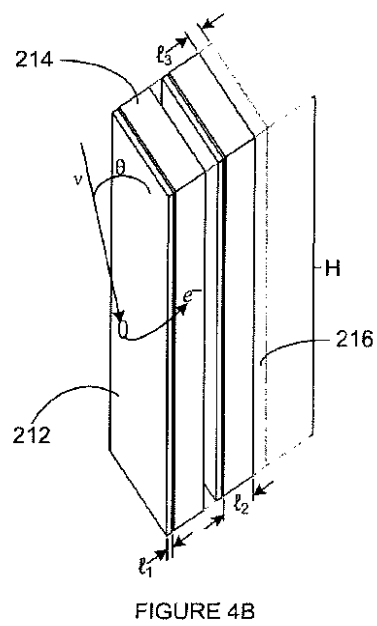
【図 3】



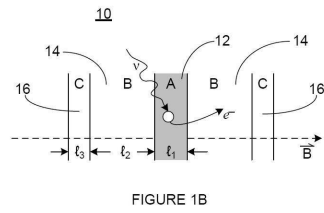
【図 4 A】



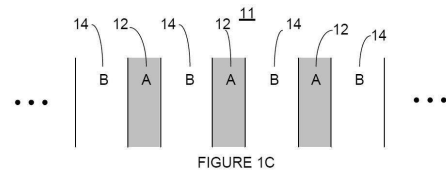
【図 4 B】



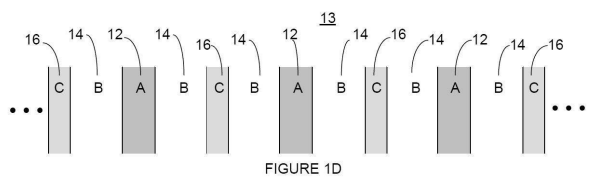
【図 1 B】



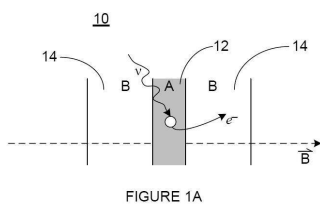
【図 1 C】



【図 1 D】



【図 1 A】



【図 1 E】

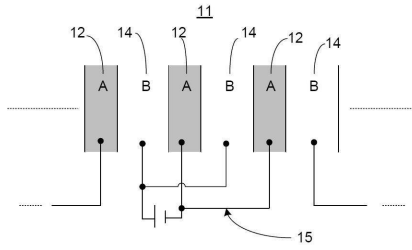


FIGURE 1E

【図 1 F】

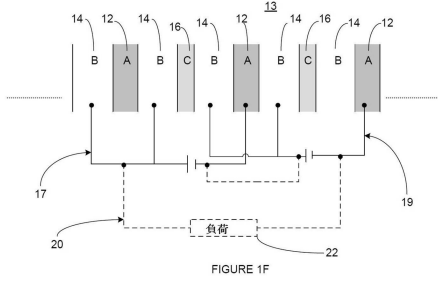


FIGURE 1F

【図 5】

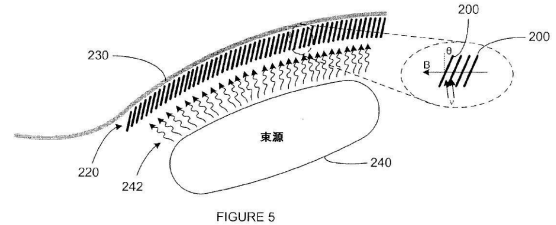


FIGURE 5

【図 6 A】

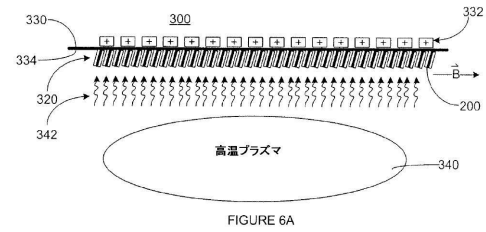


FIGURE 6A

【図 6 B】

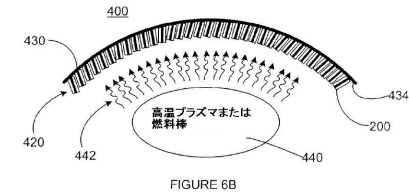


FIGURE 6B

【図 6 C】

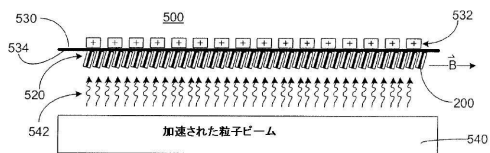


FIGURE 6C

フロントページの続き

(72)発明者 タジマ, トシキ

ドイツ国 8 5 7 4 8 ガルヒンク, ブルネンヴェーク 3

(72)発明者 ピンデルバウアー, ミヒル

アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 2 6 0 6, ラデラ ランチ, サン レオン 2 7

審査官 関根 裕

(56)参考文献 国際公開第2 0 0 8 / 1 4 4 4 1 4 (WO, A 1)

特開昭6 3 - 0 1 2 1 7 9 (JP, A)

米国特許第0 4 1 7 8 5 2 4 (US, A)

特開昭6 3 - 1 8 2 8 7 0 (JP, A)

米国特許第0 2 8 4 7 5 8 5 (US, A)

特開2 0 0 4 - 1 9 1 3 1 5 (JP, A)

特開2 0 0 4 - 0 4 0 0 7 4 (JP, A)

特開平4 - 2 1 8 7 9 9 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 2 1 H 1 / 0 0 - 1 / 1 2