

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6187570号
(P6187570)

(45) 発行日 平成29年8月30日(2017.8.30)

(24) 登録日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 T 1/18 (2006.01) GO 1 T 1/18 D
HO 1 J 47/06 (2006.01) HO 1 J 47/06

請求項の数 5 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-217614 (P2015-217614) (22) 出願日 平成27年11月5日 (2015.11.5) (65) 公開番号 特開2017-90119 (P2017-90119A) (43) 公開日 平成29年5月25日 (2017.5.25) 審査請求日 平成29年4月27日 (2017.4.27)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000002897 大日本印刷株式会社 東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 (74) 代理人 110000408 特許業務法人高橋・林アンドパートナーズ (72) 発明者 本村 知久 東京都新宿区市谷加賀町一丁目一番一号 大日本印刷株式会社内 (72) 発明者 太田 浩平 東京都新宿区市谷加賀町一丁目一番一号 大日本印刷株式会社内 (72) 発明者 谷森 達 京都府京都市左京区北白川追分町 京都大 学大学院 理学研究科 物理第2教室</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 検出素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

絶縁基板の第1表面側に露出して配置された複数の露出電極であって、第1露出電極、前記第1露出電極の第1方向に配置された第2露出電極、前記第1露出電極の第2方向に配置された第3露出電極、および、前記第2露出電極の前記第2方向かつ前記第3露出電極の前記第1方向に配置された第4露出電極を、少なくとも含む露出電極と、

前記絶縁基板の内層に配置された第1電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第2露出電極とに接続されたパターン、および前記第3露出電極と前記第4露出電極とに接続されたパターンを、少なくとも含む第1電極パターンと、

前記第1表面側において前記露出電極と分離して配置された第2電極パターンあって、前記第1露出電極と前記第3露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターン、および前記第2露出電極と前記第4露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターンを、少なくとも含む第2電極パターンと、

前記第1電極パターンよりも前記第1表面とは反対側において前記第1電極パターンおよび前記第2電極パターンとは分離して配置された第3電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第4露出電極とを結ぶ第3方向に沿って配置され、かつ、前記第1露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟むように配置されたパターンを、少なくとも含む第3電極パターンと、

を備え、

前記第3電極パターンは、前記第1露出電極、前記第2露出電極および前記第4露出電

10

20

極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟むように配置された第3電極パターンであって同一の端子に接続されたパターンを、少なくとも含むことを特徴とする検出素子。

【請求項2】

前記第1露出電極と前記第2露出電極との距離および前記第1露出電極と前記第3露出電極との距離は等しいことを特徴とする請求項1に記載の検出素子。

【請求項3】

前記第1露出電極と前記第2露出電極とは隣接して配置されていることを特徴とする請求項1に記載の検出素子。

【請求項4】

前記第1露出電極と前記第2露出電極との間には、前記第1電極パターンを介して前記第1露出電極および前記第2露出電極とに電氣的に接続された露出電極が配置されていることを特徴とする請求項1に記載の検出素子。

【請求項5】

絶縁基板の第1表面側に露出して配置された複数の露出電極であって、第1露出電極、前記第1露出電極の第1方向に配置された第2露出電極、前記第1露出電極の第2方向に配置された第3露出電極、および、前記第2露出電極の前記第2方向かつ前記第3露出電極の前記第1方向に配置された第4露出電極を、少なくとも含む露出電極と、

前記絶縁基板の内層に配置された第1電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第2露出電極とに接続されたパターン、および前記第3露出電極と前記第4露出電極とに接続されたパターンを、少なくとも含む第1電極パターンと、

前記第1表面側において前記露出電極と分離して配置された第2電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第3露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターン、および前記第2露出電極と前記第4露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターンを、少なくとも含む第2電極パターンと、

前記第1電極パターンよりも前記第1表面とは反対側において前記第1電極パターンおよび前記第2電極パターンとは分離して配置された第3電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第4露出電極とを結ぶ第3方向に沿って配置され、かつ、前記第1露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟むように配置されたパターンを、少なくとも含む第3電極パターンと、

を備え、

前記第3電極パターンは、前記第1露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟む領域において、当該領域外よりも線幅が広いことを特徴とする検出素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、検出素子に関する。

【背景技術】

【0002】

ピクセル型電極によるガス電子増幅型の放射線検出装置の研究が進められている。このような放射線検出装置は、ピクセル型電極を用いることによって放射線を検出する。このとき、荷電粒子の飛跡を検出することができる（例えば、特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2002-6047号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【0004】

特許文献1に開示された放射線検出装置によれば、放射線（荷電粒子）が気体と相互作用することにより電子を生じ、その電子をピクセル型電極において捕捉することによって、間接的に放射線を検出する。多くの電子が生じると、複数のピクセル型電極において同時に電子が捕捉される場合がある。このような場合には、電子を捕捉したピクセル型電極を特定することができなくなり、検出精度を低下させることにつながっていた。

【0005】

本発明の目的の一つは、放射線検出装置における放射線の検出精度を向上させることにある。

【課題を解決するための手段】

10

【0006】

本発明の実施形態によると、絶縁基板の第1表面側に露出して配置された複数の露出電極であって、第1露出電極、前記第1露出電極の第1方向に配置された第2露出電極、前記第1露出電極の第2方向に配置された第3露出電極、および、前記第2露出電極の前記第2方向かつ前記第3露出電極の前記第1方向に配置された第4露出電極を、少なくとも含む露出電極と、前記絶縁基板の内層に配置された第1電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第2露出電極とに接続されたパターン、および前記第3露出電極と前記第4露出電極とに接続されたパターンを、少なくとも含む第1電極パターンと、前記第1表面側において前記露出電極と分離して配置された第2電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第3露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターン、および前記第2露出電極と前記第4露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターンを、少なくとも含む第2電極パターンと、前記第1電極パターンよりも前記第1表面とは反対側において前記第1電極パターンおよび前記第2電極パターンとは分離して配置された第3電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第4露出電極とを結ぶ第3方向に沿って配置され、かつ、前記第1露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟むように配置されたパターンを、少なくとも含む第3電極パターンと、を備え、前記第3電極パターンは、前記第1露出電極、前記第2露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟むように配置された第3電極パターンであって同一の端子に接続されたパターンを、少なくとも含むことを特徴とする検出素子が提供される。

20

30

【0008】

前記第3電極パターンは、前記第1露出電極、前記第2露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟むように配置されたパターンを、少なくとも含んでもよい。

【0009】

前記第1露出電極と前記第2露出電極とは隣接して配置されていてもよい。

【0010】

前記第1露出電極と前記第2露出電極との間には、前記第1電極パターンを介して前記第1露出電極および前記第2露出電極とに電氣的に接続された露出電極が配置されていてもよい。

40

【0011】

本発明の実施形態によると、絶縁基板の第1表面側に露出して配置された複数の露出電極であって、第1露出電極、前記第1露出電極の第1方向に配置された第2露出電極、前記第1露出電極の第2方向に配置された第3露出電極、および、前記第2露出電極の前記第2方向かつ前記第3露出電極の前記第1方向に配置された第4露出電極を、少なくとも含む露出電極と、前記絶縁基板の内層に配置された第1電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第2露出電極とに接続されたパターン、および前記第3露出電極と前記第4露出電極とに接続されたパターンを、少なくとも含む第1電極パターンと、前記第1表面側において前記露出電極と分離して配置された第2電極パターンであって、前記第1露出

50

電極と前記第3露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターン、および前記第2露出電極と前記第4露出電極とに対応して前記第2方向に沿って配置されたパターンを、少なくとも含む第2電極パターンと、前記第1電極パターンよりも前記第1表面とは反対側において前記第1電極パターンおよび前記第2電極パターンとは分離して配置された第3電極パターンであって、前記第1露出電極と前記第4露出電極とを結ぶ第3方向に沿って配置され、かつ、前記第1露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟むように配置されたパターンを、少なくとも含む第3電極パターンと、を備え、前記第3電極パターンは、前記第1露出電極および前記第4露出電極と前記第3電極パターンとで前記第1電極パターンを挟む領域において、当該領域外よりも線幅が広いことを特徴とする検出素子が提供される。

10

【発明の効果】

【0012】

本発明の一実施形態によれば、放射線検出装置における放射線の検出精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1実施形態における放射線検出システムの構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1実施形態における検出素子を説明する図である。

20

【図3】本発明の第1実施形態における検出素子の電極パターンを説明する図である。

【図4】本発明の第1実施形態における検出素子の断面構造（図3における断面線A - A'の断面構造）を示す模式図である。

【図5】本発明の第1実施形態における検出素子の断面構造（図3における断面線B - B'の断面構造）を示す模式図である。

【図6】本発明の第1実施形態における検出素子の断面構造（図3における断面線C - C'の断面構造）を示す模式図である。

【図7】本発明の第1実施形態における検出素子を用いた放射線の検出原理を説明する図である。

【図8】本発明の第1実施形態における検出素子において、アノード電極が電子を捕捉したときの各電極に生じる電荷を説明する図である。

30

【図9】本発明の第1実施形態における検出素子から出力される検出信号のパターンの第1の例を説明する図である。

【図10】本発明の第1実施形態における検出素子から出力される検出信号のパターンの第2の例を説明する図である。

【図11】図10に示す検出信号のパターンから演算される電子捕捉位置を説明する図である。

【図12】本発明の第2実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。

【図13】本発明の第3実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。

40

【図14】本発明の第4実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。

【図15】本発明の第5実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。

【図16】本発明の第6実施形態における検出素子の補助電極端子部の配置パターンを説明する図である。

【図17】本発明の各実施形態における放射線検出装置の具体的な構成例を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 4 】

以下、本発明の一実施形態に係る放射線検出装置について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、以下に示す実施形態は本発明の実施形態の一例であって、本発明はこれらの実施形態に限定して解釈されるものではない。なお、本実施形態で参照する図面において、同一部分または同様な機能を有する部分には同一の符号または類似の符号（数字の後にA、B等を付しただけの符号）を付し、その繰り返しの説明は省略する場合がある。また、図面の寸法比率（各構成間の比率、縦横高さ方向の比率等）は説明の都合上実際の比率とは異なったり、構成の一部が図面から省略されたりする場合がある。

【 0 0 1 5 】

< 第1実施形態 >

[放射線検出システム]

図1は、本発明の第1実施形態における放射線検出システムの構成を示すブロック図である。放射線検出システム1は、検出素子100を備えた放射線検出装置10、エンコーダ500、高圧電源600および演算装置700を含む。検出素子100は、検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を出力する。検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w は、この例では、検出素子100の各端子から出力される電気信号に対し、コンデンサによって直流成分が除去されて、アンプによって増幅されている。電源600は、放射線検出装置10に含まれる各構成（検出素子100等）に電圧を印加する。エンコーダ500は、検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w をクロック信号 C_k に同期してサンプリングし、エンコードして出力する。検出信号の分解能は、クロック信号 C_k に応じて決まる。この出力信号を S_d という場合がある。演算装置700は、出力信号 S_d に基づいて、放射線（荷電粒子）の飛跡を演算する。

【 0 0 1 6 】

[放射線検出装置]

放射線検出装置10は、チャンバ150を有している。チャンバ150の内部には、検出素子100、ドリフトケージ170およびドリフト電極180が配置されている。ドリフト電極180は、検出素子100に対向して配置され、接地電圧（GND）に対して負の電圧が印加されている。ドリフトケージ170は、検出素子100とドリフト電極180との間の空間を囲むように配置されている。ドリフトケージ170は、検出素子100とドリフト電極180との間の電界分布を均一化するように、ドリフト電極180から検出素子100に向けて徐々に電圧を接地電圧（GND）に近づけていくための配線パターンが形成されている。

【 0 0 1 7 】

放射線を検出するときには、チャンバ150の内部に、希ガスと、クエンチングガスとの混合ガスが封入される。希ガスは、例えば、アルゴンまたはキセノンが用いられる。クエンチングガスは、例えば、エタン、メタンなどの常温でガスの状態を保つアルカン、または二酸化炭素を含む消光作用を有するガスである。なお、チャンバ150に封入されるガスは、いずれかの単体のガスであってもよいし、二種類以上の混合ガスであってもよい。

【 0 0 1 8 】

[検出素子]

検出素子100の構造について説明する。以下の説明においては、検出素子100は、電子を捕捉する単位となるピクセル（アノード電極）が 4×4 で配置されている例を示す。なお、この配置は、説明を容易化するための例示である。実際には、 256×256 などの多くのピクセルが配置される場合が多い。まず、図2を用いて、検出素子100のドリフト電極180側の表面に現れている構成を簡単に説明する。その後、図3～図6を用いて、検出素子100の各構成を詳細に説明する。

【 0 0 1 9 】

図2は、本発明の第1実施形態における検出素子を説明する図である。検出素子100は、絶縁基板（図4～7に示す絶縁基板40に対応）上および絶縁基板の内層に配置された導電性金属（銅、または銅を含む積層体等）のパターンを含む。まず、絶縁基板上に露出して、アノード電極101（露出電極）が配置されている。アノード電極101は、こ

10

20

30

40

50

の例では、X方向（第1方向）およびY方向（第2方向）に沿って、マトリクス状に配置されている。また、この例では、X方向に隣接するアノード電極101間の距離と、Y方向に隣接するアノード電極101間の距離とが等しくなっている。なお、X方向とY方向とは90度で交差する場合に限らない。また、X方向とY方向とにおいて、隣接するアノード電極101間の距離が異なってもよい。すなわち、マトリクス状とは正方配置を示すものに限られない。

【0020】

アノード電極101は、電子を捕捉する単位となるピクセルに対応する。上述したように、この例では、アノード電極101は、X方向に4ピクセル、Y方向に4ピクセル、合計16ピクセルに対応して配置されている。以下の説明において、16ピクセルが配置された領域を検出領域という場合がある。

10

【0021】

絶縁基板には、Y方向に沿って、カソード電極パターン205（第2電極パターン）が配置されている。カソード電極パターン205には、ピクセルに対応して開口部202が設けられている。それぞれの開口部202は、アノード電極101をピクセル毎に囲むように形成されている。カソード電極パターン205の端部には、検出領域の外側において、カソード端子部208が配置されている。カソード電極パターン205は、ストリップ状に形成されているため、カソードストリップ電極ともいう。検出領域の外側には、さらに、アノード端子部108および補助端子部308が配置されている。アノード端子部108、カソード端子部208および補助端子部308は、上述した検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を検出素子100の外部に出力するための端子である。

20

【0022】

アノード端子部108は、X方向に沿って配置されたアノード電極パターン105（第1電極パターン）を介してアノード電極101に接続されている。補助端子部308は、W方向（第3方向）に沿って配置された補助電極パターン305（第3電極パターン）と接続されている。なお、W方向とは、X方向およびY方向以外の方向であって、この例では、アノード電極101の斜めに並ぶ方向（X方向に延在した直線とY方向に延在した直線とのいずれに対しても、45度で交わる線に沿った方向）に対応する。

【0023】

図3は、本発明の第1実施形態における検出素子の電極パターンを説明する図である。図4は、本発明の第1実施形態における検出素子の断面構造（図3における断面線A-A'の断面構造）を示す模式図である。図5は、本発明の第1実施形態における検出素子の断面構造（図3における断面線B-B'の断面構造）を示す模式図である。図6は、本発明の第1実施形態における検出素子の断面構造（図3における断面線C-C'の断面構造）を示す模式図である。なお、図3に示すように、Z方向は、X方向およびY方向とともに垂直な方向（アノード電極101が配置された面に垂直な方向）として定義される。

30

【0024】

以下の説明において、図3に示すように、複数のアノード電極101は、その配置された場所によって、アノード電極101-xyという。ここでのxは、アノード電極101-11（図3において左下のピクセル）を基準としたX方向の座標（1~4）を示す。一方、yは、アノード電極101-11を基準としたY方向の座標（1~4）を示す。すなわち、アノード電極101-41は右下のアノード電極101に対応し、アノード電極101-14は左上のアノード電極101に対応し、アノード電極101-44は右上のアノード電極101に対応する。また、ピクセルの位置を示すのものとして、ピクセル(xy)という場合もある。例えば、ピクセル(11)は、アノード電極101-11に対応する。

40

【0025】

X方向に並ぶ複数のアノード電極101は、絶縁基板40の内層においてX方向に沿って配置されたアノード電極パターン105を介して電氣的に接続されている。アノード電極パターン105は、ストリップ状に形成されているため、アノードストリップパターン

50

ともいう。アノード電極パターン105(105-1~105-4)およびアノード端子部108(108-1~108-4)は、Y方向に並んで配置されている。例えば、アノード電極101-11、101-21、101-31、101-41は、アノード電極パターン105-1を介してアノード端子部108-1に電氣的に接続されている。

【0026】

アノード電極101とアノード電極パターン105とは、図4に示すようなビア111(例えば、貫通電極)で接続されている。なお、アノード電極101とビア111とは一体であってもよい。例えば、ビア111のうち絶縁基板40から露出した部分をアノード電極101と定義してもよい。このとき、アノード電極101は、絶縁基板40から突出していても突出していなくてもよい。

10

【0027】

絶縁基板40上においてY方向に沿って配置されたカソード電極パターン205は、Y方向に並んだアノード電極101をそれぞれ開口部202で囲っている。カソード電極パターン205は、その端部においてカソード端子部208と接続されている。カソード電極パターン205(205-1~205-4)およびカソード端子部208(208-1~208-4)は、X方向に並んで配置されている。例えば、カソード電極パターン205-1は、アノード電極101-11、101-12、101-13、101-14をそれぞれ開口部202で囲い、カソード端子部208-1に接続されている。以下、このようなカソード電極パターン205とアノード電極101との関係を、カソード電極パターン205とアノード電極101とが対応する配置の関係として定義する。例えば、カソード電極パターン205-1は、アノード電極101-11、101-12、101-13、101-14に対応して配置されている。

20

【0028】

なお、カソード電極パターン205-1は、アノード電極101を開口部202で囲う場合に限られない。例えば、アノード電極101の周囲に存在すればよく、各アノード電極101について、最も近くに存在するカソード電極パターン205が対応関係にあるものとしてもよい。また、アノード電極101と対応関係にあるカソード電極パターン205は、アノード電極101のX方向の両側に存在してY方向に沿って配置されていてもよい。この場合には、アノード電極101のY方向の両側にはカソード電極パターン205が存在しなくてもよい。

30

【0029】

絶縁基板40の内層において、W方向に沿って配置された補助電極パターン305(305-1~305-7)は、W方向に並んだアノード電極101との間でアノード電極パターン105を挟むように配置されている。補助電極パターン305-2を例とした場合、補助電極パターン305-2とアノード電極101-21とによってアノード電極パターン105-1が挟まれ、補助電極パターン305-2とアノード電極101-12とによってアノード電極パターン105-2が挟まれている。以下、このような関係を、補助電極パターン305とアノード電極101とが対応する関係として定義する。例えば、補助電極パターン305-2は、アノード電極101-12に対応して配置されている。

【0030】

このように各電極パターンが配置されることで、1つの補助電極パターン305と対応関係にある複数のアノード電極101は、互いに異なるアノード電極パターン105に接続されている。また、1つの補助電極パターン305と対応関係にある複数のアノード電極101は、互いに異なるカソード電極パターン205と対応関係にある。

40

【0031】

ここで、検出素子100の各構成の寸法について、以下の通り例示する。

- ・隣接するアノード電極101の中心間距離d1(1ピクセル長): 400 μm
- ・アノード電極101の直径d2: 60 μm
- ・カソード電極パターン205の線幅d3: 350 μm
- ・開口部202の直径d4: 250 μm

50

- ・アノード電極パターン105の線幅d5：300 μ m
- ・補助電極パターン305の線幅d6：180 μ m
- ・アノード電極パターン105とカソード電極パターン205との距離d7：75 μ m
- ・アノード電極パターン105と補助電極パターン305との距離d8：30 μ m

絶縁基板40は、樹脂材（例えば、ポリイミド）を含む。絶縁基板40は、複数種類の絶縁層の積層によって形成されていてもよい。この例では、アノード電極パターン105よりもカソード電極パターン205側においてはガラスクロスを含む樹脂材40-1であり、アノード電極パターン105よりも補助電極パターン305側においてはガラスクロスを含まない樹脂材40-2であってもよい。また、アノード電極パターン105の少なくとも一方側がガラス基板、シリコン基板等の無機材料の基板で構成されていてもよい。シリコン基板を用いる場合には、表面に絶縁処理を施すことで、基板を介してリーク電流が生じないようにする。

10

【0032】

[放射線の検出原理]

放射線検出装置10における放射線の検出原理について、図7、図8を用いて説明する。なお、ドリフト電極180は、接地電圧（GND）に対して負の電圧が印加されている。カソード電極パターン205、補助電極パターン305は、接地電圧（GND）が印加されている。アノード電極101（アノード電極パターン105）は、接地電圧（GND）に対して正の電圧が印加されている。

【0033】

20

図7は、本発明の第1実施形態における検出素子を用いた放射線の検出原理を説明する図である。チャンバ150に放射線（荷電粒子EP）が入射すると、チャンバ150内に存在する気体との相互作用により電子雲ECが形成される。ドリフト電極180とカソード電極パターン205との間に発生させた電界Eにより、この電子雲の各電子はZ方向に沿って検出素子100側に引き寄せられる。検出素子100側に引き寄せられた電子は、カソード電極パターン205とアノード電極101とで形成される電界によって加速されて、アノード電極101に引き寄せられる。このとき、電子が気体と衝突して、気体を電離させる。電離によって生じた電子は雪崩的に増殖してアノード電極101に捕捉される。

【0034】

30

図8は、本発明の第1実施形態における検出素子において、アノード電極が電子を捕捉したときの各電極に生じる電荷を説明する図である。雪崩的に増殖した電子が、アノード電極101に捕捉されると、アノード電極101において一時的に負電荷が生じる。一方、カソード電極パターン205には、電子群に誘導された正電荷が生じる。また、補助電極パターン305についても、アノード電極101（アノード電極パターン105）において一時的に負電荷が生じたことにより、誘導電荷として正電荷が生じる。増殖した電子の影響によって、これらの電荷から生じるパルス信号（電圧変動）は、アノード端子部108、カソード端子部208および補助端子部308から電気信号（検出信号Sx、Sy、Sw）として読み出せる程度に大きくなる。以下の説明において、アノード端子部108-1～108-4から出力される検出信号Sxに対応して、検出信号Sx-1～Sx-4という場合がある。カソード端子部208-1～208-4から出力される検出信号Syに対応して、検出信号Sy-1～Sy-4という場合がある。補助端子部308-1～308-4から出力される検出信号Swに対応して、検出信号Sw-1～Sw-4という場合がある。

40

【0035】

これらの検出信号Sx、Sy、Swにおける電圧変動が生じた時刻と、その電圧変動が生じた電気信号を出力する端子の位置とを用いることによって、荷電粒子EPの飛跡を演算することができる。なお、この飛跡のうち、Z方向の位置は相対的な位置として演算される。

【0036】

50

図9は、本発明の第1実施形態における検出素子から出力される検出信号のパターンの第1の例を説明する図である。図9に示す検出信号のパターンは、図7に示すように荷電粒子EPが入射した状況を想定している。この例では、アノード電極101-22(ピクセル(22))に電子が捕捉され、その後アノード電極101-33(ピクセル(33))に電子が捕捉された状況を示している。

【0037】

このような状況によれば、まず、アノード電極101-22による電子の捕捉に対応して、検出信号 S_x-2 、 S_y-2 、 S_w-3 に電圧変動が生じる。逆にいうと、演算装置700は、検出信号 S_x-2 、 S_y-2 、 S_w-3 において電圧変動が生じた時刻が同じであると判定すると、検出信号 S_x-2 、 S_y-2 、 S_w-3 に対応するアノード電極パターン105-2、カソード電極パターン205-2および補助電極パターン305-3が交差する部分のアノード電極101-22を、電子が捕捉されたアノード電極101として特定する。

10

【0038】

その後、アノード電極101-33による電子の捕捉に対応して、検出信号 S_x-3 、 S_y-3 、 S_w-5 に電圧変動が生じる。逆にいうと、演算装置700は、検出信号 S_x-3 、 S_y-3 、 S_w-5 において電圧変動が生じた時刻が同じであると判定すると、検出信号 S_x-3 、 S_y-3 、 S_w-5 に対応するアノード電極パターン105-3、カソード電極パターン205-3および補助電極パターン305-5が交差する部分のアノード電極101-33を、電子が捕捉されたアノード電極101として特定する。

20

【0039】

このような場合には、検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w のいずれか1つが存在しなくても、すなわち2種類の検出信号によって、電子が捕捉されたアノード電極を特定することができる。一方、次に説明するように、アノード電極101-22、101-33に同時に電子が捕捉されると、演算装置700は、2種類の検出信号のみから電子が捕捉されたアノード電極101を正確には特定できない。

【0040】

図10は、本発明の第1実施形態における検出素子から出力される検出信号のパターンの第2の例を説明する図である。第2の例では、アノード電極101-22(ピクセル(22))およびアノード電極101-33(ピクセル(33))に、同時に電子が捕捉された状況を示している。

30

【0041】

このような状況によれば、演算装置700は、検出信号 S_x-2 、 S_x-3 、 S_y-2 、 S_y-3 、 S_w-3 、 S_w-5 において電圧変動が生じた時刻が同じであると判定する。このとき、電子が捕捉されたアノード電極101は、検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を用いると正確に特定されるが、従来技術のように2種類の検出信号(例えば S_x 、 S_y)のみを用いると正確には特定されない。この事情について、図11を用いて説明する。

【0042】

図11は、図10に示す検出信号のパターンから演算される電子捕捉位置を説明する図である。まず、検出信号 S_x 、 S_y を用いた場合、アノード電極パターン105-2、105-3、およびカソード電極パターン205-2、205-3が交差する部分は、アノード電極101-22、101-23、101-32、101-33(ピクセル(22)、(23)、(32)、(33))となる。したがって、実際には電子が捕捉されていないアノード電極101-23、101-32(ピクセル(23)、(32))については、誤検出されたことになる。

40

【0043】

一方、検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を用いた場合、アノード電極パターン105-2、105-3、カソード電極パターン205-2、205-3および補助電極パターン305-3、305-5が交差する部分は、アノード電極101-22、101-33(ピクセル(22)、(33))となる。したがって、検出信号 S_x 、 S_y のみを用いたときに発

50

生じた誤検出は、検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を用いたときには発生しない。

【0044】

このように、本実施形態における放射線検出装置 10 は、2つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉された場合であっても、3種類の検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を用いているため、この2つのアノード電極 101 を特定することができる。なお、3種類の検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を用いた場合であっても、3つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉されると誤検出をしてしまうことになる。しかし、3つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉される確率は、2つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉される確率よりも小さい。したがって、誤検出を低減することができ、その結果として放射線の検出精度が向上する。

10

【0045】

なお、この例では、検出素子 100 は、 4×4 のピクセル (アノード電極 101) を有していたが、1つのアノード電極 101 を基準として、少なくとも、X方向に並ぶ2つのアノード電極 101 と、Y方向に並ぶ2つのアノード電極 101 とを有していることにより、構成を一般化できる。X方向またはY方向に並ぶ2つのアノード電極 101 は、隣接したアノード電極 101 として定義されてもよいし、隣接しないアノード電極 101 として定義されてもよい。隣接しない2つのアノード電極 101 によって一般化される場合には、その間に他のアノード電極 101 が存在することになる。

【0046】

互いに隣接する場合には、4つ (2×2) のアノード電極 101 は、例えば、アノード電極 101 - 22、101 - 23、101 - 32、101 - 33 (ピクセル (22)、(23)、(32)、(33)) が対応する。互いに隣接しない場合には、4つ (2×2) のアノード電極 101 は、例えば、アノード電極 101 - 11、101 - 14、101 - 41、101 - 44 (ピクセル (11)、(14)、(41)、(44)) に対応する。

20

【0047】

< 第2実施形態 >

第2実施形態は、第1実施形態と比べて、補助電極パターンの構造が異なっている。すなわち、隣接する2つの補助電極パターンが接続されて、線幅の大きい補助電極パターンを構成している検出素子の例である。

【0048】

図12は、本発明の第2実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。第1実施形態の検出素子 100 では、1つの補助電極パターン 305 と対応関係にある複数のアノード電極 101 は、互いに異なるアノード電極パターン 105 に接続されている。また、1つの補助電極パターン 305 と対応関係にある複数のアノード電極 101 は、互いに異なるカソード電極パターン 205 と対応関係にある。一方、第2実施形態の検出素子 100 a では、図12に示すように、1つの補助電極パターン 305 に対応する複数のアノード電極 101 には、同一のアノード電極パターン 105 に接続された2つのアノード電極 101、および同一のカソード電極パターン 205 に対応している2つのアノード電極 101 が含まれる。

30

【0049】

例えば、第1実施形態における補助電極パターン 305 - 2、305 - 3 は、第2実施形態における補助電極パターン 305 a - 2 として、電氣的に接続されている。アノード電極 101 - 22 (ピクセル (22)) およびアノード電極 101 - 31 (ピクセル (31)) に、同時に電子が捕捉された状況を例に示す。まず、検出信号 S_x 、 S_y を用いた場合、アノード電極パターン 105 - 1、105 - 2、およびカソード電極パターン 205 - 2、205 - 3 が交差する部分は、アノード電極 101 - 21、101 - 22、101 - 31、101 - 32 (ピクセル (21)、(22)、(31)、(32)) となる。したがって、実際には電子が捕捉されていないアノード電極 101 - 21、101 - 32 (ピクセル (21)、(32)) については、誤検出されたことになる。

40

【0050】

50

一方、検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を用いた場合、アノード電極パターン 105 - 1、105 - 2、カソード電極パターン 205 - 2、205 - 3 および補助電極パターン 305 a - 2 のみが交差する部分から、アノード電極 101 - 22、101 - 31 (ピクセル (22)、(31)) と場所を特定できる。また、アノード電極 101 - 21 (ピクセル 21) およびアノード電極 101 - 32 (ピクセル (32)) に同時に電子が捕捉された場合は、補助電極パターンが 305 a - 2 と 305 a - 4 の両方が交差する部分として検出できる。このように隣接する 2 つの補助電極パターンが接続されて、線幅の大きい補助電極パターンを構成している検出素子の場合であっても、補助電極パターンが 1 つ関係しているか、2 つ関係しているか識別が可能であるため誤検出は防止することができる。

【0051】

なお、3 種類の検出信号 S_x 、 S_y 、 S_w を用いた場合であっても、3 つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉されると誤検出をしてしまうことになる。しかし、3 つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉される確率は、2 つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉される確率よりも小さい。したがって、誤検出を低減することができる、その結果として放射線の検出精度が向上する。

【0052】

< 第 3 実施形態 >

第 3 実施形態は、第 2 実施形態に比べて、さらに線幅の大きい補助電極パターンを構成した例であって、隣接する 4 つの補助電極パターンが接続されている検出素子の例である。

【0053】

図 13 は、本発明の第 3 実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。第 3 実施形態の検出素子 100 b では、図 13 に示すように、1 つの補助電極パターン 305 に対応する複数のアノード電極 101 には、同一のアノード電極パターン 105 に接続された 4 つのアノード電極 101、および同一のカソード電極パターン 205 に対応している 4 つのアノード電極 101 が含まれる。

【0054】

例えば、第 1 実施形態における補助電極パターン 305 - 4、305 - 5、305 - 6、305 - 7 は、第 2 実施形態における補助電極パターン 305 b - 4 として、電氣的に接続されている。このようにすると、第 2 実施形態と異なり、同一の補助電極パターン 305 b と対応関係にある 2 つのアノード電極 101 において同時に電子が捕捉されると、その組み合わせが特定の条件を満たす場合は誤検出をしてしまう場合がある。例えば、アノード電極 101 - 12、101 - 21 において同時に電子が捕捉されると、アノード電極 101 - 11 および 101 - 22 でも電子が捕捉されたと検出されてしまう。しかし、ヘリウム 3 を使用した中性子透過画像取得用途では、複数の電子が束になって直径 1 mm の領域のピクセル電極に同時に到達する状況もある。このような同時到達の事象が明確な場合には、もとより狭い範囲で識別する必要がないため、第 3 実施形態のように補助電極パターン 305 b を構成することによって、検出信号 S_w の数を減らす手法が有効となる。

【0055】

< 第 4 実施形態 >

第 4 実施形態は、第 2 実施形態および第 3 実施形態とは異なる方法で、検出信号 S_w の数を減らす検出素子の例である。

【0056】

図 14 は、本発明の第 4 実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。第 4 実施形態の検出素子 100 c では、図 14 に示すように、検出領域における補助電極パターン 305 は、第 1 実施形態と同様である。一方、複数 (例えば 2 つ) の補助電極パターン 305 は、検出領域外において電氣的に接続されている。これは、補助電極パターン 305 の形状によって接続されていてもよいし、図 14 に示すように補助端子部 308 が電氣的に接続されるようにしてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

第2実施形態では、2つの隣接する補助電極パターンは、検出領域内において、パターン間を埋めるようにして電氣的に接続されていた。一方、第4実施形態では、2つの補助電極パターン（隣接する場合も隣接しない場合もある）は、検出領域外において電氣的に接続されている。図14の例では、補助端子部308-2と補助端子部308-5とが配線309-2によって接続され、補助端子部308-3と補助端子部308-6とが配線309-3によって接続され、補助端子部308-4と補助端子部308-7とが配線309-4によって接続される。

【 0 0 5 8 】

このような構成によれば、第2実施形態および第3実施形態と同様に、電氣的に接続された2つの補助電極パターン305と対応関係にある2つのアノード電極101において同時に電子が捕捉されると、その組み合わせが特定の条件を満たす場合は誤検出をしてしまう場合がある。ただし、第4実施形態では、第3実施形態よりも狭い範囲内の2つのアノード電極101において電子が同時に捕捉された場合の誤検出を生じさせずに、検出信号Swの数を減らすことができる。

10

【 0 0 5 9 】

< 第5実施形態 >

第5実施形態は、補助電極パターンの線幅が一定ではなく、アノード電極101に対応する位置で線幅が大きくなっている検出素子の例について説明する。

【 0 0 6 0 】

図15は、本発明の第5実施形態における検出素子の補助電極パターンを説明する図である。図15に示すように、第5実施形態における検出素子100dは、補助電極パターン305dのうち、アノード電極101の周囲の領域において、他の領域よりも線幅が大きい線幅拡大部分3051が形成されている。このようにすることによって、第1実施形態よりも、アノード電極101に電子が捕捉されたときの検出信号Swへの影響（電圧変動）を大きくすることができる。

20

【 0 0 6 1 】

< 第6実施形態 >

第6実施形態は、補助端子部308の配置が第1実施形態とは異なる検出素子の例について説明する。

30

【 0 0 6 2 】

図16は、本発明の第6実施形態における検出素子の補助電極端子部の配置パターンを説明する図である。第1実施形態では、検出領域の4辺に沿って各電極パターンの端子部が配置されていた。一方、図16に示すように、第6実施形態の検出素子100eは、アノード端子部108に沿って配置された補助端子部308d-1~308d-3を有し、カソード端子部208に沿って配置された補助端子部308d-4~308d-7を有している。このとき、印加されている電圧の関係から、アノード端子部108-1と補助端子部308e-1との距離daは、カソード端子部208-4と補助端子部308e-7との距離dbよりも離れていることが望ましい。

【 0 0 6 3 】

< 具体的構成例 >

上記の各実施形態における放射線検出装置10は、図17に示すような具体的な構成の例として実現される。

40

【 0 0 6 4 】

図17は、本発明の各実施形態における放射線検出装置の具体的な構成例を説明する図である。この放射線検出装置10（容器モジュールともいう）は、上述したように、チャンバ150を有している。チャンバ150の内部には、検出素子100（第1実施形態の場合）、ドリフトケージ170およびドリフト電極180が配置されている。検出素子100とドリフト電極180とは対向して配置されている。放射線を検出するときには、チャンバ150の内部に、上述したような希ガスおよびクエンチングガスの混合ガスが封入

50

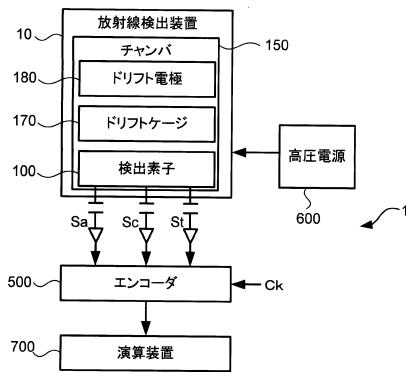
される。

【符号の説明】

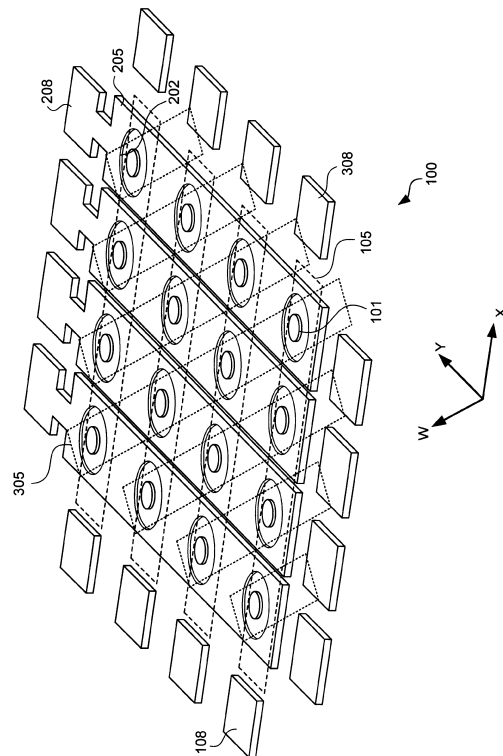
【0065】

1 ...放射線検出システム、10 ...放射線検出装置（容器モジュール）、40 ...絶縁基板、100 ...検出素子、101 ...アノード電極、105 ...アノード電極パターン、108 ...アノード端子部、111 ...ビア、150 ...チャンバ、170 ...ドリフトケージ、180 ...ドリフト電極、202 ...開口部、205 ...カソード電極パターン、208 ...カソード端子部、305 ...補助電極パターン、308 ...補助端子部、500 ...エンコーダ、600 ...電源、700 ...演算装置

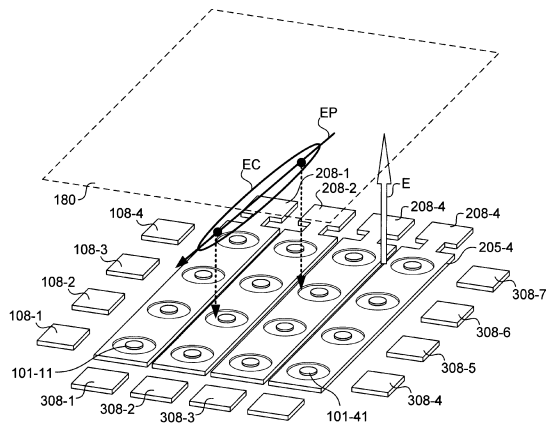
【図1】



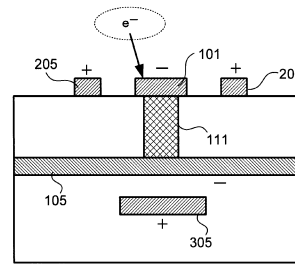
【図2】



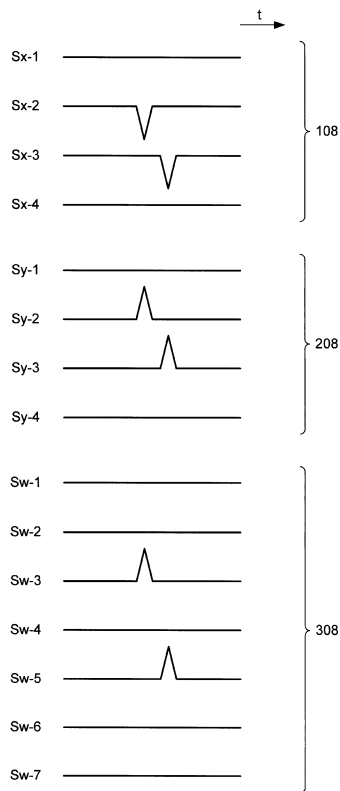
【 図 7 】



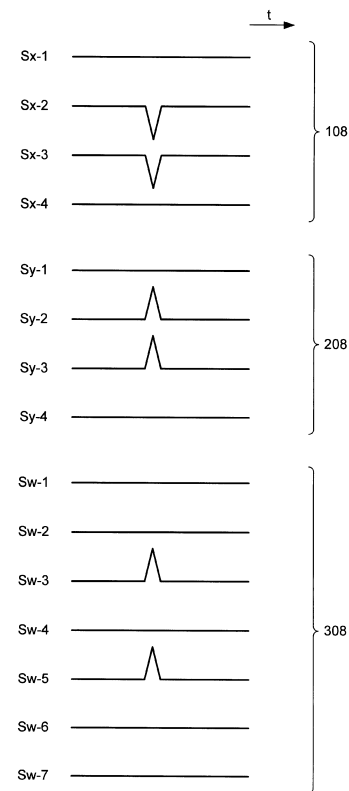
【 図 8 】



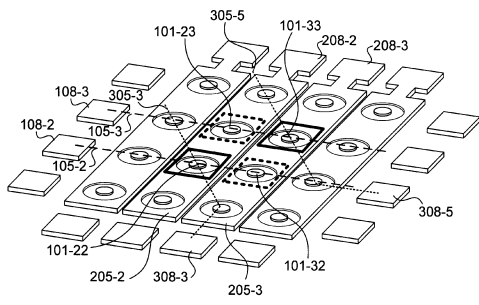
【 図 9 】



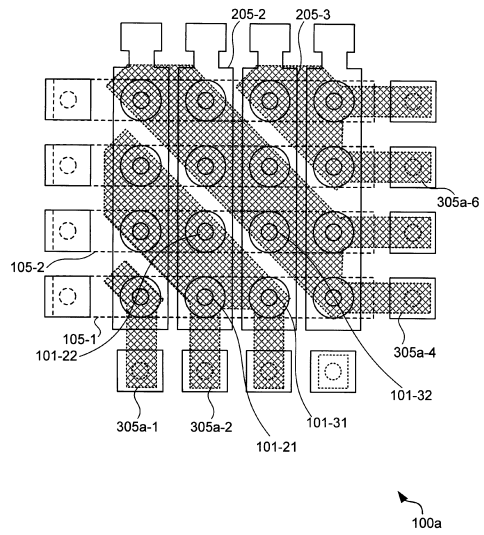
【 図 10 】



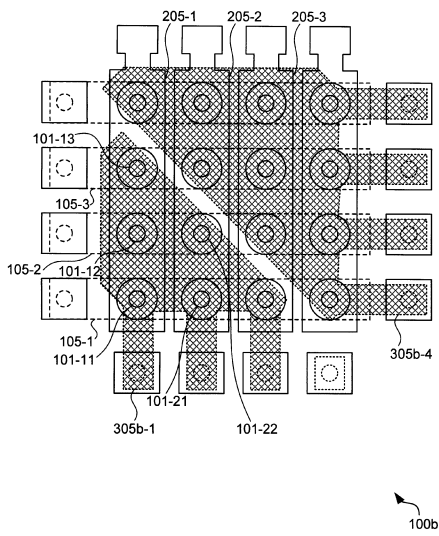
【図 1 1】



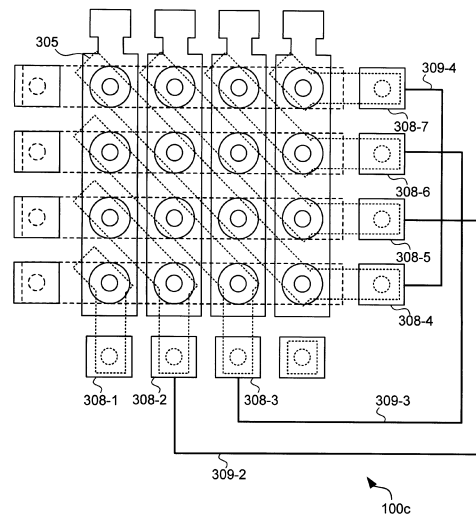
【図 1 2】



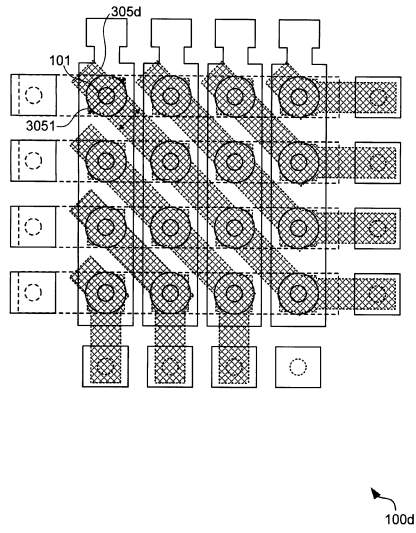
【図 1 3】



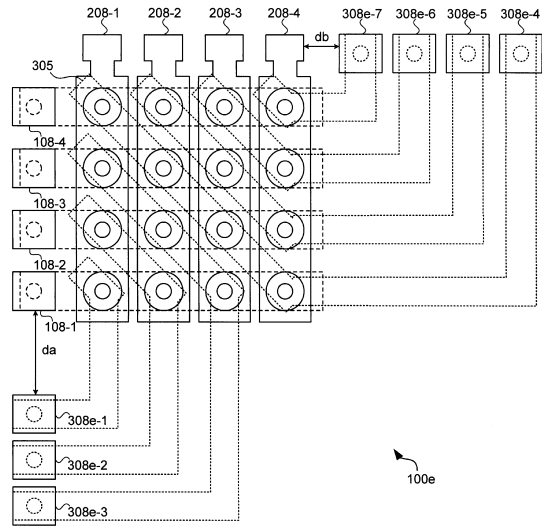
【図 1 4】



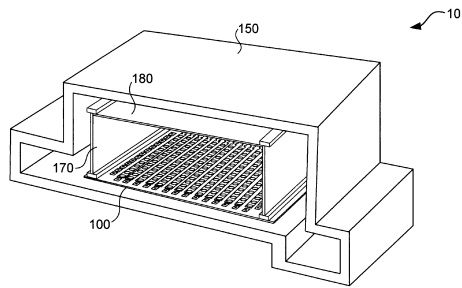
【図 15】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(72)発明者 高田 淳史

京都府京都市左京区北白川追分町 京都大学大学院 理学研究科 物理第2教室

(72)発明者 パーカー ジョセフ ドン

茨城県那珂郡東海村白方162-1 いばらき量子ビーム研究センター内

審査官 南川 泰裕

(56)参考文献 特開2014-089199(JP,A)

特開2008-243634(JP,A)

特表2013-506850(JP,A)

特表2007-520865(JP,A)

特開2011-065575(JP,A)

特表2012-517599(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/00-7/12

H01J 40/00-49/48