

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-509766
(P2010-509766A)

(43) 公表日 平成22年3月25日(2010.3.25)

(51) Int.Cl.

H01L 31/09 (2006.01)
GO1T 1/24 (2006.01)

F 1

H01L 31/00
GO1T 1/24

A

テーマコード(参考)

2G088
5FO88

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2009-535870 (P2009-535870)
 (86) (22) 出願日 平成19年11月12日 (2007.11.12)
 (85) 翻訳文提出日 平成21年6月3日 (2009.6.3)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2007/054583
 (87) 国際公開番号 WO2008/059428
 (87) 国際公開日 平成20年5月22日 (2008.5.22)
 (31) 優先権主張番号 0622695.5
 (32) 優先日 平成18年11月14日 (2006.11.14)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

(71) 出願人 309033943
 ダイヤモンド ディテクターズ リミテッド
 イギリス国 ピーエイチ17 7エイエフ
 ドーセット、レディング、プール、アップトン ロード、フリーツブリッジ
 ビジネス センター ユニット 16
 (74) 代理人 110000855
 特許業務法人浅村特許事務所
 (74) 代理人 100066692
 弁理士 浅村 晃
 (74) 代理人 100072040
 弁理士 浅村 肇
 (74) 代理人 100089897
 弁理士 田中 正

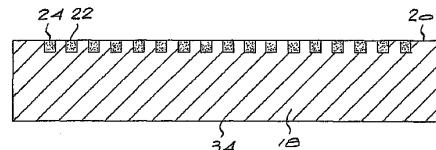
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ダイヤモンドを備える堅牢な放射線検出器

(57) 【要約】

放射線検出器が、ダイヤモンド材料の基板と、基板の表面に形成された少なくとも1つの電極とを備える。電極は、電極の材料の少なくとも一部が基板の表面の下方にあるように、基板の表面内の空洞内に堆積された導電性材料を含む。空洞は、通常、ホウ素ドープ・ダイヤモンドなどの導電性材料が堆積される細長いトレンチ又はチャネルである。いくつかの実施例では、少なくとも2つの電極が、基板の表面に互いに隣接して位置する。他の実施例では、デバイスは複数の電極を備え、複数の電極のうちの少なくとも1つは第1の表面に位置し、複数の電極のうちの少なくとも1つは基板の対向する第2の表面に位置する。後者の場合、基板の一方の表面にある電極は、基板の対向する表面にある電極に導電性ビアによって接続することができ、導電性ビアは、導電性材料で充填又はコーティングされた貫通孔からなる。典型的には、電極は相互にかみ合わされた構成で配置され、各電極は複数の細長い電極要素を有する。かかる電極要素はそれぞれ、別の電極の少なくとも1つの隣接する電極要素と平行に延びる。

Fig.4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ダイヤモンド材料の基板と、前記基板の少なくとも一つの表面に形成された少なくとも1つの電極とを備える放射線検出器であって、前記電極が導電性材料を含み、該導電性材料の少なくとも一部が前記基板の前記表面の下方にあるように、前記基板の前記表面内の空洞内に堆積された、放射線検出器。

【請求項 2】

前記基板の表面に互いに隣接して位置する少なくとも2つの電極を備える、請求項1に記載の放射線検出器。

【請求項 3】

複数の電極を備え、前記複数の電極のうちの少なくとも1つが前記基板の第1の表面に位置し、前記複数の電極のうちの少なくとも1つが前記基板の対向する第2の表面に位置する、請求項1又は請求項2に記載の放射線検出器。

【請求項 4】

前記基板の一つの表面にある電極が、前記基板の前記対向する表面にある電極に1つ又は複数の導電性ビアによって接続される、請求項3に記載の放射線検出器。

【請求項 5】

複数の電極が相互にかみ合わされた構成で配置され、各電極が複数の細長い電極要素を有し、各電極要素が他の電極の少なくとも1つの隣接する電極要素と平行に延びる、請求項2から4までのいずれか一項に記載の放射線検出器。

【請求項 6】

隣接する電極要素が、前記基板の中へ、隣接する電極要素間の距離に相当するか又はそれを超える深さにまで延び、したがって、隣接する電極要素が前記基板の表面に対して垂直な方向に重なり合う、請求項5に記載の放射線検出器。

【請求項 7】

前記電極要素が、前記基板の前記表面に対して垂直な方向に、前記基板の厚みの少なくとも50%の深さを有する、請求項6に記載の放射線検出器。

【請求項 8】

各電極の前記導電性材料が堆積される前記空洞が、細長いトレンチ又はチャネルとして形成される、請求項1から7までのいずれか一項に記載の放射線検出器。

【請求項 9】

前記空洞内に堆積される前記導電性材料が、導電性であるドープ・ダイヤモンド材料を含む、請求項1から8までのいずれか一項に記載の放射線検出器。

【請求項 10】

前記電極材料が、ホウ素を添加されたダイヤモンドを含む、請求項9に記載の放射線検出器。

【請求項 11】

前記電極材料中のドーパント濃度が、 5×10^{19} atoms/cm³より大きい、請求項10に記載の放射線検出器。

【請求項 12】

前記電極材料が金属を含む、請求項1から8までのいずれかに記載の放射線検出器。

【請求項 13】

前記金属がホウ素である、請求項12に記載の放射線検出器。

【請求項 14】

前記金属がカーバイド形成金属である、請求項12に記載の放射線検出器。

【請求項 15】

前記カーバイド形成金属が、W、Mo、Ti又はCrである、請求項14に記載の放射線検出器。

【請求項 16】

前記放射線検出器と電子測定回路との接続を可能にするために、前記基板内に形成され

10

20

30

40

50

た前記少なくとも 1 つの電極に付着されたオーム性の外部接点をさらに含む、請求項 1 から 15までのいずれか一項に記載の放射線検出器。

【請求項 17】

前記基板の第 1 の表面と前記基板の対向する第 2 の表面との間に前記基板を貫通して延びる、導電材料の 1 つ又は複数の接続部又はビアを含む、請求項 1 から 16までのいずれか一項に記載の放射線検出器。

【請求項 18】

前記基板の前記第 1 の表面に形成された検出器構造を有し、前記 1 つ又は複数の接続部又はビアが、前記基板の前記対向する第 2 の表面上に接点を画定するように設けられ、前記接点を用いて前記検出器構造への電気的接続を行うことができる、請求項 17 に記載の放射線検出器。10

【請求項 19】

前記接続部又はビアが、前記基板の前記対向する表面に形成された前記検出器構造のそれぞれの共通接点領域を相互接続する、請求項 17 又は請求項 18 に記載の放射線検出器。15

【請求項 20】

前記接続部又はビアが、前記第 1 の表面上の検出器構造に電気的に接続された前記対向する第 2 の表面上の接点に検出器のバイアス電圧を印加することを可能にし、且つ前記接点から電気出力信号を得ることを可能にする、請求項 18 又は請求項 19 に記載の放射線検出器。20

【請求項 21】

各接続部又はビアが、前記対向する第 1 の基板表面と第 2 の基板表面との間に前記基板表面に対して実質的に垂直な方向に延びる貫通孔を含み、前記貫通孔の内面が導電材料でコーティングされるか、或いは前記貫通孔の内部が導電材料で少なくとも部分的に充填される、請求項 17 から 20 までのいずれか一項に記載の放射線検出器。

【請求項 22】

前記貫通孔をコーティング又は充填するために使用される前記導電材料が、前記電極を形成するために使用される導電材料と同じである、請求項 21 に記載の放射線検出器。

【請求項 23】

各コネクタ又はビアの前記貫通孔の幅と深さの比が、前記貫通孔の内面が導電材料でコーティングされうるか又は少なくとも部分的に充填されうるように、0.5 ~ 1.0 である、請求項 21 又は請求項 22 に記載の放射線検出器。30

【請求項 24】

両面検出器を形成するように、前記基板の前記第 1 及び第 2 の両表面上に形成されたそれぞれの相互にかみ合わされた第 1 及び第 2 の電極配列を含み、前記電極配列が前記接続部又はビアによって接続される、請求項 19 に記載の放射線検出器。

【請求項 25】

放射線検出器を製造する方法であって、ダイヤモンド材料の基板を準備すること、前記基板の第 1 の表面に少なくとも 1 つの空洞を形成すること、及び前記空洞内に導電性材料を堆積させて前記基板の前記第 1 の表面上に電極を形成することを含み、したがって前記電極を形成する材料の少なくとも一部が前記基板の前記第 1 の表面の下方にある、方法。40

【請求項 26】

前記空洞の前記表面の少なくとも一部を調製し、前記空洞内に前記電極が表面及び表面近傍の電子状態の密度を最小化するように形成されることを含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

前記表面の物理的性質及び構造と前記表面の終端とを制御して、前記表面及び表面近傍の電子状態の密度を最小化することを含む、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 28】

前記表面の表面下損傷を抑制して、前記表面及び表面近傍の電子状態の密度を最小化す50

ることを含む、請求項 2 6 又は請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 2 9】

前記基板の前記第 1 の表面に互いに隣接する少なくとも 2 つの電極を形成することを含む、請求項 2 5 から 2 8 までのいずれか一項に記載の方法。

【請求項 3 0】

複数の電極を相互にかみ合わされた構成で形成することを含み、各電極が複数の細長い電極要素を有し、各電極要素が別の電極の少なくとも 1 つの隣接する電極要素と平行に延びる、請求項 2 9 に記載の方法。

【請求項 3 1】

前記空洞を形成し、前記空洞内に前記電極の前記導電性材料が細長いトレンチ又はチャネルとして堆積されることを含む、請求項 3 0 に記載の方法。 10

【請求項 3 2】

前記空洞をレーザ切断プロセスによって形成することを含む、請求項 3 1 に記載の方法。 11

【請求項 3 3】

前記レーザ切断されたトレンチ又はチャネルに、イオン・ビーム・エッティング、反応性イオン・エッティング又はプラズマ・エッティングによるさらなる処理を施して、前記トレンチ又はチャネルの前記表面に実質的に損傷がないようにすることを含む、請求項 3 2 に記載の方法。 12

【請求項 3 4】

前記導電性材料の堆積後に前記基板の前記第 1 の表面を研磨して、同一平面上にあるダイヤモンド基板及び電極表面を含む表面をもたらすステップを含む、請求項 2 5 から 3 3 までのいずれか一項に記載の方法。 13

【請求項 3 5】

前記放射線検出器と電子測定回路との接続を可能にするために、前記基板内に形成された前記電極にオーム性の外部接点を形成することを含む、請求項 2 5 から 3 4 までのいずれか一項に記載の方法。 14

【請求項 3 6】

前記基板の前記第 1 の表面と前記基板の対向する第 2 の表面との間に、導電材料を含む 1 つ又は複数の接続部又はビアを形成することを含む、請求項 2 5 から 3 5 までのいずれか一項に記載の方法。 15

【請求項 3 7】

前記 1 つ又は複数の接続部又はビアを、前記対向する第 1 の基板表面と第 2 の基板表面の間に前記基板表面に対して実質的に垂直な方向に少なくとも 1 つの貫通孔をレーザ切断し、且つ前記貫通孔の内面を導電材料でコーティングするか又は前記貫通孔の内部を少なくとも部分的に導電材料で充填することによって形成することを含む、請求項 3 6 に記載の方法。 16

【請求項 3 8】

各コネクタ又はビアの前記貫通孔を、前記貫通孔の内面が導電材料でコーティングされるか又は少なくとも部分的に充填されうるように、幅と深さの比を 0 . 5 ~ 1 0 として形成することを含む、請求項 3 7 に記載の方法。 17

【請求項 3 9】

各コネクタ又はビアの前記貫通孔の幅と深さの比又は直径と深さの比を、前記相互にかみ合わされた電極配列の前記トレンチ又は空洞の幅と深さの比又は直径と深さの比の 5 0 % 以内として形成することを含む、請求項 3 8 に記載の方法。 18

【請求項 4 0】

前記レーザ切断された貫通孔に、イオン・ビーム・エッティング、反応性イオン・エッティング又はプラズマ・エッティングによるさらなる処理を施して、前記貫通孔の前記表面に実質的に損傷がないようにすることを含む、請求項 3 7 から 3 9 までのいずれか一項に記載の方法。 19

10

12

15

17

18

19

【請求項 4 1】

前記貫通孔を、前記基板の前記表面に前記少なくとも 1 つの電極を画定するために使用された導電材料と同じ材料でコーティング又は充填することを含む、請求項 3 7 から 3 9 までのいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、ダイヤモンド材料を含む放射線検出器、及びかかる放射線検出器を製造する方法に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

半導体が、半導体材料中に電子 - 正孔対を生成することによって電離放射線を検出するソリッドステートの電離箱 (solid-state ionisation chamber) を製作するために構成されうる。材料には電子トラップがほとんどないという条件で、電離放射線によって生成された電荷は、(電界を印加することによって) 適切な電極へ一掃され、次いで適切な外部電子回路によって測定されうる。シリコンが多くのかかる検出器用の現在の選択材料であるが、利用可能な代替材料がある。ダイヤモンドは、ワイドバンドギャップの半導体であり、放射線検出器を製作するために構成されうる。ダイヤモンドベースの放射線検出器は、文献、例えば WO 2004023160 において報告されている。しかし、物理的環境及び放射線環境という点で不利である環境向けの非常に堅牢な放射線検出器に関する要件があり、これは十分には取り組まれていない要件である。

10

20

【0 0 0 3】

特にアルファ粒子及びベータ粒子 (又は放射線) の検出及び監視に現在使用されている、シリコンをベースとするソリッドステートの電離箱は、原子力施設などの環境で使用する場合、十分には堅牢でない。さらに、シリコンベースの検出器は、温度の影響を受けやすく、したがって補償電子機器を必要とするだけでなく、可視スペクトル光の影響も受けやすく、したがって最外表面上に不透明なコーティングも必要とし、不透明なコーティングは、依然としてアルファ粒子及びベータ粒子を通過させることができるくらい薄くなければならない。そのような検出器は、デコミッショニング並びに原子力発電所の日々の運転に使用され、したがって環境はほこりっぽく且つ侵食性であることが多い。

30

【0 0 0 4】

そのような状況では、検出器は、薄い不透明な外部コーティングを通じて傷がつく (したがって検出器を光の影響を受けやすくする) か、或いは繊細なデバイスの構造自体を損傷することにより、最外表面の洗浄の間に損傷を受けることが多い。そのような検出器は、安全システムの一部であることが多いので、光が検出器要素に到達することによって引き起こされる誤警報のリスク、或いは定期的な洗浄時の損傷によってデバイスが完全に故障する可能性が、重要な考慮すべき点である。

40

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0 0 0 5】**

本発明の目的は、比較的堅牢な、したがってより信頼性の高い検出器を提供することである。

【課題を解決するための手段】**【0 0 0 6】**

本発明によれば、ダイヤモンド材料の基板と、その基板の少なくとも一つの表面に形成された少なくとも 1 つの電極とを備える放射線検出器が提供され、電極は、導電性材料を含み、該導電性材料の少なくとも一部が基板の表面の下方にあるように、基板の表面内の空洞内に堆積されている。

【0 0 0 7】

50

放射線検出器は、基板の表面に互いに隣接して位置する少なくとも2つの電極を備えることができる。

【0008】

別法として、放射線検出器は複数の電極を備えることができ、複数の電極のうちの少なくとも1つは前記基板の第1の表面に位置し、複数の電極のうちの少なくとも1つは基板の対向する第2の表面に位置する。

【0009】

後者の場合、基板の一つの表面にある電極は、基板の対向する表面にある電極に1つ又は複数の導電性ピア(via)によって接続されうる。

【0010】

複数の電極が相互にかみ合わされた構成で配置され、各電極は複数の細長い電極要素を有し、各電極要素は別の電極の少なくとも1つの隣接する電極要素と平行に延びることができる。

【0011】

一実施例では、隣接する電極要素が、基板の中へ、隣接する電極要素間の距離に相当するか又はそれを超える深さにまで延びることができ、したがって、隣接する電極要素は基板の表面に対して垂直な方向に重なり合う。

【0012】

電極要素は、基板の前記表面に対して垂直な方向に、基板の厚みの少なくとも50%の深さを有することが好ましい。

【0013】

各電極の導電性材料が堆積される空洞は、細長いトレンチ又はチャネルとして形成される。

【0014】

空洞内に堆積される導電性材料は、導電性であるドープ・ダイヤモンドを含むことができる。

【0015】

例えば、電極材料は、ホウ素ドープ・ダイヤモンド(ホウ素を添加されたダイヤモンド)を含むことができる。

【0016】

電極材料中のドーパント濃度は、 5×10^{19} atoms/cm³より大きいことが好ましい。

【0017】

電極材料は、ホウ素などの材料、又はW、Mo、Ti、Crなどのカーバイド形成金属を含むことができる。

【0018】

放射線検出器は、放射線検出器と電子測定回路との接続を可能にするために、基板内に形成された前記少なくとも1つの電極に付着されたオーム性の外部接点をさらに含むことができる。

【0019】

放射線検出器は、基板の第1の表面と基板の対向する第2の表面との間に基板を貫通して延びる、導電材料の1つ又は複数の接続部又はピア(vias)を含むことができる。

【0020】

放射線検出器は、基板の第1の表面に形成された検出器構造を有することができ、前記1つ又は複数の接続部又はピアは、基板の対向する第2の表面上に接点を画定するように設けられ、その接点を用いて検出器構造への電気的接続を行うことができる。

【0021】

接続部又はピアは、基板の対向する表面に形成された検出器構造のそれぞれの共通接点領域を相互接続することができる。

【0022】

10

20

30

40

50

接続部又はビアは、第1の表面上の検出器構造に電気的に接続された対向する第2の表面上の接点に検出器のバイアス電圧を印加することを可能にし、且つその接点から電気出力信号を得ることを可能にするために配置されることが好ましい。

【0023】

各接続部又はビアは、対向する第1の基板表面と第2の基板表面との間に基板表面に対して実質的に垂直な方向に延びる貫通孔を含むことができ、貫通孔の内面は導電材料でコーティングされるか、或いは貫通孔の内部は導電材料で少なくとも部分的に充填される。

【0024】

貫通孔をコーティング又は充填するために使用される導電材料は、電極を形成するために使用される導電材料と同じであることが好ましい。

10

【0025】

各コネクタ又はビアの貫通孔は、貫通孔の内面が導電材料でコーティングされうるか又は少なくとも部分的に充填されうるように、幅と深さの比が0.5~1.0であることが好ましい。

【0026】

放射線検出器は、両面検出器を形成するように、基板の第1及び第2の両表面上に形成されたそれぞれの相互にかみ合わされた第1及び第2の電極配列を含むことができ、電極配列は、接続部又はビアによって接続される。

【0027】

さらに本発明によれば、放射線検出器を製造する方法が提供され、この方法は、ダイヤモンド材料の基板を準備すること、基板の第1の表面内に少なくとも1つの空洞を形成すること、及び空洞内に導電性材料を堆積させて基板の第1の表面に電極を形成することを含み、したがって電極を形成する材料の少なくとも一部が基板の第1の表面の下方にある。

20

【0028】

上記方法は、空洞の表面の少なくとも一部を調製し、空洞内に電極が表面及び表面近傍の電子状態の密度を最小化するように形成されることを含むことができる。

【0029】

上記方法は、表面の物理的性質及び構造と表面の終端とを制御して、表面及び表面近傍の電子状態の密度を最小化することを含むことができる。

30

【0030】

上記方法は、表面の表面下損傷(subsurface damage)を抑制して、表面及び表面近傍の電子状態の密度を最小化することをさらに含むことができる。

【0031】

上記方法は、基板の第1の表面に互いに隣接する少なくとも2つの電極を形成することを含むことができる。

【0032】

上記方法は、複数の電極を相互にかみ合わされた構成で形成することを含むことができ、各電極は複数の細長い電極要素を有し、各電極要素は別の電極の少なくとも1つの隣接する電極要素と平行に延びる。

40

【0033】

上記方法は、空洞を形成し、空洞内に電極の導電性材料が細長いトレンチ又はチャネルとして堆積されることを含むことができる。

【0034】

上記方法は、空洞をレーザ切断プロセスによって形成することを含むことができる。

【0035】

レーザ切断されたトレンチ又はチャネルには、イオン・ビーム・エッティング、反応性イオン・エッティング又はプラズマ・エッティングによるさらなる処理が施されて、トレンチ又はチャネルの表面に実質的に損傷がないようにすることができます。

【0036】

50

上記方法は、導電性材料の堆積後に基板の第1の表面を研磨して、同一平面上にあるダイヤモンド基板及び電極表面を含む表面をもたらすステップを含むことができる。

【0037】

上記方法は、放射線検出器と電子測定回路との接続を可能にするために、基板内に形成された電極にオーム性の外部接点を形成することを含むことができる。

【0038】

上記方法は、基板の第1の表面と基板の対向する第2の表面との間に、導電材料を含む1つ又は複数の接続部又はビアを形成することを含むことができる。

【0039】

前記1つ又は複数の接続部又はビアは、対向する第1の基板表面と第2の基板表面の間に基板表面に対して実質的に垂直な方向に少なくとも1つの貫通孔をレーザ切断し、且つ貫通孔の内面を導電材料でコーティングするか又は貫通孔の内部を少なくとも部分的に導電材料で充填することによって形成されうる。10

【0040】

各コネクタ又はビアの貫通孔の幅と深さの比又は直径と深さの比は、貫通孔の内面が導電材料でコーティングされうるか又は少なくとも部分的に充填されうるよう、0.5~1.0として形成されることが好ましい。

【0041】

上記方法は、各コネクタ又はビアの貫通孔の幅と深さの比又は直径と深さの比を、相互にかみ合わされた電極配列のトレンチ又は空洞の幅と深さの比又は直径と深さの比の50%以内として形成することを含むことができる。20

【0042】

レーザ切断された貫通孔には、イオン・ビーム・エッティング、反応性イオン・エッティング又はプラズマ・エッティングによるさらなる処理が施されて、貫通孔の表面に実質的に損傷がないようにすることができる。

【0043】

上記方法は、貫通孔を、基板の表面に前記少なくとも1つの電極を画定するために使用された導電材料と同じ材料でコーティング又は充填することを含むことができる。

【0044】

本発明の放射線検出器は、アルファ粒子、ベータ粒子、相対論的重イオン、パイ中間子、 \times 線などの任意の電離放射線を検出するために使用されうる。30

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】半導体材料を利用した既知の放射線検出器の一般配置を示す簡略概略図である。

【図2】本発明による放射線検出器の相互にかみ合わされた電極構造の概略平面図（原寸に比例していない）である。

【図3】図2の放射線検出器の側面図である。

【図4】図2の4-4線の断面図である。

【図5】本発明による放射線検出器の代替実施例を示す簡略図（原寸に比例していない）である。40

【図6】図5の6-6線の断面図である。

【図7】別の電極構成を有する本発明による放射線検出器の代替実施例の、図4の断面図と同様の部分断面図である。

【図8】別の電極構成を有する本発明による放射線検出器の代替実施例の、図4の断面図と同様の部分断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0046】

CVDダイヤモンドは、ダイヤモンド材料が十分低い電子トラップ数を有するという条件で、電子-正孔対を生成することによって電離放射線（例えば、5.5 eVを超えるエネルギーをもつ光子、アルファ粒子、ベータ粒子など）を検出するために使用されうるこ50

とが知られている。ダイヤモンドを研磨すると、表面の下方に電荷担体を捕獲しうる表面下損傷を導入することは、あまり知られていないことである。この表面下損傷は、電離放射線によって生成された何らかの或いは任意の電荷がダイヤモンド材料上の電子に到達するのを阻止し、したがって検出器の感度を低下させ、場合により検出を完全に抑える可能性があることもまた、一般に理解されていない。

【0047】

これまで報告されている検出器の大部分は、ダイヤモンド表面上の単純な金属電極に頼っており、この金属電極は、平坦な金属パッド又は相互にかみ合わされた電極構造とすることができます。どちらのタイプの電極でも、依然として、通常はそもそも電極を表面上に形成できるようにするために必要とされるダイヤモンド研磨プロセスによって導入された表面下損傷の影響を受ける。検出器は、成長させた (as-grown) ダイヤモンド表面上に電極又は電気接点を直接形成することによって実現されている。しかし、これらには、最表面も粗い（したがって汚染されやすく且つ洗浄が困難になる）上に、劣悪な環境にさらされる繊細な金属表面を有するという欠点がある。

【0048】

本発明は、基板の表面の全体的なレベルより下にあり、したがって上記課題の影響を受けない電極を形成することによってこの問題を回避する。基板は、電極が形成される前に研磨されうる。別法として、電極が基板の表面の全体的なレベルより下に形成された後、基板の表面は、電極に損傷を与えずに研磨されうる。

【0049】

図1は、半導体検出器要素10を用いた放射線検出器の構成を非常に簡略化した概略図で示す。検出器要素は電極12及び14を備え、電極12及び14はバイアス電圧源16及び電荷測定システムに接続される。検出器はソリッドステートの電離箱として動作するので、高エネルギー粒子又は光子が検出器要素を通過するときに、正孔又は電子を解放する。この現象による小さい電流パルスが、測定システムによって検出され表示される。

【0050】

図2～4は、本発明の堅牢なダイヤモンドベースの放射線検出器を非常に簡略化した概略図（原寸に比例していない）で示す。検出器は、多結晶ダイヤモンド又は単結晶ダイヤモンドを含むことができるダイヤモンド材料の基板18を備える。多結晶ダイヤモンド材料の場合、基板は、電子的特性であり、すなわち相互にかみ合わされた電極のアノード-カソード間距離より大きい、印加電界1V/ μm における電荷収集距離、或いは50 μm より大きい印加電界1V/ μm における電荷収集距離を有している。そのような材料は通常、電荷捕獲及び再結合中心として働く单一の置換窒素（single substitutional nitrogen）などの大粒径且つ低密度の点欠陥を有する。

【0051】

単結晶ダイヤモンド材料の場合、基板は、好ましくは、参照によりその内容が本明細書に組み込まれる国際公開WO01/96634号かWO01/96633号のどちらかで開示されている方法で製作され、したがって優れた電子物性を有する。どちらの場合にも、ダイヤモンド基板は、化学気相成長(CVD)技法によって形成される。また、基板のダイヤモンドは「真性ダイヤモンド」と称される。

【0052】

相互にかみ合わされた電極が基板の片側だけにある実施例では、基板は、デバイスの共通接点領域用トレンチ（下記参照）と電極用トレンチの深い方に対しても選択された深さよりも、好ましくは少なくとも50 μm 厚く、より好ましくは少なくとも100 μm 厚く、より好ましくは少なくとも200 μm 厚く、最も好ましくは少なくとも300 μm 厚い厚みを有するように選択される。

【0053】

検出器が対向する両主表面上に相互にかみ合わされた電極を備える実施例では、基板は、共通接点領域用トレンチと電極用トレンチのうちの深い方の深さの2倍よりも、好ましくは少なくとも50 μm 厚く、より好ましくは少なくとも100 μm 厚く、より好ましく

10

20

30

40

50

は少なくとも $200 \mu m$ 厚く、最も好ましくは少なくとも $300 \mu m$ 厚い厚みを有するよう選択される。

【0054】

基板の第1の主表面20は、最初に、ラッピング或いはラッピング及び研磨によって許容平滑度になるまで処理される。要求される平滑度は、電極のトレンチをレーザ切断したときに、レーザ経路が、安定しており、表面上で位置が定まらない(wander about)ものではなく、且つトレンチの底部が十分滑らかであるようなものである。処理後の表面の二乗平均平方根粗さ(R_q)は、好ましくは $500 nm$ 未満、より好ましくは $200 nm$ 未満、より好ましくは $100 nm$ 未満、より好ましくは $80 nm$ 未満、より好ましくは $50 nm$ 未満、より好ましくは $30 nm$ 未満、更により好ましくは $20 nm$ 未満、最も好ましくは $10 nm$ 未満である。

10

【0055】

別法として、表面は、未加工(as-grown)状態から、或いはラッピング後又はラッピング及び研磨後に、イオン・ビーム・ミリング、反応性イオン・エッティング、レーザ・アブレーションなどの技法によって処理されうる。こうした処理後の表面の二乗平均平方根粗さ(R_q)は、好ましくは $500 nm$ 未満、より好ましくは $200 nm$ 未満、より好ましくは $100 nm$ 未満、より好ましくは $80 nm$ 未満、より好ましくは $50 nm$ 未満、より好ましくは $30 nm$ 未満、より好ましくは $20 nm$ 未満、最も好ましくは $10 nm$ 未満である。

20

【0056】

基板20の表面の全体的なレベルの下に電極22及び24用の場所を設けるために、一連の細長いトレンチが、レーザ切断又はレーザミリング或いは反応性イオン・エッティング又はイオン・ビーム・ミリングによって基板表面を切断する。本発明の第1の実施例では、トレンチは、互いに平行に延び、好ましくは $10 \sim 100 \mu m$ の深さ及び $10 \sim 100 \mu m$ の幅を有する。隣接するトレンチは、 $20 \sim 100 \mu m$ 、典型的には約 $30 \sim 80 \mu m$ の距離で隔てられる。トレンチは、横断面がほぼ矩形であり、典型的にはトレンチの幅が上部よりも下部でわずかに狭くなっていて、幅と深さの比(すなわち、幅 ÷ 深さ)が、好ましくは $0.5 \sim 10.0$ 、より好ましくは $0.6 \sim 5.0$ 、より好ましくは $0.7 \sim 3.0$ 、最も好ましくは $0.8 \sim 2.0$ である。トレンチがホウ素ドープ・ダイヤモンドで埋められる場合、好ましい幅と深さの比は $2.0 \sim 10.0$ である。

30

【0057】

基板の対向する端部26及び28には、横方向に延びるトレンチを切断して共通接点領域30及び32用の場所を設け、共通接点領域30及び32には、それぞれのすべての細長い接点要素22及び24が接続される。共通接点領域30及び32は、検出器に対する外部電気接点を形成するために使用されうる。共通接点領域用のトレンチは、横断面がほぼ矩形であり、幅と深さの比が、好ましくは $0.5 \sim 10.0$ 、より好ましくは $0.6 \sim 5.0$ 、より好ましくは $0.7 \sim 3.0$ 、最も好ましくは $0.8 \sim 2.0$ である。トレンチがホウ素ドープ・ダイヤモンドで埋められる場合、好ましい幅と深さの比は $2.0 \sim 10.0$ である。

40

【0058】

共通接点領域用のトレンチは、検出器の縁部に沿うか又は検出器の縁部に隣接することができ、或いは検出器の表面上の他の場所に位置することができる。共通接点領域は、検出器の1つ又は複数の縁部と平行とすることができますが、必ずしもそうでなくてもよい。

【0059】

レーザ切断又はレーザミリングの代わりに、他の方法がトレンチを形成するために使用されうる。例えば、イオン・ビーム・エッティング、プラズマ・エッティング、反応性イオン・エッティングなど、或いはこれらの技法の組合せが、トレンチを形成するために使用されうる。この方法の好ましい例では、レーザ切断が最初にトレンチを形成するために使用され、イオン・ビーム・エッティング、反応性イオン・エッティング又はプラズマ・エッティングを用いた第2段階の処理が、トレンチの表面に実質的に損傷がないようにするために適用

50

される。

【0060】

図5及び6を参照して説明する本発明の一態様によれば、1つ又は複数の貫通孔又はビアが、基板18の前面20と対向する第2の背面34とを接続するために形成されうる。これは、レーザ切断又はレーザ穴あけを用いて実現されることが好ましい。図5及び6に示されている実施例では、第1のビア36及び第2のビア38が設けられ、第1のビア36及び第2のビア38は、それぞれ基板の前面上及び背面上の共通接点領域30及び32を相互接続する。

【0061】

ビアは、通常は円形断面を有する孔であり、円筒形又はわずかに先細りになっている。ビアの適切な直径と深さの比の範囲は、電極及び共通接点領域用に作られたトレンチのそれと大まかに同じである。ビアの直径と深さの比は、好ましくは0.5～10.0、より好ましくは0.6～5.0、より好ましくは0.7～3.0、最も好ましくは0.8～2.0である。ビアが存在する場合、共通接点領域として用意されるトレンチは、ビアで終端する。ビアがホウ素ドープ・ダイヤモンドで埋められる場合、好ましい直径と深さの比は2.0～10.0である。

【0062】

ビアは、上述のように、検出器の対向する前面及び背面上の共通接点領域を相互接続するために設けることができるが、片面検出器に設けることもできる。これにより検出器の背面と電気的に接触することが可能になり、これは滑らかで堅牢な検出器表面を実現する際に望ましい。

【0063】

共通接点領域のトレンチのアスペクト比（すなわち、幅と深さの比）は、それが導電性接点を設ける場合に使用される技法に適合するように選択される。当業者なら、異なるコーティング技法が、異なる「スローイング・パワー（*throwing powers*）」、すなわち狭い穴の下方又は隅々にコーティングする能力を有することに気付くであろう。CVDダイヤモンド堆積又はスパッタリングなど、中程度のスローイング・パワーだけを有する技法では、できるだけ高いアスペクト比を用いることがより良い。使用される技法が、無電解ニッケルめっきなどの高いスローイング・パワーを有する場合、低いアスペクト比が選択されうる。

【0064】

電極、共通接点領域及びオプションのビア用のトレンチ／貫通孔が基板内に製作された後、基板は、レーザ切断によって生じた破片、特に黒鉛の破片を除去するために洗浄される。典型的には、これは、高温濃硫酸及び硝酸カリウムを使用するなど、当技術分野で知られる方法を用いて行われる。

【0065】

本発明の一態様によれば、最初に必要な貫通孔をレーザ切断又は穴あけによって形成した後、ビアの内面には、イオン・ビーム・エッチング、反応性イオン・エッチング又はプラズマ・エッチングを用いて第2段階の処理が施されて、貫通孔の表面に実質的に損傷がないようにすることができる。

【0066】

トレンチ／貫通孔のレーザ切断面は、有意な表面下損傷がなく（すなわち電子トラップがなく）、したがって、衝突する電離放射線によって生成された担体は、使用時に接点を介して印加された電界（一般に0.2～5.0V/μm）によって、相互にかみ合わされた接点へ容易に一掃されうる。

【0067】

次に、トレンチ及びビア（存在する場合）は、相互にかみ合わされた電極自体を画定するように導電性材料で充填されるか又は部分的に充填される。導電性ホウ素ドープ・ダイヤモンドが電極を形成するために使用されることが好ましい。ホウ素ドープ・ダイヤモンドのホウ素濃度は、好ましくは 5×10^{19} atoms/cm³より大きく、より好まし

10

20

30

40

50

くは 1×10^{20} atoms / cm³ より大きく、最も好ましくは 5×10^{20} atoms / cm³ より大きい。ホウ素ドープ・ダイヤモンドの場合、 5×10^{20} atoms / cm³ を超えるホウ素ドーパント濃度は、真の金属導電特性をもたらす。電極が導電性ダイヤモンド材料で形成される場合、普通なら応力を誘発し、場合により電子トラップを引き起こすことになる、電極と検出器の基板の材料との間の有意な熱膨張の不整合がない。さらに、電極と固有の基板材料 (intrinsic substrate material) の接触面は、電極の効率に影響を及ぼしうる中間材料が存在しないので、ほとんど完璧である。

【0068】

トレンチ及びビア（存在する場合）がホウ素ドープ・ダイヤモンドで充填される場合、ホウ素ドープ・ダイヤモンドは CVD 法によって堆積されることが好ましい。基板全体は、ほぼ均一な厚みの、ほぼ相似形且つ連続的な層で覆われる。堆積された層の厚みは、トレンチの深さを超える必要はない。ビアの場合、ビアは、それが相互にかみ合わされた電極が形成されるトレンチよりも深い必要があるので、このステップで完全に充填される可能性は低い。しかし、ビアの直径と深さの比を適切に選択することにより、ビアの内面全体が導電性ホウ素ドープ・ダイヤモンド層でコーティングされる。直径と深さの比は、好ましくは 0.5 ~ 1.0、より好ましくは 0.6 ~ 5、より好ましくは 0.7 ~ 3、最も好ましくは 0.8 ~ 2 である。ビアの貫通孔の直径と深さの比又は幅と深さの比は、トレンチ又は空洞の比の 50% 程度以内、好ましくは 30% 以内、より好ましくは 20% 以内、最も好ましくは 10% 以内である。

10

20

30

【0069】

別法として、適切なアスペクト比を選択することにより、1つ又は複数のビアは、ホウ素ドープ・ダイヤモンド堆積プロセスの間に部分的に充填することができ、残りの空間は、金属又は他の導電材料で充填することができる。

【0070】

基板の両表面上に相互にかみ合わされた電極配列がある実施例では、ホウ素ドープ・ダイヤモンドの第2段階の堆積が第2の表面上のトレンチを埋める必要があるのは、当業者には明らかであろう。しかし、埋められるべき第1の表面が、下記のように、第2の表面が埋められうる前に処理して元に戻されなければならないことは、当業者には明らかでないかもしれない。

30

【0071】

トレンチがホウ素ドープ・ダイヤモンドで埋められるか又は部分的に埋められた後、表面は、トレンチもビアも以前に形成されなかつた領域において基板のダイヤモンドを再露出させるように処理されなければならない。正確に処理するために、除去された材料の量が測定される基準面を有する必要がある。こうした理由から、空間を埋めるのは2段階で実施されなければならない。

40

【0072】

ラッピング或いはラッピング及び研磨の従来の技法を、成長し過ぎたホウ素ドープ・ダイヤモンドを処理して元の基板表面のレベルに戻す場合に用いることができる。基板が単結晶 CVD ダイヤモンドである場合、スカイフ研磨 (scuff polishing) の技法を用いることが有利となりうる。

40

【0073】

かかる処理後の表面の二乗平均平方根粗さ (R_q) は、好ましくは 500 nm 未満、より好ましくは 200 nm 未満、より好ましくは 100 nm 未満、より好ましくは 80 nm 未満、より好ましくは 50 nm 未満、より好ましくは 30 nm 未満、より好ましくは 20 nm 未満、最も好ましくは 10 nm 未満である。

50

【0074】

表面が処理された後、ホウ素ドープ・ダイヤモンドの相互にかみ合わされた電極のアノード及びカソードは、互いに電気的に分離される。

【0075】

50

両面検出器の第2の面を完成させるためには、上記のプロセスが繰り返される。

【0076】

代替実施例では、電極は、選択された金属又は他の半導体から形成されうるとともに、特定用途向けに最適化されうる。代替実施例では、トレンチは、どのタイプの放射線が検出されるべきかに応じて、例えば、カーバイド生成金属（W、Mo、Ti、Crなど）、又は自然の同位体存在度のホウ素、すなわち濃縮同位体¹⁰B（isotopically enriched¹⁰B）、或いは軽濃縮²³⁵U（mildly enriched²³⁵U）で充填することができる。

【0077】

検出器表面の開放領域に対する電極の「マーク・スペース」比、すなわち電極の幅と2つの隣接する電極間の空隙の幅の比（電極の幅÷2つの隣接する電極間の空隙の幅）は、それぞれの特定用途向けに最適化されうる。

【0078】

マーク・スペース比は、検出器の1つ又は複数の表面全体にわたって同じとすることができ、或いは変化することができる。例えば、対向する表面上に1対の相互にかみ合わされた電極を備える検出器の場合、マーク・スペース比は、2対の相互にかみ合わされた電極の場合とは異なるように選択されてもよい。

【0079】

多結晶ダイヤモンド材料から形成された基板の場合、電極離隔距離（一般に約50ミクロン）は、結晶粒界が検出器の感度に影響を及ぼさないように、CVDダイヤモンド基板の表面での粒径（一般に100～200ミクロン）よりも小さいことが重要である。したがって、デバイスは、単結晶検出器と同じように機能するが、検出器領域をより大きくすることができるという利点を有する。

【0080】

図3に概略的に示されているように、真のオーム性の外部接点40及び42（室温以上で本質的にゼロ活性エネルギーを有する）が、金属カーバイド界面材料（Ti、Cr、Mo、Wなど）の使用により、導電性ホウ素ドープ・ダイヤモンド接点の共通接点領域30及び32上に形成されて、検出器への電気的接続44及び46を行うことが可能となる。真のオーム性(true ohmic)の接点は、カーバイド生成金属がホウ素ドープ・ダイヤモンド以外の接点材料として使用されるときに、金属接点領域上に形成される。

【0081】

検出器の前面と背面を接続するビアがある場合、図5及び6の実施例のように、真のオーム性の外部接点48及び50が、基板の背面34上のビア36及び38が充填された端面上に形成され、それによって、前面20（環境にさらされている）が堅牢でない部分のない且つ外部測定システムへの接続が背面（環境から保護されるか又は保護されうる）から行われる検出器が提供される。

【0082】

オーム性の接点を付着することができるプロセスは、当技術分野で知られている。広く使用されている1つのプロセスは、スパッタリング技法を用いて所要の領域上に薄いチタン層（0.1～5nm）を堆積させ、続いてやはりスパッタリング技法を用いて0.1～1μmの厚い金層を堆積させることである。接点の堆積後、接点を有する検出器は、400～500の真空中で数分間（多くの場合1～5分間）アニールされる。このオーム性の接点により、検出器を従来のシリコン放射線検出器で使用される種類の外部電子測定回路に接続することができる。

【0083】

ダイヤモンド上にオーム性の接点を形成するための、当技術分野で知られる別のプロセスは、スパッタリング技法によってチタン層と金層の間に約1nm～100nmの厚みで堆積された白金層を使用する。

【0084】

当技術分野で知られる別のプロセスは、チタン層の代わりに約0.1～5nmの厚みを

10

20

30

40

50

有するクロム層を使用する。

【0085】

ホウ素ドープ・ダイヤモンド又はホウ素金属を使用することは、電極が低Zであり且つ組織等価であるという利点を有する。

【0086】

ダイヤモンドだけから成るもの表面は、高い耐食性、耐浸食性且つ耐摩耗性であるので、本発明の放射線検出器は、対象とする用途でいかなる保護カバーも必要としない。

【0087】

検出器表面は、平らであり且つ研磨されており、したがって汚染しにくく、電極と検出器構造のどちらにも損傷を与える容易に洗浄することができる。

10

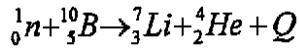
【0088】

相互にかみ合わされた埋込み電極構造は、アルファ粒子及びベータ粒子、遠紫外線（エネルギー > 5 . 4 eV）並びにX線放射を検出するために使用されうる。

【0089】

電極中のホウ素が¹⁰Bである場合、遅い中性子もまた、アルファ粒子の発生、したがって、

【数1】



20

によって検出することができる。ただし、Qは余剰エネルギーである。

【0090】

本発明の異なる実施例では、基板の表面内に形成されたトレンチは、異なるタイプの放射線の検出を容易にするために異なる材料で充填される。

【0091】

アルファ粒子又はベータ粒子検出器を製作するために、トレンチは、ホウ素ドープ・ダイヤモンド又はW、Mo、Ti、Crなどのカーバイド形成金属で、或いはW、Mo、Ti、Crなどのカーバイド形成金属の薄層の上にAu、Cu、Ptなどの別の金属で充填されうる。

30

【0092】

中性子検出器を製作するために、トレンチは、高中性子捕獲断面（high neutron capture cross section）を有する材料で充填される。適切な材料の例としては、¹⁰B、¹¹B、²³⁵Uなどでドープされたダイヤモンドがある。

【0093】

ダイヤモンド検出器内に検出器の表面の下方に電極を形成することにより、比較的纖細な電極は、比較的より堅牢なダイヤモンド基板によって保護され、したがって取扱い又は他のファクタによる損傷の影響を受けにくい。

【0094】

トレンチの深さがトレンチ間の横方向距離と比べて比較的小さい深いトレンチを使用すると、接点を機械的に保護するが、表面上に電極を備える既知のデバイスと比べてデバイスの幾何形状を実質的に修正しない。しかし、トレンチの深さが電極間隔と同程度か又はそれより大きい深いトレンチの使用は、検出器の領域を効果的に増大させて、デバイスの感度（所与のフラックスから生じた信号が検出される）を向上させる。したがって、デバイスの全体的な性能もまた、本発明の方法によって改善されうる。

40

【0095】

さらに、本発明の放射線検出器が、普通なら、材料の厚みを通過する電離粒子から十分な信号を得るために比較的厚い基板の対向面上に電極を備えることができるという状況下で、対向する電極の隣接し且つ平行する深いトレンチを相互にかみ合わされた形で置くこ

50

とにより、ほぼ同等の感度を得ることができ、所与の粒子経路を検出する材料の体積はほぼ同じであるが、印加される電界はこの場合、従来の設計に見られるように基板の表面に對して実質的に垂直ではなく、基板の表面と実質的に平行である。そのような代替実施例では、電極 22 及び 24 を形成する隣接する深いトレンチは、図 7 に示されているように、基板 18 の一方の表面 20 を起点とすることができます、或いは、対向する電極は、図 8 に示されているように、両表面を起点とし且つ基板の厚みの真ん中で重なり合うことができる。隣接する電極は本質的に基板の表面に對して垂直な方向に重なり合う。

【 0 0 9 6 】

図 8 の実施例の場合、トレンチの深さは、トレンチが図示のように重なり合う場合、基板の厚みの半分を超えないことは明らかである。いずれにしても、トレンチの深さは深いほどよい。特に図 8 の配置では、トレンチの深さが深いほど、重複部分の範囲が大きくなる。トレンチの深さは、基板の厚みの好ましくは少なくとも 50 %、より好ましくは少なくとも 60 %、より好ましくは少なくとも 70 %、最も好ましくは少なくとも 80 % である。この実施例では、トレンチは、その深さの少なくとも 10 %、好ましくは少なくとも 15 %、より好ましくは少なくとも 20 %、より好ましくは少なくとも 25 %、最も好ましくは少なくとも 30 % に対して重なり合う。この実施例では、対向する表面から入り込むトレンチは、同じ深さである必要はない。

10

【 0 0 9 7 】

これにより、普通は接点構造が両表面上にある放射線検出器に關連する感度を、検出器によって検出されるべき厳しい環境とは逆方向に向いた面とすることができる一方の表面上だけに接点構造を有するデバイスにおいて、達成することができるだけでなく、さらに、そのことは、材料内で必要とされる電荷収集距離を短縮すること（すなわち、材料は、検出器の性能が大きく影響を受ける前に放射線損傷量が増加する可能性がある）によりデバイスの放射線硬度を向上させることもできる。

20

【 0 0 9 8 】

この後者の効果は、同一体積の真性ダイヤモンドを対象とするより大きな表面積の電極間の距離を短くすることにより暗電流が高くなるという点で、ある程度まで暗電流又は雑音とのトレード・オフ (trade-off) をもたらす。しかし、ダイヤモンド、特に高純度ダイヤモンドは、非常に低い固有暗電流を有しており、十分に準備された低損傷表面を有する深いトレンチを有する高純度ダイヤモンドを利用して本発明に従って製作された検出器は、依然として非常に低い暗電流を保持することができる。トレンチの設計を用途に応じて慎重に調整することにより、本発明は、暗電流が動作を妨げるほど高くならずに放射線硬度を向上させるという点で、非常に有益となりうる。

30

【 0 0 9 9 】

放射線硬度を向上させたダイヤモンド検出器構造向けのこの設計は、熱中性子（すなわち、約 0.025 eV のエネルギーをもつ中性子）の検出に使用されうるように、他の検出器特徴、例えば変換層と組み合わせることもできる。変換層の例としては、²³⁸U 及び¹⁰B があり、ここで核反応は、それぞれ

$n_{th} + ^{238}U \rightarrow FF_1$ (約 97 MeV) + FF_2 (約 65 MeV) + $v n_{th} + E$
及び

$n_{th} + ^{10}B \rightarrow ^7Li^* (0.84 MeV) + ^4He (1.47 MeV)$

40

であり、式中、 n_{th} は熱中性子を表し、 FF は核分裂片を表し、 v は数、一般に 2 又は 3 であり、 E は核反応時に放出されるガンマ線のエネルギーを表す。

【 0 1 0 0 】

この適用例では、印加電界が基板の表面と平行であることは、2 次放射線場によってダイヤモンド層の最初の数マイクロメートルの深さに形成された重照射損傷に対するデバイスの感受性を低下させるとともに、さらに入り込むより低いレベルの放射線から依然として十分な信号を与える。

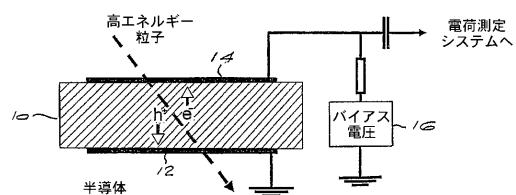
【 0 1 0 1 】

したがって、本発明の検出器設計は、優れた機械的堅牢性、高い感度、及び放射線損傷

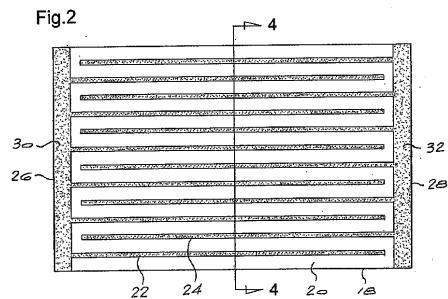
50

に対する優れた堅牢性を提供し、ある面で、表面下損傷が接点のすぐ下のダイヤモンド中に存在することがなく、製作がより容易である。

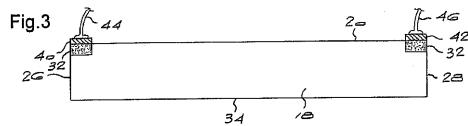
【図 1】



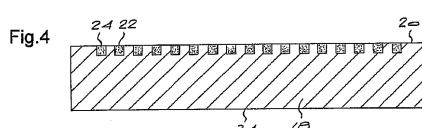
【図 2】



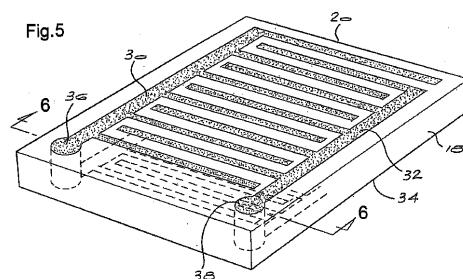
【図 3】



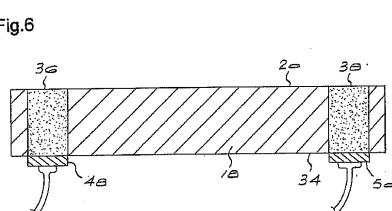
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図7】

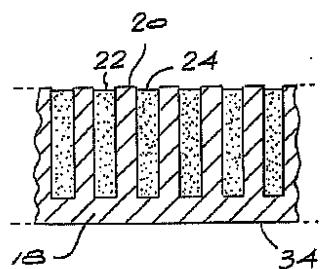


Fig. 7

【図8】

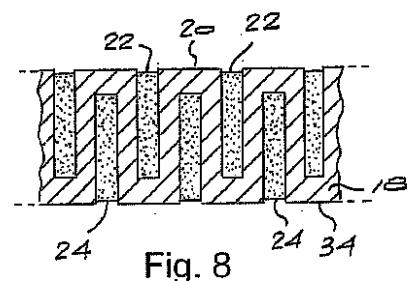


Fig. 8

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No PCT/IB2007/054583
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01T1/26		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01T H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 96/04572 A (IMPERIAL COLLEGE [GB]; HASSARD JOHN FRANCIS [GB]; CHOI PETER [GB]) 15 February 1996 (1996-02-15) page 8, line 26 - line 28 page 9, line 34 page 10, line 1 - line 5 figures	1,2,8, 12-15, 25,29 3-7, 9-11, 16-24, 26-28, 30-32, 35-41
Y		-/-
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 9 October 2008		Date of mailing of the international search report 17/10/2008
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Datta, Shyamal

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/IB2007/054583

(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 429 436 B1 (TOMISAKI TAKAYUKI [JP] ET AL) 6 August 2002 (2002-08-06) column 11, line 41 - line 59 column 12, line 25 - line 31; figures	3,4, 17-24, 36-41
Y	EP 0 474 385 A (DE BEERS IND DIAMOND [ZA]) 11 March 1992 (1992-03-11) abstract column 1, line 4 - line 30 column 2, line 3 - line 22 column 3, line 1 - line 19 figures	5-7, 30-32
Y	GB 2 404 780 A (ELEMENT SIX LTD [GB]) 9 February 2005 (2005-02-09) abstract page 6, line 3 - page 7, line 8 page 8, line 14 - line 20	9,10
Y	WO 01/69285 A (DE BEERS IND DIAMOND [ZA]; WHITEHEAD ANDREW JOHN [GB]) 20 September 2001 (2001-09-20) abstract page 2, line 12 - page 5, line 1 page 4, line 17 - line 23 page 5, line 26 - line 27	11
Y	JIANG WEI ET AL: "Conceptual development and characterization of a diamond-based ultraviolet detector" REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AIP, MELVILLE, NY, US, vol. 70, no. 2, 1 February 1999 (1999-02-01), pages 1333-1340, XP012037270 ISSN: 0034-6748 page 1333 - page 1335	16,35
Y	US 5 757 007 A (SANGSINGKEOW PAT [US]) 26 May 1998 (1998-05-26) column 4, line 1 - line 20 figures	26-28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/IB2007/054583

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.: because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers allsearchable claims.

2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/IB2007 /054583

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-4,8,12-15,17-25,29,34, 36-41

A radiation detector comprising a diamond substrate and at least one electrode formed at at least one surface of the substrate, the electrode comprising electrically conductive material deposited in a cavity in the surface of the substrate so that at least a portion of the material of the electrode is below the surface of the substrate wherein at least one electrode is located at a first surface and at least one is located at an opposed second surface of the substrate and a method of manufacturing such a radiation detector

2. claims: 5-7,30-33

A radiation detector comprising a diamond substrate and at least one electrode formed at at least one surface of the substrate, the electrode comprising electrically conductive material deposited in a cavity in the surface of the substrate so that at least a portion of the material of the electrode is below the surface of the substrate wherein a plurality of electrodes are arranged in an interdigitated configuration, each electrode having a plurality of elongate electrode elements, and each electrode element extending parallel to at least one adjacent electrode element of another electrode and a method of manufacturing such a radiation detector

3. claims: 9-11

A radiation detector comprising a diamond substrate and at least one electrode formed at at least one surface of the substrate, the electrode comprising electrically conductive material deposited in a cavity in the surface of the substrate so that at least a portion of the material of the electrode is below the surface of the substrate wherein the electrically conductive material deposited in the cavity comprises a doped diamond material which is electrically conductive

4. claims: 16,35

International Application No. PCT/IB2007 /054583

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/SA/ 210

A radiation detector comprising a diamond substrate and at least one electrode formed at at least one surface of the substrate, the electrode comprising electrically conductive material deposited in a cavity in the surface of the substrate so that at least a portion of the material of the electrode is below the surface of the substrate wherein an ohmic external contact applied to said at least one electrode formed in the substrate and a method of manufacturing such a radiation detector

5. claims: 26-28

A method of manufacturing a radiation detector by providing a diamond substrate, forming at least one cavity in a first surface of the substrate, depositing electrically conductive material in the cavity to form an electrode at the first surface of the substrate, so that at least a portion of the material forming the electrode is below the first surface of the substrate and wherein at least a portion of the surfaces of the cavity in which the electrodes are formed to minimise the density of surface and near-surface electronic states

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/IB2007/054583

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9604572	A	15-02-1996	AT 196690 T AU 685652 B2 AU 2987995 A CA 2194569 A1 DE 69518986 D1 DE 69518986 T2 EP 0771426 A1 JP 10509509 T JP 3411580 B2 US 6072181 A ZA 9506035 A	15-10-2000 22-01-1998 04-03-1996 15-02-1996 02-11-2000 08-03-2001 07-05-1997 14-09-1998 03-06-2003 06-06-2000 20-01-1997
US 6429436	B1	06-08-2002	NONE	
EP 0474385	A	11-03-1992	AT 145286 T AU 647816 B2 AU 8249691 A CA 2049376 A1 DE 69123107 D1 DE 69123107 T2 JP 6094837 A US 5212385 A ZA 9106511 A	15-11-1996 31-03-1994 20-02-1992 18-02-1992 19-12-1996 03-04-1997 08-04-1994 18-05-1993 27-05-1992
GB 2404780	A	09-02-2005	NONE	
WO 0169285	A	20-09-2001	AT 313090 T AU 4442501 A CN 1425140 A DE 60115865 T2 EP 1264198 A1 JP 2003527611 T RU 2237912 C2 US 2003107003 A1	15-12-2005 24-09-2001 18-06-2003 14-06-2006 11-12-2002 16-09-2003 10-10-2004 12-06-2003
US 5757007	A	26-05-1998	CN 1255201 A EP 0972212 A1 JP 2000510596 T WO 9845730 A1 ZA 9802519 A	31-05-2000 19-01-2000 15-08-2000 15-10-1998 30-09-1998

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MT,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100072822

弁理士 森 徹

(74)代理人 100087217

弁理士 吉田 裕

(74)代理人 100123180

弁理士 白江 克則

(74)代理人 100137475

弁理士 金井 建

(72)発明者 ホワイトヘッド、アンドリュー ジョン

イギリス国、キャンベリー サリー、シャイレスモア ドライブ 60

(72)発明者 ワート、クリストファー ジョン ハワード

イギリス国、ワンティジュ オックスフォードシャー、アップソープ ドライブ 61

(72)発明者 オリバー、ケビン ジョン

イギリス国、ドーチェスター ドーセット、トレベス ロード 11

F ターム(参考) 2G088 FF04 FF05 FF06 GG21 JJ31 JJ35 JJ37

5F088 AA11 AB03 BA13 CB01 CB08 DA05 FA05 FA09 LA07