

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-9801

(P2018-9801A)

(43) 公開日 平成30年1月18日(2018.1.18)

(51) Int.Cl.

G01T 1/24 (2006.01)

F1

G01T 1/24

テーマコード(参考)

2G188

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2016-136788 (P2016-136788)
 (22) 出願日 平成28年7月11日(2016.7.11)
 (11) 特許番号 特許第6242954号 (P6242954)
 (45) 特許公報発行日 平成29年12月6日(2017.12.6)

(71) 出願人 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100140442
 弁理士 柴山 健一
 (74) 代理人 100110582
 弁理士 柴田 昌聰
 (72) 発明者 金原 正典
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

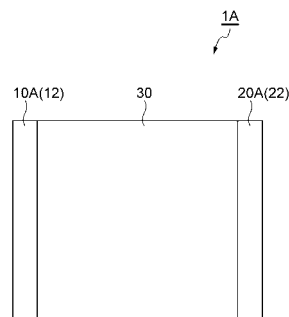
(54) 【発明の名称】放射線検出器

(57) 【要約】

【課題】TlBr結晶の分極化を抑制することができるとともに大気における電極の腐食を抑制することができる放射線検出器を提供する。

【解決手段】放射線検出器1Aは、第1電極10Aと、第2電極20Aと、これら第1電極10Aと第2電極20Aとの間に設けられる臭化タリウム(TlBr)結晶30とを備える。第1電極10Aは合金層12を有する。第2電極20Aは合金層22を有する。合金層12, 22は、タリウム(Tl)金属と他の金属元素との合金からなる。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 電極と、第 2 電極と、これら第 1 電極と第 2 電極との間に設けられる臭化タリウム結晶とを備え、

前記第 1 電極および前記第 2 電極の双方または何れか一方が、タリウム金属と他の金属元素との合金からなる合金層を有する、

放射線検出器。

【請求項 2】

前記合金層が、前記他の金属元素として、鉛、銀、ビスマスおよびインジウムのうちの何れか 1 種以上の金属元素を含む、

請求項 1 に記載の放射線検出器。

【請求項 3】

前記合金層の表面に、前記合金層より低抵抗の金属からなる低抵抗金属層が設けられている、

請求項 1 または 2 に記載の放射線検出器。

【請求項 4】

前記低抵抗金属層が金からなる、

請求項 3 に記載の放射線検出器。

【請求項 5】

前記合金層と前記低抵抗金属層との間に、前記合金層と前記低抵抗金属層との付着力を高める導電性の中間層が設けられている、

請求項 3 または 4 に記載の放射線検出器。

【請求項 6】

前記中間層が、クロム、ニッケルおよびチタンのうちの何れかの金属からなる、

請求項 5 に記載の放射線検出器。

【請求項 7】

前記臭化タリウム結晶と前記合金層との間に、前記臭化タリウム結晶と前記合金層との付着力を高める導電性の下地層が設けられている、

請求項 1 ~ 6 の何れか 1 項に記載の放射線検出器。

【請求項 8】

前記下地層が、クロム、ニッケルおよびチタンのうちの何れかの金属からなる、

請求項 7 に記載の放射線検出器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線検出器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

放射線検出器は、X線やガンマ線等の放射線を検出するものであって、PET (Positron Emission Tomography) 装置、SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) 装置、ガンマカメラ、コンプトンカメラおよびイメージングスペクトロメータ等において用いられ得る。

【0003】

放射線検出器として、ハロゲン化タリウム結晶 (例えば、臭化タリウム、ヨウ化タリウム、塩化タリウム、及びそれらの混晶) を用いたものが知られており、一例として第 1 電極と第 2 電極との間に臭化タリウム (TlBr) 結晶が設けられた平行平板状の構成のものが知られている (特許文献 1, 2 を参照)。第 1 電極および第 2 電極のうち一方はアノード電極として用いられ、他方はカソード電極として用いられる。TlBr 結晶を用いた放射線検出器は、安価かつ容易に製造することができ、感度が高いという利点を有する。尚、第 1 電極と第 2 電極との間に、電解を制御するため又は電界を静電遮蔽するために更

10

20

30

40

50

に一つ以上の電極が設けられる場合もある。

【0004】

特許文献1, 2に記載された放射線検出器は、第1電極および第2電極としてタリウム(Tl)金属のみからなるタリウム電極を用いている。タリウム電極を用いることで、TlBr結晶の分極化を抑制することができて、放射線検出器の長期安定動作が可能であるとされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第5083964号公報

【特許文献2】特開2006-80206号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

TlBr結晶を用いた放射線検出器において第1電極および第2電極としてタリウム電極を用いると、そのタリウム電極が大気中において急速に腐食して劣化し、放射線検出器の特性が劣化してしまう。これは、タリウム電極上に例えば金等の金属層を蒸着形成した場合にも生じてしまう。この劣化を抑制するには、放射線検出器を作製した後にタリウム電極を樹脂等で封止して、耐湿性を向上させるとともに、酸化や大気雰囲気との反応を防止する必要がある。

【0007】

しかし、例えば放射線検出器を2次元検出器として読出回路基板上に実装する場合には、樹脂による封止により、放射線検出器の電極と読出回路基板のパッドとの間の電気的導通が得られなくなる。このことが、TlBr結晶を用いた放射線検出器の実用化の妨げとなっている。

【0008】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、TlBr結晶の分極化による検出器特性の劣化を抑制できるとともに大気中における電極の腐食を抑制することができる放射線検出器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の放射線検出器は、第1電極と、第2電極と、これら第1電極と第2電極との間に設けられる臭化タリウム結晶とを備え、第1電極および第2電極の双方または何れか一方が、タリウム金属と他の金属元素との合金からなる合金層を有する。この合金層が、前記他の金属元素として、鉛、銀、ビスマスおよびインジウムのうちの何れか1種以上の金属元素を含むのが好適である。

【0010】

本発明において、合金層の表面に、合金層より低抵抗の金属からなる低抵抗金属層が設けられているのが好適である。この低抵抗金属層が金からなるのが好適である。

【0011】

本発明において、合金層と低抵抗金属層との間に、合金層と低抵抗金属層との付着力を高める導電性中間層が設けられているのが好適である。この中間層が、クロム、ニッケルおよびチタンのうちの何れかの金属からなるのが好適である。

【0012】

本発明において、臭化タリウム結晶と合金層との間に、臭化タリウム結晶と合金層との付着力を高める導電性下地層が設けられているのが好適である。この下地層が、クロム、ニッケルおよびチタンのうちの何れかの金属からなるのが好適である。

【発明の効果】

【0013】

本発明の放射線検出器は、TlBr結晶の分極化による検出器特性の劣化を抑制するこ

10

20

30

40

50

とができるとともに、大気中における電極の腐食を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は、第1実施形態の放射線検出器1Aの断面構成を示す図である。

【図2】図2は、第2実施形態の放射線検出器1Bの断面構成を示す図である。

【図3】図3は、第3実施形態の放射線検出器1Cの断面構成を示す図である。

【図4】図4は、第4実施形態の放射線検出器1Dの断面構成を示す図である。

【図5】図5は、第5実施形態の放射線検出器1Eの断面構成を示す図である。

【図6】図6は、第6実施形態の放射線検出器1Fの断面構成を示す図である。

【図7】図7は、合金化前の原材料としてのPb金属およびTl金属の重量比を各値とした場合の合金層におけるPb金属およびTl金属それぞれの含有重量比を示すグラフである。

10

【図8】図8は、合金化前の原材料としてのBi金属およびTl金属の重量比を各値とした場合の合金層におけるBi金属およびTl金属それぞれの含有重量比を示すグラフである。

【図9】図9は、実施例の放射線検出器を用いて得られた ^{137}Cs ガンマ線のスペクトルを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。本発明は、これらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

20

【0016】

図1は、第1実施形態の放射線検出器1Aの断面構成を示す図である。放射線検出器1Aは、第1電極10Aと、第2電極20Aと、これら第1電極10Aと第2電極20Aとの間に設けられる臭化タリウム(TlBr)結晶30とを備える平板形状の検出器である。 TlBr 結晶30の互いに平行な2つの面のうち、一方の面に第1電極10Aが例えば蒸着により形成されており、他方の面に第2電極20Aが例えば蒸着により形成されている。

30

【0017】

第1電極10Aは合金層12を有する。第2電極20Aは合金層22を有する。合金層12, 22の厚みは例えば数十nm~数百nmである。合金層12, 22は、タリウム(Tl)金属と他の金属元素との合金からなる。Tl金属とともに合金に含まれる他の金属元素は、任意でよいが、好適には鉛(Pb)、銀(Ag)、ビスマス(Bi)およびインジウム(In)のうちから選ばれる1種以上の元素である。

【0018】

合金層12, 22は、例えば、Tl-Pb、Tl-Ag、Tl-Bi、Tl-In、Tl-Pb-Bi、Tl-Pb-In等の合金からなる。合金層12, 22は、Tlを金属として含むものであって、Tlを化合物(例えば、酸化Tl、フッ化Tl、硝酸Tl等)としてのみ含むものではない。合金層12, 22におけるTl金属の含有比は、蛍光X線分析(XRF)法による分析によりTl金属が検出されるレベルである。なお、合金層12, 22の表面は空気に触れて酸化する場合があるが、合金層12, 22の内部は酸化しない。

40

【0019】

第1電極10Aおよび第2電極20Aのうち一方はアノード電極として用いられ、他方はカソード電極として用いられる。ハロゲン化タリウム結晶はイオン伝導性を示すので、 TlBr 結晶30に電圧が印加されると、 Tl^+ イオンがカソード電極下へ蓄積し、 Br^- イオンがアノード電極下へ蓄積する。放射線検出器1Aは、入射放射線によって生成される電子正孔対が印加電圧によって移動することにより両電極の間に流れる電流により放射線入射を検出することができる。

50

【0020】

アノード電極下に蓄積した Br^- イオンは、そのアノード電極に含まれる Tl 金属と結合して TlBr となり、そのときに電子が放出される。カソード電極下に蓄積した Tl^+ イオンは、その放出された電子と結合して Tl 金属となる。これらの反応により生成される Tl 金属および TlBr は、イオンではなく、電荷を持たない。したがって、 TlBr 結晶30の分極化を抑制することができる。

【0021】

第1電極10Aおよび第2電極20Aは、 Tl 金属のみからなる電極ではなく、 Tl 金属と他の金属元素との合金からなる電極であるので、大気中における腐食が抑制され、樹脂等で封止する必要がない。したがって、放射線検出器1Aを読出回路基板上に実装することが可能となる。

10

【0022】

Tl 金属と他の金属元素との合金からなる第1電極10Aおよび第2電極20Aは、 Tl 金属のみからなる電極と比べて、 TlBr 結晶30との付着力が強く、高温時に TlBr 結晶30から剥がれることが抑制される。例えば、放射線検出器1Aを読出回路基板上に実装する際に放射線検出器1Aが高温となっても、放射線検出器1Aの信頼性が確保され得る。

【0023】

また、 Tl 金属のみからなる電極を有する放射線検出器は、特性が安定化するのに、エージング（電圧の極性を換えて交互に電極間に印加する操作）を行う必要がある。これに対して、 Tl 金属と他の金属元素との合金からなる電極を有する放射線検出器は、このようなエージングを行う必要がなく、最初から良好なエネルギー分解能を有する。

20

【0024】

図2は、第2実施形態の放射線検出器1Bの断面構成を示す図である。放射線検出器1Bは、第1電極10Bと、第2電極20Bと、これら第1電極10Bと第2電極20Bとの間に設けられる臭化タリウム（ TlBr ）結晶30とを備える。図1に示された第1実施形態の構成と比較すると、図2に示される第2実施形態の構成では、第1電極10Bにおいて合金層12の表面に低抵抗金属層14が例えば蒸着により形成されている点で相違し、第2電極20Bにおいて合金層22の表面に低抵抗金属層24が例えば蒸着により形成されている点で相違する。

30

【0025】

低抵抗金属層14は合金層12より低抵抗の金属からなる。低抵抗金属層24は合金層22より低抵抗の金属からなる。低抵抗金属層14, 24は、単一層であってもよいし、複数層であってもよい。低抵抗金属層14, 24の厚みは例えば数十nm~数百nmである。低抵抗金属層14, 24の金属は、任意でよいが、好適には金（ Au ）が用いられる。合金層の表面に低抵抗の金属からなる低抵抗金属層が設けられることで、合金層の表面の酸化が抑制されるとともに、例えば読出回路基板上のパッドと電極との間の抵抗を低減することができる。

【0026】

図3は、第3実施形態の放射線検出器1Cの断面構成を示す図である。放射線検出器1Cは、第1電極10Cと、第2電極20Cと、これら第1電極10Cと第2電極20Cとの間に設けられる臭化タリウム（ TlBr ）結晶30とを備える。図2に示された第2実施形態の構成と比較すると、図3に示される第3実施形態の構成では、第1電極10Cにおいて合金層12と低抵抗金属層14との間に中間層13が例えば蒸着により形成されている点で相違し、第2電極20Cにおいて合金層22と低抵抗金属層24との間に中間層23が例えば蒸着により形成されている点で相違する。

40

【0027】

中間層13は、合金層12と低抵抗金属層14との付着力を高めるために挿入される。中間層23は、合金層22と低抵抗金属層24との付着力を高めるために挿入される。中間層13, 23は導電性を有する。中間層13, 23の厚みは例えば数nm~数百nmで

50

ある。中間層 13, 23 の材料は、任意でよいが、好適にはクロム (Cr)、ニッケル (Ni) およびチタン (Ti) のうちの何れかの金属からなる。

【0028】

図4は、第4実施形態の放射線検出器1Dの断面構成を示す図である。放射線検出器1Dは、第1電極10Dと、第2電極20Dと、これら第1電極10Dと第2電極20Dとの間に設けられる臭化タリウム (TlBr) 結晶30とを備える。図1に示された第1実施形態の構成と比較すると、図4に示される第4実施形態の構成では、第1電極10DにおいてTlBr結晶30と合金層12との間に島状構造の薄膜である下地層11が例えば蒸着 (抵抗加熱法) により形成され、島状構造の隙間に第1電極10Dが形成されている点で相違する。また、第2電極20DにおいてTlBr結晶30と合金層22との間に島状構造の薄膜である下地層21が例えば蒸着 (抵抗加熱法) により形成され、島状構造の隙間に第2電極20Dが形成されている点で相違する。

10

【0029】

図5は、第5実施形態の放射線検出器1Eの断面構成を示す図である。放射線検出器1Eは、第1電極10Eと、第2電極20Eと、これら第1電極10Eと第2電極20Eとの間に設けられる臭化タリウム (TlBr) 結晶30とを備える。図2に示された第2実施形態の構成と比較すると、図5に示される第5実施形態の構成では、第1電極10EにおいてTlBr結晶30と合金層12との間に島状構造の薄膜である下地層11が例えば蒸着 (抵抗加熱法) により形成され、島状構造の隙間に第1電極10Eが形成されている点で相違する。また、第2電極20EにおいてTlBr結晶30と合金層22との間に島状構造の薄膜である下地層21が例えば蒸着 (抵抗加熱法) により形成され、島状構造の隙間に第2電極20Eが形成されている点で相違する。

20

【0030】

図6は、第6実施形態の放射線検出器1Fの断面構成を示す図である。放射線検出器1Fは、第1電極10Fと、第2電極20Fと、これら第1電極10Fと第2電極20Fとの間に設けられる臭化タリウム (TlBr) 結晶30とを備える。図3に示された第3実施形態の構成と比較すると、図6に示される第6実施形態の構成では、第1電極10FにおいてTlBr結晶30と合金層12との間に島状構造の薄膜である下地層11が例えば蒸着 (抵抗加熱法) により形成され、島状構造の隙間に第1電極10Fが形成されている点で相違する。また、第2電極20FにおいてTlBr結晶30と合金層22との間に島状構造の薄膜である下地層21が例えば蒸着 (抵抗加熱法) により形成され、島状構造の隙間に第2電極20Fが形成されている点で相違する。

30

【0031】

第4～第6の実施形態において、下地層11は、TlBr結晶30と合金層12との付着力を高めるために挿入される。下地層21は、TlBr結晶30と合金層22との付着力を高めるために挿入される。下地層11, 21は導電性を有する。下地層11, 21の厚みは例えば数nm～数十nmである。下地層11, 21の材料は、任意でよいが、好適にはクロム (Cr)、ニッケル (Ni) およびチタン (Ti) のうちの何れかの金属からなる。

【0032】

次に、第6実施形態の放射線検出器1Fを製造する方法の一例について説明する。Tl金属とともに合金に含まれる他の金属元素を鉛 (Pb) として説明する。

40

【0033】

まず、TlBr結晶のウェハを適当なサイズ (例えば一辺の長さが10～20mm程度の長方形) に切断してTlBr結晶30とし、このTlBr結晶30の表面を研磨する。ウェハを研磨した後に切断してもよい。また、原材料としてTl金属およびPb元素を適当な重量比でタングステン製ポートに入れ、 10^{-3} Pa以下まで減圧した真空槽内で、このポートを加熱してTl金属およびPb元素を合金化させる。

【0034】

Cr, Ni および Ti のうちの何れかの金属を蒸発源として用いて、TlBr結晶30

50

の研磨された表面に蒸着により下地層 1 1 を薄く形成する。その後、ポート内の合金化した金属を蒸発源として用いて、下地層 1 1 上に蒸着により合金層 1 2 を形成する。下地層 1 1 を設けることで、T l B r 結晶 3 0 と合金層 1 2 との付着力を高めることができる。

【 0 0 3 5 】

合金層 1 2 まで形成された T l B r 結晶 3 0 を冷却した後に、C r , N i および T i のうちの何れかの金属を蒸発源として用いて、合金層 1 2 上に蒸着により中間層 1 3 を薄く形成する。その後、金 (A u) を蒸発源として用いて、中間層 1 3 上に蒸着により低抵抗金属層 1 4 を形成する。中間層 1 3 を設けることで、合金層 1 2 と低抵抗金属層 1 4 との付着力を高めることができる。以上で T l B r 結晶 3 0 の一方の面に第 1 電極 1 0 F を形成する。

10

【 0 0 3 6 】

第 1 電極 1 0 F が形成された T l B r 結晶 3 0 を十分に冷却した後に、第 1 電極 1 0 F が形成された面に対向する T l B r 結晶 3 0 の他の研磨された表面に、同様にして、下地層 2 1、合金層 2 2、中間層 2 3 および低抵抗金属層 2 4 を順次に蒸着により形成して、第 2 電極 2 0 F を形成する。以上のようにして放射線検出器 1 F を製造することができる。

【 0 0 3 7 】

尚、合金層 1 2 を蒸着する前後または蒸着中の段階において T l B r 結晶 3 0 を加熱することで、合金層 1 2 の付着力や電気的安定性を向上させることができる。又、T l B r 結晶 3 0 上に先に P b 金属を蒸着によって付着させた後に続いて T l 金属を蒸着によって付着させる方法、または、T l B r 結晶 3 0 上に先に T l 金属を蒸着によって付着させた後に続いて P b 金属を蒸着によって形成させる方法によって、合金層 1 2 を形成することもできる。

20

【 0 0 3 8 】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、第 1 電極をタリウム金属と他の金属元素との合金からなる合金層を有する電極とし、第 2 電極をタリウム金属のみからなる電極としてもよい。この場合、例えば、第 1 電極を露出したまま読出回路基板のパッドに接続し、第 2 電極を読出回路基板のパッドに直接に接続して第 2 電極を樹脂等で封止すればよい。封止樹脂としては、例えばエポキシ樹脂を使用してもよい。この場合に第 2 電極と T l B r 結晶との間に下地層を設けることにより、合金層の場合と同様に T l B r 結晶とタリウム金属との付着力を向上させることができる。第 1 電極をタリウム金属と他の金属元素との合金からなる合金層を有する電極とし、第 2 電極を金からなる電極としてもよい。

30

【実施例】

【 0 0 3 9 】

図 7 は、合金化前の原材料としての P b 金属および T l 金属の重量比を各値とした場合の合金層における P b 金属および T l 金属それぞれの含有重量比を示すグラフである。合金化前の P b 金属および T l 金属の重量比を、(a) 8 0 : 2 0、(b) 6 0 : 4 0、(c) 4 0 : 6 0、(d) 2 0 : 8 0 とした。

【 0 0 4 0 】

図 8 は、合金化前の原材料としての B i 金属および T l 金属の重量比を各値とした場合の合金層における B i 金属および T l 金属それぞれの含有重量比を示すグラフである。合金化前の B i 金属および T l 金属の重量比を、(a) 8 0 : 2 0、(b) 6 0 : 4 0、(c) 4 0 : 6 0、(d) 2 0 : 8 0 とした。

40

【 0 0 4 1 】

図 7 および図 8 に示された合金層における各金属の含有重量比は、株式会社リガク製の蛍光 X 線分析装置 (Z S X P r i m u s) を用いて測定された。図 7 および図 8 に示されるように、合金層における各金属の含有重量比は、合金化前の原材料としての各金属の重量比と必ずしも一致しない。したがって、合金層における各金属の含有重量比を所望値にするには、その所望値に応じた各金属の重量比で合金化前の原材料を混合し合金化する

50

ことが好ましい。

【0042】

図9は、実施例の放射線検出器を用いて得られた ^{137}Cs ガンマ線のスペクトルを示す図である。図9(a)は動作開始から5分経過時のスペクトルを示し、図9(b)は動作開始から6時間経過時のスペクトルを示す。ここで用いた放射線検出器は第1実施形態の構成のものであり、合金層はTl金属とPb金属とを重量比60:40で含み厚さ100nmであった。スペクトル測定に用いた装置は、プリアンプ(クリアパルス580HP)、シェーピングアンプ(ORTEC673)およびマルチチャンネルアナライザ(ラボラトリイクイップメント2100C/MCA)であった。この図に示されるように、本実施形態の放射線検出器は、電極を樹脂で封止しなくても6時間連続動作できることが確認された。なお、Tl金属のみからなる電極を有する比較例の放射線検出器は、動作開始から1時間も経過しないうちに電極が腐食して黒色化し、特性が劣化した。このように、本実施形態の放射線検出器は、大気中における電極の腐食を抑制することができる。

10

【0043】

また、放射線検出器におけるTlBr結晶に対する電極の付着力を調べた。実施例の電極は、第2実施形態の構成のものであり、Tl金属とPb金属とを重量比60:40で含む厚さ100nmの合金層の上に、金からなる厚さ100nmの低抵抗金属層を設けたものである。比較例の電極は、Tl金属のみからなる厚さ100nmの層の上に、金からなる厚さ100nmの低抵抗金属層を設けたものである。150、175および200の各温度の雰囲気中に1分間に亘り放射線検出器をおいて、TlBr結晶に対する電極の剥がれの有無を調べた。比較例では温度150で電極が剥がれたのに対して、実施例では温度200でも電極が剥がれることはなかった。このように、本実施形態の放射線検出器は、高温時にTlBr結晶から電極が剥がれることが抑制され、信頼性が確保され得る。

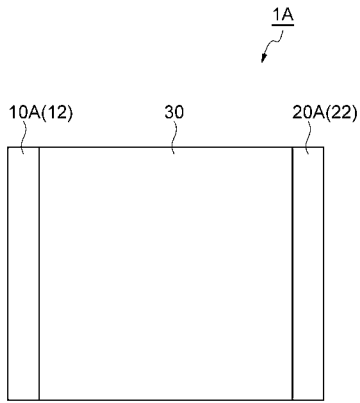
20

【符号の説明】

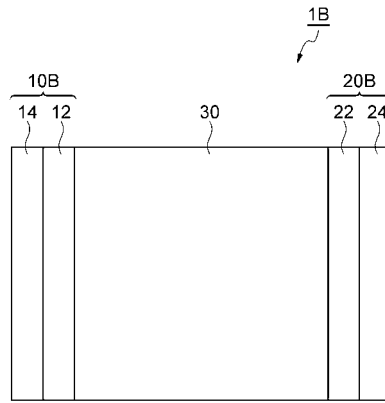
【0044】

1A~1F...放射線検出器、10A~10F...第1電極、11...下地層、12...合金層、13...中間層、14...低抵抗金属層、20A~20F...第2電極、21...下地層、22...合金層、23...中間層、24...低抵抗金属層、30...臭化タリウム結晶。

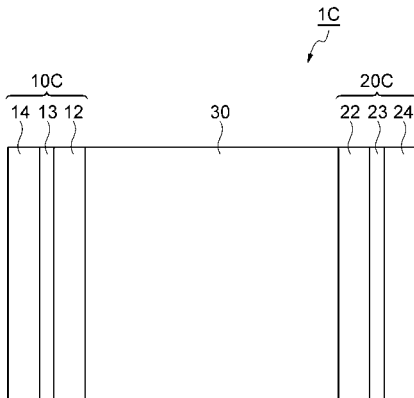
【 図 1 】



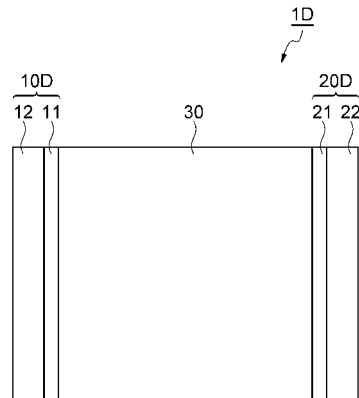
【 図 2 】



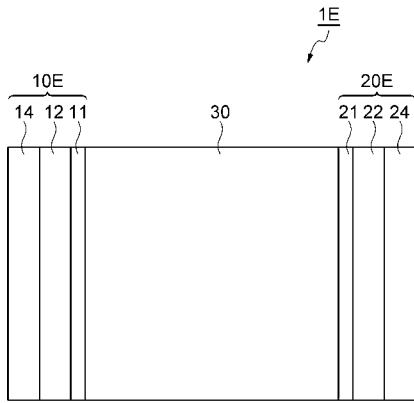
【 図 3 】



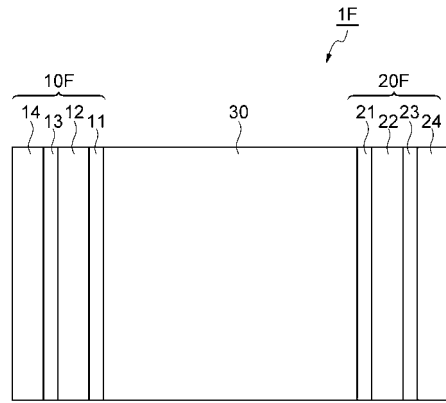
【 図 4 】



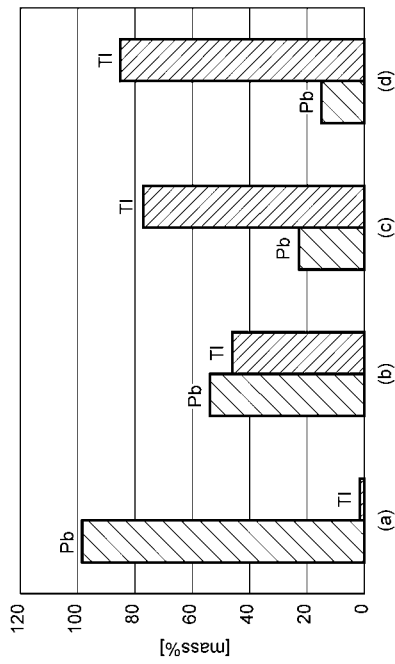
【 図 5 】



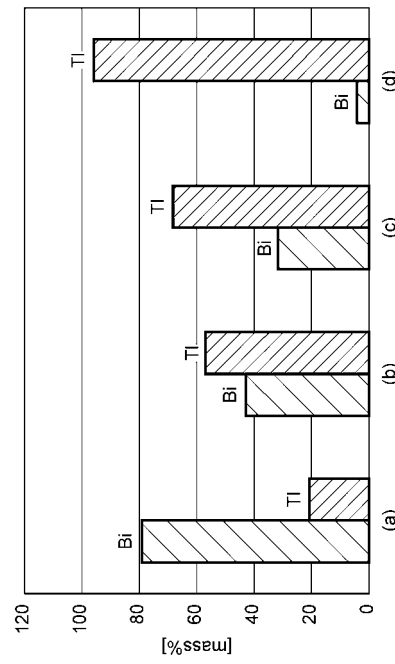
【 図 6 】



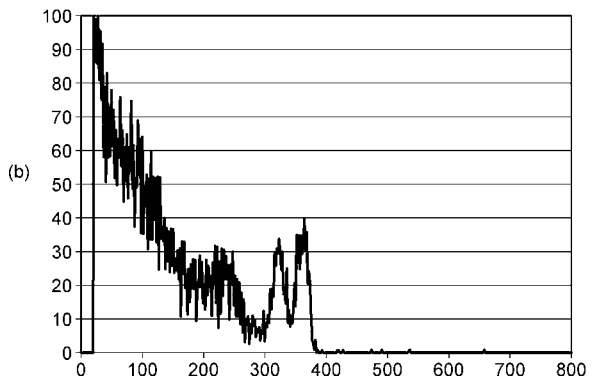
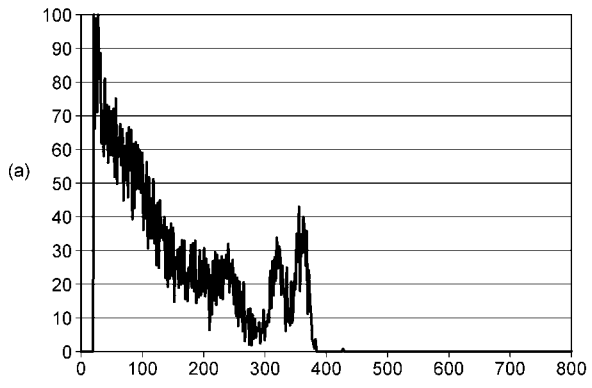
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 小野寺 敏幸
宮城県仙台市太白区山田本町13番地の28
- (72)発明者 人見 啓太郎
宮城県仙台市太白区大野田3丁目7番地の2
- Fターム(参考) 2G188 CC29 CC31 DD33 DD44