

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5055421号
(P5055421)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月3日(2012.8.3)

(51) Int.Cl.	F I	
G 2 1 K 4/00 (2006.01)	G 2 1 K	4/00 B
G 0 1 T 1/20 (2006.01)	G 0 1 T	1/20 B
A 6 1 B 6/00 (2006.01)	G 0 1 T	1/20 E
	G 0 1 T	1/20 G
	G 0 1 T	1/20 D
請求項の数 12 (全 24 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2010-291391 (P2010-291391)	(73) 特許権者	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(22) 出願日	平成22年12月27日(2010.12.27)	(74) 代理人	100115107 弁理士 高松 猛
(65) 公開番号	特開2012-137442 (P2012-137442A)	(72) 発明者	金子 泰久 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内
(43) 公開日	平成24年7月19日(2012.7.19)	(72) 発明者	中津川 晴康 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内
審査請求日	平成24年4月26日(2012.4.26)	(72) 発明者	佐藤 圭一郎 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内
早期審査対象出願			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】放射線画像変換パネル及び放射線画像変換パネルの製造方法、並びに放射線画像検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

支持体と、放射線露光によって蛍光を発する蛍光物質を含有し、前記支持体上に形成された蛍光体とを備える放射線画像変換パネルであって、
前記蛍光物質の結晶が柱状に成長してなる柱状結晶の群によって形成された柱状部と、非柱状部と、を有し、前記柱状部及び前記非柱状部は、前記柱状部における結晶成長方向に重なって一体に形成されており、

前記非柱状部は、互いに空隙率の異なる複数の層を含み、前記支持体に接する下層の空隙率が、前記柱状部に接する上層の空隙率より小さい放射線画像変換パネル。

【請求項2】

請求項1に記載の放射線画像変換パネルであって、
前記下層の空隙率は、15%以下である放射線画像変換パネル。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の放射線画像変換パネルであって、
前記上層の空隙率は、5~20%である放射線画像変換パネル。

【請求項4】

請求項1から3のいずれか一項に記載の放射線画像変換パネルであって、
前記下層の厚みは、5~50μmである放射線画像変換パネル。

【請求項5】

請求項1から4のいずれか一項に記載の放射線画像変換パネルであって、

前記上層の厚みは、5 ~ 125 μm である放射線画像変換パネル。

【請求項6】

支持体と、放射線露光によって蛍光を発する蛍光物質を含有し、前記支持体上に形成された蛍光体とを備える放射線画像変換パネルであって、
前記蛍光物質の結晶が柱状に成長してなる柱状結晶の群によって形成された柱状部と、非柱状部と、を有し、前記柱状部及び前記非柱状部は、前記柱状部における結晶成長方向に重なって一体に形成されており、

前記非柱状部は、前記支持体に接する側から前記柱状部に接する側に向けて空隙率が漸増している放射線画像変換パネル。

【請求項7】

請求項1から6のいずれか一項に記載の放射線画像変換パネルの製造方法であって、
真空度及び支持体温度の少なくとも一方の条件を変更して、気相堆積法によって前記支持体上に前記蛍光物質の結晶を堆積させて、前記非柱状部及び前記柱状部を順次支持体上に形成し、

前記非柱状部を形成する工程において、前記蛍光物質の結晶の堆積速度を変化させる放射線画像変換パネルの製造方法。

【請求項8】

請求項7に記載の放射線画像変換パネルの製造方法であって、
前記非柱状部を形成する工程において、工程初期における堆積速度を、工程終期における堆積速度に比べて高くする放射線画像変換パネルの製造方法。

【請求項9】

請求項1から6のいずれか一項に記載の放射線画像変換パネルと、
前記放射線画像変換パネルから発せられる蛍光を検出して電気信号に変換するセンサパネルと、
を備える放射線画像検出装置。

【請求項10】

請求項9に記載の放射線画像検出装置であって、
前記蛍光体の前記柱状部側の表面が前記センサパネルに対向するように、前記放射線画像変換パネルと前記センサパネルとが貼り合わされている放射線画像検出装置。

【請求項11】

請求項10に記載の放射線画像検出装置であって、
前記センサパネル側に放射線入射面を有する放射線画像検出装置。

【請求項12】

請求項10に記載の放射線画像検出装置であって、
前記放射線画像変換パネル側に放射線入射面を有する放射線画像検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線画像変換パネル及び放射線画像変換パネルの製造方法、並びに放射線画像変換パネルを備える放射線画像検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、放射線画像を検出してデジタル画像データを生成するFPD (Flat Panel Detector) を用いた放射線画像検出装置が実用化されており、従来のイメージングプレートに比べて即時に画像を確認できるといった理由から急速に普及が進んでいる。この放射線画像検出装置には種々の方式のものがあり、その一つとして、間接変換方式のものが知られている。

【0003】

間接変換方式の放射線画像検出装置は、放射線露光によって蛍光を発するCsIやGOS (Gd₂O₂S)などの蛍光物質によって形成されたシンチレータを有する放射線画像

10

20

30

40

50

変換パネルと、光電変換素子の２次元配列を有するセンサパネルとを備え、典型的には、シンチレータと光電変換素子の２次元配列とが密接するように、放射線画像変換パネルとセンサパネルとが貼り合わされている。被写体を透過した放射線は、放射線画像変換パネルのシンチレータによって一旦光に変換され、シンチレータの蛍光はセンサパネルの光電変換素子群によって光電変換され、電気信号（デジタル画像データ）が生成される。

【 0 0 0 4 】

間接変換方式の放射線画像検出装置において、放射線をセンサパネル側から入射させるようにした、いわゆる表面読取型（ISS：Irradiation Side Sampling）の放射線画像検出装置も提案されている（例えば、特許文献１参照）。この放射線画像検出装置によれば、シンチレータのセンサパネル近傍における蛍光の発生量が多くなり、感度の向上が図られる。それにより、放射線画像の検出に必要な露光量を低減し、被写体の被爆量を低減することができる。

10

【 0 0 0 5 】

そして、感度の向上を目的とし、気相堆積法により、支持体上でCsI等の蛍光物質の結晶を柱状に成長させてなる柱状結晶の群によってシンチレータを形成する技術も知られている（例えば、特許文献２、３参照）。気相堆積法によって形成される柱状結晶は、結合剤等の不純物を含まず、また、そこで発生した蛍光を結晶の成長方向に導光する光ガイド効果を有しており、蛍光の拡散を抑制する。それにより、放射線画像検出装置の感度及び画像の鮮鋭度の向上が図られる。

【 0 0 0 6 】

20

更に、柱状結晶の群からなるシンチレータを備えた放射線画像変換パネルの特性を向上させるために、種々の提案がなされている。例えば、特許文献２に記載された放射線画像変換パネルにおいては、シンチレータの支持体側に、蛍光物質の球状結晶の群からなる非柱状部が形成され、その上に柱状結晶の群からなる柱状部が形成されている。支持体と柱状部との間に非柱状部が介在することによって、シンチレータと支持体との密着性の向上が図られている。また、非柱状部における光反射によって、蛍光の利用効率の向上、それによる感度の向上が図られている。

【 0 0 0 7 】

特許文献３に記載された放射線画像変換パネルにおいても、シンチレータの支持体側に、蛍光物質の球状結晶の群からなる非柱状部が形成され、その上に柱状結晶の群からなる柱状部が形成されている。そして、非柱状部は２層構造となっており、支持体側に、球状結晶が互いに独立して存在している球状結晶層が設けられ、柱状部側に、複数の球状結晶が凝集して塊（ドメイン）を形成しているドメイン層が設けられている。球状結晶層によって比較的小さな応力を緩和し、ドメイン層によってせん断力のような大きな応力を緩和するようにして、シンチレータと支持体との密着性の向上が図られている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 8 】

【特許文献１】特許第 3 3 3 3 2 7 8 号

【特許文献２】特開 2 0 0 5 6 9 9 9 1 号公報

【特許文献３】特開 2 0 0 7 3 1 5 8 6 6 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

支持体との密着性向上の観点からは、非柱状部の支持体との接触面の面積が大きい、即ち空隙が少ない方が好ましい。一方、非柱状部の光反射による感度向上の観点からは、非柱状部の柱状部との接合部分に空隙が多い方が好ましい。しかし、特許文献３に記載された放射線画像変換パネルにおいて、球状結晶層は、球状結晶が互いに独立して存在しており、複数の球状結晶が凝集してドメインを形成しているドメイン層に比較して空隙率が大きく、この球状結晶層が支持体側に配置されている。そして、相対的に空隙率が小さいド

50

メイン層が柱状部側に配置されている。よって、支持体との密着性向上、及び非柱状部の光反射による感度向上を高度に両立させるといふ観点からは、特許文献3に記載された放射線画像変換パネルには改善の余地があった。

【0010】

本発明は、上述した課題に鑑みなされたものであり、放射線画像変換パネルの特性を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

(1) 支持体と、放射線露光によって蛍光を発する蛍光物質を含有し、前記支持体上に形成された蛍光体とを備える放射線画像変換パネルであって、前記蛍光物質の結晶が柱状に成長してなる柱状結晶の群によって形成された柱状部と、非柱状部と、を有し、前記柱状部及び前記非柱状部は、前記柱状部における結晶成長方向に重なって一体に形成されており、前記非柱状部は、互いに空隙率の異なる複数の層を含み、前記支持体に接する下層の空隙率が、前記柱状部に接する上層の空隙率より小さい放射線画像変換パネル。

10

(2) 支持体と、放射線露光によって蛍光を発する蛍光物質を含有し、前記支持体上に形成された蛍光体とを備える放射線画像変換パネルであって、前記蛍光物質の結晶が柱状に成長してなる柱状結晶の群によって形成された柱状部と、非柱状部と、を有し、前記柱状部及び前記非柱状部は、前記柱状部における結晶成長方向に重なって一体に形成されており、前記非柱状部は、前記支持体に接する側から前記柱状部に接する側に向けて空隙率が漸増している放射線画像変換パネル。

20

(3) 上記(1)又は(2)の放射線画像変換パネルの製造方法であって、真空度及び支持体温度の少なくとも一方の条件を変更して、気相堆積法によって前記支持体上に前記蛍光物質の結晶を堆積させて、前記非柱状部及び前記柱状部を順次支持体上に形成し、前記非柱状部を形成する際に、前記蛍光物質の結晶の堆積速度を変化させる放射線画像変換パネルの製造方法。

(4) 上記(1)又は(2)の放射線画像変換パネルと、前記放射線画像変換パネルから発せられる蛍光を検出して電気信号に変換するセンサパネルと、を備える放射線画像検出装置。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、支持体と柱状部との間に介在する蛍光体の非柱状部を、互いに空隙率の異なる複数の層で構成し、支持体に接する下層の空隙率を相対的に小さく、また柱状部に接する上層の空隙率を相対的に大きくすることによって、支持体と蛍光体との密着性向上、及び非柱状部の光反射による感度向上を高度に両立させることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施形態を説明するための、放射線画像検出装置の一例の構成を模式的に示す図である。

【図2】図1の放射線画像検出装置のセンサパネルの構成を模式的に示す図である。

【図3】図1の放射線画像検出装置の放射線画像変換パネルの構成を模式的に示す図である。

40

【図4】図3の放射線画像変換パネルの蛍光体のIV-IV断面を示す図である。

【図5】図3の放射線画像変換パネルの蛍光体のV-V断面を示す図である。模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

図1及び図2は、本発明の実施形態を説明するための、放射線画像検出装置の一例の構成を示す。

【0015】

放射線画像検出装置1は、放射線露光によって蛍光を発するシンチレータ(蛍光体)1

50

8を有する放射線画像変換パネル2と、放射線画像変換パネル2のシンチレータ18の蛍光を光電変換する光電変換素子26の2次元配列を有するセンサパネル3と、を備えている。

【0016】

放射線画像変換パネル2は、支持体11を有し、シンチレータ18は支持体11上に形成されている。放射線画像変換パネル2は、センサパネル3とは別に構成され、支持体11とは反対側のシンチレータ18の面をセンサパネル3の光電変換素子26の2次元配列に対向させ、シンチレータ18と光電変換素子26とを光学的に結合させる樹脂層を介してセンサパネル3に貼り合わされている。

【0017】

本例において、放射線は、センサパネル3側から照射され、センサパネル3を透過してシンチレータ18に入射する。放射線が入射したシンチレータ18において蛍光が発生し、ここで発生した蛍光がセンサパネル3の光電変換素子26によって光電変換される。このように構成された放射線画像検出装置1においては、蛍光を多く発生させるシンチレータ18の放射線入射側が光電変換素子26に隣設されるため、感度が向上する。

【0018】

センサパネル3は、薄膜トランジスタ(TFT:Thin Film Transistor)からなるスイッチ素子28が絶縁性基板12に形成されたTFT基板16を有し、光電変換素子26の2次元配列はTFT基板16上に形成されている。そして、TFT基板16上には、これらの光電変換素子26を覆い、TFT基板16の表面を平坦化するための平坦化層23が形成されている。そして、放射線画像変換パネル2とセンサパネル3とを貼り合わせるための接着層25が平坦化層23上に形成されている。平坦化層23及び接着層25が上記の樹脂層を形成する。なお、樹脂層として、透明な液体又はゲルからなるマッチングオイルなども用いることができる。樹脂層の厚みは、感度、及び画像の鮮鋭度の観点から、50 μ m以下であることが好ましく、5 μ m~30 μ mであることがより好ましい。

【0019】

各光電変換素子26は、シンチレータ18の蛍光が入射されることにより電荷を生成する光導電層20と、この光導電層20の表裏面に設けられた一对の電極とで構成されている。光導電層20のシンチレータ層18側の面に設けられた電極22は、光導電層20にバイアス電圧を印加するためのバイアス電極であり、反対側の面に設けられた電極24は、光導電層20で生成された電荷を収集する電荷収集電極である。

【0020】

スイッチ素子28は、光電変換素子26の2次元配列に対応してTFT基板16に2次元に配列されており、各光電変換素子26の電荷収集電極24は、TFT基板16の対応するスイッチ素子28に接続されている。各電荷収集電極24に収集された電荷は、スイッチ素子28を介して読み出される。

【0021】

TFT基板16には、一方向(行方向)に延設され各スイッチ素子28をオン/オフさせるための複数本のゲート線30と、ゲート線30と直交する方向(列方向)に延設されオン状態のスイッチ素子28を介して電荷を読み出すための複数の信号線(データ線)32が設けられている。そして、TFT基板16の周縁部には、個々のゲート線30及び個々の信号線32が接続された接続端子38が配置されている。この接続端子38は、図2に示すように、接続回路を介して回路基板(図示せず)に接続される。この回路基板は、外部回路としてのゲート線ドライバ、及び信号処理部を有する。

【0022】

各スイッチ素子28は、ゲート線ドライバからゲート線30を介して供給される信号により行単位で順にオン状態とされる。そして、オン状態とされたスイッチ素子28によって読み出された電荷は、電荷信号として信号線32を伝送されて信号処理部に入力される。これにより、電荷が行単位で順に読み出され、上記の信号処理部において電気信号に変換され、デジタル画像データが生成される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

以下、放射線画像変換パネル 2 及びそのシンチレータ 1 8 について詳細に説明する。

【 0 0 2 4 】

図 3 は、放射線画像変換パネル 2 の構成を模式的に示す。

【 0 0 2 5 】

放射線画像変換パネル 2 は、支持体 1 1 と、支持体 1 1 上に形成されたシンチレータ 1 8 とを有している。

【 0 0 2 6 】

支持体 1 1 としては、カーボン板、CFRP (carbon fiber reinforced plastic)、ガラス板、石英基板、サファイア基板、鉄、スズ、クロム、アルミニウムなどから選択される金属シート、等を用いることができるが、その上にシンチレータ 1 8 を形成することができる限りにおいて上記のものに限定されない。

10

【 0 0 2 7 】

シンチレータ 1 8 を形成する蛍光物質には、例えば、CsI : Tl、GOS (Gd₂O₂S : Tb)、NaI : Tl (タリウム賦活ヨウ化ナトリウム)、CsI : Na (ナトリウム賦活ヨウ化セシウム)、等を用いることができ、なかでも、発光スペクトルが a - Si フォトダイオードの分光感度の極大値 (550 nm 付近) と適合する点で CsI : Tl が好ましい。

【 0 0 2 8 】

シンチレータ 1 8 は、支持体 1 1 とは反対側に設けられた柱状部 3 4 と、支持体 1 1 側に設けられた非柱状部 3 6 とで構成されている。そして、非柱状部 3 6 は、互いに空隙率の異なる、支持体 1 1 に接する下層 3 6 A、柱状部 3 4 に接する上層 3 6 B で構成されている。柱状部 3 4 及び非柱状部 3 6 は、支持体 1 1 上で層状に重なって連続的に形成され、詳細は後述するが、例えば、気相堆積法により形成することができる。なお、柱状部 3 4 及び非柱状部 3 6 は同じ蛍光物質により形成されるが、Tl 等の賦活剤の添加量は異なってもよい。

20

【 0 0 2 9 】

柱状部 3 4 は、上記の蛍光物質の結晶が柱状に成長してなる柱状結晶の群によって形成されている。なお、近隣の複数の柱状結晶が結合して一つの柱状結晶を形成する場合もある。隣り合う柱状結晶の間には空隙が置かれ、柱状結晶は互いに独立して存在する。

30

【 0 0 3 0 】

非柱状部 3 6 は、蛍光物質の結晶が比較的小径の略球状に成長してなる球状結晶の群によって形成されている。そして、支持体 1 1 に接する下層 3 6 A は、複数の球状結晶が凝集して塊を形成している。なお、下層 3 6 A には、上記の蛍光物質の非晶質体が含まれる場合もある。一方、柱状部 3 4 に接する上層 3 6 B は、球状結晶が互いに独立して存在するか、或いは下層 3 6 A に比較して球状結晶の凝集の度合いが小さく、下層 3 6 A に比較して相対的に空隙率が大きい。球状結晶の群によって形成される非柱状部 3 6 においては、結晶同士が不規則に結合したり重なり合ったりするため、結晶間に明確な空隙は生じ難く、柱状部 3 4 に比較して空隙率は総じて小さい。

【 0 0 3 1 】

放射線画像変換パネル 2 は、支持体 1 1 とは反対側のシンチレータ 1 8 の面、即ち柱状部 3 4 の各柱状結晶の先端をセンサパネル 3 の光電変換素子 2 6 の 2 次元配列に対向させ、センサパネル 3 に貼り合わされている。従って、シンチレータ 1 8 の放射線入射側には、柱状結晶の群からなる柱状部 3 4 が配置される。

40

【 0 0 3 2 】

柱状部 3 4 の各柱状結晶に発生した蛍光は、柱状結晶とその周囲の空隙 (空気) との屈折率差に起因して柱状結晶内で全反射を繰り返すことで拡散を抑制され、その柱状結晶が対向する光電変換素子 2 6 に導光される。それにより、画像の鮮鋭度が向上する。

【 0 0 3 3 】

そして、柱状部 3 4 の各柱状結晶に発生した蛍光のうち、センサパネル 3 とは反対側、

50

即ち支持体 11 側に向かう蛍光については、非柱状部 36 においてセンサパネル 3 側に向けて反射される。それにより、蛍光の利用効率が高まり、感度が向上する。

【0034】

特に、柱状部 34 に接する非柱状部 36 の上層 36 B は、下層 36 A に比較して相対的に空隙率が大きく、上層 36 B に接する柱状部 34 の各柱状結晶の接合端の周囲に空隙が形成され易い。そこで、接合端において全反射を生じさせ、支持体 11 側に向かう蛍光をセンサパネル 3 側に向けて効率よく反射させることができる。光反射の観点から、上層 36 B の空隙率は 5 ~ 20 % であることが好ましい。

【0035】

また、柱状部 34 の各柱状結晶は、その成長初期においては比較的細く、結晶の成長が進むにつれて太くなる。よって、柱状部 34 の非柱状部 36 との接合部分においては、細径の柱状結晶が林立しており、空隙率が比較的大きい。一方の非柱状部 36 は、小径の球状結晶若しくはその凝集体によって形成され、柱状部 34 に比べて緻密であり、空隙率は小さい。支持体 11 と柱状部 34 との間に非柱状部 36 が介在することにより、支持体 11 とシンチレータ 18 との密着性が向上する。

【0036】

特に、支持体 11 に接する非柱状部 36 の下層 36 A は、上層 36 B に比較して相対的に空隙率が小さく、支持体 11 との接触面積が十分に確保される。そこで、支持体 11 とシンチレータ 18 との密着性をより向上させることができる。それにより、支持体 11 とセンサパネル 3 の T F T 基板 16 との線膨張差に起因する反りや衝撃などによって作用する応力に対する耐性が向上し、シンチレータ 18 が支持体 11 から剥離することが防止される。密着性の観点から、下層 36 A の空隙率は 15 % 以下であることが好ましい。

【0037】

図 4 は、シンチレータ 18 の図 3 における IV - IV 断面を示す電子顕微鏡写真である。

【0038】

図 4 に明らかなように、柱状部 34 においては、柱状結晶が結晶の成長方向に対しほぼ均一な断面径を示し、かつ、柱状結晶の周囲に間隙を有し、柱状結晶が互いに独立して存在することがわかる。柱状結晶の結晶径は、光ガイド効果、機械的強度、そして画素欠陥防止の観点から、2 μm 以上 8 μm 以下であることが好ましい。結晶径が小さすぎると、各柱状結晶の機械的強度が不足し、衝撃等により損傷する懸念があり、結晶径が大きすぎると、光電変換素子 26 毎の柱状結晶の数が少なくなり、結晶にクラックが生じた際にその素子が欠陥となる確率が高くなる懸念がある。

【0039】

ここで、結晶径は、柱状結晶の成長方向上面から観察した結晶の最大径を示す。具体的な測定方法としては、柱状結晶の膜厚方向に対して垂直な面から S E M (走査型電子顕微鏡) で観察することで柱径 (結晶径) を測定する。1 回の撮影でシンチレータを表面から見た時に柱状結晶が 100 本から 200 本観察できる倍率 (約 2000 倍程度) で観察し、1 撮影に含まれる結晶全てに対し、柱状結晶の柱径の最大値を測定して平均した値を採用している。柱径 (μm) は小数点以下 2 桁まで読み、平均値を J I S Z 8401 に従い小数点以下 2 桁目を丸めた値とした。

【0040】

図 5 は、シンチレータ 18 の図 3 における V - V 断面を示す電子顕微鏡写真である。

【0041】

図 5 に明らかなように、非柱状部 36 においては、結晶同士が不規則に結合したり重なり合ったりして結晶間の明確な空隙は、柱状部 34 ほどは認められない。非柱状部 36 を形成する結晶の径は、密着性及び光反射の観点から、0.5 μm 以上 7.0 μm 以下であることが好ましい。結晶径が小さすぎると、空隙が 0 に近づき、上層 36 B における光反射の機能が低下する懸念があり、結晶径が大きすぎると、下層 36 A における平坦性が低下 (接触面積が減少) し、支持体 11 との密着性が低下する懸念がある。また、非柱状部 36 を形成する結晶、特に上層 36 B を形成する結晶の形状は、光反射の観点から、略球状

10

20

30

40

50

であることが好ましく、結晶径が小さいほど略球状形を保持する。ただし、非柱状部 3 6 における空隙率は結晶形状に依存し、上層 3 6 B を形成する結晶形状が球状であれば結晶径を大きくすることによって光反射に関連する空隙率が上がる。更に、柱状部 3 4 の柱状結晶は上層 3 6 B の結晶を起点に成長し、結晶径が大きければ、柱状部 3 4 と上層 3 6 B との界面近傍における柱状結晶の結晶径が小さくなりすぎることを避けることができ、耐衝撃性の観点で好ましい。よって、上層 3 6 B における結晶径は、下層 3 6 A の結晶径より大きく、柱状部 3 4 の柱状結晶径より小さいことが好ましい。

【 0 0 4 2 】

ここで、結晶同士が結合している場合の結晶径の測定は、隣接する結晶間に生じる窪み（凹）同士を結んだ線を結晶間の境界と見なし、結合した結晶同士を最小多角形となるように分離して柱径及び柱径に対応する結晶径を測定し、柱状部 3 4 における結晶径と同様にして平均値をとり、その値を採用した。

10

【 0 0 4 3 】

柱状部 3 4 及び非柱状部 3 6 の厚みについて、柱状部 3 4 の厚みは、放射線のエネルギーにもよるが、柱状部 3 4 における十分な放射線吸収及び画像の鮮鋭度の観点から、200 μm 以上 700 μm 以下であることが好ましい。柱状部 3 4 の厚みが小さすぎると、放射線を十分に吸収することができず、感度が低下する虞があり、厚みが大きすぎると光拡散が生じ、柱状結晶の光ガイド効果によっても画像の鮮鋭度が低下する懸念がある。

【 0 0 4 4 】

非柱状部 3 6 の下層 3 6 A の厚みは、支持体 1 1 との密着性の観点から、5 μm 以上 50 μm 以下であることが好ましく、上層 3 6 B の厚みは、光反射の観点から 5 μm 以上 125 μm 以下であることが好ましい。厚みが小さすぎると、支持体 1 1 との十分な密着性が得られない虞があり、また厚みが大きすぎると、非柱状部 3 6 における蛍光の寄与、及び非柱状部 3 6 での光反射による拡散が増大し、画像の鮮鋭度が低下する懸念がある。

20

【 0 0 4 5 】

そして、柱状部 3 4 の厚みを t_1 とし、非柱状部 3 6 の厚みを t_2 としたとき、 (t_2 / t_1) が 0.01 以上 0.25 以下であることが好ましく、0.02 以上 0.1 以下であることがより好ましい。 (t_2 / t_1) が上記範囲にあることで、発光効率、光拡散防止及び光反射が好適な範囲となり、感度及び画像の鮮鋭度が向上する。

【 0 0 4 6 】

次に、上述したシンチレータ 1 8 の製造方法の一例について説明する。

30

【 0 0 4 7 】

シンチレータ 1 8 は、気相堆積法によって支持体 1 1 の表面に直接形成されることが好ましい。気相堆積法によれば、非柱状部 3 6 及び柱状部 3 4 をこの順に連続して一体に形成することができる。以下では、蛍光物質として CsI : Tl を用いた場合を例に説明する。

【 0 0 4 8 】

気相堆積法は常法により行うことができる。真空度 0.01 ~ 10 Pa の環境下、CsI : Tl を抵抗加熱式のるつぼに通電するなどの手段で加熱して気化させ、支持体 1 1 の温度を室温 (20) ~ 300 として CsI : Tl を支持体上に堆積させればよい。

40

【 0 0 4 9 】

気相堆積法により支持体 1 1 上に CsI : Tl の結晶相を形成する際、当初は直径の比較的小さな球状結晶若しくはその凝集体が形成される。そして、真空度及び支持体 1 1 の温度の少なくとも一方の条件を変更することで、非柱状部 3 6 を形成した後に連続して柱状部 3 4 を形成することができる。即ち、球状結晶を所定の厚みに堆積させた後、真空度を上げる、及び/又は支持体 1 1 の温度を高くすることで、柱状結晶を成長させることができる。

【 0 0 5 0 】

そして、非柱状部 3 6 を形成する工程において、蒸着レート（堆積速度）を変化させることにより、互いに空隙率が異なる下層 3 6 A 及び上層 3 6 B を形成することができる。

50

具体的には、るつぼによるCsI：Tlの加熱温度を下げることによって蒸着レートが下がり、空隙の多い層を形成することができ、相対的に空隙率の小さい下層36Aを所定の厚みに支持体11上に形成した後、真空度及び支持体11の温度を保ったまま蒸着レートを下げ、相対的に空隙率の大きい上層36Bを形成する。

【0051】

以上によりシンチレータ18を効率よく、容易に製造することができる。また、この製造方法によれば、シンチレータ18の製膜における真空度や支持体温度を制御することで、簡易に種々の仕様のシンチレータを設計通りに製造することができるという利点を有する。

【0052】

以上、説明したように、放射線画像変換パネル2及びこれを備える放射線画像検出装置1によれば、支持体11と柱状部34との間に介在するシンチレータ18の非柱状部36を、互いに空隙率の異なる複数の層で構成し、支持体11に接する下層36Aの空隙率を相対的に小さく、また柱状部34に接する上層36Bの空隙率を相対的に大きくすることによって、支持体11とシンチレータ18との密着性向上、及び非柱状部36の光反射による感度向上を高度に両立させることができる。

【0053】

なお、上述した放射線画像変換パネル2においては、シンチレータ18の非柱状部36は、互いに空隙率が異なる下層36A及び上層36Bの2層で構成されているが、3層以上で構成されていてもよい。また、空隙率によって下層36A及び上層36Bに層分離されているが、支持体11側から柱状部34側に向けて空隙率が漸増するように非柱状部を構成することもできる。それによっても、密着性の向上、及び感度の向上を高度に両立することができる。

【0054】

また、上述した放射線画像検出装置1においては、センサパネル3側から放射線が入射されるものとして説明したが、放射線画像変換パネル2側から放射線が入射される構成を採ることもできる。

【0055】

また、上述した放射線画像検出装置1においては、平坦化層23及び接着層25を介して放射線画像変換パネル2とセンサパネル3とを重ね合わせているが、放射線画像変換パネル2とセンサパネル3との重ね合わせ方法には特に制限はなく、放射線画像変換パネル2のシンチレータ18とセンサパネル3の光電変換素子26の配列とが光学的に結合されればよく、シンチレータ18と光電変換素子26の配列とを直接密着させる方法を採用することもできる。この場合に、必ずしも両者の表面が完全に密着する必要はなく、シンチレータ18の表面に凹凸が存在する場合でも、両者を重ね合わせて配置することで光学的に結合していればよく、シンチレータ18において発生した蛍光が光電変換素子26の配列に入射すれば本発明の効果を奏することになる。

【0056】

上述の各放射線画像検出装置は、放射線画像を高感度、高精細に検出しうるため、低放射線照射量で鮮鋭な画像を検出することを要求される、マンモグラフィなどの医療診断用のX線撮影装置をはじめ、様々な装置に組み込んで使用することができる。例えば、工業用のX線撮影装置として非破壊検査に用いたり、或いは、電磁波以外の粒子線（線、線、線）の検出装置として用いたりすることができ、その応用範囲は広い。

【0057】

以下、センサパネル3を構成する各要素に用いることのできる材料について説明する。

【0058】

[光電変換素子]

上述した光電変換素子26の光導電層20（図1参照）としては、例えばアモルファスシリコン等の無機半導体材料が用いられることが多いが、例えば特開2009-32854号公報に記載された有機光電変換（OPC；Organic photoelectric conversion）材料

10

20

30

40

50

も用いることができる。このOPC材料により形成された膜（以下、OPC膜という）を光導電層20として使用できる。OPC膜は、有機光電変換材料を含み、蛍光体層から発せられた光を吸収し、吸収した光に応じた電荷を発生する。このように有機光電変換材料を含むOPC膜であれば、可視域にシャープな吸収スペクトルを持ち、蛍光体層による蛍光以外の電磁波がOPC膜に吸収されることがほとんどなく、X線等の放射線がOPC膜で吸収されることによって発生するノイズを効果的に抑制することができる。

【0059】

OPC膜を構成する有機光電変換材料は、蛍光体層で発光した光を最も効率良く吸収するために、その吸収ピーク波長が、蛍光体層の発光ピーク波長と近いほど好ましい。有機光電変換材料の吸収ピーク波長と蛍光体層の発光ピーク波長とが一致することが理想的であるが、双方の差が小さければ蛍光体層から発せられた光を十分に吸収することが可能である。具体的には、有機光電変換材料の吸収ピーク波長と、蛍光体層の放射線に対する発光ピーク波長との差が、10nm以内であることが好ましく、5nm以内であることがより好ましい。

10

【0060】

このような条件を満たすことが可能な有機光電変換材料としては、例えば、アリーリデン系有機化合物、キナクリドン系有機化合物、及びフタロシアニン系有機化合物が挙げられる。例えばキナクリドンの可視域における吸収ピーク波長は560nmであるため、有機光電変換材料としてキナクリドンを用い、蛍光体層の材料としてCsI(Tl)を用いれば、上記ピーク波長の差を5nm以内にすることが可能となり、OPC膜で発生する電荷量をほぼ最大にすることができる。

20

【0061】

バイアス電極22及び電荷収集電極24の間に設けられる有機層の少なくとも一部をOPC膜によって構成することができる。この有機層は、より具体的には、電磁波を吸収する部位、光電変換部位、電子輸送部位、正孔輸送部位、電子ブロッキング部位、正孔ブロッキング部位、結晶化防止部位、電極、及び層間接触改良部位等の積み重ね若しくは混合により形成することができる。

【0062】

上記有機層は、有機p型化合物又は有機n型化合物を含有することが好ましい。有機p型半導体（化合物）は、主に正孔輸送性有機化合物に代表されるドナー性有機半導体（化合物）であり、電子を供与しやすい性質がある有機化合物をいう。更に詳しくは2つの有機材料を接触させて用いたときにイオン化ポテンシャルの小さい方の有機化合物をいう。したがって、ドナー性有機化合物としては、電子供与性のある有機化合物であればいずれの有機化合物も使用可能である。例えば、トリアリールアミン化合物、ベンジジン化合物、ピラゾリン化合物、スチリルアミン化合物、ヒドラゾン化合物、トリフェニルメタン化合物、カルバゾール化合物、ポリシラン化合物、チオフェン化合物、フタロシアニン化合物、シアニン化合物、メロシアニン化合物、オキソノール化合物、ポリアミン化合物、インドール化合物、ピロール化合物、ピラゾール化合物、ポリアリーレン化合物、縮合芳香族炭素環化合物（ナフタレン誘導体、アントラセン誘導体、フェナントレン誘導体、テトラセン誘導体、ピレン誘導体、ペリレン誘導体、フルオランテン誘導体）、含窒素ヘテロ環化合物を配位子として有する金属錯体等を用いることができる。なお、これらに限らず、n型（アクセプター性）化合物として用いた有機化合物よりもイオン化ポテンシャルの小さい有機化合物であればドナー性有機半導体として用いることができる。

30

40

【0063】

有機n型半導体（化合物）は、主に電子輸送性有機化合物に代表されるアクセプター性有機半導体（化合物）であり、電子を受容しやすい性質がある有機化合物をいう。更に詳しくは2つの有機化合物を接触させて用いたときに電子親和力の大きい方の有機化合物をいう。したがって、アクセプター性有機化合物は、電子受容性のある有機化合物であればいずれの有機化合物も使用可能である。例えば、縮合芳香族炭素環化合物（ナフタレン誘導体、アントラセン誘導体、フェナントレン誘導体、テトラセン誘導体、ピレン誘導体、

50

ペリレン誘導体、フルオランテン誘導体)、窒素原子、酸素原子、硫黄原子を含有する5ないし7員のヘテロ環化合物(例えばピリジン、ピラジン、ピリミジン、ピリダジン、トリアジン、キノリン、キノキサリン、キナゾリン、フタラジン、シンノリン、イソキノリン、プテリジン、アクリジン、フェナジン、フェナントロリン、テトラゾール、ピラゾール、イミダゾール、チアゾール、オキサゾール、インダゾール、ベンズイミダゾール、ベンゾトリアゾール、ベンゾオキサゾール、ベンゾチアゾール、カルバゾール、プリン、トリアゾロピリダジン、トリアゾロピリミジン、テトラザインデン、オキサジアゾール、イミダゾピリジン、ピラリジン、ピロロピリジン、チアジアゾロピリジン、ジベンズアゼピン、トリベンズアゼピン等)、ポリアリーレン化合物、フルオレン化合物、シクロペンタジエン化合物、シリル化合物、含窒素ヘテロ環化合物を配位子として有する金属錯体などが挙げられる。なお、これらに限らず、ドナー性有機化合物として用いた有機化合物よりも電子親和力の大きな有機化合物であればアクセプター性有機半導体として用いることができる。

10

【0064】

p型有機色素又はn型有機色素としては、公知のものを用いることができるが、好ましくは、シアニン色素、スチリル色素、ヘミシアニン色素、メロシアニン色素(ゼロメチンメロシアニン(シンプルメロシアニン)を含む)、3核メロシアニン色素、4核メロシアニン色素、ロダシアニン色素、コンプレックスシアニン色素、コンプレックスメロシアニン色素、アロポーラー色素、オキソノール色素、ヘミオキソノール色素、スクアリウム色素、クロコニウム色素、アザメチン色素、クマリン色素、アリーリデン色素、アントラキノン色素、トリフェニルメタン色素、アゾ色素、アゾメチン色素、スピロ化合物、メタロセン色素、フルオレノン色素、フルギド色素、ペリレン色素、フェナジン色素、フェノチアジン色素、キノン色素、インジゴ色素、ジフェニルメタン色素、ポリエン色素、アクリジン色素、アクリジノン色素、ジフェニルアミン色素、キナクリドン色素、キノフタロン色素、フェノキサジン色素、フタロペリレン色素、ポルフィリン色素、クロロフィル色素、フタロシアニン色素、金属錯体色素、縮合芳香族炭素環系色素(ナフタレン誘導体、アントラセン誘導体、フェナントレン誘導体、テトラセン誘導体、ピレン誘導体、ペリレン誘導体、フルオランテン誘導体)等が挙げられる。

20

【0065】

1対の電極間に、p型半導体層とn型半導体層とを有し、該p型半導体とn型半導体の少なくともいずれかが有機半導体であり、かつ、それらの半導体層の間に、該p型半導体及びn型半導体を含むバルクヘテロ接合構造層を中間層として有する光電変換膜(感光層)を好適に用いることができる。このように、光電変換膜において、バルクヘテロ接合構造層を含ませることにより有機層のキャリア拡散長が短いという欠点を補い、光電変換効率を向上させることができる。なお、上記バルクヘテロ接合構造については、特開2005-303266号公報において詳細に説明されている。

30

【0066】

光電変換膜の厚みは、蛍光体層からの光を吸収する点では膜厚は大きいほど好ましいが、電荷分離に寄与しない割合を考慮すると、30nm以上300nm以下が好ましく、より好ましくは、50nm以上250nm以下、特に好ましくは80nm以上200nm以下である。

40

上述したOPC膜に関するその他の構成は、例えば、特開2009-32854号公報の記載が参考となる。

【0067】

[スイッチ素子]

スイッチ素子28の活性層としては、例えばアモルファスシリコン等の無機半導体材料が使われることが多いが、例えば特開2009-212389号公報に記載されたように、有機材料を使用することができる。有機TFTはいかなるタイプの構造でもよいが、最も好ましいのは電界効果型トランジスタ(FET)構造である。このFET構造は、絶縁性基板上面の一部にゲート電極を設け、更に該電極を覆い、かつ電極以外の部分で基板と

50

接するように絶縁体層を設けている。更に絶縁体層の上面に半導体活性層を設け、その上面の一部に透明ソース電極と透明ドレイン電極とを隔離して配置している。なお、この構成はトップコンタクト型素子と呼ばれるが、ソース電極とドレイン電極とが半導体活性層の下部にあるボトムコンタクト型素子も好ましく用いることができる。また、キャリアが有機半導体膜の膜厚方向に流れる縦型トランジスタ構造であってもよい。

【0068】

(活性層)

ここでいう有機半導体材料とは、半導体の特性を示す有機材料のことであり、無機材料からなる半導体と同様に、正孔(ホール)をキャリアとして伝導するp型有機半導体材料(あるいは単にp型材料、正孔輸送材料とも言う。)と、電子をキャリアとして伝導するn型有機半導体材料(あるいは単にn型材料、電子輸送材料とも言う。)がある。有機半導体材料は一般にp型材料の方が良好な特性を示すものが多く、また、一般に大気下でのトランジスタ動作安定性もp型トランジスタの方が優れているため、ここでは、p型有機半導体材料について説明する。

10

【0069】

有機薄膜トランジスタの特性の一つに、有機半導体層中のキャリアの動きやすさを示すキャリア移動度(単に移動度とも言う) μ がある。用途によっても異なるが、一般に移動度は高い方がよく、 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上であることが好ましく、 $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上であることがより好ましく、 $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上であることが更に好ましい。移動度は電界効果トランジスタ(FET)素子を作製したときの特性や飛行時間計測(TOF)法により求めることができる。

20

【0070】

前記p型有機半導体材料は、低分子材料でも高分子材料でも良いが、好ましくは低分子材料である。低分子材料は、昇華精製や再結晶、カラムクロマトグラフィーなどの様々な精製法が適用できるため高純度化が容易であること、分子構造が定まっているため秩序の高い結晶構造を取りやすいこと、などの理由から高い特性を示すものが多い。低分子材料の分子量は、好ましくは100以上5000以下、より好ましくは150以上3000以下、更に好ましくは200以上2000以下である。

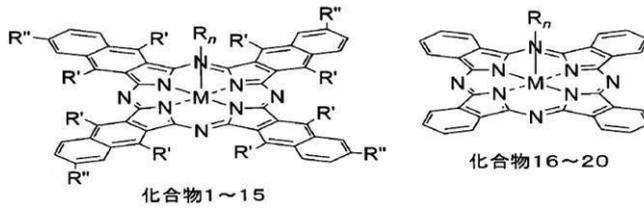
【0071】

このようなp型有機半導体材料としては、フタロシアニン化合物又はナフタロシアニン化合物を例示することができ、具体例を以下に示す。なお、Mは金属原子、Buはブチル基、Prはプロピル基、Etはエチル基、Phはフェニル基をそれぞれ表す。

30

【0072】

【化1】



化合物	M	R	n	R'	R''
1	Si	OS(<i>n</i> -Bu) ₃	2	H	H
2	Si	OS(<i>i</i> -Pr) ₃	2	H	H
3	Si	OS(OEt) ₃	2	H	H
4	Si	OSiPh ₃	2	H	H
5	Si	O(<i>n</i> -C ₈ H ₁₇) ₃	2	H	H
7	Ge	OS(<i>n</i> -Bu) ₃	2	H	H
8	Sn	OS(<i>n</i> -Bu) ₃	2	H	H
9	Al	OS(<i>n</i> -C ₆ H ₁₃) ₃	1	H	H
10	Ga	OS(<i>n</i> -C ₆ H ₁₃) ₃	1	H	H
11	Cu	-	-	O(<i>n</i> -Bu)	H
12	Ni	-	-	O(<i>n</i> -Bu)	H
13	Zn	-	-	H	<i>t</i> -Bu
14	V=O	-	-	H	<i>t</i> -Bu
15	H ₂	-	-	H	<i>t</i> -Bu
16	Si	OSiEt ₃	2	-	-
17	Ge	OSiEt ₃	2	-	-
18	Sn	OSiEt ₃	2	-	-
19	Al	OSiEt ₃	1	-	-
20	Ga	OSiEt ₃	1	-	-

【0073】

(活性層以外のスイッチ素子の構成要素)

【0074】

ゲート電極、ソース電極、又はドレイン電極を構成する材料としては、必要な導電性を有するものであれば特に制限はないが、例えば、ITO(インジウムドープ酸化スズ)、IZO(インジウムドープ酸化亜鉛)、SnO₂、ATO(アンチモンドープ酸化スズ)、ZnO、AZO(アルミニウムドープ酸化亜鉛)、GZO(ガリウムドープ酸化亜鉛)、TiO₂、FTO(フッ素ドープ酸化スズ)などの透明導電性酸化物、PEDOT/PSS(ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)/ポリスチレンスルホン酸)などの透明導電性ポリマー、カーボンナノチューブなどの炭素材料が挙げられる。これらの電極材料は、例えば真空蒸着法、スパッタリング、溶液塗布法等の方法で成膜することができる。

【0075】

絶縁層に用いられる材料としては、必要な絶縁効果を有するものであれば特に制限はないが、例えば、二酸化ケイ素、窒化ケイ素、アルミナなどの無機材料、ポリエステル(PEN(ポリエチレンナフタレート)、PET(ポリエチレンテレフタレート)など)、ポリカーボネート、ポリイミド、ポリアミド、ポリアクリレート、エポキシ樹脂、ポリパラキシリレン樹脂、ノボラック樹脂、PVA(ポリビニルアルコール)、PS(ポリスチレン)などの有機材料が挙げられる。これらの絶縁膜材料は、例えば真空蒸着法、スパッタリング、溶液塗布法等の方法で成膜することができる。

上述した有機TFTに関するその他の構成は、例えば、特開2009-212389号公報の記載が参考となる。

【0076】

また、スイッチ素子28の活性層には、例えば特開2010-186860号公報に記載された非晶質酸化物も使用することができる。ここで、特開2010-186860号に記載された電界効果型トランジスタが有する非晶質酸化物含有の活性層について示す。この活性層は、電子又はホールの移動する電界効果型トランジスタのチャネル層として機能する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 7 】

活性層は、非晶質酸化物半導体を含んだ構成とされている。この非晶質酸化物半導体は、低温で成膜可能であるために、可撓性のある基板上に好適に形成される。活性層に用いられる非晶質酸化物半導体としては、好ましくはIn、Sn、Zn、又はCdよりなる群より選ばれる少なくとも1種の元素を含む非晶質酸化物であり、より好ましくは、In、Sn、Znよりなる群より選ばれる少なくとも1種を含む非晶質酸化物、更に好ましくは、In、Znよりなる群より選ばれる少なくとも1種を含む非晶質酸化物である。

【 0 0 7 8 】

活性層に用いられる非晶質酸化物としては、具体的には、 In_2O_3 、 ZnO 、 SnO_2 、 CdO 、Indium-Zinc-Oxide (IZO)、Indium-Tin-Oxide (ITO)、Gallium-Zinc-Oxide (GZO)、Indium-Gallium-Oxide (IGO)、Indium-Gallium-Zinc-Oxide (IGZO)が挙げられる。

10

【 0 0 7 9 】

活性層の成膜方法としては、酸化物半導体の多結晶焼結体をターゲットとして、気相成膜法を用いるのが好ましい。気相成膜法の中でも、スパッタリング法、パルスレーザー蒸着法(PLD法)が適している。更に、量産性の観点から、スパッタリング法が好ましい。例えば、RFマグネトロンスパッタリング蒸着法により、真空度及び酸素流量を制御して成膜される。

【 0 0 8 0 】

成膜された活性層は、周知のX線回折法によりアモルファス膜であることが確認される。活性層の組成比は、RBS(ラザフォード後方散乱)分析法により求められる。

20

【 0 0 8 1 】

また、この活性層の電気伝導度は、好ましくは 10^{-4}Scm^{-1} 以上 10^2Scm^{-1} 未満であり、より好ましくは 10^{-1}Scm^{-1} 以上 10^2Scm^{-1} 未満である。この活性層の電気伝導度の調整方法としては、公知の酸素欠陥による調整方法や、組成比による調整方法、不純物による調整方法、酸化物半導体材料による調整方法が挙げられる。

上述した非晶質酸化物に関するその他の構成は、例えば、特開2010-186860号公報の記載が参考となる。

【 0 0 8 2 】

[絶縁性基板]

絶縁性基板12としては、例えば、ガラス、石英、プラスチックフィルムなどが挙げられる。プラスチックフィルムとしては、例えばポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリエチレンナフタレート(PEN)、ポリエーテルスルホン(PES)、ポリエーテルイミド、ポリエーテルエーテルケトン、ポリフェニレンスルフィド、ポリアリレート、ポリイミド、ポリカーボネート(PC)、セルローストリアセテート(TAC)、セルロースアセテートプロピオネート(CAP)等からなるフィルム等が挙げられる。また、これらのプラスチックフィルムに、有機あるいは無機のフィラーを含有させてもよい。また、フレキシブルでかつ低熱膨張、高強度といった、既存のガラスやプラスチックでは得られない特性を有するアラミド、バイオナノファイバーなどを用いて形成されたフレキシブル基板も好適に使用しうる。

30

40

【 0 0 8 3 】

(アラミド)

アラミド材料は、ガラス転移温度315 という高い耐熱性、ヤング率が10GPaという高い剛性、熱膨張率が $-3 \sim 5 \text{ppm/}$ という高い寸法安定性を有する。このため、アラミド製のフィルムを用いると、一般的な樹脂フィルムを用いる場合と比べて、半導体層の高品質の成膜が容易に行える。また、アラミド材料の高耐熱性により、電極材料を高温硬化させて低抵抗化できる。更に、ハンダのリフロー工程を含むICの自動実装にも対応できる。また更に、ITO(indium tin oxide)やガス・バリア膜、ガラス基板と熱膨張係数が近いために、製造後の反りが少ない。そして、割れにくい。ここで、ハロゲン

50

を含まないハロゲンフリー（JPCA - ES01 - 2003の規定に適合）なアラミド材料を用いることが環境負荷低減の点で好ましい。アラミドフィルムは、ガラス基板やPET基板と積層されてもよいし、デバイスの筐体に貼り付けられてもよい。

【0084】

アラミドの分子間の凝集力（水素結合力）の高さによる溶媒への低溶解性を分子設計によって解決することにより、無色透明で薄いフィルムへの成形が容易とされたアラミド材料についても、好適に用いることができる。モノマーユニットの秩序性、及び芳香環上の置換基種・位置を制御する分子設計により、アラミド材料の高剛性や寸法安定性に繋がる直線性の高い棒状の分子構造を維持しつつ、溶解性が良い成形の容易さが得られる。この分子設計により、ハロゲンフリーをも実現できる。

10

【0085】

また、フィルムの面内方向の特性が最適化されたアラミド材料についても、好適に用いることができる。成型中に逐次変化するアラミドフィルムの強度に応じて、溶液キャスト、縦延伸、横延伸の工程ごとに張力条件を制御することにより、直線性の高い棒状分子構造であって物性に異方性が生じやすいアラミドフィルムの面内方向の特性をバランスできる。

【0086】

具体的に、溶液キャスト工程では、溶媒の乾燥速度の制御による面内厚み方向の物性の等方化、溶媒を含んだ状態のフィルムの強度とキャスト・ドラムからの剥離強度の最適化を図る。縦延伸工程では、延伸中に逐次変化するフィルムの強度、溶媒の残留量に応じた延伸条件を精密に制御する。横延伸工程では、加熱によって変化するフィルム強度の変化に応じた横延伸の条件の制御、フィルムの残留応力を緩和するための横延伸の条件の制御を図る。このようなアラミド材料の使用により、成型後のアラミドフィルムがカールしてしまう問題を解決できる。

20

【0087】

上記の成形容易さに対する工夫、及びフィルム面内方向の特性のバランスに対する工夫のいずれにおいても、アラミドならではの直線性の高い棒状の分子構造が維持されているので、熱膨張係数を低く維持できる。製膜時の延伸条件の変更などにより、熱膨張係数を更に低減することも可能である。

【0088】

（バイオナノファイバー）

ナノファイバーは、光の波長に対して十分に小さなコンポーネントは光散乱を生じないことから、透明でフレキシブルな樹脂材料の補強として用いることができる。そして、ナノファイバーの中でも、バクテリア（酢酸菌、Acetobacter Xylinum）が産出するセルロースマイクロファイブリル束は、幅50nmと、可視光波長に対して約1/10のサイズでかつ、高強度、高弾性、低熱膨である特徴を有しており、このバクテリアセルロースと透明樹脂との複合材料（バイオナノファイバーということがある）を好適に用いることができる。

30

【0089】

バクテリアセルロースシートにアクリル樹脂、エポキシ樹脂等の透明樹脂を含浸・硬化させることで、繊維を約60～70%と高い比率で含有しながら、波長500nmで約90%の光透過率を示す透明バイオナノファイバーが得られる。このバイオナノファイバーにより、シリコン結晶に匹敵する低い熱膨張係数（約3～7ppm）、鋼鉄並の強度（約460MPa）、及び高弾性（約30GPa）が得られる。

40

上述したバイオナノファイバーに関する構成は、例えば、特開2008-34556号公報の記載が参考となる。

【0090】

[平坦化層及び接着層]

シンチレータ18と光電変換素子26とを光学的に結合させる樹脂層としての平坦化層23及び接着層25は、シンチレータ18の蛍光を減衰させることなく光電変換素子26

50

に到達させ得るものであれば特に制限はない。平坦化層 2 3 としては、ポリイミドやパレンなどの樹脂を用いることができ、製膜性が良好なポリイミドを用いることが好ましい。接着層 2 5 としては、例えば、熱可塑性樹脂、UV 硬化接着剤、加熱硬化型接着剤、室温硬化型接着剤、両面接着シート、等が挙げられるが、画像の鮮鋭度を低下させないという観点から、素子サイズに対して十分に薄い接着層を形成し得る低粘度エポキシ樹脂製の接着剤を用いることが好ましい。

【0091】

以下、放射線画像検出装置の具体的な作製例について説明するが、本発明はこれらの作製例に制限されるものではない。

【0092】

[作製例 1]

1. 放射線画像変換パネルの作製

支持体として、液晶用の無アルカリガラス基板 (0.7 mm 厚) を準備した。まず、支持体に、シンチレータとの密着性向上を目的として Ar プラズマで表面処理した。その後、表面処理した支持体をシンチレータ成膜用の真空チャンバーにセットした。真空チャンバーは原料の CsI、TI をそれぞれ独立に加熱するための複数のるつぼを備えている。チャンバーを排気した後、Ar を一定量流入することで装置真空度を 0.75 Pa に設定した。原料るつぼを加熱して原料の融液状態が安定した時点で、支持体を真空装置の装置機構により同心円状に回転させ、シャッターを開き、非柱状部の蒸着を開始した。

【0093】

この条件で製膜を行い、空隙率が一定の一層のみで非柱状部を形成し、非柱状部の厚 (t2) が 5 μm となった時点で真空度を 1 Pa に上げ、柱状部の蒸着を開始した。なお、真空度を変更する際には原料の融液状態が変化するため、一度シャッターを閉じ、融液状態が安定したのを確認してから再度シャッターを開き、蒸着を再開した。柱状部の厚 (t1) が 500 μm となった時点で原料るつぼの加熱を止め、真空装置に吸気して支持体上に蒸着により、非柱状部と柱状部とを有するシンチレータを形成した。

【0094】

2. シンチレータの物性評価

2-1. 非柱状部の厚み (t2) 及び柱状部の厚み (t1) の測定

シンチレータの任意の一部を割断し、柱状結晶の成長方向に SEM (走査型電子顕微鏡) で観察することで柱状部及び非柱状部の膜厚を測定した。膜厚の値は切り出した部分から無作為に 10 カ所を選択して測定した値の平均値を用いた。なお、CsI は非導電性のため、Au を約 200 スパッタしてから SEM 観察を行った。

【0095】

2-2. 結晶径の測定

シンチレータの一部を支持体から剥離し、柱状結晶の成長方向に対して垂直な面から SEM (走査型電子顕微鏡) で観察することで柱径 (柱状結晶の断面径) を測定した。1 回の撮影でシンチレータを表面から見た時に柱状結晶が 100 本から 200 本観察できる倍率 (約 2000 倍程度) で観察し、1 撮影に含まれる結晶全てに対し、結晶径の最大値を測定して平均した。なお、非柱状部の如く、結晶同士が結合している場合には、隣接結晶間に生じる窪み (凹) 同士を結んだ線を結晶間の粒界と見なし、結合した結晶同士を最小多角形となるように分離して結晶径を測定した。結晶径 (μm) は小数点以下 2 桁まで読み、平均値を JIS Z 8401 に従い小数点以下 2 桁目を丸めた値とした。

【0096】

支持体からシンチレータが剥離しにくい場合には、支持体から 100 μm 程度の位置にてシンチレータを柱状結晶の成長方向に垂直にスライスし、支持体に付着した CsI 結晶の界面付近の形状が観察できる距離まで Ar イオンでエッチングした後、エッチング面から観察した。CsI は非導電性のため、Au を約 20 スパッタしてから SEM 観察を行った。

【0097】

10

20

30

40

50

3. 放射線画像検出装置の作製

センサパネルを準備し、表面にスピンコーターで、溶媒で希釈した低粘度エポキシ樹脂接着剤（ハンツマン社製アラルダイト2020）を溶媒揮発後の厚さが15 μmとなるように塗布して接着層を形成した。センサパネルに形成された接着層と、シンチレータの柱状部側を対向させたのち、加熱することで放射線画像変換パネルとセンサパネルとを接着層25を介して貼り合わせた。

【0098】

その後、センサパネルの端子部にTFT駆動用の回路基板と、電荷読み取り用の集積回路ICを異方性導電膜により貼り付け、駆動制御とAD変換を行うための回路基板に接続して作製例1の放射線画像検出装置を作製した。

10

【0099】

放射線がセンサパネル側から入射するように配置し、放射線画像の読み取りは、放射線画像検出装置1とケーブルで接続した走査用のPCを制御することにより実施した。

【0100】

[作製例2～6]

作製例1において、非柱状部の膜厚を、真空度が0.75 Pa時の蒸着時間を変更することで表1に記載のように調整した他は作製例1と同様にして、作製例2～6の放射線画像検出装置を作製した。

【0101】

[作製例7～11]

作製例1において、非柱状部の製膜に際して、真空度を表1に示すものに変えて、非柱状部における結晶径を表1に記載のように調製した他は作製例1と同様にして、作製例7～11の放射線画像検出装置を作製した。

20

【0102】

[作製例12]

支持体として、作製例1で用いたガラス基板に変えて、ウェットエッチングにより表面に5 μmピッチで高さ5 μm程度の凹凸を設けたガラス基板を用いた。シンチレータの形成において、非柱状部の蒸着は行わずに、支持体上に直接柱状部の蒸着を実施した以外は作製例1と同様にして作製例12の放射線画像検出装置を作製した。

【0103】

[作製例13]

支持体として、作製例3で用いたガラス基板に変えて、センサパネルの表面に直接シンチレータを、作製例3と同様の条件にて製膜して形成した。本態様では、センサパネルの近傍に非柱状部がまず形成され、その後、柱状部が形成されることになり、熱硬化性の接着剤による貼り合わせは実施していない。この処理以外は、作製例3と同様に行った。

30

【0104】

4. 放射線画像検出装置の特性評価

4-1. 感度

放射線としてX線を使用した。X線照射時にセンサパネルを電気回路で駆動させ、シンチレーション光により各光電変換素子で発生した電荷を読み出し、チャージアンプで増幅した後にAD変換することで発生電荷量を計算した。

40

【0105】

X線非照射時の読み取り電荷（検出系のノイズ）量を事前に測定し、X線照射時の発生電荷量から差し引いた値を感度とした。結果を表1に示す。なお、作製例12における感度を100とした時の相対値で示す。

【0106】

4-2. MTF (Modulation Transfer Function)

IEC規格に準拠し、W（タングステン）製のMTFエッジを撮影して得られたエッジ像を演算することでMTF曲線を得た。結果を表1に示す。なお、2 cycle/mmの値と比較し、作製例12の値を100とした時の相対値で示す。

50

【 0 1 0 7 】

4 - 3 . 総合判断

前記感度及びMTFの評価結果の積を指標として放射線画像検出装置の性能を判断した。感度とMTFの積は120以上であると画像を官能評価した際に性能の違いがはっきりと認識され好ましい。

【 0 1 0 8 】

【表1】

	蛍光体成膜方法				蛍光体形態					評価結果		
	支持体	真空度		膜厚t2	非柱状部		柱状部		膜厚比 t2/t1	感度	MTF	総合評価
		非柱状部	柱状部		平均結晶径	空隙率(%)	膜厚t1	平均柱径				
製作例1	無アルカリガラス	0.75Pa	1Pa	5	3.3	9.0	500	7.6	0.01	120	100	120
製作例2	無アルカリガラス	0.75Pa	1Pa	10	3.0	9.2	500	7.2	0.02	121	100	121
製作例3	無アルカリガラス	0.75Pa	1Pa	25	3.0	9.0	500	6.8	0.05	123	101	124
製作例4	無アルカリガラス	0.75Pa	1Pa	50	3.1	9.1	500	7.2	0.10	122	100	122
製作例5	無アルカリガラス	0.75Pa	1Pa	125	3.4	9.3	500	7.1	0.25	120	100	120
製作例6	無アルカリガラス	0.75Pa	1Pa	170	3.2	9.3	500	7.0	0.34	121	94	114
製作例7	無アルカリガラス	0.1Pa	1Pa	25	11.2	4.0	500	6.8	0.05	111	91	101
製作例8	無アルカリガラス	0.3Pa	1Pa	25	8.0	7.0	500	7.0	0.05	117	99	116
製作例9	無アルカリガラス	0.5Pa	1Pa	25	6.2	8.8	500	7.0	0.05	123	100	123
製作例10	無アルカリガラス	1.5Pa	1Pa	25	1.5	9.4	500	7.2	0.05	122	100	122
製作例11	無アルカリガラス	3Pa	1Pa	25	0.5	9.3	500	7.0	0.05	122	100	122
製作例12	パターニング基板	-	1Pa	-	-	-	500	6.8	-	100	100	100
製作例13	光検出器 (TFT)基板	0.75Pa	1Pa	25	3.1	9.0	500	6.9	0.05	98	96	94

【 0 1 0 9 】

表1に明らかなように、作製例1～11の放射線画像検出装置は、シンチレータが柱状部のみで構成される作製例12に比べて、高感度でかつ、画像のボケなどの画質低下が抑制され、得られる画像の鮮鋭度が高いことがわかる。

【 0 1 1 0 】

また、作製例1～11により、柱状部の厚み(t1)と非柱状部の厚み(t2)との比(t2/t1)が好ましい範囲にあるもの、非柱状部の結晶径が好ましい範囲にあるもの

10

20

30

40

50

は、特に感度が良好で、画像のボケが抑制されることがわかる。

【0111】

以上、説明したように、本明細書には、支持体と、放射線露光によって蛍光を発する蛍光物質を含有し、前記支持体上に形成された蛍光体とを備える放射線画像変換パネルであって、前記蛍光物質の結晶が柱状に成長してなる柱状結晶の群によって形成された柱状部と、非柱状部と、を有し、前記柱状部及び前記非柱状部は、前記柱状部における結晶成長方向に重なって一体に形成されており、前記非柱状部は、互いに空隙率の異なる複数の層を含み、前記支持体に接する下層の空隙率が、前記柱状部に接する上層の空隙率より小さい放射線画像変換パネル。

【0112】

また、本明細書に開示された放射線画像変換パネルは、前記下層の空隙率が、15%以下である。

【0113】

また、本明細書に開示された放射線画像変換パネルは、前記上層の空隙率が、5~20%である。

【0114】

また、本明細書に開示された放射線画像変換パネルは、前記下層の厚みが、5~50 μ mである。

【0115】

また、本明細書に開示された放射線画像変換パネルは、前記上層の厚みが、5~125 μ mである。

【0116】

また、本明細書には、支持体と、放射線露光によって蛍光を発する蛍光物質を含有し、前記支持体上に形成された蛍光体とを備える放射線画像変換パネルであって、前記蛍光物質の結晶が柱状に成長してなる柱状結晶の群によって形成された柱状部と、非柱状部と、を有し、前記柱状部及び前記非柱状部は、前記柱状部における結晶成長方向に重なって一体に形成されており、前記非柱状部は、前記支持体に接する側から前記柱状部に接する側に向けて空隙率が漸増している放射線画像変換パネルが開示されている。

【0117】

また、本明細書には、上記いずれかの放射線画像変換パネルの製造方法であって、真空度及び支持体温度の少なくとも一方の条件を変更して、気相堆積法によって前記支持体上に前記蛍光物質の結晶を堆積させて、前記非柱状部及び前記柱状部を順次支持体上に形成し、前記非柱状部を形成する工程において、前記蛍光物質の結晶の堆積速度を変化させる放射線画像変換パネルの製造方法が開示されている。

【0118】

また、本明細書に開示された放射線画像変換パネルの製造方法は、前記非柱状部を形成する工程において、工程初期における堆積速度を、工程終期における堆積速度に比べて高くする。

【0119】

また、本明細書には、上記いずれかの放射線画像変換パネルと、前記放射線画像変換パネルから発せられる蛍光を検出して電気信号に変換するセンサパネルと、を備える放射線画像検出装置が開示されている。

【0120】

また、本明細書に開示された放射線画像検出装置は、前記蛍光体の前記柱状部側の表面が前記センサパネルに対向するように、前記放射線画像変換パネルと前記センサパネルとが貼り合わされている。

【0121】

また、本明細書に開示された放射線画像検出装置は、前記センサパネル側に放射線入射面を有する。

【0122】

10

20

30

40

50

また、本明細書に開示された放射線画像検出装置は、前記放射線画像変換パネル側に放射線入射面を有する。

【符号の説明】

【 0 1 2 3 】

- 1 放射線画像検出装置
- 2 放射線画像変換パネル
- 3 センサパネル
- 11 支持体
- 12 絶縁性基板
- 16 TFT基板
- 18 シンチレータ
- 20 光導電層
- 22 電極
- 23 平坦化層
- 24 電極
- 25 接着層
- 26 光電変換素子
- 28 スイッチ素子
- 30 ゲート線
- 32 信号線
- 34 柱状部
- 36 非柱状部
- 36A 下層
- 36B 上層
- 38 接続端子

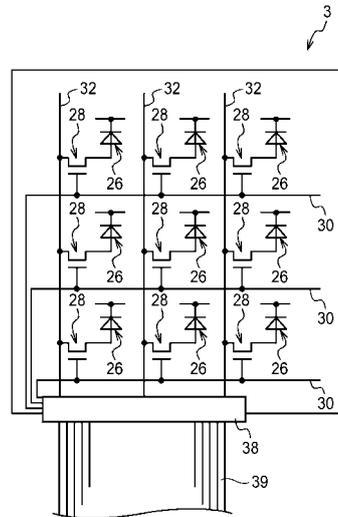
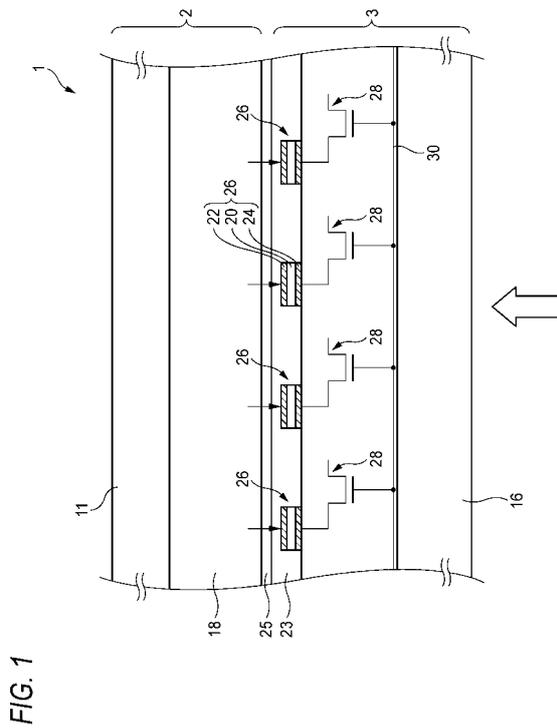
10

20

【図1】

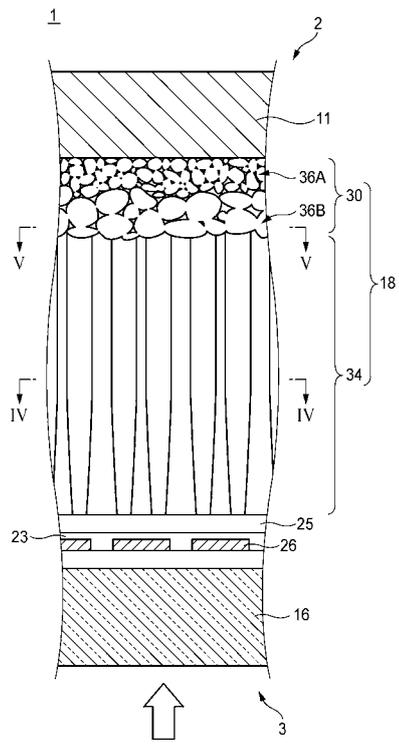
【図2】

FIG. 2



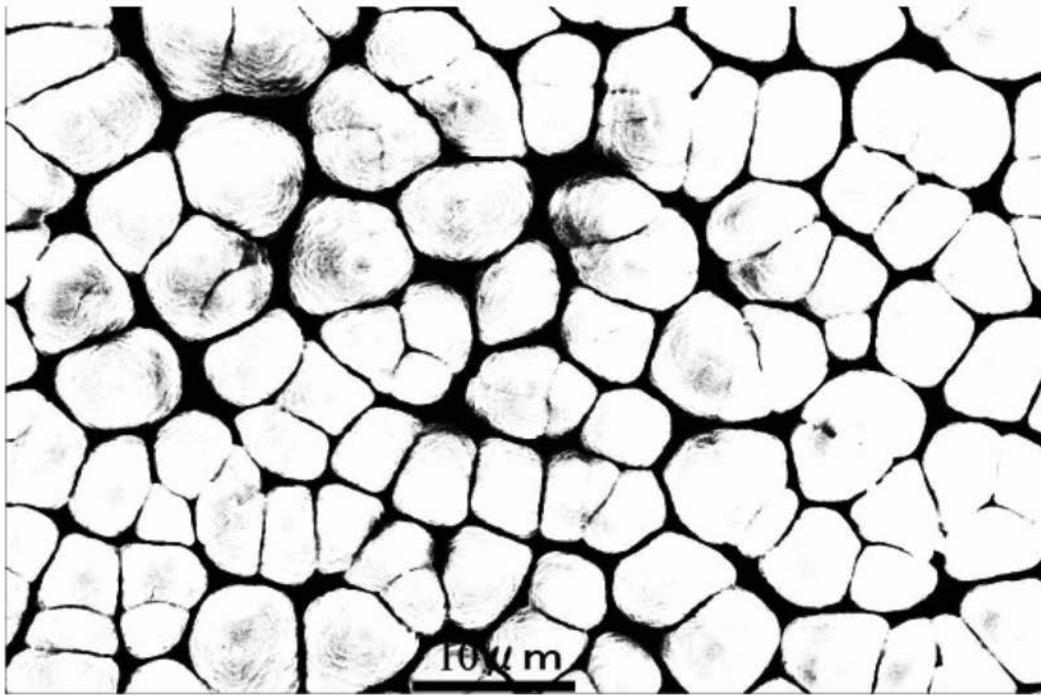
【 図 3 】

FIG. 3



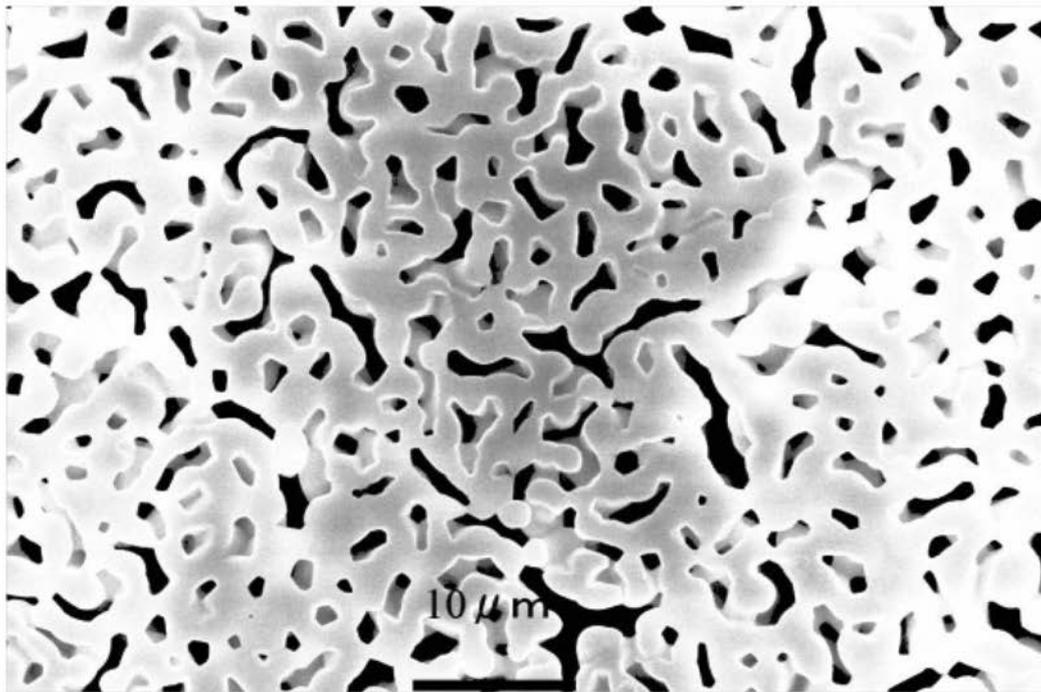
【 図 4 】

FIG. 4



【 図 5 】

FIG. 5



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
A 6 1 B 6/00 3 0 0 Q

(72)発明者 北田 信
神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内

(72)発明者 三浦 圭
神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内

審査官 木下 忠

(56)参考文献 国際公開第2010/61727(WO, A1)
特開2008-111789(JP, A)
特開2007-315866(JP, A)
特開2005-69991(JP, A)
特開2006-266936(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 2 1 K 4 / 0 0
G 0 1 T 1 / 2 0