



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103814412 B

(45)授权公告日 2016.09.07

(21)申请号 201280045409.4

山本丰雄 会田博之 榛叶勇一

(22)申请日 2012.12.06

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103814412 A

代理人 张鑫

(43)申请公布日 2014.05.21

(51)Int.Cl.

G21K 4/00(2006.01)

G01T 1/20(2006.01)

(30)优先权数据

2011-276157 2011.12.16 JP

2011-276158 2011.12.16 JP

2011-276207 2011.12.16 JP

2011-276208 2011.12.16 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.03.18

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2012/081674 2012.12.06

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/089015 JA 2013.06.20

(73)专利权人 东芝电子管器件株式会社

地址 日本栃木县

(56)对比文件

JP 特开平5-249299 A,1993.09.28,

JP 特开平11-100674 A,1999.04.13,

JP 特开2004-340913 A,2004.12.02,

JP 特开2009-14526 A,2009.01.22,

CN 101053042 A,2007.10.10,

CN 2632980 Y,2004.08.11,

JP 特开2011-22068 A,2011.02.03,

JP 特开2008-82872 A,2008.04.10,

顾牡 等.微柱状CsI闪烁薄膜热蒸发生长工艺.《强激光与粒子束》.2010,第22卷(第2期),第374-378页.

审查员 卓晓峰

(72)发明人 千代间仁 吉田笃也 松山涉

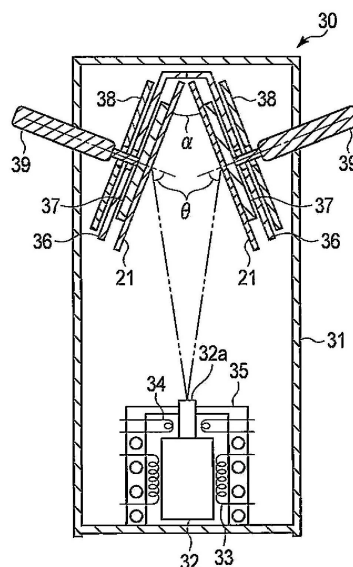
权利要求书2页 说明书17页 附图7页

### (54)发明名称

放射线检测面板的制造装置及放射线检测面板的制造方法

### (57)摘要

本发明的放射线检测面板的制造方法在蒸发源的正上方侧将光电转换基板配置成处于光电转换基板(21)的蒸镀面从蒸发源露出并相对于垂直轴倾斜的状态。通过蒸发源,使闪烁材料蒸发并将其向正上方辐射,使闪烁材料蒸镀于上述蒸镀面上,形成荧光体膜。



1. 一种放射线检测面板的制造装置,其特征在于,具备:

蒸发源,该蒸发源使以碘化铯(CsI)为主要成分的闪烁材料蒸发并向正上方辐射该闪烁材料;

保持机构,该保持机构位于所述蒸发源的正上方侧,将光电转换基板保持成所述光电转换基板的蒸镀面露出至所述蒸发源且相对于垂直轴倾斜的状态;

热导体,该热导体位于朝向所述光电转换基板,且超过所述保持机构的位置,隔开间隔与所述保持机构相对配置;

温度调整部,该温度调整部位于朝向所述保持机构,且超过所述热导体的位置,并通过所述热导体对所述光电转换基板的温度进行调整;

驱动部,该驱动部安装于所述保持机构,固定地保持4rpm以上的转速来使所述光电转换基板与所述保持机构一起旋转;以及

真空腔,该真空腔收容所述蒸发源、所述保持机构、所述热导体、所述温度调整部以及所述驱动部,并维持压力在 $1 \times 10^{-2}$ Pa以下的状态,

所述热导体具有将所述温度调整部的热量传导到所述光电转换基板的功能以及吸收所述光电转换基板的热量并传导到所述温度调整部的功能,

所述蒸发源具有辐射所述闪烁材料的蒸发口,

若将所述蒸发口的中心与所述蒸镀面的任意点相连接的假想线和所述蒸镀面的法线在内侧所形成的角度设为 $\theta$ ,则所述保持机构将所述光电转换基板保持成在所述蒸镀面的中心处满足 $50^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$ ,

所述驱动部使所述光电转换基板与所述保持机构一起以沿着所述蒸镀面中心的法线的轴为旋转轴进行旋转。

2. 如权利要求1所述的放射线检测面板的制造装置,其特征在于,

还包括其它保持机构,该其它保持机构位于所述蒸发源的正上方侧,将其它光电转换基板保持成所述其它光电转换基板的其它蒸镀面露出至所述蒸发源且相对于所述垂直轴倾斜的状态。

3. 如权利要求2所述的放射线检测面板的制造装置,其特征在于,

所述保持机构的位置与所述其它保持机构的位置相对于通过所述蒸发口的所述垂直轴对称。

4. 如权利要求1所述的放射线检测面板的制造装置,其特征在于,

所述热导体具有与所述保持机构相对并实施了黑化处理的表面。

5. 如权利要求4所述的放射线检测面板的制造装置,其特征在于,

所述热导体还具有实施了黑化处理的背面。

6. 一种放射线检测面板的制造装置,其特征在于,包括:

蒸发源,该蒸发源使闪烁材料蒸发并向正上方辐射该闪烁材料;

保持机构,该保持机构位于所述蒸发源的正上方侧,将光电转换基板保持成所述光电转换基板的蒸镀面露出至所述蒸发源且相对于垂直轴倾斜的状态;

热导体,该热导体位于朝向所述光电转换基板,且超过所述保持机构的位置,隔开间隔与所述保持机构相对配置;以及

温度调整部,该温度调整部位于朝向所述保持机构,且超过所述热导体的位置,并通

过所述热导体对所述光电转换基板的温度进行调整，

在将所述闪烁材料蒸镀至所述蒸镀面上时，所述温度调整部将蒸镀初期的所述光电转换基板的温度控制在70℃至140℃的范围内，并将所述蒸镀初期以后的所述光电转换基板的温度控制在125℃至190℃的范围内。

7. 一种放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

将光电转换基板配置成在蒸发源正上方侧，且处于所述光电转换基板的蒸镀面露出至所述蒸发源并相对于垂直轴倾斜的状态，

利用所述蒸发源，使闪烁材料蒸发并将其向正上方辐射，使所述闪烁材料蒸镀于所述蒸镀面上，从而形成荧光体膜，

在将所述闪烁材料蒸镀至所述蒸镀面上时，将蒸镀初期的所述光电转换基板的温度控制在70℃至140℃的范围内，并将所述蒸镀初期以后的所述光电转换基板的温度控制在125℃至190℃的范围内。

8. 如权利要求7所述的放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

在将所述闪烁材料蒸镀至所述蒸镀面上时，使所述光电转换基板旋转。

9. 如权利要求8所述的放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

若在配置所述光电转换基板时，将所述闪烁材料的入射方向与所述蒸镀面的法线在内侧所形成的角度设为 $\theta$ ，则将所述光电转换基板配置成在所述蒸镀面的中心处满足 $45^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ ，

在使所述光电转换基板旋转时，以沿着所述蒸镀面中心的法线的轴为旋转轴使所述光电转换基板旋转。

10. 如权利要求9所述的放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

在配置所述光电转换基板时，将所述光电转换基板配置成在所述蒸镀面的中心处满足 $50^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$ 。

11. 如权利要求8所述的放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

使用在进行抽真空从而维持压力在 $1 \times 10^{-2}$ Pa以下的状态的环境下进行的真空蒸镀法。

12. 如权利要求8所述的放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

在使所述光电转换基板旋转时，将所述光电转换基板的转速设为4rpm以上。

13. 如权利要求7所述的放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

将蒸镀初期的所述光电转换基板的温度控制在70℃至125℃的范围内，

将所述蒸镀初期以后的所述光电转换基板的温度控制在125℃至170℃的范围内。

14. 如权利要求7所述的放射线检测面板的制造方法，其特征在于，

对所述闪烁材料使用以碘化铯(CsI)为主要成分的材料。

## 放射线检测面板的制造装置及放射线检测面板的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明的实施方式涉及放射线检测面板的制造装置及放射线检测面板的制造方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,正逐渐将X射线检测面板作为放射线检测面板投入实用。X射线检测面板包含将X射线(放射线)转换成光的荧光体膜、以及将该光转换成电信号的光电转换元件。这样的X射线检测面板与现有的X射线显像管相比,能有利于X射线平面检测装置整体的小型化、轻量化。X射线平面检测装置将利用透过检测对象物的X射线而获得的图像信息转换成数字电信息。X射线平面检测装置能享有数字图像处理或数字图像保存等数字信息处理的众多便利性。

[0003] 该X射线平面检测装置可用于诊断或治疗病人时使用的医疗领域或牙科领域、非破坏检查等工业领域、结构解析等科学研究领域等众多领域。在各个领域中,能够通过数字信息处理来高精度地提取出图像,高速地检测出图像,由此能够期待如下效果:减少不希望的X射线(放射线)照射量、迅速地进行检测、诊断等。

[0004] 大多将闪烁材料技术转用于X射线平面检测装置的荧光体膜。闪烁材料由现有的X射线显像管中所使用的铯(Cs)及碘(I)为主要成分的材料来形成。以碘化铯(以下记作CsI)为主要成分并形成柱状结晶的上述闪烁材料与形成其它粒子状结晶的闪烁材料相比,能通过光导效应来力图实现灵敏度及分辨率的提高。

[0005] 为了确保使X射线平面检测装置处于灵敏度较高的状态,需要充分地获得由X射线转换而得的光(荧光)的量,荧光体膜需要具有一定程度的厚度。在使用以CsI为主要成分的闪烁材料的情况下,大多将荧光体膜的厚度设为500 $\mu$ m左右。

[0006] 另一方面,荧光体膜具有随着膜厚的增加而降低图像分辨率的趋势。为了使荧光体膜达到高灵敏度及高分辨率,优选采用蒸镀方法,能将闪烁材料的柱状晶体形成得更细且在厚度方向上一致。

[0007] 此外,关于闪烁材料的成膜方法,在现有的X射线显像管的制造方法、X射线平面检测装置的制造方法等中有所公开。另外,类似的制造方法已知有使用光激荧光体的放射线图像转换面板的制造方法。

[0008] 另外,在光电转换基板的表面上蒸镀闪烁材料的制造装置具有真空腔、以及配置在真空腔内的钳锅。在蒸镀闪烁材料时,在真空腔内将光电转换基板水平地配置于钳锅的上方。此后,在钳锅内加热并蒸发闪烁材料。由此,蒸发后的闪烁材料蒸镀在光电转换基板的表面。此外,有时在水平面内旋转光电转换基板的同时,将闪烁材料蒸镀至光电转换基板的表面。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:日本专利特开平10-40840号公报

- [0012] 专利文献2:日本专利特开2003-262673号公报  
[0013] 专利文献3:日本专利特开2005-164534号公报  
[0014] 专利文献4:日本专利特开2009-236705号公报

## 发明内容

[0015] 发明所要解决的技术问题

[0016] 然而,在进行闪烁材料的蒸镀的用于制造X射线检测面板的装置及方法中,需要考虑提高生产效率、以及所形成的荧光体膜的分辨率特性。但是,在一般公开的蒸镀方法中无法完全解决上述问题。

[0017] 本发明是鉴于上述问题点而得以完成,其目的在于,提供一种放射线检测面板的制造装置及放射线检测面板的制造方法,能够实现生产效率的提高,并能形成分辨率特性良好的放射线检测面板。

## 附图说明

[0018] 图1是示意性地表示使用一个实施方式所涉及的X射线检测面板的制造方法而制造所得的包含X射线检测面板的X射线平面检测装置的剖视图。

[0019] 图2是表示上述X射线平面检测装置的一部分的分解图。

[0020] 图3是表示上述实施方式所涉及的真空蒸镀装置的简要结构图。

[0021] 图4是利用曲线图来表示MTF相对值相对于光电转换基板的转速的变化的图。

[0022] 图5是表示上述真空蒸镀装置的一部分的示意图,是表示钳锅及光电转换基板的图。

[0023] 图6是表示上述真空蒸镀装置的一部分的其它示意图,是表示钳锅及光电转换基板的图。

[0024] 图7是利用曲线图来表示将入射角 $\theta_1$ 设为 $40^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的分量比( $D_h/D_v$ )相对于比值( $L/R$ )的变化的图。

[0025] 图8是表示将坐标与图3及图5所示的真空腔、钳锅以及光电转换基板相对应的坐标系的图。

[0026] 图9是表示图8所示的坐标系的图,是表示点P在各瞬间的柱状结晶的生长方向的分量的图。

[0027] 图10是利用曲线图来表示在规定条件下、将入射角设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的结晶生长向量的垂直分量的相对长度相对于距离基板中心的长度(动径)的变化的图。

[0028] 图11是利用曲线图来表示在上述规定条件下、将入射角设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的结晶生长向量的动径方向上的分量的相对长度相对于距离基板中心的长度(动径)的变化的图。

[0029] 图12是利用曲线图来表示在其它规定条件下、将入射角设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的结晶生长向量的垂直分量的相对长度相对于距离基板中心的长度(动径)的变化的图。

[0030] 图13是利用曲线图来表示在其它规定条件下、将入射角设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、

65°、70°、75°时的结晶生长向量的动径方向上的分量的相对长度相对于距离基板中心的长度(动径)的变化的图。

[0031] 图14是表示图3所示的光电转换基板、热导体、保持机构以及散热部的图,是对热传导体的功能进行说明的示意图。

### 具体实施方式

[0032] 一个实施方式所涉及的放射线检测面板的制造装置包括:蒸发源,该蒸发源使闪烁材料蒸发并向正上方辐射该闪烁材料;以及保持机构,该保持机构位于所述蒸发源的正上方侧,将光电转换基板保持成所述光电转换基板的蒸镀面露出至所述蒸发源且相对于垂直轴倾斜的状态。

[0033] 另外,一个实施方式所涉及的放射线检测面板的制造装置包括:蒸发源,该蒸发源使闪烁材料蒸发并辐射该闪烁材料;保持机构,该保持机构对光电转换基板进行保持,使得从所述蒸发源辐射出的所述闪烁材料蒸镀至所述光电转换基板的蒸镀面上;以及热导体,该热导体位于朝向所述光电转换基板、超过所述保持机构的位置,隔开间隔与所述保持机构相对配置,并具有与所述保持机构相对并实施了黑化处理的表面。

[0034] 另外,一个实施方式所涉及的放射线检测面板的制造方法在发源的正上方侧将光电转换基板配置成所述光电转换基板的蒸镀面露出至所述蒸发源且相对于垂直轴倾斜的状态,利用所述蒸发源使闪烁材料蒸发并将其向正上方辐射,使所述闪烁材料蒸镀在所述蒸镀面上,形成荧光体膜。

[0035] 另外,一个实施方式所涉及的放射线检测面板的制造方法将闪烁材料蒸镀至光电转换基板的蒸镀面上并形成荧光体膜,并在使所述闪烁材料蒸镀至所述蒸镀面上时,将蒸镀初期的所述光电转换基板的温度控制在70℃至140℃的范围内,将所述蒸镀初期之后的所述光电转换基板的温度控制在125℃至190℃的范围内。

[0036] 以下,参照附图对一个实施方式所涉及的X射线检测面板的制造装置以及X射线检测面板的制造方法进行详细说明。首先,对使用上述X射线检测面板的制造方法而制成的X射线检测面板的结构进行说明。这里,对利用X射线检测面板的X射线平面检测装置的整体结构也进行说明。

[0037] 图1是简要表示X射线平面检测装置的剖视图。如图1所示,X射线平面检测装置是大型X射线平面检测装置。X射线平面检测装置包括:X射线检测面板2、防湿盖体3、支承基板4、电路基板5、X射线遮蔽用的铅盘6、散热绝缘片材7、连接构件8、壳体9、柔性电路基板10以及入射窗11。

[0038] 图2是表示X射线平面检测装置的一部分的分解图。如图1及图2所示,X射线检测面板2具有光电转换基板21、以及荧光体膜22。光电转换基板21具备厚度为0.7mm的玻璃基板、以及二维地形成在玻璃基板上的多个光检测部28。光检测部28具有作为开关元件的TFT(薄膜晶体管)26以及作为光电传感器的PD(光电二极管)27。TFT26以及PD27例如将a-Si(非晶硅)为基材来形成。沿光电转换基板12的平面的方向的尺寸例如为正方向,边长为50cm。此外,在大型的X射线平面检测装置中,光电转换基板21的一边长度例如为13至17英寸。

[0039] 荧光体膜22直接形成于光电转换基板21上。荧光体膜22位于光电转换基板21的X射线的入射一侧。荧光体膜22将X射线转换为光(荧光)。此外,PD27将经过荧光体膜22转换

后的光转换成电信号。

[0040] 荧光体膜22通过将闪烁材料蒸镀于光电转换基板21上来形成。闪烁材料可以使用以碘化铯(CsI)为主要成分的材料。荧光体膜22的厚度设定在100至1000 $\mu\text{m}$ 的范围内。更适当地对灵敏度及分辨率进行评价,将荧光体膜22的厚度设定在200至600 $\mu\text{m}$ 的范围内。

[0041] 在本实施方式中,荧光体膜22的厚度被调整为500 $\mu\text{m}$ 。闪烁材料使用在主要成分、即CsI中添加了铊(Tl)或碘化铊(TlI)的材料。由此,荧光体膜22能通过入射X射线来放射出更适当的波长的光(荧光)。

[0042] 例如,所添加的碘化铊(TlI)为几%甚至几%以下,由此闪烁材料中的碘化铯(CsI)浓度比例优选为占有95%以上。

[0043] 如图1所示,防湿盖体3完全覆盖荧光体膜22,将荧光体膜22密封。防湿盖体3例如由铝合金形成。若增大防湿盖体3的厚度,则入射至荧光体膜22的X射线剂量有所衰减,导致X射线检测面板2的灵敏度下降。因此,优选将防湿盖体3的厚度设定得尽量小。在设定防湿盖体3的厚度时,考虑各种参数(防湿盖体3的形狀的稳定性、抗制造强度、入射至荧光体膜22中的X射线的衰减量)的平衡。防湿盖体3的厚度设定在50至500 $\mu\text{m}$ 的范围内。在本实施方式中,防湿盖体3的厚度被调整为200 $\mu\text{m}$ 。

[0044] 光电转换基板21的外周部形成有用于与外部进行连接的多个焊盘。多个焊盘使用于输入用于驱动光电转换基板21的电信号以及输出输出信号。

[0045] 上述X射线检测面板2及防湿盖体3的集合体由层叠薄形构件来构成,因此上述集合体较轻、强度较低。因此,X射线检测面板2通过粘接片材固定于支承基板4上较平坦的一面。支承基板4例如由铝合金形成,具有为了稳定地保持X射线检测面板2所需的强度。

[0046] 支承基板4的另一面隔着铅盘6及散热绝缘片材7固定有电路基板5。电路基板5通过螺钉等固定于支承基板4上。电路基板5及X射线检测面板2通过柔性电路基板10相连接。柔性电路基板10与光电转换基板21的连接采用使用ACF(异方性导电胶膜)的热压接法。通过该方法能确保多条细微的信号线的电连接。电路基板5上安装有与柔性电路基板10相对应的连接器。电路基板5通过上述连接器等与X射线检测面板2电连接。电路基板5对X射线检测面板2进行电气驱动,并对X射线检测面板2所输出的输出信号进行电气处理。

[0047] 壳体9将X射线检测面板2、防湿盖体3、支承基板4、电路基板5、铅盘6、散热绝缘片材7、连接构件8收容在内。壳体9具有形成在与X射线检测面板2相对的位置上的开口。连接构件8固定于壳体9上,对支承基板4进行支承。

[0048] 入射窗11安装于壳体9的开口处。入射窗11将壳体9的开口密封。由于入射窗11透过X射线,因此X射线透过入射窗11入射至X射线检测面板2。入射窗11形成为板状,具有保护壳体9内部的功能。入射窗11优选为由X射线吸收率较低的材料形成,并形成得较薄。由此,能够减少在入射窗11处产生的、X射线的散射以及X射线剂量的衰减。此外,还能实现较薄且较轻的X射线检测装置。X射线检测装置如上述那样形成。

[0049] 接下来,对X射线检测面板2的制造装置所使用的真空蒸镀装置进行说明。

[0050] 图3是表示真空蒸镀装置30的简要结构图。如图3所示,真空蒸镀装置30具备:真空腔31、钳锅32、加热器33、34、盖体35、热导体36、保持机构37、作为温度调整部的散热部38及电动机39,其中,该钳锅32作为加热并熔融闪烁材料从而使其蒸发的蒸镀源。

[0051] 真空腔31形成为与宽度方向(水平方向)相比高度方向(垂直方向、正上方方向)上

较大的箱体状。真空腔31上安装有未图示的真空排气装置(真空泵),真空排气装置能将真空腔31内保持在大气压以下的压力。真空蒸镀装置30使用在将压力设定为大气压以下所期望的值的的环境下进行的真空蒸镀法。

[0052] 钨锅32配置在真空腔31内的下方。钨锅32内投入有在作为主要成分的CsI中添加了TlI的闪烁材料。例如,碘化铯(CsI)的浓度比例能使用95%以上的闪烁材料。另外,也有投入碘化铯(CsI)的浓度为100%的闪烁材料,并利用其它较小的钨锅来使少量的碘化铯(TlI)蒸发。即使在后者的情况下,柱状结晶的结构也由碘化铯(CsI)决定,因此对与真空腔31内的钨锅32的配置相关的作用效果的说明也相同。

[0053] 钨锅32中央的前端部形成为筒状(烟囱状),向真空腔31的高度方向延伸。位于钨锅32的前端的蒸发口32a朝向真空腔31的上方开口。闪烁材料以通过蒸发口32a的中心的垂直轴为中心向正上方辐射。

[0054] 加热器33设置在钨锅32的周围。加热器33对钨锅32进行加热,将钨锅32的温度调整至闪烁材料的熔点以上。这里,加热器33将钨锅32加热至大于700℃。此外,钨锅32的温度能由未图示的温度计来测量,能够利用未图示的加热器驱动部对钨锅32进行温度的监视、以及对加热器33进行驱动。

[0055] 如上所述,通过对钨锅32进行加热,从而使闪烁材料的蒸发元素通过钨锅32的蒸发口32a并辐射到真空腔31的上方。另外,钨锅32的前端部形成为筒状,因此能进行指向性较高的闪烁材料的辐射。由此,能够集中于光电转换基板21所处位置的方向来辐射闪烁材料。此外,通过调整钨锅32的前端部的长度,能够调整辐射闪烁的指向性。

[0056] 在本实施方式中,为了制造出大型的X射线检测面板2,需要将大量(例如400g)的闪烁材料蒸镀至光电转换基板21。因此,使用大型的钨锅作为钨锅32,在钨锅32内投入数kg(例如6kg)以上的闪烁材料。

[0057] 加热器34设置在钨锅32的前端部的周围,对钨锅32的前端部进行加热。由此,能防止钨锅32的前端部堵塞。

[0058] 盖体35将钨锅32及加热器33、34覆盖。盖体35对来自钨锅32及加热器33、34的热传导的扩散进行抑制。盖体35中形成有流过冷却液(例如水)的冷却路径。

[0059] 热导体36位于真空腔31内的上方,固定于真空腔31。热导体36形成为例如厚度为3mm的板状。形成热导体36的材料能使用例如铝。热导体36具有如下功能:通过热传导将散热部38的热量传递至光电转换基板21以及保持机构37,或者将光电转换基板21及保持机构37的热量传递至散热部38。另外,热导体36也具有保护散热部38等不被闪烁材料附着的功能。

[0060] 保持机构37与热导体36相对,位于较热导体36更靠近真空腔31的中心侧。保持机构37在使光电转换基板21的蒸镀面露出的状态下、保持光电转换基板21。光电转换基板21被保持在以蒸镀面与真空腔31的高度方向形成锐角的方式倾斜的状态下。

[0061] 散热部38与热导体36相对,位于较热导体36更靠近真空腔31的侧壁侧。散热部38与真空腔31相连,散热部38所产生的热量能传递至真空腔31。虽未详细图示,但散热部38是热导体及加热器的集合体。散热部38的加热器对光电转换基板21进行加热。此外,光电转换基板21的温度能由未图示的温度计来测量,能够由未图示的加热器驱动部对光电转换基板21的温度进行监视、以及对散热器38的加热器进行驱动。



[0062] 散热部38的加热器所产生的热量通过热传导经由热导体36传递至光电转换基板21。散热部38的加热器所产生的热量也可以进一步经由散热部38的热导体、保持机构37传递至光电转换基板21。

[0063] 另一方面,光电转换基板21所产生的热量通过热传导经由热导体36传递至散热部38的热导体。光电转换基板21所产生的热量也可以进一步经由保持机构37传递至散热部38的热导体。传递至散热部38的热导体的热量被传导至真空腔31。

[0064] 电动机39气密性地安装于真空腔31中。电动机39的轴位于通过形成于散热部38中的贯通口以及形成于热导体36中的贯通口的位置。此外,保持机构37安装于电动机39的轴上,可与轴自由装卸。光电转换基板21的中心与电动机39的轴相对。此外,通过使电动机39工作,来旋转保持机构37。由此,光电转换基板21以沿着光电转换基板21中心的法线的轴为旋转轴来进行旋转。

[0065] 在本实施方式中,真空蒸镀装置30中的热导体36、保持机构37、散热部38以及电动机39各具备两个。因此,真空蒸镀装置30能够在两片光电转换基板21上同时形成荧光体膜22。一个保持机构37的位置与另一个保持机构37的位置相对于通过蒸发口32a的垂直轴对称。将2台保持机构37分别倾斜地配置,以使得光电转换基板21的蒸镀面彼此之间互相对。一个光电转换基板21的蒸镀面与另一个光电转换基板21的蒸镀面的内侧形成的角度 $\alpha$ 为锐角。如上所述那样形成真空蒸镀装置30。

[0066] 从钨锅32的蒸发口辐射出的闪烁材料的蒸发元素被蒸镀至位于真空腔31上方的光电转换基板21上。此时,闪烁材料的蒸发元素从相对于光电转换基板21倾斜的方向入射。这里,将闪烁材料入射至光电转换基板21的入射角设为 $\theta$ 。入射角 $\theta$ 是光电转换基板21的法线与闪烁材料的入射方向(将蒸发口32a的中心与光电转换基板21的蒸镀面上任意的点相连接的假想线)在内侧形成的角度。

[0067] 在本实施方式中,在光电转换基板21的中心,满足 $\theta=60^\circ$ 。在光电转换基板21的最上部(真空腔31的顶壁侧的光电转换基板21的端部),满足 $\theta=70^\circ$ 。在光电转换基板21的最下部(钨锅32侧的光电转换基板21的端部),满足 $\theta=45^\circ$ 。

[0068] 与满足 $\theta=0^\circ$ 的真空蒸镀装置相比,上述真空蒸镀装置30能减小真空腔31的体积。由此,能减小真空排气装置等的装置负载。另外,由于能缩短抽真空所花费的时间,因此能实现生产效率的提高。

[0069] 另外,在上述真空蒸镀装置30中,能大幅度地提高闪烁材料的使用效率。

[0070] 接下来,作为X射线检测面板2的制造方法,对使用真空蒸镀装置30的荧光体膜22的制造方法进行说明。

[0071] 开始制造荧光体膜22,则首先准备真空蒸镀装置30、以及包含光检测部28的光电转换基板21。接下来,将光电转换基板21安装至保持机构37。之后,将安装有光电转换基板21的保持机构37送入真空腔31内,安装至电动机39的轴上。

[0072] 接下来,将真空腔31密封,利用真空排气装置将真空腔31内抽真空。接下来,使电动机39工作,使光电转换基板21旋转。此外,对于使电动机39开始工作的时刻,并未作特别限定,可以有各种变化。例如,可以基于钨锅32的温度的监视结果,来调整开始使电动机39工作的时刻。

[0073] 接下来,开始利用加热器33、34来对钨锅32进行加热,并使形成于盖部35的冷却路

径中的冷却液循环。此后,通过钳锅32内的闪烁材料的蒸发,来使闪烁材料蒸镀至光电转换基板21上。此外,由于蒸镀至光电转换基板21上的闪烁材料具有热量,因此在蒸镀期间内,光电转换基板21被加热。如上所述,通过将闪烁材料蒸镀至光电转换基板21上,从而在光电转换基板21上形成荧光体膜22(图2)。由此,荧光体膜22的制造结束。

[0074] 接着,对真空腔31内的压力进行说明。

[0075] 入射至光电转换基板21上的闪烁材料的蒸发元素在光电转换基板21上形成结晶。在蒸镀初期的阶段,形成在光电转换基板21上的结晶是微小的结晶粒,但若持续蒸镀,则结晶粒最终变成柱状结晶,并生长。柱状结晶的生长方向与蒸发元素的入射方向相反。因此,在蒸发元素倾斜地入射至光电转换基板21时,柱状结晶在其倾斜方向生长。

[0076] 为了抑制这样的柱状结晶的生长,使柱状结晶沿着光电转换基板21的法线的方向生长,以前是将氩气(Ar)等惰性气体导入蒸镀过程中的真空腔31内,并使真空腔31内的压力上升至 $1 \times 10^{-2}$ 至1Pa左右。蒸发元素由于上述惰性气体的存在而散乱,从多个方向入射至光电转换基板21。其结果是,柱状结晶的生长方向变为沿着光电转换基板21的法线。

[0077] 然而,在由于导入惰性气体而使真空腔31内的压力上升的情况下,蒸发元素入射至光电转换基板21的入射方向为全方向,因此在使柱状结晶变粗的方向上,柱状结晶的生长也得到促进。其结果是,柱状结晶变粗,X射线检测面板2的分辨率下降。为了克服该问题,在本实施方式中,在将闪烁材料蒸镀至光电转换基板21上时,不导入惰性气体。然后,使用在进行抽真空从而将压力维持在 $1 \times 10^{-2}$ Pa以下的状态的环境下进行的真空蒸镀法。由此,能减小柱状结晶变粗的生长,并能促进沿着光电转换基板21的法线的方向的结晶生长。

[0078] 接着,对光电转换基板21的转速进行说明。

[0079] 为了使蒸发元素入射至光电转换基板21的入射方向平均化,在将闪烁材料蒸镀至光电转换基板21上时,使光电转换基板21旋转。由此,能够使光电转换基板21的整个表面上的荧光体膜22的厚度一致。

[0080] 另外,能够平均化结晶生长向量的朝向,并能在总体上沿着光电转换基板21的法线的方向上使柱状结晶生长。此处,结晶生长向量的朝向为柱状结晶的生长方向。其结果是,由于能够形成更细的柱状结晶,因此能实现X射线检测面板2的分辨率的提高。

[0081] 为了平均化上述结晶生长向量的朝向,光电转换基板21的转速成为主要因素。这里,本申请的发明人对相对于光电转换基板21的转速的MTF(modulation transfer function:调制传递函数)值进行了调查。图4是示出了研究调查。图4是利用曲线图来表示MTF相对值相对于光电转换基板21的转速的变化的图。图4中描绘了将光电转换基板21的转速设为2rpm、4rpm、6rpm时的光电转换基板21的周边部的MTF值、以及将光电转换基板21的转速设为2rpm、6rpm、10rpm时的光电转换基板21的中心部的MTF值。

[0082] 如图4所示,未描绘将光电转换基板21的转速设为10rpm时的光电转换基板21的周边部的MTF值、以及将光电转换基板21的转速设为4rpm时的光电转换基板21的中心部的MTF值。然而,可知即使改变光电转换基板21的转速,光电转换基板21的周边部的MTF值、以及光电转换基板21的中心部的MTF值也是几乎同样地变化。另外,还可知若光电转换基板21的转速低于4rpm,则MTF值急剧下降。

[0083] 另一个面,还可知若光电转换基板21在4rpm以上,则MTF值逐渐增大。因此,在旋转光电转换基板21时,优选将光电转换基板21的转速设为4rpm以上。另外,优选在蒸镀过程

中,将光电转换基板21的转速保持在恒定。

[0084] 接着,对光电转换基板21的中心处的入射角 $\theta$ 的下限进行说明。

[0085] 本实施方式中,对形成真空蒸镀装置30以使得光电转换基板21的中心处 $\theta=60^\circ$ 的情况进行说明,但并不局限于此,也可有各种变化。真空蒸镀装置30也可以形成为在光电转换基板21的中心处 $\theta<60^\circ$ 。但是,入射角 $\theta$ 越接近 $0^\circ$ ,光电转换基板21的蒸镀面就越朝向真空腔31的底壁,因此真空腔31的宽度变宽,其结果是,真空腔31的体积增大。上述情况在光电转换基板21为大型的情况下较为显著。

[0086] 另外,真空腔31的体积压缩量大致与 $\sin\theta$ (入射角 $\theta$ 的 $\sin$ )成正比。换言之,真空腔31的体积大致与 $\cos\theta$ 成正比。因此,真空腔31的体积压缩率在 $0^\circ \leq \theta < 45^\circ$ 的范围内比较缓慢,另一方面,在 $\theta=45^\circ$ 的情况下,真空腔31的体积压缩率逐渐变为70%左右。 $45^\circ < \theta$ 的情况与 $\theta=45^\circ$ 的情况相比,体积压缩率进一步变化,真空腔31的体积压缩率变得更高。由此,能够获得更有效地削减真空腔31的体积的效果。

[0087] 因此,在考虑真空排气装置等的装置负载、生产效率、闪烁材料的使用效率的情况下,优选将真空蒸镀装置30形成为在光电转换基板21的中心处 $45^\circ \leq \theta$ 。

[0088] 接着,对光电转换基板21的中心处的入射角 $\theta$ 的上限进行说明。

[0089] 图5是表示上述真空蒸镀装置30的一部分的示意图,是表示钳锅32以及光电转换基板21的图。如图5所示,这里将光电转换基板21的蒸镀面的中心处的入射角 $\theta$ 设为 $\theta_1$ 。将从钳锅32的蒸发口32a到光电转换基板21(蒸镀面)的中心为止的距离(直线距离)设为R。沿着光电转换基板21的平面的方向上,将距离光电转换基板21(蒸镀面)的中心的长度设为L。

[0090] 在完全真空状态下,在蒸发元素的入射方向的相反侧进行结晶生长。在蒸镀过程中光电转换基板21发生旋转,因此根据蒸镀向量 $V_a(V_{a1}, V_{a2}, V_{a3})$ 的累加结果来决定光电转换基板21各个部位上的柱状结晶的生长方向。这里,蒸镀向量的朝向为蒸镀元素的入射方向。

[0091] 图6是表示上述真空蒸镀装置30的一部分的其它示意图,是表示钳锅32以及光电转换基板21的图。如图6所示可知,在光电转换基板21的最上部,结晶生长向量朝向光电转换基板21的内侧(例如参照结晶生长向量 $V_{b2}$ )。可知,在光电转换基板21的最下部,结晶生长向量朝向光电转换基板21的外侧(例如参照结晶生长向量 $V_{b1}$ )。由于在蒸镀过程中光电转换基板21发生旋转,因此结晶生长向量 $V_b(V_{b1}, V_{b2})$ 沿着光电转换基板21的平面方向上的分量互相抵消。

[0092] 这里,将结晶生长向量 $V_b$ 沿着光电转换基板21的平面方向上的分量设作 $D_h$ 。将结晶生长向量 $V_b$ 沿着光电转换基板21的法线方向上的分量设作 $D_v$ 。作为简单的模拟,在假设结晶生长向量 $V_b$ 的大小与距离R的平方成反比的情况下,在距离光电转换基板21的中心为长度L的位置上,分别利用下式来表示分量 $D_h$ 、 $D_v$ 。

[0093] [数学式1]

$$[0094] \quad D_h = \frac{1}{R^2} \left\{ \frac{\sin\theta_1 + x}{(1+x^2+2x \cdot \sin\theta_1)^{3/2}} + \frac{\sin\theta_1 - x}{(1+x^2-2x \cdot \sin\theta_1)^{3/2}} \right\}$$

[0095] [数学式2]

$$[0096] \quad D_v = \frac{1}{R^2} \left\{ \frac{1}{(1+x^2+2x \cdot \sin \theta_1)^{3/2}} + \frac{1}{(1+x^2-2x \cdot \sin \theta_1)^{3/2}} \right\} x \cos \theta_1$$

[0097] 沿着光电转换基板21的平面方向上的柱状结晶生长的影响度能够利用分量Dh、与分量Dv的比即分量比(Dh/Dv)来评价。这里,x是具有光电转换基板21与钳锅32的蒸发口32a之间的距离的相对尺寸的特征的值,是长度L与距离R之比(L/R),即( $x=L/R$ )。

[0098] 图7是利用曲线图来表示将入射角 $\theta_1$ 设为 $40^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的、结晶生长向量的分量比(Dh/Dv)相对于长度L与距离R之比(L/R)的变化的图。在图7的纵轴上,将光电转换基板21的内侧方向设为+,将光电转换基板21的外侧方向设为-。图7示出了利用上述数学式1、2来进行模拟的结果。如图7所示,在光电转换基板21的一边长度为50cm的情况下,长度L在0至25cm的范围内。另一方面,在上述真空蒸镀装置30的结构中,距离R在150cm左右(100几十到200cm)为较实际的距离。因此,比值(L/R)的范围在0.15至0.2。可知,若考虑该范围,则在入射角 $\theta_1$ 在 $70^\circ$ 以下的情况下,能使(Dh/Dv)<1。

[0099] 在实际的柱状结晶生长过程中,受到被称作余弦准则的、在蒸发时蒸发量向前方发生偏移、或微量的残留气体等影响,因此,分量比(Dh/Dv)变得比图7所示的值更小(接近于0)。

[0100] 因此,若与上述入射角 $\theta$ 的下限合并,则恰当的为 $45^\circ \leq \theta_1 \leq 70^\circ$ 。以上,对简单的模拟结果进行了说明。

[0101] 这里,本申请的发明人等精确且准确地对由光电转换基板21的旋转所产生的效果进行了模拟。从其结果可知,若 $50^\circ \leq \theta_1 \leq 65^\circ$ ,则结晶垂直性(向沿着光电转换基板21的法线方向的结晶生长的促进性)更为优异。还可知若 $55^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ ,则结晶垂直性进一步变佳,柱状结晶的倾斜度大致变为0。

[0102] 接下来,对上述精密且准确的模拟内容进行说明。

[0103] 这里,为了生成倾斜蒸镀的模型式,取怎样的坐标系较为关键。因此,考虑光电转换基板21的旋转,将坐标系设定成图8那样。图8是表示将坐标与真空腔31、钳锅32以及光电转换基板21相对应的坐标系的图。

[0104] 如图8所示,将光电转换基板21的蒸镀面设为X-Y平面,将光电转换基板21的旋转轴(沿着蒸镀面中心的法线的轴)设为Z。将蒸发口32a的中心设为点O。通过点O的钳锅32的中心轴(垂直轴)位于X-Z平面上。将钳锅32的中心轴与X轴的交点设为T。例如,点T相当于真空蒸镀装置30的顶点。能够假定闪烁材料的蒸发元素(蒸镀粒子)从点O辐射出,并且还能假定闪烁材料的蒸发元素以钳锅32的中心轴为对称轴向周围辐射。

[0105] 入射角 $\theta_1$ 是具有倾斜蒸镀的特征的参数,是坐标系原点与点O构成的线段、与Z轴在内侧形成的角度。点P表示位于光电转换基板21的蒸镀面(X-Y平面)上的蒸镀位置。若将动径(从坐标系原点到点P为止的直线距离)设为L,将旋转角设为 $\phi$ ,则点P的X轴的坐标 $X_P$ 、Y轴的坐标 $Y_P$ 、以及Z轴的坐标 $Z_P$ 能如下那样表示。

$$[0106] \quad X_P = L \times \cos \phi$$

$$[0107] \quad Y_P = L \times \sin \phi$$

$$[0108] \quad Z_P = 0$$

[0109] 另外,动径L为从坐标系原点到点P为止的直线距离 $L_0$ 以下。也就是说, $L \leq L_0$ ,而更实际的为 $L < L_0$ 。此外,将钳锅32的中心轴(线段OT)、与朝向点P的入射方向(线段OP)在内侧

形成的角度设为 $\eta$ 。

[0110] 这里,首先导出一般式。导出一般式时,假设以下4点。

[0111] (1)真空腔31内处于足够高的真空状态,从钨锅32放出的蒸发元素直接到达光电转换基板21的蒸镀面。

[0112] (2)蒸发元素相对于钨锅32的中心轴对称(轴对称)地进行辐射。

[0113] (3)各瞬间的柱状结晶的生长方向与蒸发元素的入射方向相反。

[0114] (4)光电转换基板21一致地进行旋转。也就是说,角度 $\phi$ 变化一致。

[0115] 此外,为了导出一般式,根据上述坐标系,将点P的坐标表示成数学式3,将点O的坐标表示成数学式4,将点T的坐标表示成数学式5,将点O朝向点T的向量表示成数学式6,将点O朝向点P的向量表示成数学式7。

[0116] [数学式3]

$$[0117] \quad P = \begin{pmatrix} L \cos \phi \\ L \sin \phi \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0118] [数学式4]

$$[0119] \quad O = \begin{pmatrix} R \sin \theta_1 \\ 0 \\ R \cos \theta_1 \end{pmatrix}$$

[0120] [数学式5]

$$[0121] \quad T = \begin{pmatrix} -L_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0122] [数学式6]

$$[0123] \quad \vec{T} \equiv \vec{OT} = \begin{pmatrix} -L_0 - R \sin \theta_1 \\ 0 \\ -R \cos \theta_1 \end{pmatrix}$$

[0124] [数学式7]

$$[0125] \quad \vec{W} \equiv \vec{OP} = \begin{pmatrix} L \cos \phi - R \sin \theta_1 \\ L \sin \phi \\ -R \cos \theta_1 \end{pmatrix}$$

[0126] 另外,分别将基于数学式6的数学式表示成数学式8,将基于数学式7的数学式表示成数学式9。

[0127] [数学式8]

$$[0128] \quad |\vec{T}|^2 = L_0^2 + R^2 + 2L_0 R \sin \theta$$

[0129] [数学式9]

$$[0130] \quad |\vec{W}|^2 = L^2 + R^2 - 2LR \sin \theta_1 \cos \phi$$

[0131] 图9是表示图8所示的坐标系的图,是表示点P在各瞬间的柱状结晶的生长方向(结晶生长向量)的分量的图。如图9所示,将垂直于光电转换基板21(蒸镀面)的方向的分量设为 $D_a$ ,将动径方向的分量设为 $D_b$ ,将旋转方向( $\phi$ 方向)的分量设为 $D_c$ 。此外,关注各分量的相对值,将所有分量所涉及的系数设为1。将分量 $D_a$ 表示成数学式10,将分量 $D_b$ 表示成数学

式11,分量Dc表示成数学式12。

[0132] [数学式10]

$$[0133] \quad D_a = \frac{1}{|\vec{w}|^2} \times f(\eta) \times \frac{R \cos \theta_1}{|\vec{w}|}$$

[0134] [数学式11]

$$[0135] \quad D_b = \frac{1}{|\vec{w}|^2} \times f(\eta) \times \frac{R \sin \theta_1 \cos \phi - L}{|\vec{w}|}$$

[0136] [数学式12]

$$[0137] \quad D_c = \frac{1}{|\vec{w}|^2} \times f(\eta) \times \frac{(-R \sin \theta_1 \sin \phi)}{|\vec{w}|}$$

[0138]  $f(\eta)$ 是表示蒸发元素的分布的函数,是基于轴对称性的 $\eta$ 的函数。另外, $\eta$ 本身是取决于 $\theta_1$ 、 $\phi$ 、 $L$ 、 $L_0$ 、 $R$ 的函数,即 $\eta(\theta_1, \phi, L, L_0, R)$ 。

[0139] 如上所述,在长期观察的情况下,能求出点P的柱状结晶的生长方向的分量。此外,由图8可知,注意到 $\eta$ 及 $f$ 是 $\phi$ 的偶函数。此外,为了考虑旋转光电转换基板21的效果,而利用 $\phi$ 来进行积分即可。

[0140] 将垂直于光电转换基板21(蒸镀面)的方向的分量表示成数学式13,将动径方向的分量表示成数学式14。

[0141] [数学式13]

$$[0142] \quad \int_{-\pi}^{\pi} d\phi \quad \frac{1}{|\vec{w}|^2} \times f(\eta) \times \frac{R \cos \theta_1}{|\vec{w}|}$$

[0143] [数学式14]

$$[0144] \quad \int_{-\pi}^{\pi} d\phi \quad \frac{1}{|\vec{w}|^2} \times f(\eta) \times \frac{R \sin \theta_1 \cos \phi - L}{|\vec{w}|}$$

[0145] 此外,关于旋转方向( $\phi$ 方向)的分量,由于变为关于 $\phi$ 的奇函数的积分,因此为零(0)。

[0146] 为了进行更具体的计算,需要 $f(\eta)$ 的函数形式。如上所述,从微小平面蒸发的角度分布能很好地近似于 $\cos$ 准则。由此,采用 $f(\eta) = \cos(\eta)$ 的近似模型。具体而言,使用数学式15及数学式16所示的关系式。

[0147] [数学式15]

$$[0148] \quad \cos \eta = \frac{(\vec{T}, \vec{w})}{|\vec{T}| |\vec{w}|}$$

[0149] [数学式16]

$$[0150] \quad (\vec{T}, \vec{w}) = R^2 + L_0 R \sin \theta - (L L_0 + L R \sin \theta_1) \cos \phi$$

[0151] 此外,注意到 $T$ 是不含有 $\phi$ 的函数。在考虑到上述的情况下,能够求出使用 $\cos$ 准则的蒸镀模型式。将使用 $\cos$ 准则的蒸镀模型式表示成数学式17、数学式18以及数学式19。数学式17表示垂直于光电转换基板21(蒸镀面)的方向的分量,数学式18表示动径方向的分量。数学式19表示旋转方向( $\phi$ 方向)的分量。

[0152] [数学式17]

$$[0153] \quad \int_{-\pi}^{\pi} d\phi \quad \frac{(\vec{T}, \vec{W})}{|\vec{W}|^4 |\vec{T}|} \times R \cos \theta_1$$

[0154] [数学式18]

$$[0155] \quad \int_{-\pi}^{\pi} d\phi \quad \left\{ \frac{(\vec{T}, \vec{W})}{|\vec{W}|^4 |\vec{T}|} \times (R \sin \theta_1 \cos \phi - L) \right\}$$

[0156] [数学式19]

$$[0157] \quad \int_{-\pi}^{\pi} d\phi \quad \left\{ \frac{(\vec{T}, \vec{W})}{|\vec{W}|^4 |\vec{T}|} \times (-R \sin \theta_1 \sin \phi) \right\} = 0$$

[0158] 此外,如上所述,关于旋转方向( $\phi$ 方向)的分量,由于变为关于 $\phi$ 的奇函数的积分,因此为零(0)。

[0159] 为了获得这些数值,若进行数值积分或解析性地求出积分,则能模拟出蒸镀状态。图10示出了根据上述COS准则的精确解求出的垂直于光电转换基板21(蒸镀面)的方向的分量。

[0160] 图10是利用曲线图来表示在将入射角 $\theta_1$ 设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的结晶生长向量的垂直分量的相对长度相对于距离光电转换基板21(蒸镀面)的中心的长度(动径)L的变化的图。图10中,将实际的值假定为距离 $L_0$ 及距离R, $L_0=1\text{m}$ , $R=1.5\text{m}$ 。长度L,将0至0.5m的范围内作为评价的对象。若是边长为17英寸的光电转换基板21,则长度L的最大值为 $0.3\text{m}(=0.43 \div 2 \times \sqrt{2})$ ,并满足 $L \leq 0.5\text{m}$ 。

[0161] 如图10可知,具有如下的特征:即使长度L发生变化,结晶生长向量的垂直分量的均一性也较好。也就是说,可知,在 $45^\circ \leq \theta_1 \leq 70^\circ$ 中,结晶生长向量的垂直分量的均一性较好。此外,也就是说确保了蒸镀膜厚(荧光体膜22的厚度)的均一性。另外,还可知,通过替换入射角 $\theta_1$ ,结晶生长向量的垂直分量(蒸镀膜厚)整体偏移。此外,还可知,随着入射角 $\theta_1$ 的增大,蒸镀效率下降。

[0162] 另一方面,图11示出了动径方向的分量。图11是利用曲线图来表示在将入射角 $\theta_1$ 设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的结晶生长向量的动径方向的分量的相对长度相对于距离光电转换基板21(蒸镀面)的中心的长度(动径)L的变化的图。图11中, $L_0=1\text{m}$ , $R=1.5\text{m}$ 。长度L将0至0.5m的范围内作为评价的对象。

[0163] 在图11的纵轴上,将光电转换基板21的内侧方向设为-,将光电转换基板21的外侧方向设为+。若是-,则柱状结晶向内侧方向倾斜,相反,若是+,则柱状结晶向外侧方向倾斜。

[0164] 如图11可知,在光电转换基板21(蒸镀面)的中心(转轴)的位置上,通过光电转换基板21的旋转,能获得结晶生长向量的动径分量得到平均化的效果,使得动径方向的分量变为0。另一方面,随着长度L的增大( $L>0$ ),结晶生长向量的动径分量也趋于增大。上述趋势示出了结晶生长向量的动径分量较大程度地依赖于入射角 $\theta_1$ 。从结果上看,在 $55^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ 中,柱状结晶几乎没有倾斜。若观察结晶生长向量的动径分量与垂直分量的比率,则在 $L \leq 0.3\text{m}$ 的情况下,动径分量与垂直分量的比收敛于 $\pm 3\%$ 以内。即使是 $50^\circ \leq \theta_1 \leq 65^\circ$ ,若 $L \leq 0.3\text{m}$ ,则动径分量与垂直分量的比收敛于 $\pm 10\%$ 以内。能够期待获得实用性非常良好且具有垂直性的结晶。

[0165] 如上所述,在图10及图11中,示出了在 $L_0=1\text{m}$ 、 $R=1.5\text{m}$ 的情况下进行评价的结果。接

下来,图12及图13示出了在 $L_0=1\text{m}$ 、 $R=1\text{m}$ 的情况下进行评价的结果。

[0166] 图12是利用曲线图来表示在将入射角 $\theta_1$ 设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的结晶生长向量的垂直分量的相对长度相对于距离光电转换基板21(蒸镀面)的中心的长度(动径) $L$ 的变化的图。图13是利用曲线图来表示在将入射角 $\theta_1$ 设为 $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$ 时的结晶生长向量的动径方向的分量的相对长度相对于距离光电转换基板21(蒸镀面)的中心的长度(动径) $L$ 的变化的图。在图12及图13中,对于长度 $L$ ,将0至0.5m的范围内作为评价的对象。

[0167] 如图12及图13所示,结果示出了与图10及图11( $R=1.5\text{m}$ )相类似的趋势。其中,可知,若距离 $R$ 缩短,则结晶生长向量的垂直分量的均一性下降,结晶生长向量的动径分量的斜率变动变大。

[0168] 然而,在该情况下也得到与图10及图11所示示例相同的结论。从结果上看,在 $55^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ 中,柱状结晶几乎没有倾斜。若观察结晶生长向量的动径分量与垂直分量的比率,则在 $L \leq 0.3\text{m}$ 的情况下,动径分量与垂直分量的比收敛于 $\pm 6.5\%$ 以内。通过将光电转换基板21配置成使得 $55^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ ,并将入射角设定在规定范围内,从而能期待结晶垂直性进一步的提升。

[0169] 即使是 $50^\circ \leq \theta_1 \leq 65^\circ$ ,若 $L \leq 0.3\text{m}$ ,则该结晶生长向量的动径分量与垂直分量的比收敛于 $-13\%$ 至 $+10\%$ 的范围内,能够期待获得垂直性较好的结晶。因此,在需要垂直性更好的闪烁材料的结晶的情况下,更优选为设定成 $50^\circ \leq \theta_1 \leq 65^\circ$ 。

[0170] 接着,对蒸镀期间的光电转换基板21的温度进行说明。

[0171] 在通常的蒸镀过程中,采用通过对被蒸镀基板进行加热来增强蒸镀膜的附着力的方法。该目标在于,通过提高入射至被蒸镀基板的蒸发元素与被蒸镀基板的表面的活性状态,来增强蒸镀膜的附着力。

[0172] 然而,光电转换基板21是在玻璃基板上装入以a-Si为基材的TFT26或PD27的基板。另外,虽然在对上述光电转换基板21的结构进行说明时进行了省略,但在光电转换基板21的上层形成有保护层。保护层用于使光电转换基板21的表面平滑,对其进行保护,并确保电绝缘性。保护层根据其所要求的功能由有机膜、或有机膜与较薄的无机膜构成的层叠膜来形成。

[0173] 在将闪烁材料蒸镀至光电转换基板21的表面时,在光电转换基板21的温度上升的情况下,光电转换基板21可能会受到损坏,荧光体膜22的附着力可能会下降等,使得可靠性变差。此外,在X射线显像管中,采用将闪烁材料蒸镀至由铝形成的基板上的方法以及结构,因此蒸镀时基板的温度不成为问题。

[0174] 如上所述,若在考虑TFT26以及PD27的同时,还要将布线部的连接部等考虑在内,则优选为将光电转换基板21的温度抑制在200几十 $^\circ\text{C}$ 以内。此外,若将有机膜(保护膜)考虑在内,则优选为将光电转换基板21的温度抑制得比上述温度更低。

[0175] 根据光学特性或光蚀刻图案形成功能等的要求,有机膜的材料特别多的使用丙烯酸树脂类或硅胶类等有机树脂剂。此外,环氧类树脂等也能作为保护膜的材料,但是任何的有机树脂中都存在玻璃软化点,在该玻璃软化点以上的温度下,有机膜的热膨胀系数开始增加,有机膜开始软化。

[0176] 因此,在蒸镀时的保护膜(光电转换基板21)的温度大幅度地超过玻璃软化点的情



况下,蒸镀膜趋于稳定。尤其是,在光电转换基板21上开始形成荧光体膜22的蒸镀初期,对于蒸镀膜的稳定度带来较大的影响。另一方面,在考虑到荧光体膜22(结晶膜)的形成的情况下,蒸镀过程中的光电转换基板21的温度优选为更高的温度。

[0177] 这里,本申请的发明人对蒸镀期间内,相对于光电转换基板21的温度变化而发生的荧光体膜22的状态的变化进行了调查。然后,对所形成的荧光体膜22上是否产生剥离进行了调查,并对荧光体膜22的质量进行判定。在调查时,在蒸镀初期、以及蒸镀初期以后,对蒸镀期间的光电转换基板21的温度进行改变。这里,所谓的蒸镀初期是指开始在光电转换基板21上形成荧光体膜22的时刻。具体而言,能够通过将设置于钳锅32的前端部(蒸发口)的阀门开启,来设定该时刻。以下表1示出了调查结果。[表1]

[0178]

| 蒸镀初期的<br>光电转换基板的<br>温度[°C] | 蒸镀初期以后的<br>光电转换基板的<br>温度[°C] | 结果                                    | 判定 |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|----|
| 100                        | 125                          | 荧光体膜上未产生剥离<br>即使经过强制试验荧光体<br>膜上也未产生剥离 | 优  |
| 125                        | 160~170                      | 荧光体膜上未产生剥离<br>即使经过强制试验荧光体<br>膜上也未产生剥离 | 优  |
| 140                        | 170~190                      | 荧光体膜上未产生剥离<br>经过强制试验荧光体膜上<br>产生局部剥离   | 良  |
| 150~180                    | 180~195                      | 荧光体膜上产生剥离                             | 差  |

[0179] 如表1所示,分别将蒸镀初期的光电转换基板21的温度调整为100°C,将蒸镀初期以后的光电转换基板21的温度调整为125°C,由此,所形成的荧光体膜22上未产生剥离,并且即使经过强制试验,荧光体膜22上也未产生剥离。这里,所谓的强制试验是指如下的方法:即,例如将一定量的环氧树脂等固化收缩性树脂涂布至荧光体膜22上,并利用由于固化收缩而产生的膜应力对局部强制施加负载。

[0180] 分别将蒸镀初期的光电转换基板21的温度调整为125°C,将蒸镀初期以后的光电转换基板21的温度调整为160至170°C,由此,所形成的荧光体膜22上未产生剥离,并且即使经过强制试验,荧光体膜22上也未产生剥离。

[0181] 分别将蒸镀初期的光电转换基板21的温度调整为140°C,将蒸镀初期以后的光电转换基板21的温度调整为170至190°C,由此,所形成的荧光体膜22上未产生剥离,但经过强制试验后,荧光体膜22上产生剥离。

[0182] 分别将蒸镀初期的光电转换基板21的温度调整为150至180°C,将蒸镀初期以后的

光电转换基板21的温度调整为180至195℃,由此,所形成的荧光体膜22上产生剥离。

[0183] 关于荧光体膜22在光电转换基板21上的附着稳定性,尤其受到蒸镀初期的光电转换基板21的温度的影响较大。在蒸镀初期的光电转换基板21的温度超过140℃的情况下,预想所形成的荧光体膜22上产生剥离的危险大幅度增加。因此,优选将蒸镀初期的光电转换基板21的温度抑制在140℃以下。

[0184] 另外,如上所述,在蒸镀初期以后,即使在125℃的温度条件下,也能形成不产生膜剥离的合适的荧光体膜22。此外,虽然在低于125℃的低温侧也能成膜,但是蒸镀初期以后的温度条件与荧光体膜22的结晶生长条件相关联,因此预想也对灵敏度等荧光体膜22的特性产生影响。由此,125℃以上是适当的范围。

[0185] 因此,在蒸镀初期以后,优选将光电转换基板21的温度设定在125℃至190℃的范围内,由此,能形成不会产生剥离的荧光体膜22。如上所述,根据荧光体膜22在光电转换基板21上的附着稳定性的观点,来判断蒸镀期间的光电转换基板21的温度的上限。

[0186] 另一方面,从特性方面来看,蒸镀期间的光电转换基板21的温度的下限受到限制。这里,本申请的发明人发现,X射线检测面板2的灵敏度特性与蒸镀初期的光电转换基板21的温度具有相关性。

[0187] 蒸镀初期的光电转换基板21的温度在65℃至85℃的范围内,虽然受到诸多因素的影响,但是平均来看,灵敏度特性以大约0.6倍的比率与蒸镀初期的光电转换基板21的温度成正比。因此,蒸镀初期的光电转换基板21的温度越低,X射线检测面板2的灵敏度特性也越差。

[0188] 另外,还有如下趋势,在蒸镀初期的光电转换基板21的温度下降的情况下,蒸镀初期以后的光电转换基板21的温度也下降。设想其结果是,对上述结晶生长带来影响。另外,还能确认上述那样的灵敏度下降现象。因此,在将X射线检测面板2示出低灵敏度的风险考虑在内的情况下,蒸镀初期的光电转换基板21的温度优选为70℃以上。

[0189] 从上述研究结果来看,在本实施方式中,在将闪烁材料蒸镀至光电转换基板21时,优选将蒸镀初期的光电转换基板21的温度控制在70℃至140℃的范围内,并将蒸镀初期以后的光电转换基板21的温度控制在125℃至190℃的范围内。

[0190] 另外,进一步优选为,将蒸镀初期的光电转换基板21的温度控制在70℃至125℃的范围内,将蒸镀初期以后的光电转换基板21的温度控制在125℃至170℃的范围内。

[0191] 接下来,对真空腔31内部产生的热传导进行说明。

[0192] 图14是表示图3所示的光电转换基板21、热导体36、保持机构37以及散热部38的图,是对热导体36的功能进行说明的示意图。如上所述,为了形成荧光体膜22,对钳锅32使用大型的钳锅,在钳锅32内投入数kg(例如6kg)以上的闪烁材料。为了使钳锅32的温度高于CsI的熔融温度,将其加热至大于700℃。

[0193] 如图3及图8所示,因此,来自钳锅32的放射(辐射)热量较大,因此位于真空腔31内的上方的光电转换基板21得到较强的加热。此外,由于蒸镀过程中的蒸镀元素将热能带入光电转换基板,因此光电转换基板21的温度大幅度上升。

[0194] 因此,将热导体36配置成与光电转换基板21及保持机构37的整个区域相对。这里,将光电转换基板21及保持机构37与热导体36相对的面设为表面S1,将散热部38与热导体36相对的面设为背面S2。由此,热导体36能利用表面S1一侧吸收来自光电转换基

板21及保持机构37的辐射热量,因此能抑制光电转换基板21过热,并能将光电转换基板21的温度控制为上述那样适当的值。

[0195] 另外,热导体36能够从背面S2一侧将辐射热量发散至散热部38。在不对散热部38的加热器进行驱动的情况下,散热部38起到通过热传导将热量传递至真空腔31的作用。

[0196] 辐射热量在相对的两者间的距离较短的情况下,能更有效地传递。因此,在本实施方式中,将热导体36设置在保持机构37(光电转换基板21)与散热部38之间,尽可能地缩短热导体36与保持机构37(光电转换基板21)之间的距离,以及热导体36与散热部38之间的距离。

[0197] 另外,优选为,分别使表面S1与背面S2的辐射率接近1,利用热传导率较高的材料来形成热导体36,由此,能进一步抑制光电转换基板21过热。

[0198] 在本实施方式中,对热导体36的表面S1与背面S2均实施了黑化处理。由此,能确保热导体36具有较高的辐射率。这是由于,与由铝等形成的金属光泽面的辐射率为几10%左右相比,实施了黑化处理的表面S1及背面S2的辐射率大约为95%。可知,来自表面S1及背面S2的辐射接近于完全黑体辐射。此外,若在保持机构37的表面以及散热部38的表面也实施提高辐射率的表面处理(黑化处理),则效果更佳。

[0199] 在如上述那样构成的X射线检测面板的制造方法的情况下,在制造放射线面板时,在将光电转换基板21配置成使得在光电转换基板21的中心处满足 $45^{\circ} \leq \theta \leq 70^{\circ}$ 。接下来,将闪烁材料蒸镀于光电转换基板21上来形成荧光体膜22。

[0200] 通过在光电转换基板21的中心处满足 $45^{\circ} \leq \theta$ ,能够降低真空排气装置等的装置负载,并能实现生产效率、闪烁材料的使用效率的提高。尤其是在制造大型的X射线检测面板2时,能提高生产效率。另外,通过在光电转换基板21的中心处满足 $\theta \leq 70^{\circ}$ ,能够使得 $(D_h/D_v) < 1$ ,并能形成更细的柱状结晶,因此能够有利于X射线检测面板2的分辨率的提高。

[0201] 使用在将压力设定为 $1 \times 10^{-2}$ Pa以下的环境下进行的真空蒸镀法。由此,能减小柱状结晶变粗的生长,并能促进沿着光电转换基板21的法线方向上的结晶生长。

[0202] 将光电转换基板21的转速设定为4rpm以上。由此,MTF值逐渐增大,因此能有利于X射线检测面板2的分辨率的提高。

[0203] 在将闪烁材料蒸镀至光电转换基板21上时,将蒸镀初期的光电转换基板21的温度控制在70℃至140℃的范围内,并将蒸镀初期以后的光电转换基板21的温度控制在125℃至190℃的范围内。由此,能够形成不产生剥离的荧光体膜22,并能有利于形成敏感度特性优异的X射线检测面板2。

[0204] 如上所述,能够获得一种X射线检测面板2的制造方法,该制造方法能实现生产效率的提升,并能形成有利于X射线检测面板2的分辨率特性的提升的荧光体膜22。另外,还能获得一种X射线检测面板2的制造方法,该制造方法能够形成制造良品率较高的荧光体膜22。

[0205] 对本发明的一个实施方式进行了说明,但该实施方式是作为示例提出的,并不对本发明的范围进行限定。这些新的实施方式能以各种其它形式来实施,在不脱离本发明思想的范围内,能进行各种省略、替换、变更。这些实施方式及其变形均包含在本发明的范围、本发明思想内,并包含在本专利申请权利要求所记载的发明及与其等同的范围内。

[0206] 例如,在上述实施方式中,同时制造两块X射线检测面板2,但在仅制造一块X射线

检测面板2时、或同时制造三块X射线检测面板2时,也能获得上述效果。在同时制造三块X射线检测面板2的情况下,真空蒸镀装置30中的热导体36、保持机构37、散热部38以及电动机39各具备三个。例如,三个保持机构37能够在以钳锅32的中心轴(垂直轴)为中心的周向上分别隔开120°等间隔地配置。

[0207] 也可以在钳锅32内仅投入CsI。在该情况下,将TlI投入到与钳锅32(大型钳锅)分开准备的钳锅(小型钳锅)中,同时蒸镀CsI及TlI,也能获得上述效果。

[0208] 热导体36的形状不局限于板状,也可以采用模块结构等各种变形。热导体36只要形成为与光电转换基板21的配置、保持机构37的形状、与散热部38的位置关系等相对应的形状即可。在上述实施方式中,为提高热传导率而使用铝来形成热导体36,但是并不局限于铝,可以进行各种变形,也可以利用铜(Cu)等材料来形成热导体36。

[0209] 在上述实施方式中,对闪烁材料使用以碘化铯(CsI)为主要成分的材料,但并不局限于此,即使对闪烁材料使用其它材料也能获得与上述实施方式相类似的效果。

[0210] 上述技术并不局限于应用于X射线检测面板的制造装置及制造方法,也能应用于各种放射线检测面板的制造装置及制造方法。

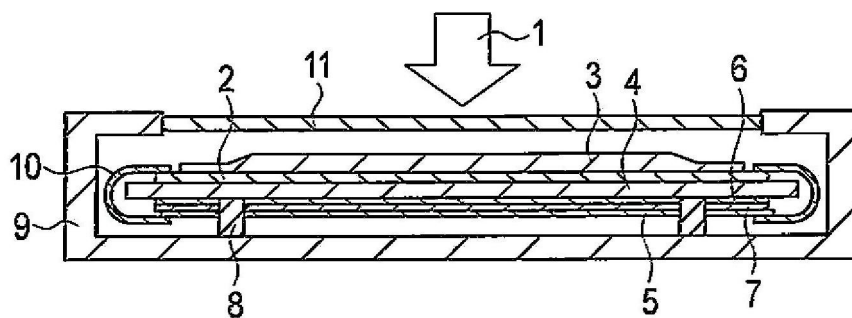


图1

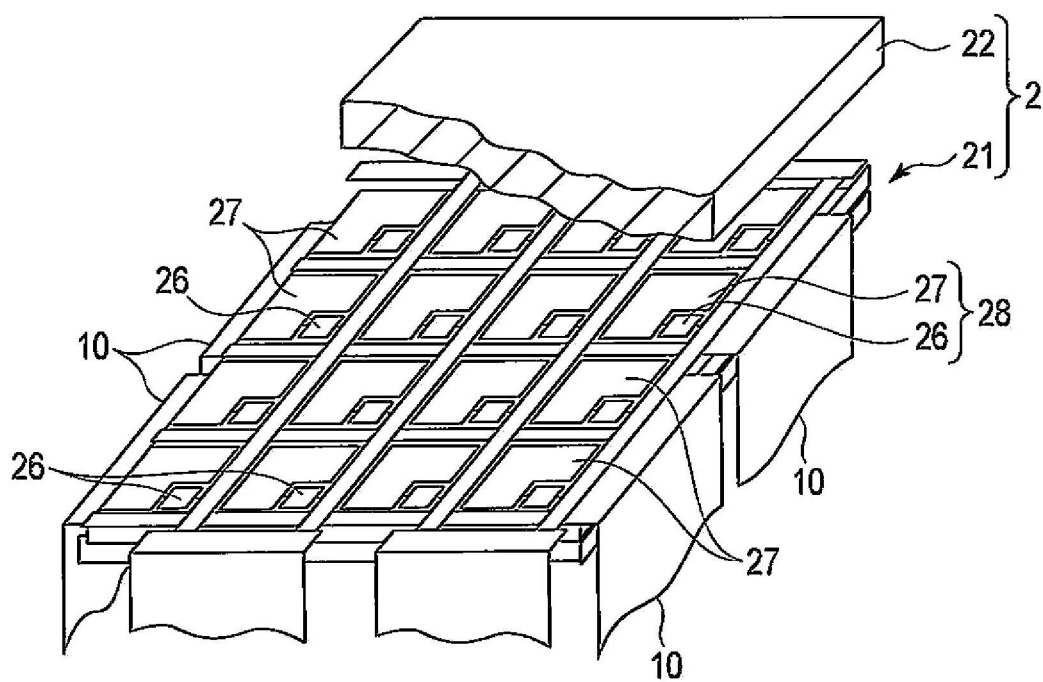


图2

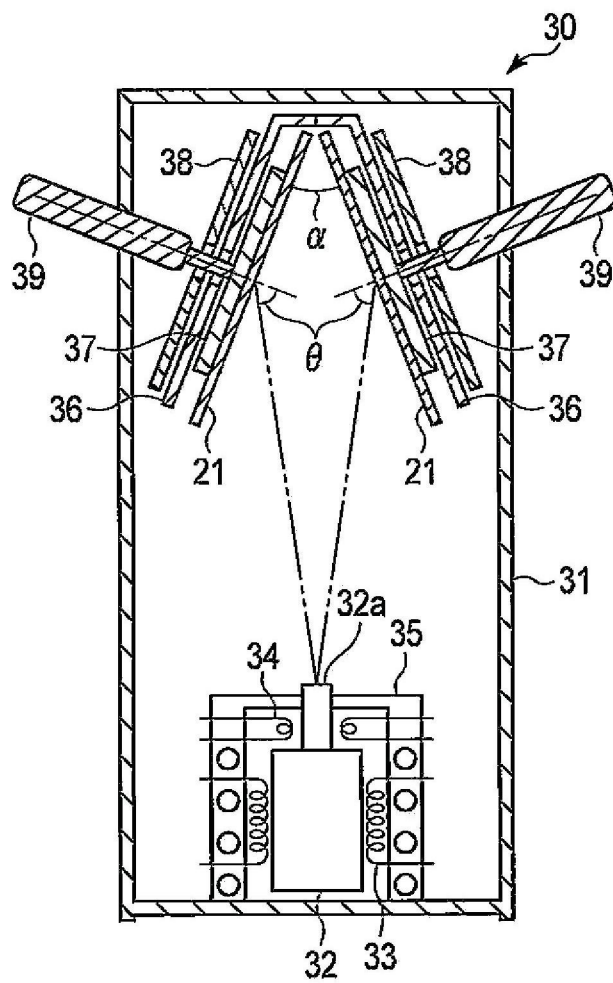


图3

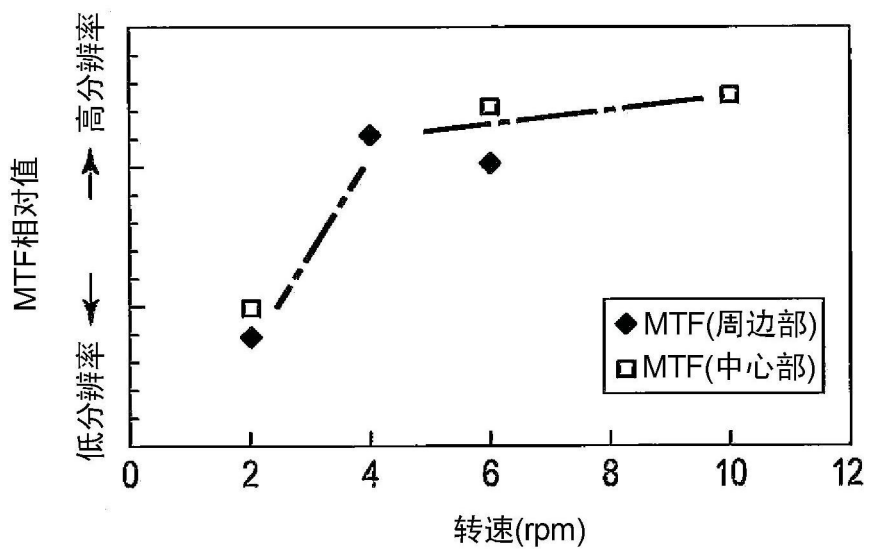


图4

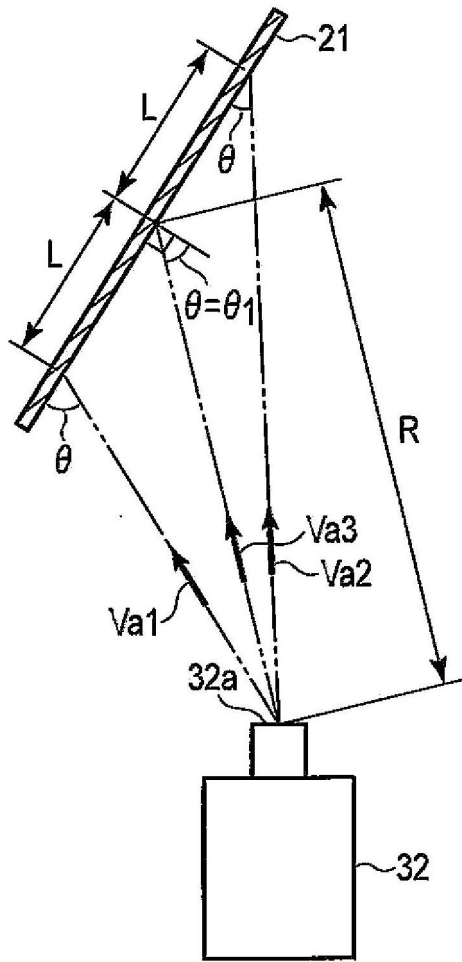


图5

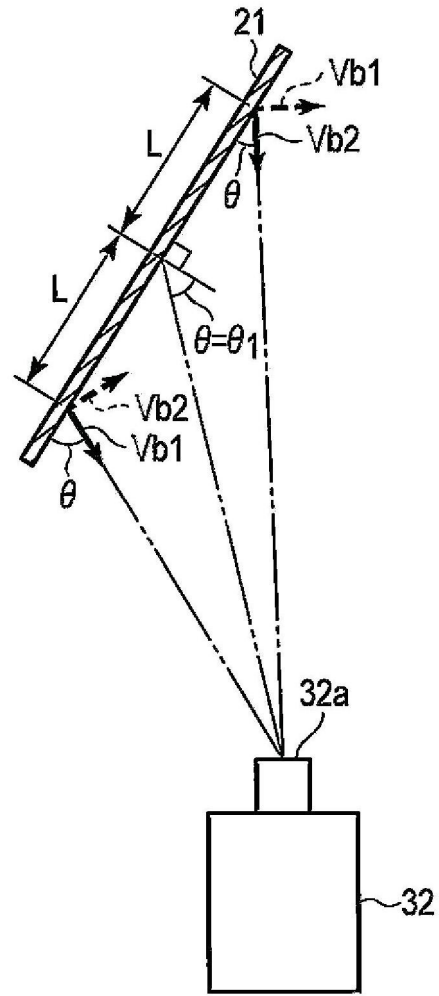


图6

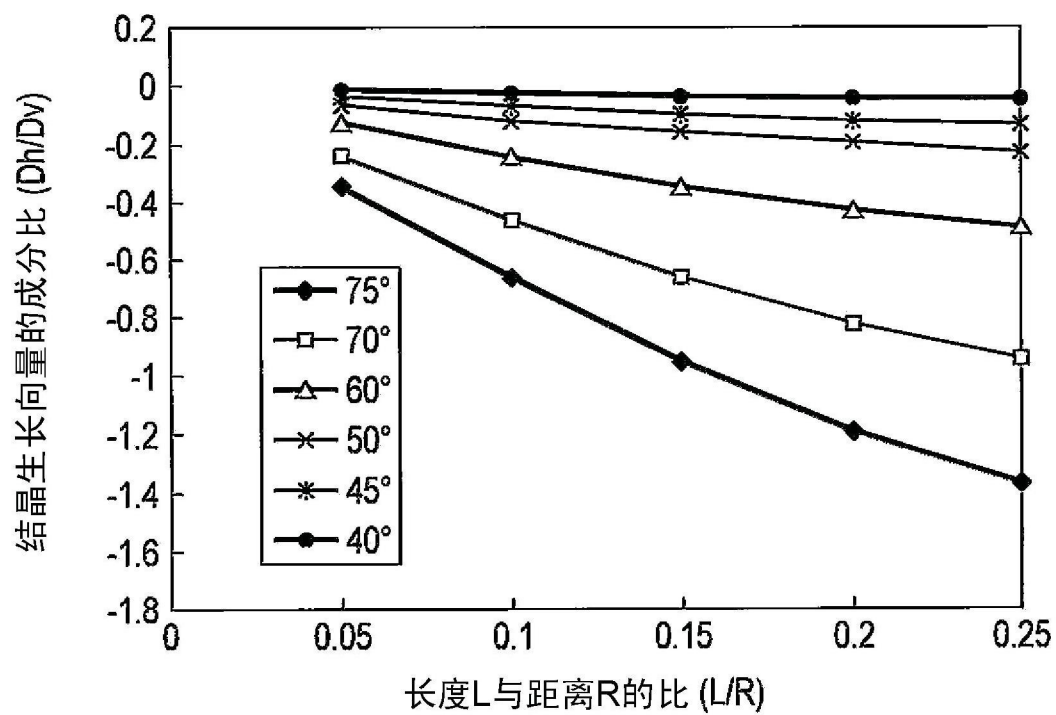


图7

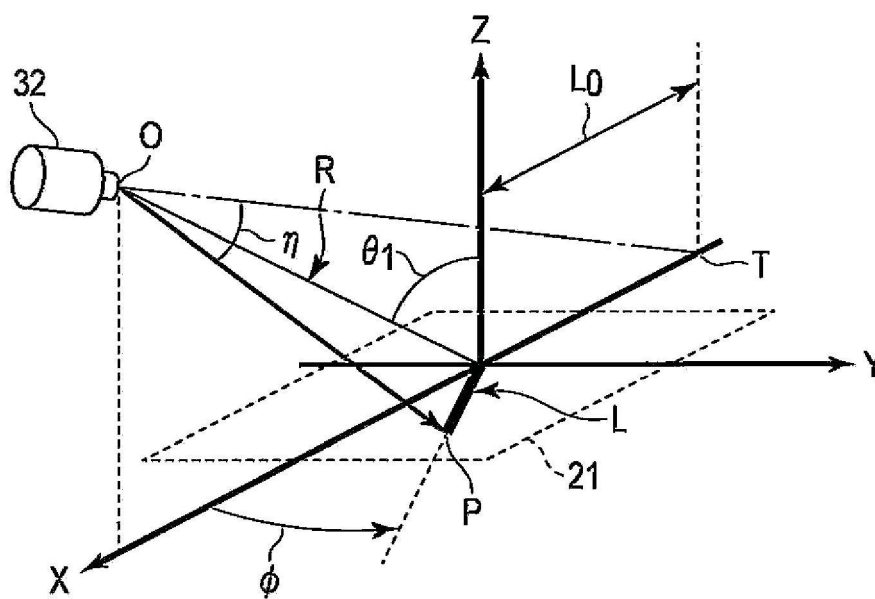


图8



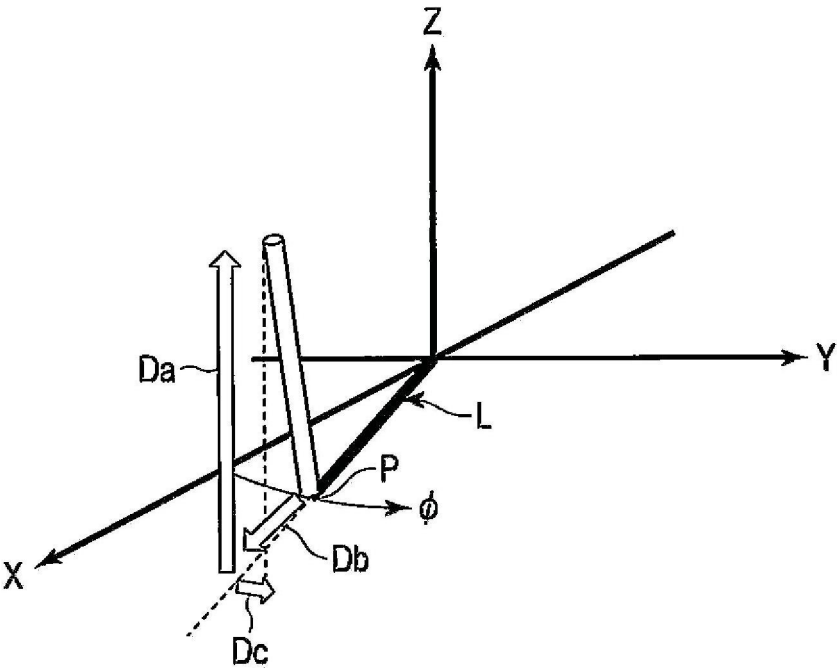


图9

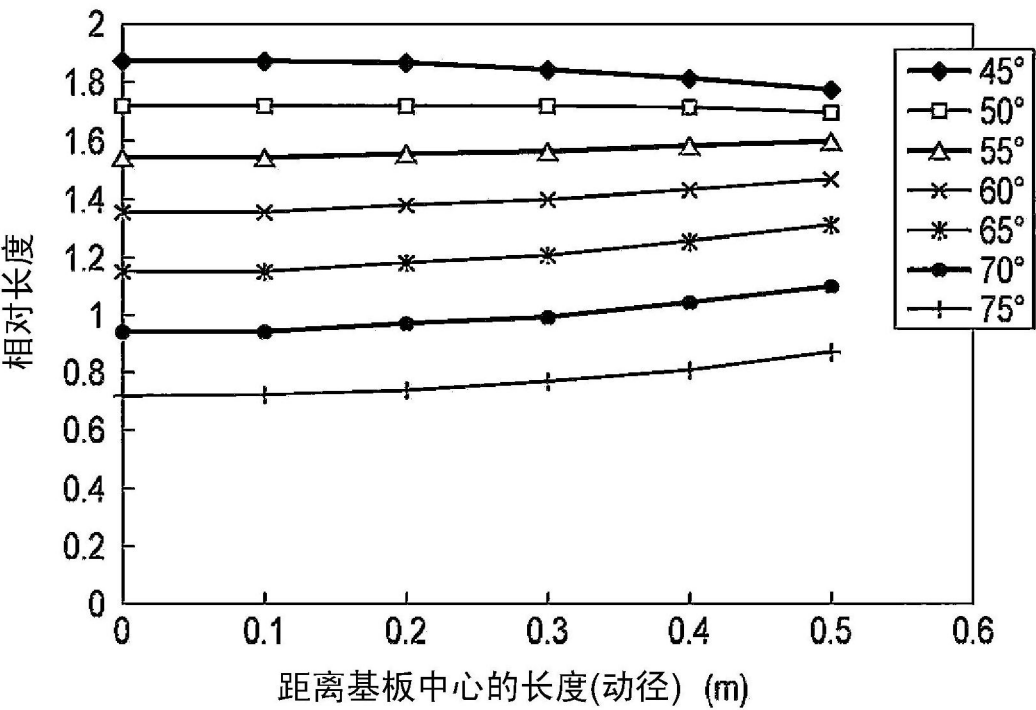


图10

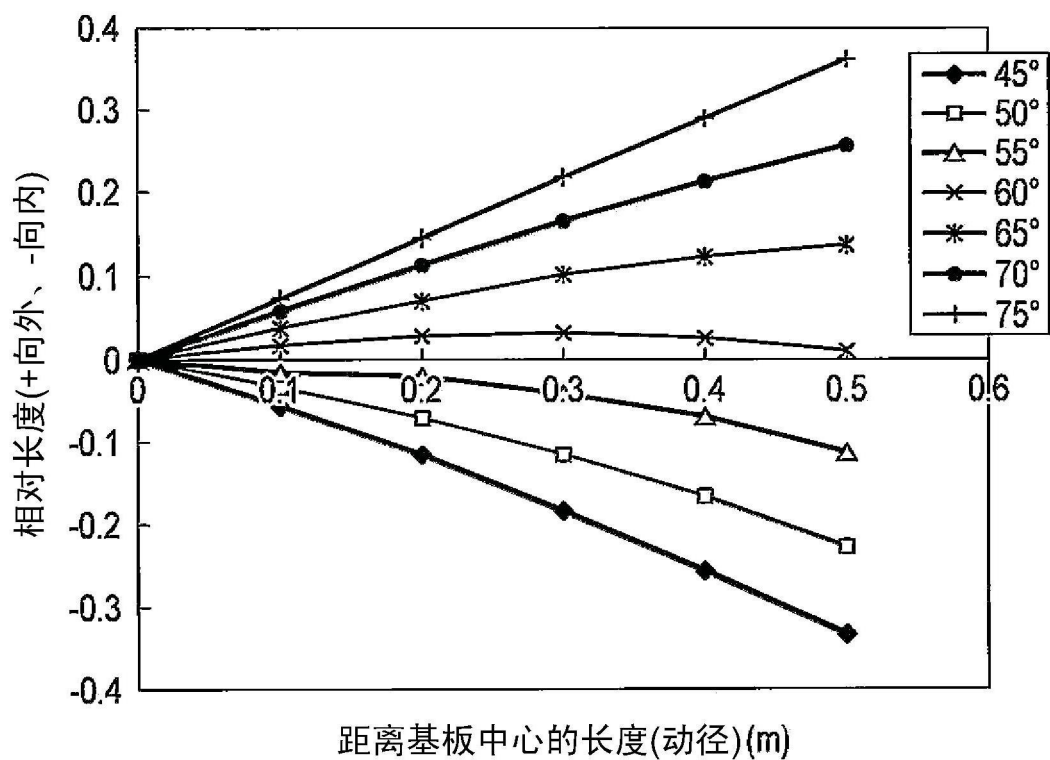


图11

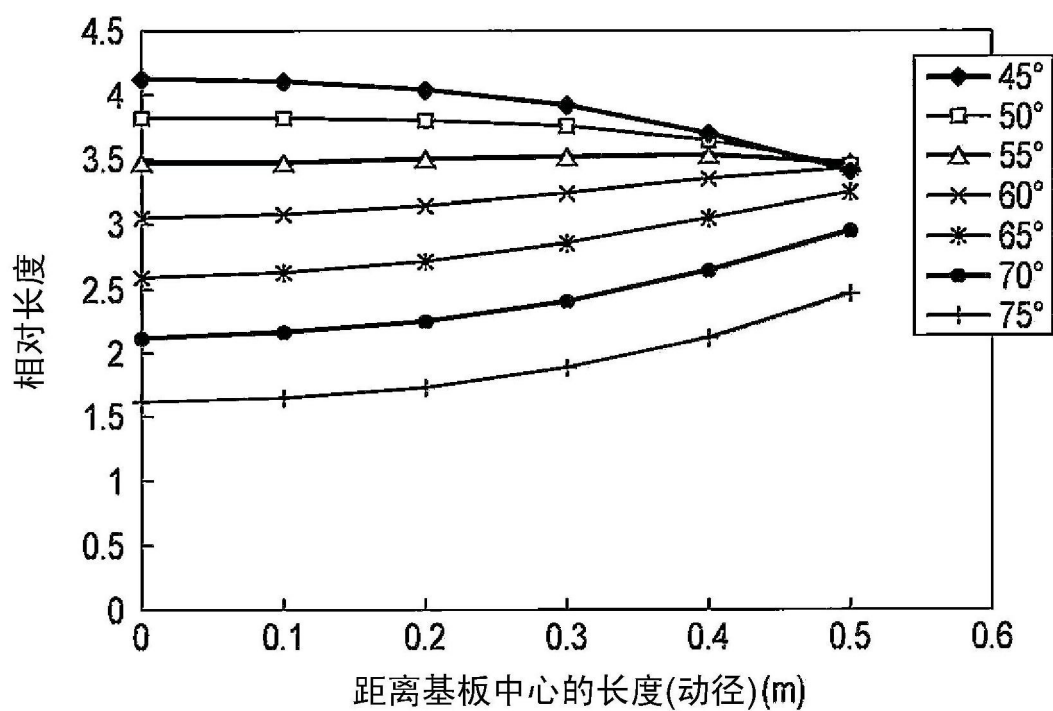


图12

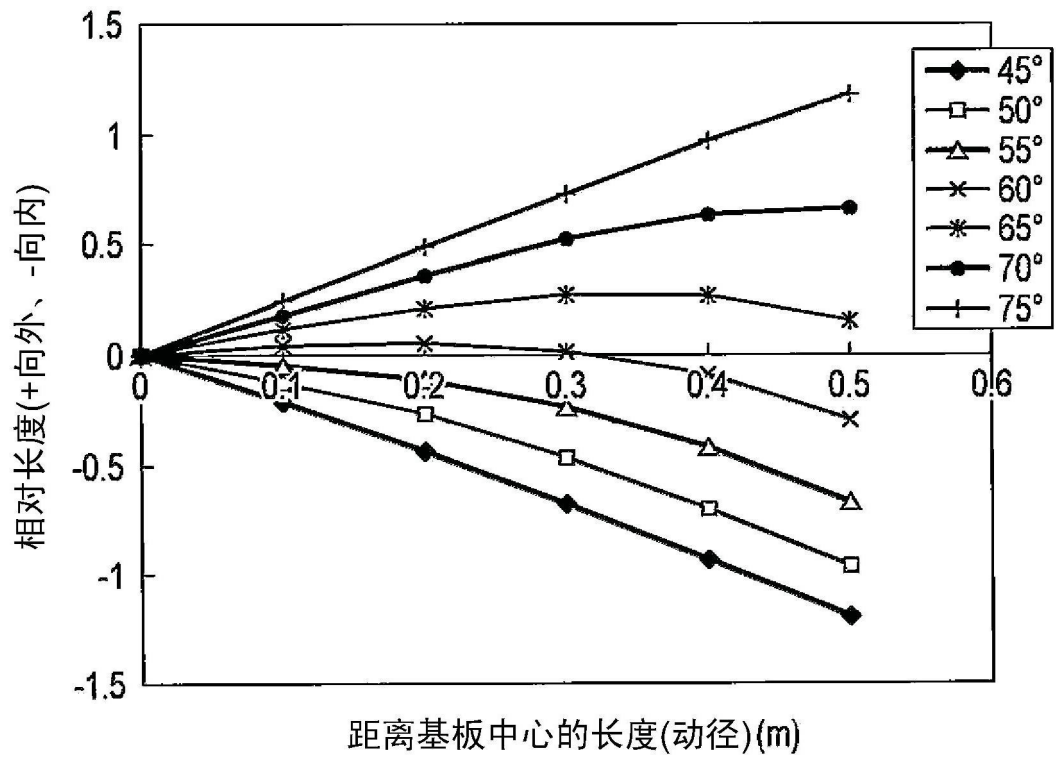


图13

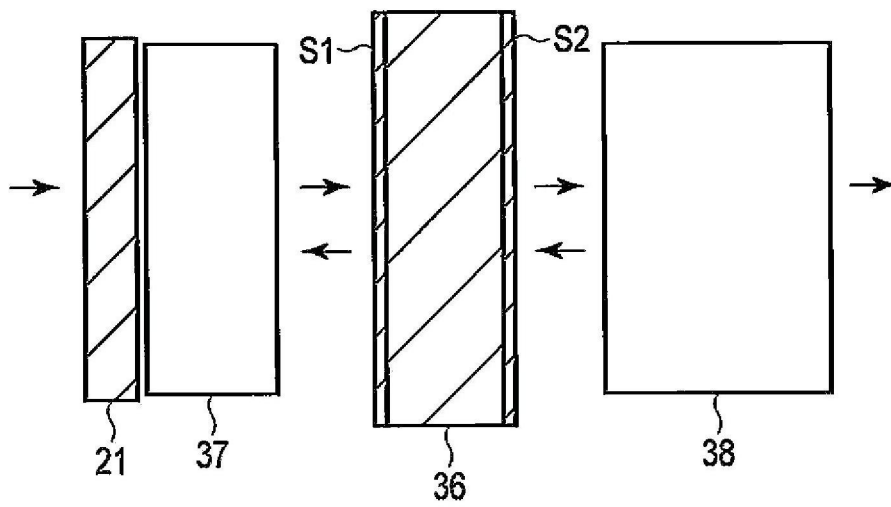


图14