

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410059047.1

[51] Int. Cl.

H01L 21/20 (2006.01)
H01L 21/324 (2006.01)
H01L 21/00 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)
H01L 29/786 (2006.01)
G02F 1/136 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 11 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100437906C

[22] 申请日 2004.7.29

[21] 申请号 200410059047.1

[30] 优先权

[32] 2003.10.24 [33] JP [31] 364539/2003

[73] 专利权人 株式会社日立显示器

地址 日本千叶县

[72] 发明人 武田一男 佐藤健史 斋藤雅和
后藤顺

[56] 参考文献

US2003/0003610A1 2003.1.2

CN1285423A 2001.2.28

US5756364A 1998.5.26

US2003/0132205A1 2003.7.17

CN1387674A 2002.12.25

审查员 杨丽丽

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 岳耀锋

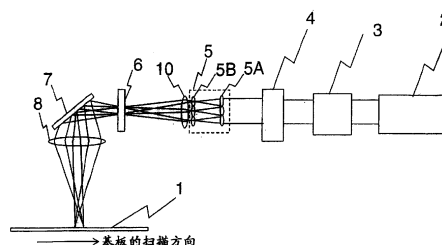
权利要求书 3 页 说明书 25 页 附图 15 页

[54] 发明名称

半导体薄膜的改性方法

[57] 摘要

提供一种半导体薄膜及其改性方法、评价方法和应用。在用激光退火法形成多晶态半导体的方法中,降低多晶态半导体膜的表面粗糙度。在激光退火装置的光学系统中设置透射率分布滤光器,将形成了非晶态硅半导体薄膜的基板上的扫描方向的照射光强度分布,控制成有高能光强度侧的微晶阈值以上的能量区和只熔化表层的能量区的分布,通过应用于利用通常的线光束的受激准分子激光退火法、或相位移动条纹掩模法、或 SLS 法中,能降低用各种方法获得的多晶的表面突起的高度。



1、一种半导体薄膜的改性方法，通过光学系统形成呈线光束形状的激光，使上述激光一边沿着与该线光束的长轴方向交叉的方向进行扫描，一边照射非晶态半导体薄膜，进行晶体化，将该非晶态半导体薄膜改性成多晶态半导体薄膜，其中该光学系统具备：调整来自激光光源的激光强度的衰减器；设置在上述衰减器的后级的长轴均化器；设置在上述长轴均化器的后级的短轴均化器；设置在上述短轴均化器的后级的第一透镜；设置在上述第一透镜的后级的反射镜和第二透镜，该方法的特征在于：

把上述线光束内的光强度分布控制成以下这样的面内分布：使得透过设置在由上述短轴均化器后的上述第一透镜产生的一次成像面的位置处的形成了透射率的面内分布的滤波器，并在上述线光束的短轴方向上不同，由此进行上述晶体化。

2、一种半导体薄膜的改性方法，通过光学系统形成呈线光束形状的激光，使上述激光一边沿着与该线光束的长轴方向交叉的方向进行扫描，一边照射非晶态半导体薄膜，进行晶体化，将该非晶态半导体薄膜改性成多晶态半导体薄膜，其中该光学系统具备：调整来自激光光源的激光强度的衰减器；设置在上述衰减器的后级的长轴均化器；设置在上述长轴均化器的后级，由相对的一组柱面透镜阵列形成的短轴均化器；设置在上述短轴均化器的后级的第一透镜；设置在上述第一透镜的后级的反射镜和第二透镜，该方法的特征在于：

把上述线光束内的光强度分布控制成以下这样的面内分布：使得透过以下这样的滤波器，即相对于上述短轴均化器在上述激光光源侧与上述短轴均化器接近地设置，与构成上述短轴均化器的柱面透镜阵列的激光光源侧的透镜阵列对应地将反射率控制涂敷膜形成为条纹状的滤波器，并在上述线光束的短轴方向上不同，由此进行上述晶体化。

3、一种半导体薄膜的改性方法，通过光学系统形成呈线光束形状的激光，通过使上述激光一边进行扫描，一边照射非晶态半导体薄

膜，进行晶体化，将该非晶态半导体薄膜改性成多晶态半导体薄膜，其中该光学系统具备：调整来自激光光源的激光强度的衰减器；设置在上述衰减器的后级的长轴均化器；设置在上述长轴均化器的后级的短轴均化器；设置在上述短轴均化器的后级的第一透镜；设置在上述第一透镜的后级的反射镜和第二透镜，该方法的特征在于：

将上述激光在上述扫描方向上的照射激光内的光强度分布控制成：使得透过设置在基板正上方的相位移动条纹掩模、形成了设置在上述第一透镜的一次成像面上的反射膜和反射防止膜的滤波器，并且由具有使改性后的上述多晶态半导体薄膜在厚度方向上全部熔化的能量的区域、以及具有使该多晶态半导体薄膜在厚度方向上只熔化表层的能量的区域构成的强度分布，进行晶体化。

4、一种半导体薄膜的改性方法，通过光学系统形成呈线光束形状的激光，使上述激光一边进行扫描，一边照射非晶态半导体薄膜，进行晶体化，将该非晶态半导体薄膜改性成多晶态半导体薄膜，其中该光学系统具备：调整来自激光光源的激光强度的衰减器；设置在上述衰减器的后级的长轴均化器；设置在上述长轴均化器的后级，由相对的一组柱面透镜阵列形成的短轴均化器；设置在上述短轴均化器的后级的第一透镜；设置在上述第一透镜的后级的反射镜和第二透镜，该方法的特征在于：

将上述激光在上述扫描方向上的照射激光内的光强度分布控制成：使得透过设置在基板正上方的相位移动条纹掩模、相对于上述短轴均化器在上述激光光源侧与上述短轴均化器接近地设置，并与构成上述短轴均化器的柱面透镜阵列的激光光源侧的透镜阵列对应地将反射率控制涂敷膜形成成为条纹状的滤波器，并且在上述激光的短轴方向上，由具有使改性后的上述多晶态半导体薄膜在厚度方向上全部熔化的能量的区域、以及具有使该多晶态半导体薄膜在厚度方向上只熔化表层的能量的区域构成的强度分布，进行晶体化。

5、一种半导体薄膜的改性方法，通过光学系统形成具有包含多个明亮区域的强度分布的激光，通过使上述激光一边进行扫描，一边

照射非晶态半导体薄膜，进行晶体化，将该非晶态半导体薄膜改性成多晶态半导体薄膜，其中该光学系统具备：调整来自激光光源的激光强度的衰减器；设置在上述衰减器的后级的均化器；设置在上述均化器的后级的透镜；开口有多个狭缝，并且设置在上述透镜的后级的上述透镜的一次成像面上的掩模；设置在上述掩模的后级的成像透镜，该方法的特征在于：

将上述激光在上述扫描方向上的照射激光内的光强度分布控制成：使得透过设置在上述掩模的近旁并形成了反射膜和反射防止膜的滤波器，并且在上述激光的扫描方向上，由具有使改性后的上述多晶态半导体薄膜在厚度方向上全部熔化的能量的区域、以及具有使该多晶态半导体薄膜在厚度方向上只熔化表层的能量的区域构成的强度分布，进行晶体化。

半导体薄膜的改性方法

技术领域

本发明涉及将非晶态半导体薄膜改性成多晶态半导体薄膜用的半导体薄膜的改性方法、改性后的半导体薄膜的评价方法、用该半导体薄膜形成的薄膜晶体管、以及包括具有用该薄膜晶体管构成的电路的平板型图像显示装置的半导体装置。

背景技术

例如液晶显示装置等的平板型图像显示装置具有在适合采用玻璃的绝缘基板（以下也简称基板）上形成的半导体薄膜上制成的像素电路和驱动电路。作为构成像素电路和驱动电路的驱动元件，多半采用薄膜晶体管（TFT）。作为该薄膜晶体管的活性层，近年来代替非晶态半导体薄膜（典型地也称为非晶态硅半导体薄膜、或 a-Si 膜），而采用多晶态半导体薄膜（同样典型地也称为多晶态硅半导体薄膜、或 poly-Si 膜），能获得高度精细、高质量的图像显示。

以硅半导体薄膜为例，说明作为薄膜晶体管的活性层用的半导体薄膜。作为该活性层的半导体薄膜用多晶态硅半导体薄膜，能获得比使用非晶态硅半导体薄膜优异的特性。其理由能举出：多晶态硅半导体薄膜与非晶态硅半导体薄膜相比，载流子（n 沟道时为电子，p 沟道时为空穴）的迁移率高，其结果，能使单元尺寸（像素尺寸）小而达到高精细化。另外，用通常的多晶态硅半导体薄膜形成薄膜晶体管时，需要采用 1000℃ 以上（“以上”即“≥”）的高温工艺，但通过由激光进行的只是硅层的退火，使承载半导体薄膜的基板不致达到高温，而采用低温多晶态硅半导体薄膜形成技术，能使用廉价的玻璃基板，在这样的低温工艺中，能形成迁移率高的薄膜晶体管 TFT。

通常, 由于多晶态硅半导体薄膜的晶粒粒径越大迁移率越高, 所以作为形成粒径大的多晶态硅半导体薄膜的方法, 提出了各种各样的技术。一般说来, 如“专利文献 1”所述, 采用这样的方法: 将脉冲激光整形为线光束状, 使其强度分布的剖面呈梯形, 沿线光束的短轴方向以短轴宽度的 $1/20$ 左右的间距, 错开一个发射单位, 对非晶态硅半导体薄膜反复进行脉冲照射。非晶态硅半导体薄膜由于吸收照射的激光而温度上升, 由于熔化导致温度下降。伴随该过程引起硅半导体薄膜的晶体化, 非晶态硅半导体薄膜向多晶态硅半导体薄膜变化(这里, 称其为改性)。多晶态硅半导体薄膜的平均粒径依赖于所照射的激光的能量密度而变化, 但在非晶态硅半导体薄膜的晶体化所必要的最低能量密度以上的情况下, 如果提高能量密度, 则粒径增大, 但在某阈值以上时, 变成粒径平均为 100nm (纳米) 以下 (“以下” 即 “ $\leq$ ”) 的微晶。因此, 必须用该微晶的阈值以下的能量密度进行照射。

与此不同, 在“专利文献 2”中, 公开了这样一种方法: 使脉冲激光的照射区域的强度分布的剖面呈梯形, 强度分布曲线的最大强度为具有使非晶态硅半导体薄膜变化成呈微晶的多晶态硅半导体薄膜的阈值以上的值, 用该曲线的边缘的强度分布进行大粒径化。

以上, 是平均粒径为 $0.1\mu\text{m}$ 左右的技术, 在将厚度为例如 50nm 的非晶态硅半导体薄膜变成多晶态硅半导体薄膜的情况下, 粒径达到 $0.3\mu\text{m}$ 以上的激光能量密度的容限 (margin) 约为 10% 左右, 但其中一半左右突起的 PV 值为 70nm 以上。另外, 所谓 PV 值用测定范围内的膜表面高度的最高值和最低值的差来定义。

作为硅半导体薄膜的大粒径化技术的另一种方法, 有控制光强度分布的方法。作为该现有技术的一种, 如“专利文献 3”中公开的技术所述, 有称为横向晶体逐次生长法 (SLS 法) 的方法。该方法是通过将激光的强度分布细分成微米尺寸的多条单位光束, 沿面内方向形成温度梯度, 强制地促进横向的晶体生长。该方法中, 多个晶粒的晶体生长方向互相集中在边界上, 在表面上形成突起。

形成该突起的位置对应于各单位光束的光强度的峰值位置。这是

因为该位置的温度变得最高，所以从该峰值位置的两侧向该峰值位置进行晶体化，晶体生长集中在峰值位置。该突起比由上述的剖面呈梯形的进行了线光来整形的激光照射形成的多晶态硅半导体薄膜上的突起高，有时 PV 值达到 100nm 以上。

“专利文献 4”和“专利文献 7”中提出的方法是“专利文献 2”中公开的方法的改良技术，是一种通过先用高强度的能量照射激光后，再用强度比它低的能量进行照射的强度分布控制，使晶粒增大的方法。关于该分布控制的方法，通过改变焦点位置和基板表面的位置，能获得非对称的强度分布。但是，利用该方法获得非对称的分布形状的变化因果关系未公开。与此不同，在“专利文献 5”中，同样通过改变焦点位置和基板表面的位置，从梯形变成倒挂钟形状，与“专利文献 4”的结果矛盾。在“专利文献 6”中，虽然也用同样的照射分布获得大颗粒的晶体，但未说明形成激光光束的方法。

上述的现有技术是使用脉冲激光的技术。这样的使用脉冲激光的硅半导体薄膜晶体化方法、即这里所说的改性方法，由于在晶体化后的多晶态硅半导体薄膜的表面上形成突起，所以其表面凹凸大。因此，在该半导体薄膜上例如作成薄膜晶体管的情况下，必须使多晶态硅半导体薄膜上形成的栅绝缘膜厚一些。其结果，存在晶体管的导通电流与栅绝缘膜的厚度成反比地减少的问题。

作为降低由剖面呈梯形的激光的线光来照射形成的多晶态硅薄膜的突起用的改良方法，“专利文献 8”中公开了采用进行多次激光退火、分别用不同的能量密度进行照射的方法，来降低突起。专利文献 8 中公开的内容如下。即，非晶态硅半导体薄膜形成时含有的氢由于激光退火而急剧地释放，导致膜表面粗糙。这时，照射引起晶体化的阈值以下的低能量密度的激光，在晶体化退火之前使氢释放，防止膜表面破裂。

另外，作为采用 SLS 法的降低突起的方法，“专利文献 9”中公开了这样的方法：通过激光照射进行了晶体化退火后，用完全熔化的能量密度的 25%至 75%的值，进行两次激光照射，来降低突起。

可是, 以上的方法中有以下缺点。即, 为了多级照射激光, 有必要在基板上进行若干次激光扫描, 存在退火工序所需要的时间长的问题。另外, 在用分别不同的照射时间进行多种能量密度的多次扫描的情况下, 由于脉冲激光的重复频率是一定的, 所以照射时间不同会改变扫描速度, 在形成了半导体薄膜的基板上的各扫描激光的照射脉冲重叠的情况下, 有降低突起的效果在基板上发生斑驳的缺点。

即使采用降低突起的有效方法形成多晶态硅半导体薄膜, 但由于存在激光功率随时间变化或晶体化前非晶态硅薄膜厚的面内变化, 所以如果不包括晶体化后进行突起的检查、检测突起高的区域、换句话说检测表面粗糙度大的区域, 使该区域再次结晶等的工序, 则不能使基板全部表面呈管理基准以下的表面粗糙度。作为测量这样的表面粗糙度的众所周知的技术, 有利用原子间力显微镜进行的评价方法。可是, 在该方法中为了评价 $10\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 的微小区域至少需要几分钟, 所以在时间上不可能评价全部基板的表面粗糙度。

作为快速评价该表面粗糙度的方法, 在“专利文献 10”中示出了用表面光洁度(反射率)进行评价的方法。该方法由于用反射率进行评价, 所以有存在由多晶态硅半导体薄膜的厚度或玻璃基板和多晶态硅半导体薄膜之间的基底膜的厚度引起的干涉的缺点。关于快速评价多晶态硅半导体薄膜的粒径的面内分布的方法, 如“专利文献 11”所述, 已知用杂散光的角度分布的幅宽测量粒径的方法。

[专利文献 1] 日本专利申请特开昭 64-76715 号公报

[专利文献 2] 日本专利申请特开平 9-246183 号公报

[专利文献 3] WO97/45827 号公报

[专利文献 4] 日本专利申请特开平 10-64815 号公报

[专利文献 5] 日本专利申请特开平 10-312963 号公报

[专利文献 6] 日本专利申请特开 2000-11417 号公报

[专利文献 7] 日本专利申请特开 2002-313724 号公报

[专利文献 8] 日本专利申请特开 2000-353664 号公报

[专利文献 9] WO01/71791 号公报

[专利文献 10] 日本专利申请特开平 11-274078 号公报

[专利文献 11] 日本专利申请特开 2003-109902 号公报

为了降低对非晶态硅半导体薄膜进行激光退火而晶体化了的非晶态硅半导体薄膜的表面上形成的突起，在用多种能量密度的激光照射非晶态硅半导体薄膜的方法中，每一种照射的激光的能量密度的扫描次数增多，存在晶体化工序的时间长的缺点。另外，由扫描间距不同的多个扫描重叠引起的降低突起的效果，有在基板上（玻璃等基板上形成的半导体薄膜上，下同）出现斑驳的缺点。用图说明该缺点。

图 22 是激光照射能量密度随时间变化的说明图。图 22 的纵轴上的 E_{th} 表示引起晶体化的下限的阈值。另外，图 23 是通过多个激光扫描实施图 22 中的时间变化时引起的副作用的说明图，实线表示激光的照射能量密度 $E1$ 的扫描间距，虚线表示激光的照射能量密度 $E2$ 的扫描间距。这里，如图 22 所示，考虑对基板的同一个地方，在第一次用能量密度 $E1$ 照射时间 $T1$ 、第二次用能量密度 $E2$ 照射时间 $T2$ 的条件下，一边扫描基板总体，一边照射激光的情况。由于脉冲激光的重复频率是一定的，所以第一次的扫描间距是与 $1/T1$ 成正比的值（ $\propto 1/T1$ ），第二次的扫描间距是与 $1/T2$ 成正比的值（ $\propto 1/T2$ ）。于是，考虑了上述两种扫描间距的重合时，如图 23 所示，基板上的重合斑驳状变得不均匀。由于其影响，突起的平均高度呈斑驳状面内变化的分布。

发明内容

因此，本发明的第一个目的在于，提供一种没有这样的周期性的突起高的区域的发生的降低突起的方法、采用使其成为可能的激光退火方法的半导体薄膜的制造方法及其制造装置。另外，本发明的第二个目的在于提供一种用本发明的制造方法制造的半导体薄膜。

另外，即使采用大粒径化而且降低突起的方法进行了晶体化，但由于激光功率随时间变化或非晶态硅半导体薄膜厚的基板面内变化，所以粒径及突起的高度在管理基准以内形成没有限制。因此，本发明

的第三个目的在于，提供一种在基板的全部表面上用除了粒径以外还能检测全部突起的高度的测量方法，评价所制造的半导体薄膜的特性的评价方法及其评价装置。

还有，本发明的第四个目的在于，提供一种用本发明的半导体薄膜形成的薄膜晶体管。而且，本发明的第五个目的在于，提供一种备有利用该薄膜晶体管构成的电路的图像显示装置。

本发明的半导体薄膜的制造方法是一种通过激光的照射进行熔化和凝固，用所谓激光退火方法，在将非晶态硅半导体薄膜变成多晶态硅半导体薄膜时，为了降低多晶化了的硅半导体薄膜的表面粗糙度，通过多级能量密度照射进行退火的方法。在该退火方法中，在照射光学系统中设置控制激光透射率的面内分布的透射率分布滤光器，将激光整形成其长轴方向沿着与扫描方向正交的方向的线光束。而且，主要特征在于：通过控制作为整形成了线光束的激光的扫描方向的该线光束的短轴方向的光强度分布，在扫描方向上通过一次扫描，进行多种能量密度的照射。

参照后面所述的实施例的说明中也使用的各图，说明本发明的半导体薄膜的改性方法、以及改性后的半导体薄膜的评价方法的特征。另外，在此先说明，这里的说明和后面所述的实施例的说明有重复的地方。

图 1 是实现本发明的半导体薄膜的制造方法用的激光退火光学系统。图 1 所示的激光退火装置的光学系统由短轴均化器 5 和长轴均化器 4 形成强度均匀的线光束分布。短轴均化器 5 由相对的一组柱面透镜阵列 5A 和 5B 构成。使来自激光光源 2 的激光透过衰减器 3 及长轴均化器 4，入射到该短轴均化器 5 中。衰减器 3 是为了使从激光光源 2 发生的激光光束有规定的能量而进行调节用的。

利用设置在短轴均化器 5 后面的透镜 10，使透过了短轴均化器 5 内的柱面透镜阵列 5A 和 5B 的各透镜元件的激光重合在一次成像面上。所谓重合在该一次成像面上，是短轴均化器 5 的前一级的柱面透镜阵列 5A 的各透镜元件内部的光强度分布。柱面透镜阵列 5A 的各透

镜元件越小、个数越多，一次成像面上的光强度分布越均匀。

将形成了透射率的面内分布的滤光器（透射率分布滤光器）6 设置在该一次成像面的位置上。该透射率分布滤光器 6 是用透明石英制成的，如图 2 所示，通过对表面进行反射率涂敷，成为用 $\pm 0.5\%$ 左右的精度控制透射率的面内分布的滤光器。另外，透射率分布滤光器 6 的详细结构将在实施例中说明确。根据该滤光器的透射率分布，用 $\pm 0.5\%$ 左右的精度控制一次成像面的光强度分布，具有该光强度分布的激光利用反射镜 7 和透镜 8，在形成了半导体薄膜的基板 1 的表面上进行缩小投影。将以上的短轴分布控制法称为一次成像面控制方法。

其次，参照图 5 及图 6 说明控制短轴方向的强度分布的另一种方法。控制短轴方向的强度分布的另一种方法，是在短轴均化器 5 的前一级，用透射率分布滤光器 16 控制构成该短轴均化器 5 的柱面透镜阵列 5 的各透镜元件内部的光强度分布，来控制合成的分布的形状的方法。如图 5 所示，透射率分布滤光器 16 设置在短轴均化器 5 的前面。如图 6 所示，设置该情况下的透射率分布滤光器 16，使其透射率分布对应于柱面透镜阵列 5，呈条纹状形成反射率控制涂敷膜，以便控制各透镜元件的短轴方向的光强度分布。最终，基板 1 的表面的光强度分布形状呈各透镜元件内的强度分布重合的分布。图 6 表示 3 个透镜元件大小的条纹。将该方法称为均化器元件内分布控制方法。另外，透射率分布滤光器 16 的详细结构将在实施例中说明确。

上述的两种短轴分布控制方法，虽然是将激光整形为线光束形状的激光退火装置中的光学系统及晶体化方法的改良，但也能适用于不是线光束的激光退火方法。以下说明本发明对专利文献 1 中公开的 SLS 法的适用方法。

如图 13 所示，一般的 SLS 晶体化装置由光源 2、衰减器 3、均化器 25、透镜 29、掩模 26、成像透镜 27、以及放置形成了非晶态硅半导体薄膜的基板 1 的移动台 30 构成。在衰减器 3 和均化器 25 之间、以及在成像透镜 27 和移动台 30 之间，分别配置以规定的角度反射入射的激光，改变激光的方向用的反射镜 23、24、28。均化器 25 是进

行激光光束整形和使整形后的激光光束内光强度均匀用的光学系统，通过与透镜 29 的组合，在掩模 26 的位置形成均匀的光束内强度分布。

该掩模 26 的位置对应于图 1 所示的光学系统的一次成像面。是一种利用该掩模 26，在基板 1 的表面上形成光强度的明暗图形，通过在面内方向形成温度梯度，促进横向（与扫描方向正交的方向、宽度方向）的晶体生长，形成粒径大的晶体的方法。如用下面的图 14 要说明的那样，本发明的透射率面内分布控制滤光器即透射率分布滤光器 31 设置在掩模 26 附近，控制透过该掩模内的各图形的光强度。

图 14 中示出了图 13 中的掩模图形和滤光器透射率图形的组合的一例。掩模的开口部即狭缝 26A 的长轴沿着基板 1 的扫描方向。掩模的结构如下。区域 A 和区域 B 使狭缝 26A 的间隔的排列周期的相位相对于扫描方向错开 $1/2$ 周期，同样区域 C 和区域 D 也互相使相位相对于扫描方向错开 $1/2$ 周期，而且使区域 A 和区域 C 的周期相位的偏移与互相错开 $1/2$ 周期不同，例如设定为 $1/4$ 周期。这样设定的理由，是为了将非晶态硅半导体薄膜改性成多晶态硅半导体薄膜时使通过区域 A 和区域 B 的图形的照射形成的突起的位置与通过区域 C 和区域 D 的图形的照射形成的突起的位置相对地错开。

对应于上述掩模 26 的透射率分布滤光器 31 有形成了反射防止膜的区域 32 和形成了反射膜的区域 33，这两个区域的透射率的差达 10% 以上。将该透射率分布滤光器 31 设置在掩模 26 附近。设置位置既可以设置在掩模 26 的设置位置的上游侧，也可以设置在下游侧。相对于脉冲激光的反复振荡频率，调整扫描间距，掩模图形的各区域只照射一次发射。参照图 15 说明一次扫描中的照射过程。如果区域 A 的图形一次发射照射在图 15(a) 所示的基板上形成的非晶态硅膜 1A 上，则会留下未被照射的区域。该未被照射的区域对应于区域 A 的被掩蔽的部分，是未晶体化的部分。

如图 15(b) 所示，在作为晶体化了的区域的区域 A 中，两个沿横向生长的晶粒 36 和 37 呈将形成了突起 35 的晶界夹在中间而存在的形状。下一次发射时用相同的能量密度对区域 B 的图形照射一次发

射（图 15（c））。由于该发射，前一次发射时未晶体化的区域将两侧的晶体作为晶种，晶体向中心生长。其结果，形成突起之间的距离成为平均晶界尺寸的多晶态硅半导体薄膜。此后，用低 10% 以上的能量的激光照射图 15（d）所示的区域 C 的图形、图 15（e）所示的区域 D 的图形。

在此情况下，用低 10% 以上的能量密度照射，使得形成突起的位置不同。用该能量密度的激光，不可能熔化厚度方向的全部硅半导体薄膜，只能熔化硅半导体薄膜的表层，所以不能形成晶界，在硅半导体薄膜的表层上只能形成突起。其结果，如图 15（d）所示，在不是晶界位置的地方能形成低的突起 40。由于原来高的突起形成低的突起，所以半导体薄膜移动，区域 B 照射后形成的突起 39 的高度降低。如上所述，本发明的特征在于，为了降低突起，通过一次扫描实施采用多级能量密度的 SLS 法。

另外，有利用与上述 SLS 法不同的方法促进横向的晶体生长的方法。该技术如日本专利申请特愿 2002-284735 中所述，与在 SLS 方法中利用呈周期性的狭缝图形的掩模不同，如图 8 所示，利用该相位移动掩模进行晶体化的方法，是将呈相位移动条纹图形的掩模（相位移动条纹掩模）41 设置在在基板上形成的非晶态硅膜 1A 的附近，通过在该硅膜表面上调制激光的照射强度，在基板的全部表面上一边扫描一边形成横向生长的晶体的技术。该技术无须象 SLS 法那样在掩模和试样之间使用透镜，具有能适用于数条 100mm 长的线光束的优点。下面说明将本发明的透射率面内分布滤光器应用于该相位移动条纹法中，降低突起的方法。

图 8 表示使脉冲激光透过设置在基板 1 上的相位移动条纹掩模 41，照射在基板上形成的非晶态硅膜 1A 上时的光强度分布和硅晶粒的晶体生长方向的关系。相位移动条纹掩模 41 的条纹图形的周期约为 $3\mu\text{m}$ 。一次发射照射区域全部表面形成沿横向生长的晶粒。晶体的生长方向与 SLS 法相同，从激光强度低的方向向高的方向生长。因此，对应于激光强度的峰值位置形成突起 42。

图 7 是将透射率分布滤光器应用于相位移动条纹法时的晶体化装置的光学系统，能利用使用线光束的通常的受激准分子激光退火装置。另外，设置本发明的透射率分布滤光器 6 的位置也与图 1 或图 5 相同。图 7 表示使滤光器 6 的设置位置与图 1 相同时的装置结构。相位移动条纹掩模 41 设置在基板 1 上。图 9 是从基板 1 上看到的照射区域的图，表示基板 1 的扫描方向、相位移动条纹掩模 41 的图形方向、以及线光束 50 的关系。相位移动条纹掩模 41 的条纹图形相对于基板 1 的扫描方向成一定的角度。这是因为在脉冲激光的反复振荡间隔之间，相位移动条纹和基板 1 的相对的移动量在扫描方向的条纹图形的一周期以内，而且每一次发射都错开进行。因此，每一次发射形成突起的排列位置错开。

利用透射率分布滤光器 6，线光束 50 的短轴方向的强度分布设定成使图 10 所示的区域 N 的能量密度比区域 M 低 10% 以上。参照图 10 说明这样设定的情况下的晶体化的进行情况。对图 10 (a) 所示的基板上形成的非晶态硅膜 1A 进行区域 M 的一次发射照射，照射区域内一并形成沿横向生长的晶粒。这时的平均晶粒约为突起间隔的 1/2。通过反复进行该区域 M 的发射，总体沿多晶膜厚度方向反复呈现熔化现象，生长方向的平均粒径与突起间隔相等（图 10 (b)）。但，突起的形成位置为用最后的发射形成的突起 35 最高，该位置主要成为晶界。在此以前通过发射形成的突起 40 低，多半情况下仍保留下来（图 10 (c)）。区域 N 的发射由于比将总体厚度熔化的能量低，所以不能形成晶界，但只能形成低的突起。形成该低突起时，区域 M 的用最后的发射形成的高突起 35，由于用来进行区域 N 照射引起的突起形成的表层的硅的流动而降低（图 10 (d)）。

其次，即使采用上述的降低突起的方法进行晶体化，也存在激光功率随时间变化、以及晶体化前非晶态硅半导体薄膜的厚度的面内变化。因此，晶体化后进行检查（表面粗糙度评价），检测到了存在高突起的区域时，通过再次使该区域晶体化，能在基板全部表面上使突起的高度在管理基准以下。

在此,如先前在背景技术中所述的那样,说明不受多晶态硅半导体薄膜的厚度的干涉的影响的表面粗糙度的评价方法。本发明的表面粗糙度评价方法是通过测定多晶态硅半导体薄膜的透射率和反射率,根据“ $1 - (\text{反射率} + \text{透射率})$ ”,求“全散射断面积+吸收断面积”,由此评价表面粗糙度的方法。在该方法中,干涉的影响被反射率和透射率的和的值抵消。即,由于反射率因干涉的影响而增大的部分成为透射率减少的部分,所以反射率和透射率的和不受干涉的影响。在将本测量方法应用于非晶态硅半导体膜的情况下,表面粗糙度小,所以能忽视散射断面积,能根据吸收断面积,不受干涉的影响地评价非晶态硅半导体膜的厚度。

在多晶态硅半导体薄膜、单晶态硅半导体薄膜、以及能忽视多重散射引起的多重吸收的效果的薄膜中能同样地考虑吸收断面积,在多晶态硅半导体薄膜中成为依赖于平均厚度和波长的量。厚度分布的变化在1米见方的大型基板中约为 $\pm 5\%$,能看成是恒定的。全散射断面积有依赖于粒径的部分和依赖于表面粗糙度的部分。通过将它与粒径评价方法组合,能测量表面粗糙度。即,在本发明中,通过在全部基板上测定按照粒径评价方法进行的粒径和“全散射断面积+吸收断面积”这两种量,作为评价表面粗糙度的方法。

以下说明评价突起的高度的上述以外的方法。该方法适合于评价用上述的SLS法或相位移动条纹掩模法形成的多晶态硅半导体薄膜的突起的排列周期及其高度的方法。在该方法中,利用来自光绕射图形的突起的绕射点的强度,评价突起的高度。即,这是一种绕射点的强度越强,评价为突起的高度越高的方法。

另外,在本发明中,使用利用上述的改性方法制造的多晶态硅半导体薄膜,获得迁移率高的薄膜晶体管,用该薄膜晶体管构成高速且高精度的图像显示装置。

如果采用本发明的半导体薄膜的改性方法,则能用一次扫描实现多种能量密度的激光照射。另外,通过多次扫描进行的多种能量密度的激光照射具有降低突起的效果,减少了由于扫描之间的脉冲间隔的

不同而在基板面内发生斑驳的现象, 没有表面粗糙度达到 PV 值为 70nm 以上的区域。另外, 即使由于任何故障致使表面粗糙度达到了 70nm 以上, 也会通过全部表面的检查, 检测出 70nm 以上的区域, 通过对该区域进行再次晶体化, 降低该突起的高度, 最终能将突起降低到 70nm 以下。由于是使用突起为 70nm 的多晶态硅膜的 TFT, 所以作为不发生绝缘破坏不良用的栅绝缘膜的厚度, 在一般使用的四乙氧基硅酸盐 (TEOS) 膜的情况下, 能在 110nm 以下。

另外, 本发明的薄膜晶体管能获得高的迁移率, 如果采用使用该薄膜晶体管的图像显示装置, 则能使驱动电路和像素电路的薄膜晶体管高速化且高精细化, 提高显示品质。

附图说明

图 1 是说明实现本发明的半导体制造方法的激光退火装置的光学系统之一例的模式图。

图 2 是说明图 1 中的透射率分布滤光器的表面结构例的模式图。

图 3 是通过设置图 1 中的透射率分布滤光器获得的短轴方向的光强度分布的说明图。

图 4 是不使用透射率分布滤光器, 通过数次扫描改变激光的照射能量密度时的硅半导体晶体的暗视场光学显微镜照片。

图 5 是说明实现本发明的半导体制造方法的激光退火装置的光学系统的另一例的模式图。

图 6 是说明图 5 中的透射率分布滤光器的表面结构例的模式图。

图 7 是说明实现本发明的半导体制造方法的激光退火装置的光学系统的又一例的模式图。

图 8 是用相位移动条纹掩模进行硅半导体薄膜的晶体化的方法的说明图。

图 9 是透射率分布滤光器、相位移动条纹掩模的图形、以及基板扫描方向的说明图。

图 10 是使用透射率分布滤光器和相位移动条纹掩模时的硅半导

体薄膜的晶体化的说明图。

图 11 是将透射率分布滤光器应用于和未应用于相位移动条纹掩模法时用扫描电子显微镜 (SEM) 观察到的硅半导体的晶体的照片。

图 12 是将透射率分布滤光器应用于相位移动条纹掩模法时突起的高度和透射率分布滤光器中的透射率差的关系的说明图。

图 13 是说明将透射率分布控制滤光器应用于 SLS 法中的激光退火装置的光学系统的模式图。

图 14 是采用 SLS 法的激光退火装置中使用的透射率分布控制滤光器的一例的说明图。

图 15 是将透射率分布滤光器用于 SLS 法中获得的硅半导体薄膜的晶体化的说明图。

图 16 是实现将表面粗糙度评价功能追加到粒径评价装置中的本发明的粒径评价方法的粒径评价装置的光学系统的模式图。

图 17 是用图 16 所示的粒径评价装置测定的表面粗糙度和用原子间力显微镜评价的表面粗糙度之间的相关关系的说明图。

图 18 是用图 16 所示的粒径评价装置能评价的关于粒径的量和关于表面粗糙度的量的二维分布的多晶态硅半导体薄膜的测定结构之一例的说明图。

图 19 是说明本发明的实施例 3 的不使用透射率分布滤光器而利用 $3\mu\text{m}$ 间距的相位移动条纹图形形成的多晶态硅半导体薄膜的光绕射图形的照片。

图 20 是本发明的实施例 3 和实施例 4 中形成的多晶态硅半导体薄膜的绕射图形上的绕射点的位置和突起的间隔之间的关系说明图。

图 21 是说明作为包括使用按照本发明的制造方法形成的多晶态硅薄膜的薄膜晶体管的显示装置的有源矩阵型液晶显示装置的主要部分结构例的剖面图。

图 22 是激光照射能量密度随时间变化的说明图。

图 23 是通过多个扫描实施图 22 所示的时间变化时引起的副作用

的说明图。

图 24 是表示在相位移动条纹掩模法中,使受激准分子激光强度变化形成的多晶态硅膜的光绕射图形和表面电阻的关系曲线图。

图 25 是表示在相位移动条纹掩模法中形成的多晶态硅膜表面的突起的排列位置变化的周期和退火扫描间距的关系曲线图。

具体实施方式

本发明通过利用有透射率面内分布的滤光器,能使扫描方向的激光的光束剖面的光强度分布为多级分布,由此通过使照射能量密度进行多级照射,能通过一次激光退火的扫描实施降低突起的方法。下面,展示关于该制造方法的实施例和评价突起的实施例。

[实施例 1]

图 1 说明实现本发明的半导体改性方法的激光退火装置的光学系统之一例的模式图。本实施例是将本发明的透射率分布控制滤光器应用于通常用的受激准分子激光退火装置的实施例。在图 1 中,激光器 2 是ラムダフィジックス公司制的 STEEL1000 型 XeCl 受激准分子激光器。输出的激光的波长为 308nm,脉冲时间宽度约为 27 纳秒(nS),重复频率为 300 赫兹(Hz),脉冲能量为 1J/脉冲。该激光退火装置由日本制钢所制作,呈这样的结构:利用由 Microlas 公司制的长轴均化器 4 和短轴均化器光学系统 5、柱面透镜 10、柱面透镜 8、以及反射镜 7,将激光整形成长轴为 365mm、短轴为 400 μ m 的线光束,照射在基板 1 上。为了控制照射在基板 1 上的激光的强度分布,将透射率分布滤光器 6 设置在一次成像面上。如以下用图 2 说明的那样,该透射率分布滤光器 6 构成为,对石英板实施控制了反射率的表面涂敷,控制透射率分布。

图 2 是说明图 1 中的透射率分布滤光器 6 的表面结构例的模式图。透射率分布滤光器 6 的区域 11 是其透射率比区域 12 较高的区域。具体地说,对区域 11 的表面实施了反射率为 1%的涂层,对区域 12 的表面实施了反射率为 11%的涂层。而且,对全部背面实施了反射率

为 1% 的涂层, 结果区域 11 的透射率为 98%, 区域 12 的透射率为 88% 以下。

图 3 是通过设置图 1 所示的透射率分布滤光器 6 获得的短轴方向的光强度分布的说明图。虽然用可变衰减器 3 调节图 3 所示的分布区域 X1 的最大的照射能量强度, 但其下限设定在基板 1 上形成的非晶态硅半导体薄膜成为高能量照射密度侧的微晶的阈值以上, 调节的上限调节成: 通过透射率分布滤光器使分布的后半个区域 X3 的能量密度, 至少使表层熔化的能量密度成为 ΔE 的值为 $0.1E_{\max}$ 以上。在此情况下, 区域 X1 中生成的高能量侧的微晶用区域 X2 的能量密度照射而融合, 成为大粒径, 在区域 X3 中由于只是表层熔化, 所以能降低突起。

用图 2 中的区域 11 和区域 12 的透射率的差为 13% 的滤光器进行了实验, 结果, 平均粒径为 $0.5\mu\text{m}$ 以上的照射能量密度的容限, 在固定为区域 X1 和区域 X3 的宽度相等的条件的情况下为 12%。在衰减器的透射率超过上述容限的 80% 至 99% 的范围内, 突起的高度都在 70nm 以下。

图 4 是不使用透射率分布滤光器, 通过数次扫描改变激光的照射能量密度时的硅半导体晶体的暗视场光学显微镜照片。这里, 改变衰减器的透射率, 进行两次扫描, 进行了晶体化。第一次晶体化的扫描间隔为 $24\mu\text{m}$, 第二次晶体化的扫描间隔为 $14\mu\text{m}$ 。图 4(a) 是第一次的衰减器透射率为 94%, 第二次的透射率比第一次低 6% 进行照射的图。在该条件下, 第二次的照射能量密度也超过高能量密度侧的微晶的阈值, 变成微晶区域, 以 $14\mu\text{m}$ 的间距能观察到微晶筋。分布的边缘部由于能量密度低, 所以微晶局部地融合, 在图 4 所示的照片中能观察到发白的区域。

图 4(b) 是第一次的衰减器透射率为 88%, 第二次的透射率比第一次低 6% 进行照射的图。照片中所看到的发黑的区域是通过第一次照射, 发生高能量密度侧的微晶, 通过第二次的低能量密度的照射, 使变成相当于第一次的间距的 $24\mu\text{m}$ 的周期的区域进行微晶融合, 变

成粒径大的区域。

这样，在不使用透射率分布滤光器，通过多级扫描、而且用多级能量密度照射激光的情况下，随着能量密度的不同，在硅半导体薄膜的试样中呈现形状不同的扫描间距。与此不同，在使用透射率分布滤光器的情况下，试样上呈现的扫描间距只有一种。在本实施例中，用扫描速度规定扫描间距，等于激光器 2 的反复振荡的 1/300 秒的时间间隔的移动量。

[实施例 2]

其次，用图 5 和图 6 说明实施例 2。图 5 是说明实现本发明的半导体制造方法的激光退火装置的光学系统的另一例的模式图。图 6 是说明图 5 中的透射率分布滤光器 6 的表面结构例的模式图。该实施例基本上与用图 1 说明的实施例 1 的用激光器 2 和激光退火装置构成的结构相同。本实施例与实施例 1 的结构的不同点是，透射率分布滤光器 16 的设置位置在短轴均化器 5 之前、以及如图 6 所示透射率分布滤光器 16 的透射率分布呈条纹状，以便控制短轴均化器 5 内的柱面透镜阵列元件的内部强度分布。另外，短轴均化器 5 的柱面透镜阵列的透镜元件个数为 5 个，且其中用虚线 13 包围着示出入射了宽度为 3 条激光光束的情况。与图 1 中的实施例相同，实际上用 9 个构成，用虚线 13 包围的区域即激光透射区域设定为 9 个以内的区域。

在图 6 中，被虚线 13 包围的各区域（图 6 中为 3 个区域）是光透过各透镜元件的内部区域，用透射率不同的区域 14 和区域 15 所示的两种条纹区域控制该各个区域内部的强度分布。试样基板的表面上的照射光强度分布成为短轴均化器 5 的透镜阵列的内部强度分布的合成，所以该透射率分布滤光器 16 用区域 14 和区域 15 的透射率的差，控制强度分布的台阶。

[实施例 3]

以下说明将透射率分布滤光器应用于采用相位移动条纹掩模的晶体化方法中的实施例。图 7 是说明实现本发明的半导体制造方法的激光退火装置的光学系统的又一例的模式图，示出了采用相位移动条

纹法的激光退火装置的光学系统。本实施例是利用采用上述的实施例1及实施例2的线光束的通常的受激准分子激光退火装置的实施例。设置透射率分布滤光器6的位置可以是与图1或图5相同的位置。图7中使透射率分布滤光器的设置位置与图1的情况相同。在本实施例中，将相位移动条纹掩模41设置在基板1附近。该掩模的设置位置也可以是一次成像面。

图8是用相位移动条纹掩模进行硅半导体薄膜的晶体化的方法的说明图。如图8所示，相位移动条纹掩模41是对波长308nm来说使相位大致移动180度的图形以 $3\mu\text{m}$ 的间距在石英基板上形成了凹凸条纹图形的掩模，沿着与整形为线光束的激光的长轴方向大致垂直的方向设置条纹图形。而且，从基板上形成的非晶态硅膜1A的表面离开0.9mm设置。其他结构与图1相同。透过相位移动掩模后的强度分布，由于脉冲受激准分子激光器随着均化器光学系统的不同，各种相位的光混合在一起，所以透过相差180度的相位移动掩模后强度分布的谷的强度不为零。因此，如果使其最低强度在晶体化的阈值以上，通过一次发射不会残留非晶态硅。

图8表示脉冲激光透过设置在基板上形成的非晶态硅膜1A上的相位移动条纹掩模41，照射在基板上的非晶态硅薄膜1A上时光强度分布和试样的晶体生长的关系。相位移动条纹掩模41的条纹图形的周期约为 $3\mu\text{m}$ 。如图所示，在本实施例中，通过一次发射，透镜光的照射区域全部表面沿横向形成生长了的晶粒。晶体的生长方向与SLS法相同，从激光强度低的一侧向高的一侧生长，在激光强度的峰值位置形成突起42。

图9是透射率分布滤光器、相位移动条纹掩模的图形、以及基板扫描方向的说明图，是从基板1上看到的激光照射区域的图。相位移动条纹图形和基板扫描方向构成的角度设定为1度，扫描速度为7.2mm/秒。这时脉冲之间的移动间距约为 $24\mu\text{m}$ 。另外脉冲之间的相位移动条纹图形和基板1的相对的移动量在扫描方向的条纹图形的一周期以内约为 $0.5\mu\text{m}$ 。每一次发射形成突起的排列位置都偏移该量大

小。图 25 中示出了突起的排列位置变化的周期和扫描间距的关系。随着扫描，一次发射时晶体化的区域每一扫描间距都发生偏移。这时突起的排列也偏移。因此，突起的排列位置变化的周期等于扫描间距。晶体生长的方向为掩模图形的间距方向，与扫描方向大致呈垂直的方向。

如图 9 所示，这样设置透射率分布滤光器：平行于用虚线表示的线光束、而且成为透射率的 M 区和 N 区的边界设置在线光束内。该透射率分布滤光器用石英制成，在 M 区的表面上进行了反射率为 1% 的涂敷，在 N 区的表面上进行了反射率为 11% 的涂敷，在全部背面上进行了反射率为 1% 的涂敷。因此，M 区和 N 区的能量密度差为 10% 以上。

图 10 是使用透射率分布滤光器和相位移动条纹掩模时的硅半导体薄膜的晶体化的说明图。在上述的结构中，通过对在图 10 (a) 所示的基板上形成的非晶态硅膜 1A 进行 M 区的一次发射照射，在照射区域内一并形成沿横向生长的晶粒。这时的平均晶粒的大小约为突起间隔的 1/2 (图 10 (b))。伴随基板的扫描，对 M 区进行通过过程中的多次发射，沿多晶膜厚度方向反复呈现总体的熔化现象，所以生长方向的平均粒径与突起间隔相等 (图 10 (c))。但是，突起的形成位置在由最后发射形成的突起 35 最高，该位置主要成为晶界。在此以前的发射形成的突起 40 多半情况下残留得低。由于 N 区的照射比使全部厚度的膜熔化的能量低，所以不能形成晶界，只能形成低的突起。

该低的突起形成中，M 区的由最后的发射形成的高的突起 35 由于 N 区照射引起的突起形成用的表层硅的流动而变低 (图 10 (d))。图 10 (d) 模式地示出了衰减器 3 的透射率为 90%、进行了晶体化的基板上的硅半导体薄膜。成为在晶界上存在的突起和晶粒内存在的突起的晶体。而且由于突起的排列位置变化的周期由一次扫描间距决定，所以在约 $24\mu\text{m}$ 的周期中获得了只能形成一种的多晶态硅膜。

图 11 是将透射率分布滤光器应用于和未应用于相位移动条纹掩

模法时用扫描电子显微镜 (SEM) 观察到的硅半导体的晶体的照片。图 11 (a) 是用透射率分布滤光器进行了晶体化的晶体的 SEM 照片, 图 11 (b) 是不用透射率分布滤光器进行了晶体化的晶体的 SEM 照片。在图 11 所示的照片中观察到发白的地方是对应于表面上形成了突起的部分。图 11 (a) (b) 中的标号 L 表示平均粒径, 另外图 11 (b) 中的 Po 主要表示排列着晶体晶界上的突起的地方, Pi 主要表示排列着晶粒内的突起的地方。

在不使用图 11 (b) 所示的透射率分布滤光器的情况下, 虽然断定在晶体晶界的位置及晶粒内能形成可观察到发白的高的突起, 但在使用透射率分布滤光器的图 11 (a) 中情况中, 由于突起低, 所以不能清楚地观察 SEM 照片中能观察到发白的高的突起。该情况下的突起的 PV 值为 70nm 以下。

图 12 是将透射率分布滤光器应用于相位移动条纹掩模法时, 突起的高度和透射率分布滤光器的透射率差的关系的说明图。图 12 是在 $10\mu\text{m}$ 见方的区域中用原子间力显微镜对图 9 中的透射率分布滤光器的 M 区和 N 区的透射率的差进行了评价, 将评价结果作成了曲线的图。根据图 12 所示的结果, 判明了透射率的差在 10% 以上具有降低突起的效果, 如果在 15% 以上, 则 PV 值变为 70nm 以下。

关于晶粒的尺寸, 由于相位移动条纹图形的间距为 $3\mu\text{m}$, 晶体生长到该间距的一半的尺寸, 生长方向上的晶粒约为 $1.5\mu\text{m}$ 。与晶体的生长方向垂直的方向上的晶界尺寸为 $0.5\mu\text{m}$ 以下。通过正交的两个方向上的退火扫描, 能使平均粒径在两个方向上都为 $1.5\mu\text{m}$ 。

[实施例 4]

其次, 说明将透射率分布控制滤光器应用于 SLS 法的实施例。图 13 是说明将透射率分布控制滤光器应用于 SLS 法的激光退火装置的光学系统的模式图。另外, 图 14 是 SLS 法的激光退火装置中使用的透射率分布控制滤光器的一例的说明图。如图 13 所示, SLS 法的激光退火装置 (SLS 晶体化装置) 的光源 2 利用与实施例 1 同样结构的光源。即, 在激光光源 2 的后级依次排列着衰减器 3、均化器 25、

透镜 29、掩模 26、成像透镜 27、以及放置形成了非晶态硅半导体薄膜的基板 1 的移动台 30。而且，本发明的透射率分布控制滤光器 31 被插入透镜 29 和掩模 26 之间。在衰减器 3 和均化器 25 之间及成像透镜 27 和移动台 30 之间，分别排列着以规定的角度反射输入的光，改变光的方向用的反射镜 23、24、28。

均化器 25 是对光束进行整形和使光束内的光强度均匀用的光学系统，通过与透镜 29 组合，在掩模 26 的位置形成均匀的光束内强度分布。图 14 中的掩模 26 是用铝制成的，作为掩模开口的狭缝 26A 的宽度为 $15\mu\text{m}$ ，A 区和 B 区相对于基板的扫描方向使狭缝 26A 的间隔的排列周期的相位互相偏移 $15\mu\text{m}$ 。同样 C 区和 D 区也互相偏移 $15\mu\text{m}$ ，而且 A 区和 C 区的周期相位的偏移互相设定得与 $15\mu\text{m}$ 不同。

利用透镜 27 把掩模图形缩小 $1/5$ ，投影到试样面上。由此在基板上形成周期为 $6\mu\text{m}$ 、宽度为 $3\mu\text{m}$ 的明暗的强度分布。掩模 26 的尺寸为 $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 。掩模 26 上的 A、B、C、D 各区的宽度分别为 10 毫米。

图 14 所示的透射率分布滤光器 31 与掩模 26 的尺寸相同，在石英基板的表面上形成形成了反射率为 1% 的涂敷膜的区域 32、以及形成了反射率为 16% 的涂敷膜的区域 33，在背面上全部形成反射率为 1% 的涂敷膜。由此在掩模附近靠近上游侧设置了区域 32 和区域 33 的透射率的差为 15% 的滤光器。为了只进行一次发射照射，这样设定掩模图形的各区域：脉冲间隔为 $1/300$ 秒间的扫描移动量与图形的各区域在试样面上的间隔一致。

图 15 是将透射率分布滤光器用于 SLS 法中获得的硅半导体薄膜的晶体化的说明图。在上述的条件下，对图 15(a) 所示的基板表面的非晶态硅薄膜 1A，按照照射区域 A (图 15(b)) → 照射区域 B (图 15(c)) → 照射区域 C (图 15(d)) → 照射区域 D (图 15(e)) 的程序进行激光退火。其结果，如图 15(e) 所示，晶体化了的硅半导体薄膜获得了有存在于晶界位置上的突起 39A、以及存在于晶粒内的突起 40 的晶体。而且，突起的高度都在 70nm 以下。

这时晶体生长方向的尺寸为 $3\mu\text{m}$ 。另外，这时与生长方向正交的方向的晶界的尺寸与实施例 3 的情况相同，为 $0.5\mu\text{m}$ 以下。通过大致正交的两个方向的退火扫描，两个方向的晶界尺寸为 $3\mu\text{m}$ 也是可能的。

[实施例 5]

其次，说明本发明的多晶态硅半导体薄膜的粗糙度评价方法的实施例。图 16 是实现将表面粗糙度评价功能追加到粒径评价装置中的本发明的粒径评价方法的、粒径评价装置的光学系统的模式图。该装置的基本结构与专利文献 11 中公开的技术相同。在图 16 中，标号 69 是框，在该框 69 中设置着由以下部分构成的基本结构：形成了半导体薄膜的基板 1 的检查用（评价用）的波长为 532nm 的连续振荡激光光源 60；由使激光照射在基板 1 上用的反射镜 62、透镜 65 及开口 63 构成的照射光学系统；检测来自基板 1 的散射光角度分布的光检测器阵列 67。为了在其中增加本实施例的粗糙度评价功能，所以增加了测定反射率和透射率用的结构。

用来测定增加粗糙度评价功能用的反射率和透射率的结构，该激光照射光学系统中增加了半反射镜 64、监视反射光强度用的光检测器 66、以及监视透射光强度用的光检测器 68 这 6 个系统部分。另外，还增加了监视激光的入射强度用的光检测器 61。通过该增加，能测定反射率和透射率。

在本实施例中，为了在短时间内测量基板全部表面，采用 6 个系统的多光束结构，但每一个系统的激光照射强度约 20mW 以上即可，所以如果将功率大的激光器作为检查用光源，则能进一步增多系统个数，所以能进一步缩短检查时间。

图 17 是用图 16 所示的粒径评价装置测定的表面粗糙度和用原子间力显微镜评价的表面粗糙度之间的相关关系的说明图。图 17 是将测定了上述实施例 3 的各种条件的多晶膜的基板的结果与用原子间力显微镜测量的 PV 值进行比较的曲线图。纵轴是用原子间力显微镜测量的 PV 值，横轴是“ $1 - (T+R)$ ”。这里，T 表示透射率，R 表示反

射率。图 17 中的直线 α 和直线 β 分别是共同斜率相关直线，表示 PV 值分布的上限和下限。这样就知道了 PV 值和“ $1 - (T+R)$ ”之间有相关关系。

图 18 是用图 16 所示的粒径评价装置能评价的关于粒径的量和关于表面粗糙度的量的二维分布的多晶态硅半导体薄膜的测定结构之一例的说明图。图 18 是根据专利文献 11 中公开的内容中的散射角度分布宽度，用粒径和 $1 - (T+R)$ 的二维分布表示的多晶膜的评价结果的例子。如图 17 所示，关于粒径和表面粗糙度两者，对多晶膜设定管理基准，实施激光退火工序的管理。即，平均粒径的管理基准为 $0.5\mu\text{m}$ ，作为平均粗糙度设定 PV 值为 70nm 以下，不管哪一种管理基准，如果不清除，则再次晶体化，一直反复到满足两个管理基准为止。因此，所形成的多晶膜全部满足两个管理基准。

[实施例 6]

实施例 5 的粗糙度评价方法对实施例 1、2、3、4 中晶体化了的多晶态硅半导体薄膜的表面粗糙度都能适用，但关于实施例 3 和实施例 4 的横向生长的晶体，突起排列是有规则的，所以说明能评价突起排列间隔和突起的高度这两者的方法。

在该方法中，使用实施例 5 所示结构的装置，将测量散射光的角度的阵列检测器作为二维检测器。因此，根据来自突起的散射光点的角度信息，评价突起间隔，用光点的强度评价突起的高度。

图 19 是说明本发明的实施例 3 的不使用透射率分布滤光器而利用 $3\mu\text{m}$ 间距的相位移动条纹图形形成的多晶态硅半导体薄膜的光绕射图形的照片。图 19 (a) 是沿一个方向进行退火扫描形成的多晶态硅半导体薄膜的光绕射图形，图 19 (b) 是沿正交的两个方向进行退火扫描形成的多晶态硅半导体薄膜的光绕射图形。

从图 19 (a)、(b) 能观察到分别来自突起的散射光点，可知其排列依赖于退火扫描方向。散射光点的强度依赖于突起的高度、检查用激光中包含的突起的个数、以及突起的排列秩序。检查用的激光的直径是一定的，所以突起的个数一定，在使用间距一定的相位移动

掩模的情况下，由于排列秩序一定，所以绕射光点的光强度变成只依赖于突起的高度的量。

图 24 是不使用本发明的实施例 3 的透射率分布滤光器，而利用间距为 $2\mu\text{m}$ 的相位移动条纹图形，改变照射能量密度，通过一个方向的退火扫描形成的多晶态硅半导体薄膜的光绕射图形和表面电阻的关系。横轴上的透射率与照射激光强度成正比。粒径越大，表面电阻越小，大致成倒数关系。如图 11 所示，如果晶粒细长，晶体沿长轴方向的表面电阻值与短轴方向的表面电阻值相比，可知透射率为 84%，约为一半大小。如果将这时的光绕射图形 (B) 中的晶体沿长轴方向的角度分布和短轴方向的角度分布进行比较，则可知长轴方向的角度分布的宽度约为一半。与此不同，在透射率为 72%、激光强度太弱的情况下，晶粒的长轴方向和短轴方向的表面电阻值的比率近似于 1，但与此相对应，可知散射光的长轴方向的角度分布的宽度和短轴方向的角度分布的宽度大致相等。由以上可知，在晶粒细长的情况下，也能用散射光的角度分布宽度评价粒径。

图 20 是本发明的实施例 3 和实施例 4 中形成的多晶态硅半导体薄膜的绕射图形上的绕射点的位置和突起的间隔之间的关系的说明图。图 20 中的 λ 是激光的波长， d 是在基板上形成的多晶态硅半导体薄膜上形成的突起（这里用 t 表示）的间隔， L 是试样和绕射图形面的距离， p 是“ $p=L\times\tan(\arcsin(m\lambda)/d)$ ”。如图 20 所示，利用绕射面上的绕射光点的位置 p ，能评价突起 t 的间隔 d 。即，利用从各突起发生的散射光的光程差与波长的整数倍成正比获得形成绕射光点的方向的函数，能根据绕射光点的位置评价突起间隔。该突起的评价方法能适用于利用 SLS 法形成的多晶态硅薄膜的突起的评价。

如上所述，如相位移动条纹法或 SLS 法所示，在突起呈有规则排列的晶体化的制造工序中，采用了利用透射率分布滤光器的降低突起的方法，再测定光绕射点的强度，对该测定值设定管理基准。如果是超过管理基准的强度的区域，则改变照射该区域的能量密度，通过反复进行再次晶体化，直到满足管理基准，能使突起的高度的 PV 值

全部在 70nm 以下。

其次,说明利用按照上述的各方法作成多晶薄膜形成的薄膜晶体管、和用包含该薄膜晶体管的驱动电路或像素电路构成的显示装置的实施例。

图 21 是说明作为包括使用按照本发明的制造方法形成的多晶态硅薄膜的薄膜晶体管的显示装置的、有源矩阵型液晶显示装置的主要部分结构例的剖面图。该液晶显示装置如下构成。即,使液晶 512 夹在备有薄膜晶体管 515、滤色片 510 及像素电极 511 的玻璃基板 501 与具有相对电极 513 的相对玻璃基板 514 的相对间隙中,进行封装。另外,在液晶 512 和各基板的边界上形成取向控制膜,但图中未示出。

在玻璃基板 501 的表面上形成底部涂层(氧化硅膜及氮化硅膜) 502,在它上面形成非晶态硅半导体层,如上述制造方法的实施例中所所述,通过本发明的激光退火,使多晶态硅薄膜层改性。在通过该激光退火获得的多晶态硅薄膜层上形成薄膜晶体管 515。即,通过将杂质掺杂在由多晶态硅半导体薄膜构成的半导体层 503 的两侧,形成多晶态硅的源半导体层 504a 及多晶态硅的漏层 504b,在它上面通过栅氧化膜(栅绝缘层) 505,形成栅极 506。

源/漏极 508 通过在层间绝缘膜 507 上形成的连接孔(接触孔),分别连接在源半导体层 504a 及漏半导体层 504b 上,在它上面设置保护膜 509。然后,在保护膜 509 上形成滤色片 510 及像素电极 511。特别是在本发明的实施例 3 及实施例 4 的激光退火法中,由一次扫描形成的晶体由于晶粒的尺寸随着方向的不同而不同,使薄膜晶体管 515 的源/漏极 508 的方向(即,沟道方向)与多晶态硅半导体晶粒的尺寸大的方向一致。另外,在使扫描方向为两个方向进行退火的多晶态硅半导体晶体中,没有必要这样一致。

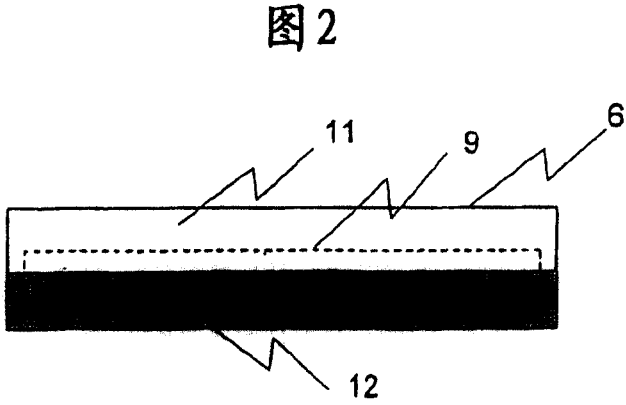
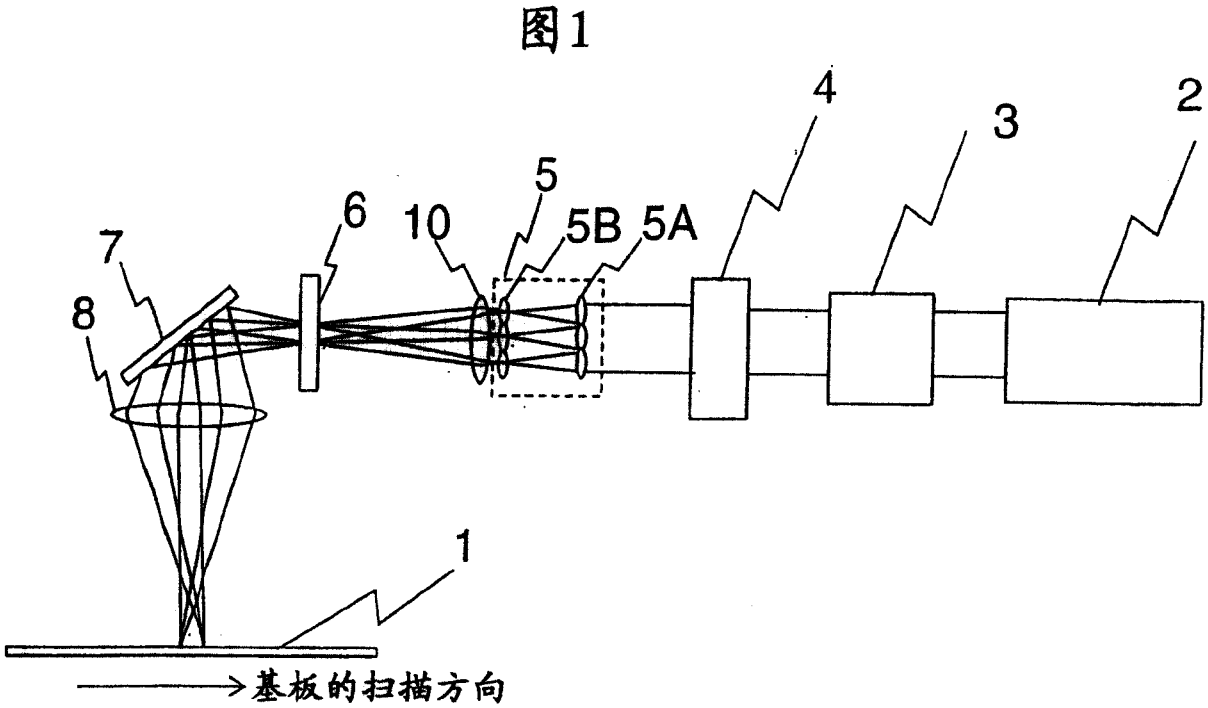
该薄膜晶体管构成液晶显示装置的像素电路,用来自图中未示出的扫描线驱动电路的选择信号进行选择,用从图中未示出的信号线驱动电路供给的图像信号,驱动像素电极 511。在被驱动的像素电极 511 和相对玻璃基板 514 的内表面上具有的相对电极 513 之间形成电场。

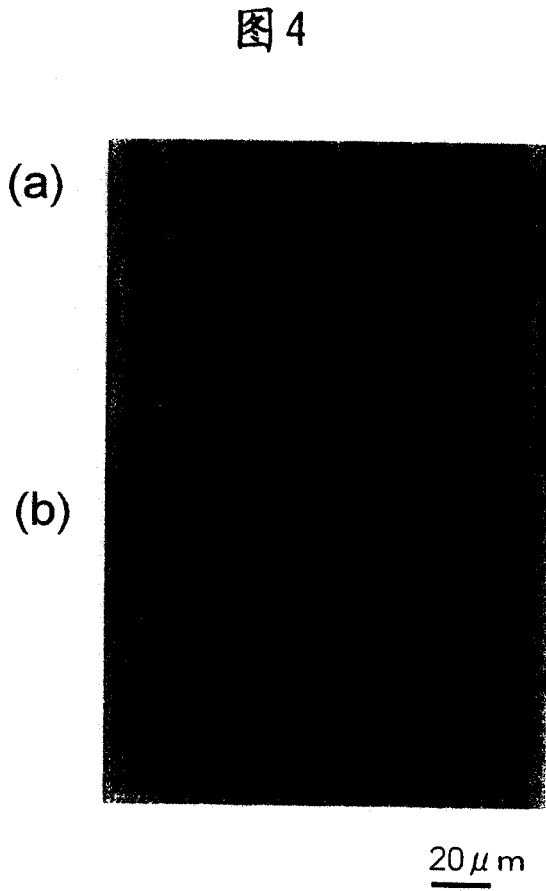
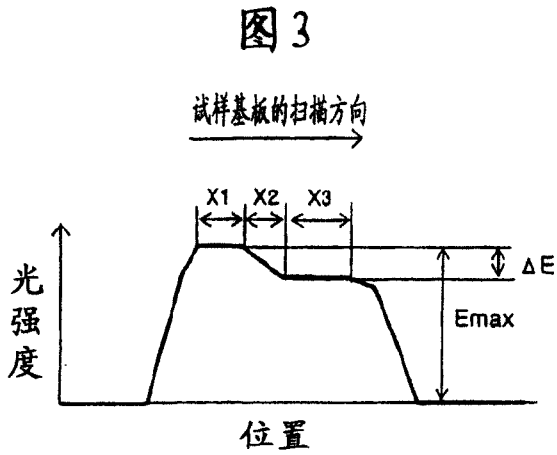
利用该电场，控制液晶 512 的分子取向，进行显示。

另外，也能用与上述像素电路同样的多晶态硅半导体薄膜形成构成上述的扫描线驱动电路或信号线驱动电路的薄膜晶体管。另外，本发明不限于液晶显示装置，也能适用于有源矩阵型的其他显示装置，例如有机 EL 显示装置或等离子体显示装置、以及其他各种显示装置，或者同样能适用于构成太阳电池的半导体薄膜的制造。

如上所述，通过采用使用本发明的激光退火法的半导体制造方法及其评价方法，能批量地生产呈现优异特性的本发明的薄膜晶体管，用该薄膜晶体管能以非常高的合格率制造高品质的本发明的显示装置。

在用玻璃等制的绝缘基板上形成以薄膜晶体管为代表的有源元件，形成图像显示装置的情况下，或者在形成太阳电池的情况下该半导体薄膜能作为降低了表面粗糙度的半导体基板利用。





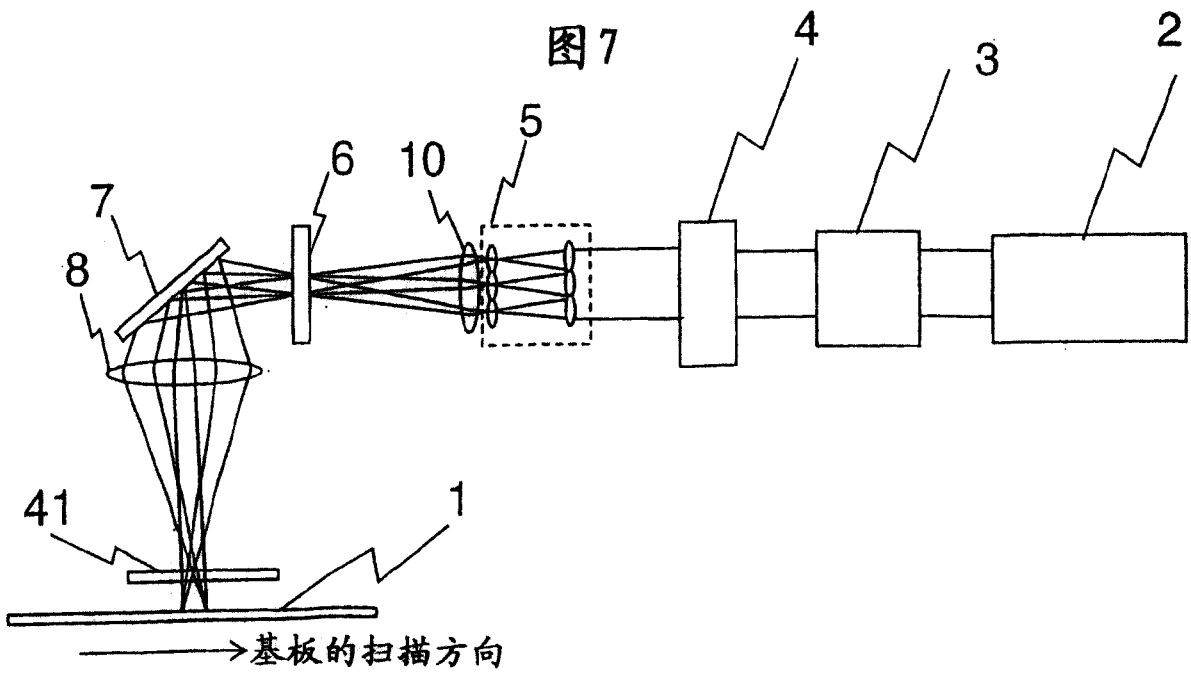
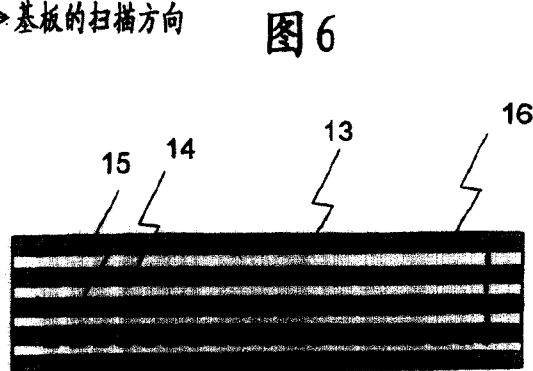
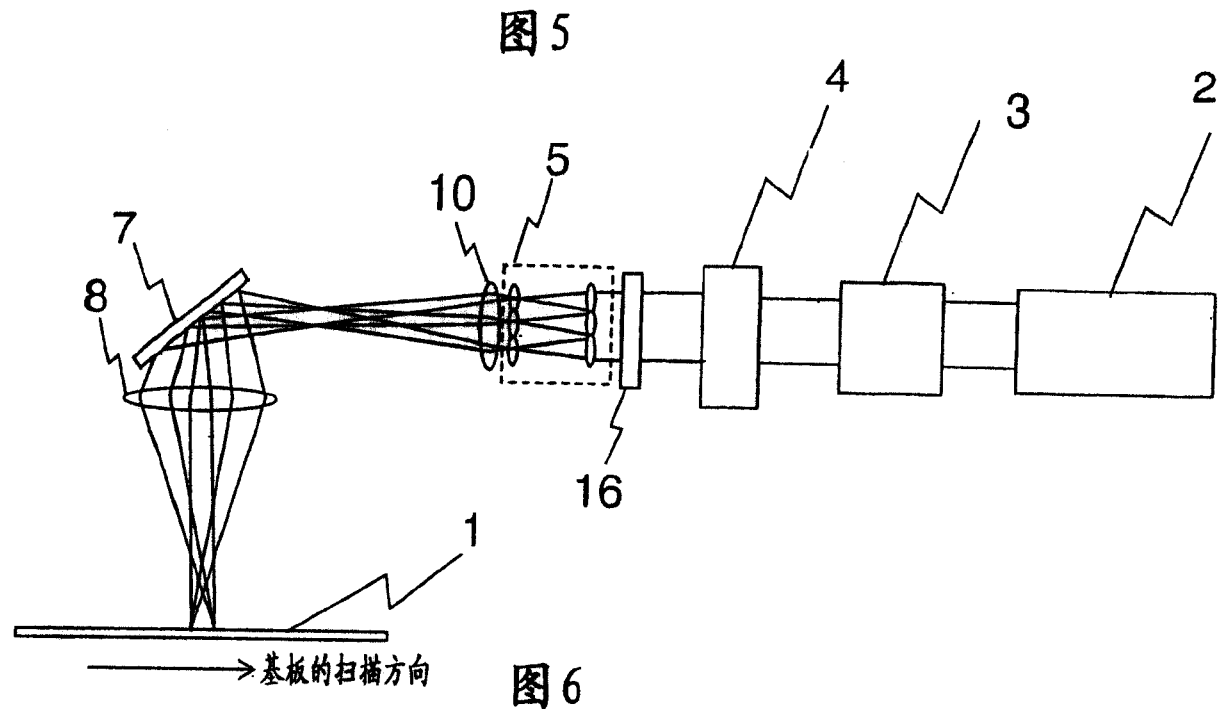


图8

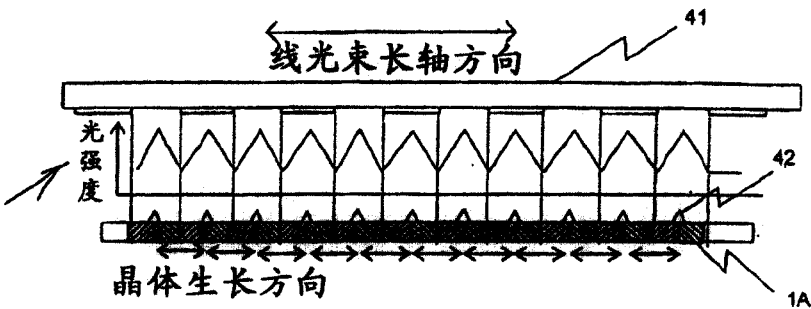


图9

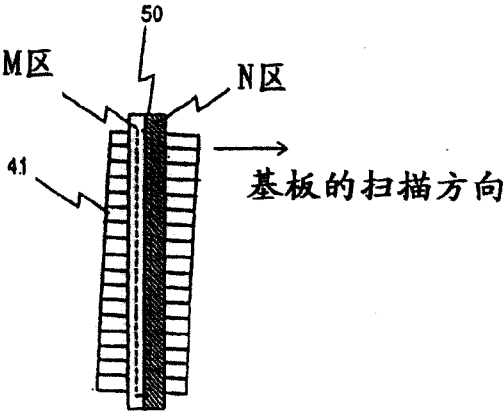


图 10

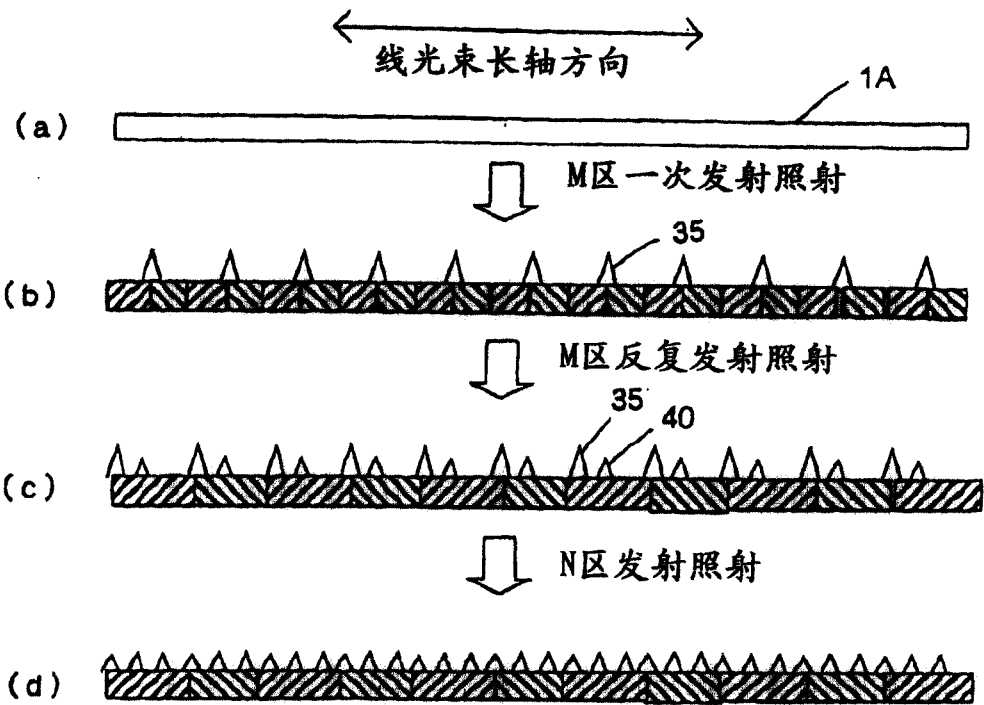


图11

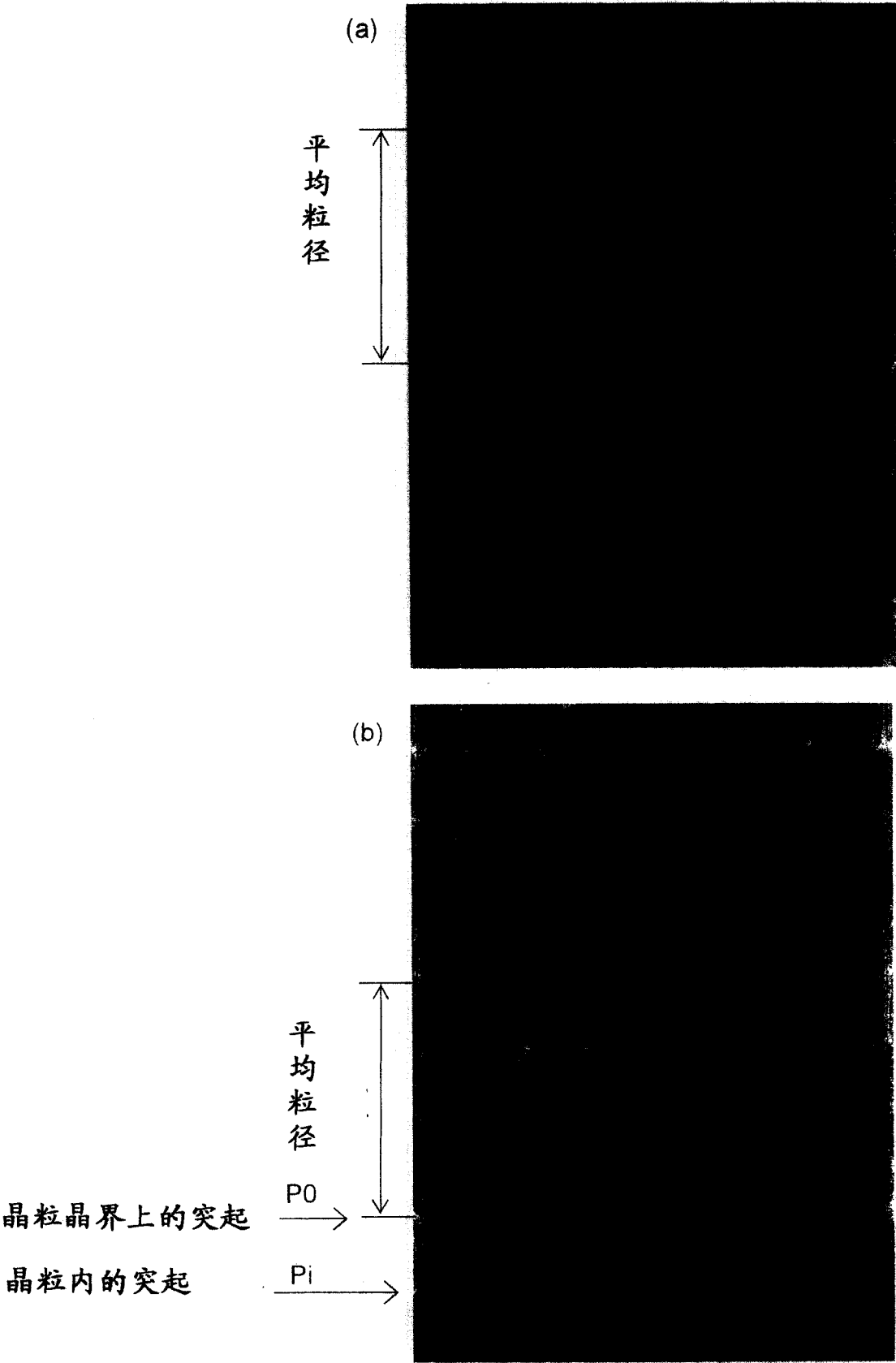


图 12

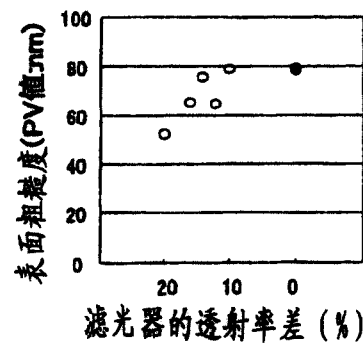


图 13

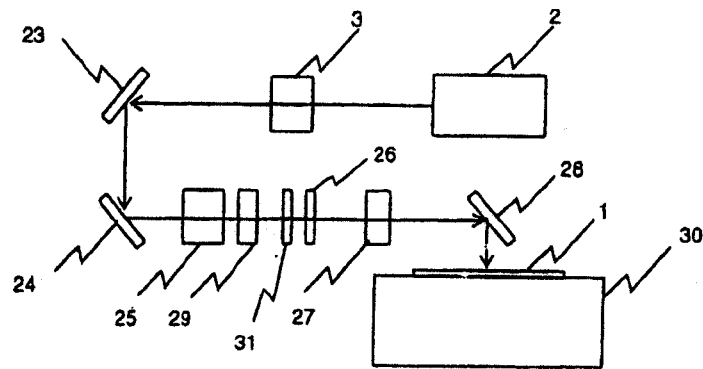


图14

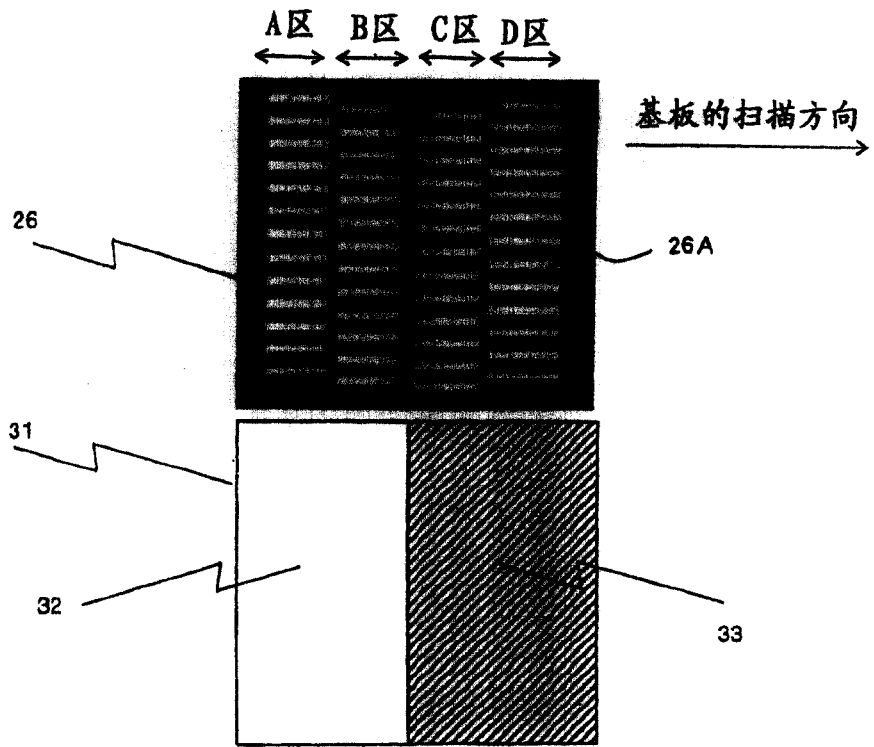


图15

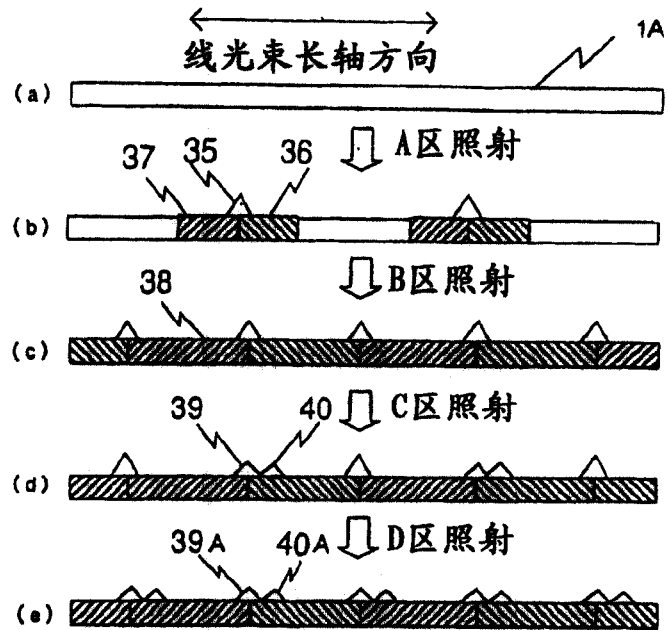


图16

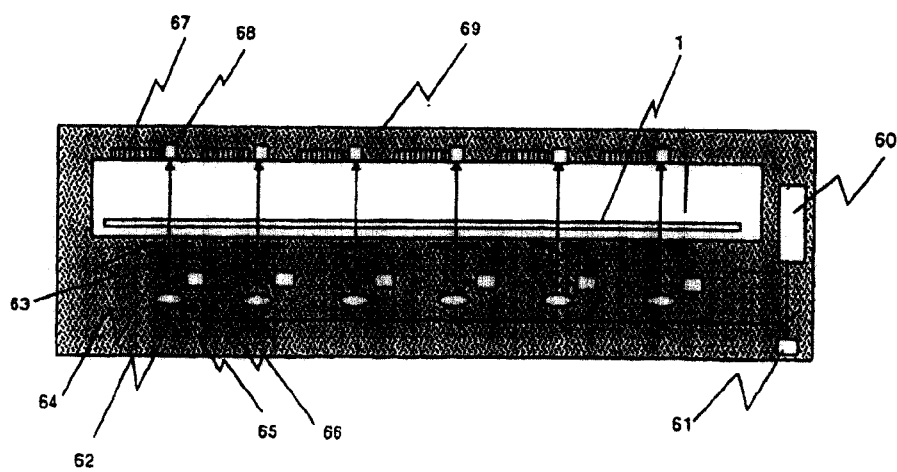


图17

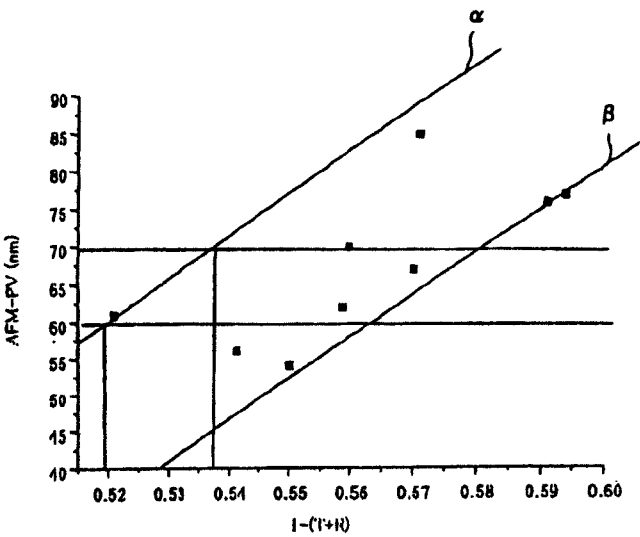


图18

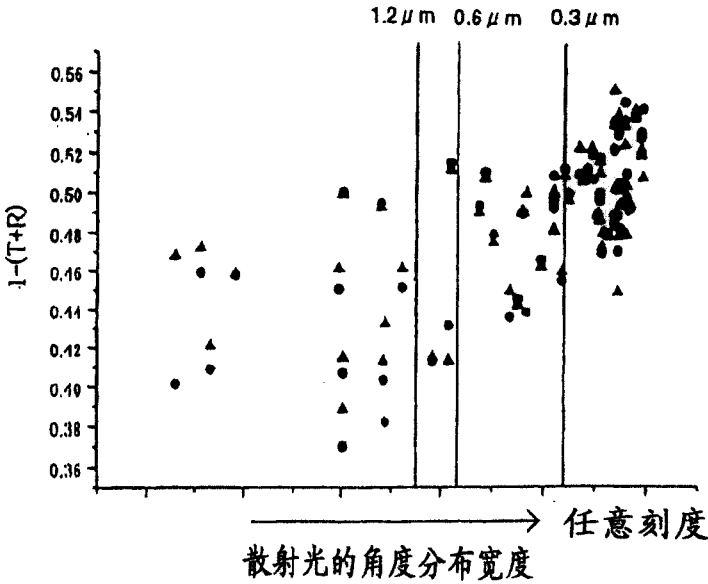


图 19

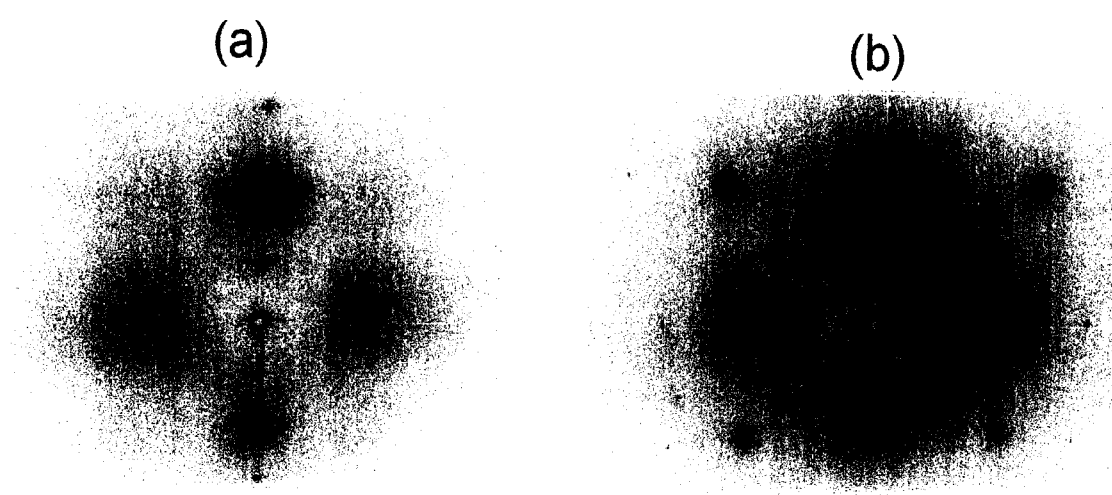


图 20

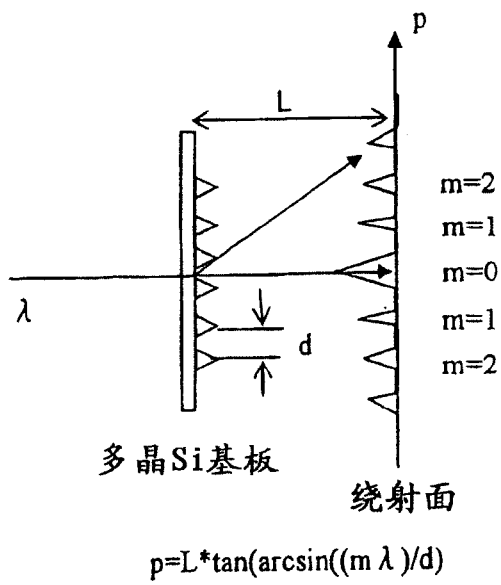


图21

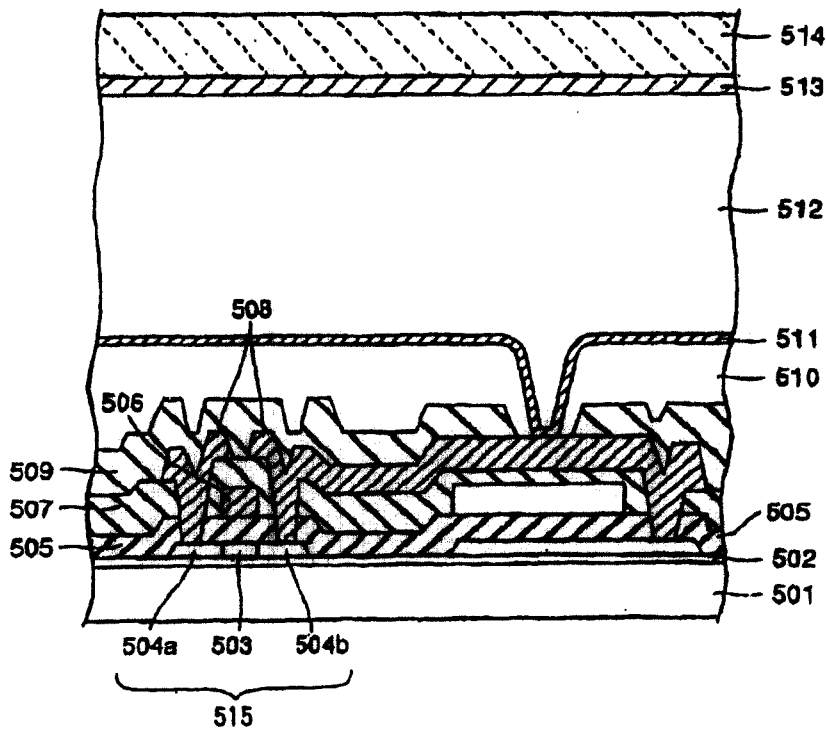


图 22

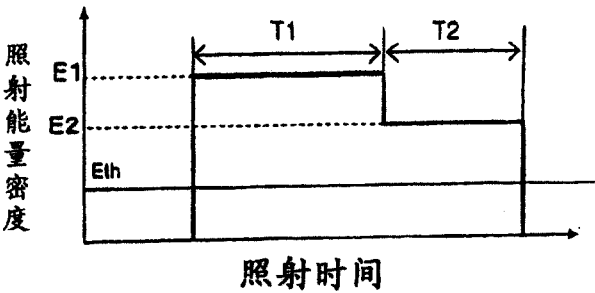


图 23

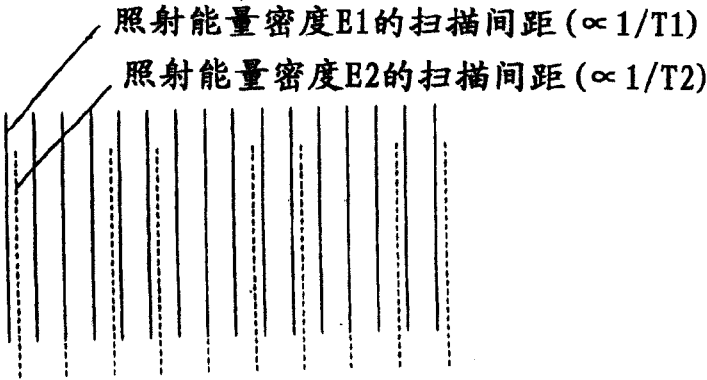


图 24

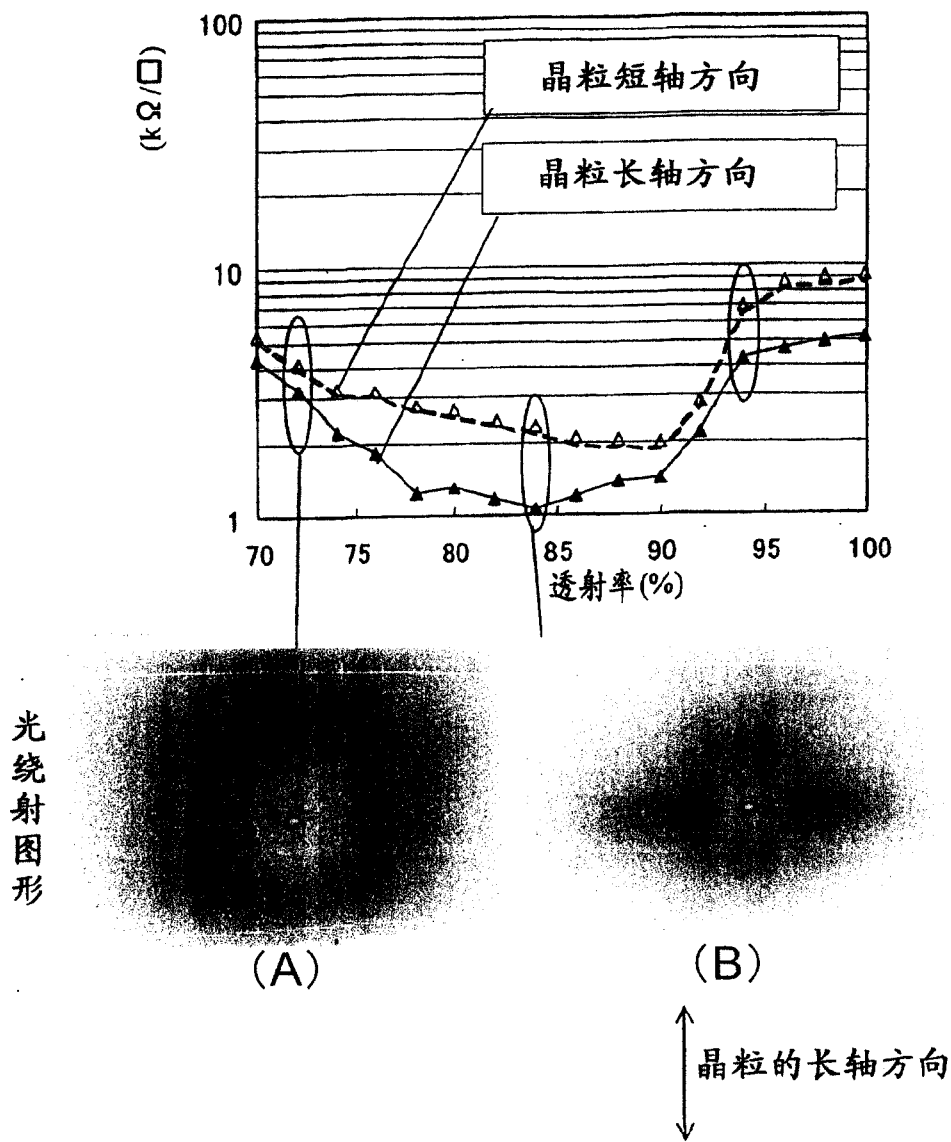


图 25

