

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
H01L 21/324



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 96105598.7

[45] 授权公告日 2004 年 1 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 1134831C

[22] 申请日 1996.2.2 [21] 申请号 96105598.7

[30] 优先权

[32] 1995. 2. 2 [33] JP [31] 37705/1995

[32] 1995. 3. 2 [33] JP [31] 68670/1995

[71] 专利权人 株式会社半导体能源研究所

地址 日本神奈川县

[72] 发明人 楠本直人 田中幸一郎

审查员 唐跃强

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

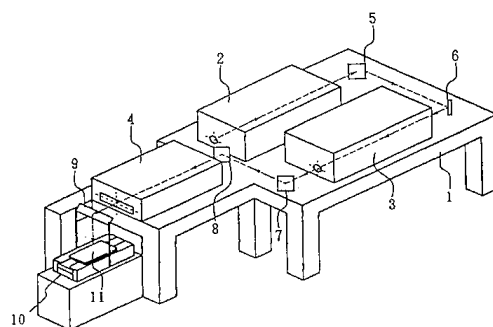
代理人 萧掬昌 马铁良

权利要求书 4 页 说明书 16 页 附图 7 页

[54] 发明名称 激光退火方法

[57] 摘要

采用具有简正分布型或类似的光束分布的线性脉冲激光束光照硅膜，使非晶形硅膜结晶中，线性脉冲激光束以一种叠加方式作用，可以取得类似于采用激光照射功率以阶跃方式多次扫描中逐步增加然后下降的方法所取得的效果。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种激光退火方法, 包括下述步骤:

以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束;

- 5 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布;

将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 和

- 10 用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜;

其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区 (601、602、603), 其中中间的台阶能量区 (602) 中的能量比两边的台阶能量区 (601、603) 中的能量高;

- 15 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和

其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

2. 一种激光退火方法, 包括下述步骤:

- 20 以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束;

对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布, 光束的平均单次脉冲的能量密度在 $100 - 500\text{mJ/cm}^2$;

- 25 将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 和

用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜;

- 30 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区 (601、602、603), 其中中间的台阶能量区 (602) 中的能量比两边的台阶能量区 (601、603) 中的能量高;

其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和

其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

3. 一种激光退火方法, 包括下述步骤:

以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束;

- 5 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布;

将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上;

- 10 用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜;

其中施加激光束的激光器是准分子激光器;

- 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区 (601、602、603), 其中中间的台阶能量区 (602) 中的能量比两边的台阶能量区 (601、15 603) 中的能量高;

其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和

其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

- 20 4. 根据权利要求 3 的激光退火方法, 其特征是, 激光束的平均单次脉冲的能量密度在 $100 - 500\text{mJ/cm}^2$ 之间。

5. 根据权利要求 1 的激光退火方法, 其特征是, 所述宽度在 $0.1 - 1\text{cm}$ 之间。

- 25 6. 根据权利要求 2 的激光退火方法, 其特征是, 所述宽度在 $0.1 - 1\text{cm}$ 之间。

7. 根据权利要求 3 的激光退火方法, 其特征是, 所述宽度在 $0.1 - 1\text{cm}$ 之间。

8. 根据权利要求 1 的激光退火方法, 其特征是, 所述激光束沿所述方向具有的长度在 $10 - 30\text{cm}$ 之间。

- 30 9. 根据权利要求 2 的激光退火方法, 其特征是, 所述激光束沿所述方向具有的长度在 $10 - 30\text{cm}$ 之间。

10. 根据权利要求 3 的激光退火方法, 其特征是, 所述激光束沿所述

方向具有的长度在 10-30cm 之间。

11. 一种激光退火方法, 包括下述步骤:

以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束;

对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上
5 是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布;

将该光束施加到由厚度在 150 - 1000Å 的硅组成的半导体膜的任意部分上;

在空气中用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描
10 所述半导体膜;

其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区 (601、602、603), 其中中间的台阶能量区 (602) 中的能量比两边的台阶能量区 (601、603) 中的能量高;

其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和
15

其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

12. 根据权利要求 11 的激光退火方法, 其特征是, 所述宽度在 0.1-1cm 之间。

20 13. 根据权利要求 11 的激光退火方法, 其特征是, 所述激光束沿所述方向具有的长度在 10-30cm 之间。

14. 一种激光退火方法, 包括下述步骤:

以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束;

对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上
25 是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布, 激光束的平均单次脉冲的能量密度在 100 - 500mJ/cm² 之间;

将该光束施加到由厚度在 150 - 1000Å 的硅组成的半导体膜的任意部分上;

在空气中用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描
30 所述半导体膜;

其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区 (601、602、603), 其中中间的台阶能量区 (602) 中的能量比两边的台阶能量区 (601、

603) 中的能量高;

其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和

5 其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

15. 根据权利要求 14 的激光退火方法, 其特征在于所述激光束是由准分子激光器发射的。

16. 根据权利要求 14 的激光退火方法, 其特征是, 所述宽度在 0.1-1cm 之间。

10 17. 根据权利要求 14 的激光退火方法, 其特征是, 所述激光束沿所述方向具有的长度在 10-30cm 之间。

18. 一种激光退火方法, 包括下述步骤:

以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束;

15 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布;

将该光束施加到由厚度在 150 - 1000Å 的硅组成的半导体膜的任意部分上;

20 在空气中用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜;

其中发射所述激光束的激光器是准分子激光器;

其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区 (601、602、603), 其中中间的台阶能量区 (602) 中的能量比两边的台阶能量区 (601、603) 中的能量高;

25 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和

其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

30 19. 根据权利要求 18 的激光退火方法, 其特征是, 所述宽度在 0.1-1cm 之间。

20. 根据权利要求 18 的激光退火方法, 其特征是, 所述激光束沿所述方向具有的长度在 10-30cm 之间。

激光退火方法

5 发明领域

本发明涉及一种退火技术，例如对半导体材料的大面积均匀有效地退火的技术。本发明也涉及一种在逐步改变照射能量密度时阻止受照区处理效率下降的技术。

背景技术

10 近年来，对降低制造半导体器件的处理温度已有广泛研究。这主要是由于在绝缘的衬底，例如在一种价廉和易加工的玻璃衬底上形成半导体器的需要。另外，对于形成精密的器件和多层器件的需要也促进了降低处理温度方面的研究。

尤其是，一种在玻璃衬底上形成半导体器件的技术需要生产一种构成有源矩阵液晶显示器件的平面显示板。这是一种使薄膜晶体管形成在玻璃衬底上，得到一个大于几百乘几百的薄膜矩阵结构。当把玻璃处于湿度大于 600℃的环境下，玻璃的形变，例如收缩和应变会非常明显。所以，在薄膜晶体管制造过程中的加热温度应该尽可能地低。

20 为了获取具有优良电性质的晶体管，需要使用一种晶体的薄膜半导体。

在众多的生产晶体硅膜的方法中，一种结晶技术是利用加热处理一种由等离子体 CVD 或低压加热至约 500℃的已沉积的非晶硅膜进行结晶的技术。这种加热处理是把试样放在 600℃或 600℃以上的空气中加热几个小时。在这种加热处理中需要加热温度，例如是 600℃，加热时间
25 超过 10 小时。通常，如果玻璃衬底在 600℃加热超过 10 小时，衬底的形变（应变和收缩）非常明显。由于构成薄膜晶本管的薄膜半导体其厚度为几百埃，其大小为几微米至几十微米，所以衬底形变将会使操作失败，以及电性能等的变化。尤其是，在大尺寸衬底的情况下（对角尺寸 > 20 英寸），所以衬底形变是一个严重的问题。

30 如果热处理温度超过 1000℃，结晶作用可以在几小时的处理时间内取得。然而，普通玻璃衬底，即使热处理持续一个短的时间，它也不能经受 1000℃的高湿。

石英衬底可以经受超过 1000℃ 的热处理，并允许制取具有优质结晶的硅膜。然而，大面积的石英衬底十分昂贵。所以，从经济角度出发石英衬底不可能随使用在将来需要增加显示尺寸的液晶显示装置上。

在上述情况下，目前制造薄膜晶体管的处理温度需要降低。为获取这个目的的技术中，可以利用有激光光照退火技术。该技术的吸引人之处在于，可以提供一种相当低温的处理，因为激光能以相当高的热退火能量只供给在一个必需的处理环境中。所以，用激光光照的退火技术使玻璃衬底的使用成为可能。

然而，用激光光照的退火技术有一个激光光照能量不稳定的问题。虽然这个问题可以使用能够发射高于必需能量的激光，以及相应衰减输出激光能量的激光装置来解决。然而仍旧存在其它的由于增加激光输出装置的大小而造成费用增加的问题。

尽管存在这一问题，但是利用激光光照的退火技术仍然是一种对玻璃衬底的使用具有优点的技术。

通常，具有如下所述的二种激光光照方法。

在第一种方法中，使用一个连续激光器，例如氦离子激光器，把一束聚焦光束加到半导体材料上。半导体材料的结晶其过程是，首先使它熔化，然后由于光束的斜度能量分布和它的运动，使半导体逐步固体化。

在第二种方法中，利用一种脉冲振荡激光器，例如准分子激光器。半导体材料的结晶过程是，利用高能的激光脉冲使其瞬时熔化，然后固化。

利用连续激光器的第一个方法具有一个长时间处理的问题，因为连续激光器的最大能量是不足的，其光斑的尺寸至多是几毫米×几毫米大小。相比之下，利用脉冲振荡激光器的第二方法可以提供高批量生产，因为激光器的最大能量相当高，所以其光斑尺寸可以是几个平方厘米或更大一些。

然而，在第二方法中，对于用普通的方形或长方形光束处理单个大面积衬底时，光束需要在四个正交方向上移动，从批量生产角度看，这种不方便性问题仍有待解决。

这一方面的问题可以通过把激光束形变成一种线状光束来改进，该线状光束的宽度比衬底的宽，并用这种经形变的线状光束对衬底进行扫描。

其余的问题是激光光照效果的不均匀性。下面的措施用于改进所述的均匀性。第一个措施是，让激光束通过一个狭缝，使光束剖面分布尽可能地趋于矩形，由此减低激光束内的强度变化。第二个进一步提高均匀性的措施是，用脉冲激光进行预先的光照，该激光脉冲的能量比随后进行的主要光照的能量弱。这一措施可

以使最终的半导体器件性能得到相当大的改进。

为什么上述二种措施是有效的理由在于，一个包含许多非晶部分的半导体材料膜层，具有一个激光能量吸收比率，该比率明显不同于多晶膜层，例如，一个通常的非晶硅膜（2-si 膜）含有 20-30 百分原子数的氢。如果高能的激光突然施加至非晶硅膜，则氢从膜中逸出，结果膜表面变得粗糙，即，形成几十埃至几百埃的不平度。由于用于薄膜晶体管的薄膜半导体其厚度为几百埃，所以它的表面具有几十埃至几百埃的不平度将会造成电性能等的改变。

在执行二步光照情况下，其处理方法是，某些部分的氢通过弱的预光照，而从非晶硅膜中被除去，再由主光照实现结晶。因为光照能量在预光照时不很高，所以不会出现由于突然的氢逸出而产生膜的严重表面不平滑。

激光光照效果的均匀性可以明显地预以改善。然而，如果采用上述二步光照，激光处理时间需要加倍，由此使产量下降。还有，由于使用脉冲激光器，所以会出现取决于主光照和预光照的配准精度而造成的激光退火效果上的某些变化，这种变化可以明显地影响尺寸为几十微米乘几十微米的薄膜晶体管的特性。

通常，在各种用激光光照的处理技术中，（例如，应用激光能量致使各种材料中的性能改变和处理的技术），一种技术是使某些区域受到多次改变能量的激光束的光照，上述用于硅膜的退火技术就是这种技术的一个例子。

惯常，在这样一种技术中，激光束多次作用，这将使处理时间加长光照时间数的倍数，同时使工作效率也明显下降，此外，

用激光光照某个区域多次容易造成引起光照面积偏离的问题。解决此问题在技术上可能是很困难的，或需要一种费钱的技术，所以它是不实际的。

发明内容

本发明提出一种新的线性激光束能量分布来解决上述问题，这种能量分布以连续的或阶跃的方式变化，尤其是，采用一种简正分布型的能量分布或一种不规则四边形的能量分布。

为解决上述问题，本发明的一个方面是，光照物体是用已经成形为线光束的脉冲激光束来光照，同时受到激光束在相对的一个方向上进行扫描。

例如，图 3 所示，一个半导体材料受激光束扫描同时受到光照，所用激光束在其宽度方向（即，扫描方向）具有一种简正分布型的能量分布。采用这种光照方法，简正分布型能量分布的底部到中间部相当于具有低激光能量的初光照，而中间部到顶部的能量分布相当于具有高能量的主光照。所以，一种单一激光束光照操作可以提供类似于用二步或多步激光束光照所取得的效果。另一种方式，如图 5 所示，半导体材料用一个在其宽度方向（扫描方向）具有不规则四边形能量分布的激光束光照。在这种情况下，上述不规则四边形，如梯形的能量分布的斜度部分具有一种相当于初光照那样的提供能量的功能，而能量分布的顶部分具有相当于主光照那样的赋予能量的功能。

本发明的其它方面在于，一个光照物体受到已经成形为线光束的脉冲激光束光照，同时使该激光束在一个方向上运动，在运动时，使激光束以一种叠加的方式作用，致使光照物体上的一个任意选择点受到多次光照。

在这种方法中，由于以重迭方式施加线激光束，而使一个受照区域受到激光束多次光照。

尤其是，在其扫描方向具有一种简正分布型能量分布（见图 3）或一种梯形能量分布（见图 5）的激光束在缓慢运动时，以一种叠加方式施加的情况下，在受照的该区域中，所作用的能量密度首先是连续地增加，或以阶跃方式增加，然后连续地下降，或以阶跃方式下降。所以，这种方法可以提供类似于由二步或多步激光光照的效果。

为提供相当于用多步光照获得的结果，重迭激光束脉冲的数目可以定为 3 至 100，最好是 10 至 30。

然而，为获取必需的退火效果，最好使激光束光照的执行能满足下述条件：

（1）光照物体是厚度为 150-1000Å 的硅膜。

(2) 激光束是脉冲光束, 脉冲率为每秒 N 个, 假定光束的线性形状其宽度为 L , 光束的能量密度分布(在宽度方向)连续改变, 或以阶跃方式改变。

(3) 激光束用于光照表面, 同时在宽度方向以速度 V 移动。

5 (4) 平均单脉冲能量密度为 100 至 500mJ/cm^2 。

(5) 所加的激光束需满足关系: $10 \leq LN/V \leq 30$ 。

因此, 根据本发明的一个方面, 提供了一种激光退火方法, 包括下述步骤: 以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束; 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布; 将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 和用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜; 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区, 其中中间的台阶能量区中的能量比两边的台阶能量区中的能量高; 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

根据本发明的另一个方面, 也提供了一种激光退火方法, 包括下述步骤: 以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束; 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布, 光束的平均单次脉冲的能量密度在 $100 - 500\text{mJ/cm}^2$; 将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 和用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜; 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区, 其中中间的台阶能量区中的能量比两边的台阶能量区中的能量高; 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

30 根据本发明的又一个方面, 提供了一种激光退火方法, 包括下述步骤: 以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束; 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于

上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布; 将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜; 其中施加激光束的激光器是准分子激光器; 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区, 其中中间的台阶能量区中的能量比两边的台阶能量区中的能量高; 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

10 根据本发明的又一个方面, 提供了一种激光退火方法, 包括下述步骤: 以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束; 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布; 将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 在空气中用上述
15 光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜; 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区, 其中中间的台阶能量区中的能量比两边的台阶能量区中的能量高; 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有
20 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

根据本发明, 还提供了一种激光退火方法, 包括下述步骤: 以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束; 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布, 激光束的平均单次脉冲的能量密度在 $100 - 500\text{mJ/cm}^2$ 之间; 将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 在空气中用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜; 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区, 其中中间的台阶能量区中的能量比两边的台阶能量区中的能量高; 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的
25 激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

根据本发明的再一个方面, 提供了一种激光退火方法, 包括下述步骤: 以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束; 对激光束进行整形, 使它在沿穿过光学系统的辐射表面的一个方向上是细长的光束, 激光束在垂直于上述方向的宽度 L (m) 上具有多台阶能量分布; 将该光束施加到由厚度在 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅组成的半导体膜的任意部分上; 在空气中用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜; 其中发射所述激光束的激光器是准分子激光器; 其中所述光束的多台阶能量分布具有三个台阶能量区, 其中中间的台阶能量区中的能量比两边的台阶能量区中的能量高; 其中, 在一次扫描中施加到所述任意部分上的激光束的数量满足关系: $3 \leq LN/V \leq 100$, 和其中宽度 L (m) 定义为相对于被照射表面上的激光束的最大能量密度具有 5% 或者更多能量密度的区域中的光束。

优选地所述激光束的平均单次脉冲的能量密度在 $100 - 500\text{mJ/cm}^2$ 。

优选地在所述激光退火方法中, 施加激光束的激光器是准分子激光器。

优选地在所述激光退火方法中, 所述宽度在 $0.1 - 1\text{cm}$ 之间。

优选地在所述激光退火方法中, 所述激光束沿所述方向具有的长度在 $10 - 30\text{cm}$ 之间。

优选地在所述激光退火方法中, 在空气中用上述光束在垂直于上述方向的方向以速度 V (m/s) 扫描所述半导体膜。

在上述条件中, 对于光照物体是一个厚度为 $150 - 1000\text{\AA}$ 的硅膜的条件是基于下述理由建立。许多实验已表明, 在对硅膜退火时, 如果硅膜厚度小于 $150\text{\AA}$, 膜形成的均匀性, 退火效果的均匀性以及再现性是不够的。另一方面, 具有厚度大于 $1000\text{\AA}$ 的硅膜是不现实的, 因为它需要一种大功率输出的激光器。还有, 具有这种厚度的结晶硅膜不适用于薄膜晶体管。

具有光束的能量分布在宽度方向连续或阶跃或变化的激光束的例子是一种在扫描方向 (见图 3) 具有简正分布型的能量分布的激光束, 和一种在扫描方向 (见图 5) 具有梯形能量分布的激光束。

采用能量密度为 $100 - 500\text{mJ/cm}^2$ 的理由是, 由实验可知, 具有厚度小于或等于 $1000\text{\AA}$ 的硅膜退火, 可以采用上述能量密度的激光束有效地进行。把上述所用的能量密度规定为以连续或阶跃方式变化的能量分布

的情况下,把能量密度规定为最大值,在梯形分布的情况下,把能量密度规定为顶基部分的值。

在上述方法中,参数 LN/V 表示,在用线性激光束进行一次扫描时,作用到个别线区域上的激光束脉冲数。为获得如由多步光照所获得的效果,最好激光束脉冲数量为 10-30。

根据本发明的激光束光照方法,它包括:以每秒 N 次的速率发射脉冲激光束;成形脉冲激光束,使其所具有的能量分布的能量密度在预定方向的 L 长度上以连续或阶跃的方式改变。

把激光束作用到一个预定的区域,同时用激光束以速度 V 在预定方向向内对该区域扫描,其中在一次扫描中,作用到预定区域的激光束脉冲数满足关系式: $n=LN/V$ 。

在采用上述方式时,可以用能量密度逐步改变的激光束 n 次光照在需照射的区域。

在本发明中,激光束光照能量分布不局限于简正分布型和梯形分布型,例如可以采用一种光束形状,其能量密度可以是一种类似阶跃方式或一种三角形能量分布的方式。

例如,在采用一种具有简正分布型能量分布(如图 3 所示)的线性激光束,并在它的宽度方向进行扫描,以满足一定的条件时,自选作用一个弱的底部能量分布,然后逐步增加光照能量,在对具有一定能量值的一部分作用过之后,光照能量逐步降低,光照完成。

例如,在使用宽度方向具有简正分布型光照能量分布的线性脉冲激光束时,需满足条件: $LN/V=15$, 其中 L 是光束宽度, N 是每秒发射的光脉冲数, V 是扫描速度。对于线性区域在次激光束扫描中用 15 个激光脉冲光照。

这 15 个激光束脉冲依次施加,他们分别具有简正分布型能量分布的 15 区段的能量分布,例如,一个光照的线性区(该区的宽度是非常窄的)依次用具有能量密度值为 $E1-E15$ (见图 4)的激光束脉冲光照,当激光脉冲 $E1-E8$ 依次施加时,光照能量密度逐步增加。另一方面,在激光束脉冲 $E8-E15$ 依次施加时,光照能量密度逐步下降。

一个这种类型的方法,即,首先光照能量逐步增加,然后逐步下降,可以获得的希望的退火效果,而抑制硅膜表面的不平度。此外,由于所希望的效果可以通过一次扫描而不是多次的激光束光照操作的激光束光

照来获取, 所以取得高的操作效率。

尤其, 类似于那些由多步光照获得的效果所以通过利用能量密度连续地改变的激光束获得。这种功能同样可应用于其它不同于硅膜退火效果的其它退火处理上。

5 附图说明

图 1 表示一个用于激光光照的装置结构图。

图 2 表示把激光束成形为线性光束的光学布置示图。

图 3 示意说明利用具有简正分布型能量分布的线性激光束的扫描示意图。

10 图 4 表示一般形式的简正分布型能量分布图。

图 5 表示利用具有梯形能量分布的线性激光束的扫描示意图。

图 6 表示根据本发明的辐射能量分布图。

图 7 表示根据本发明的辐射能量分布图。

具体实施方式

15 实施例 1

在本实施例中, 硅膜用作为半导体材料, 存在着一种倾向, 即, 在应用激光光束光照来增加非晶形或晶形硅或硅化合物的结晶度的过程中, 膜表面的均匀性降低。下述的实施例将能抑制这种均匀性的降低, 和减少由上述已有背景技术介绍的二步光照过程中激光束照的处理时间, 并取得相当于或优于二步光照的效果。

20 首先, 介绍激光退火装置。图 1 是一个本实施例所用退火装置的构思图。图 1 中列出激光退火装置的主要部件。从振荡器 2 发出 KrF 准分子激光 (波长 248nm, 脉宽 25ns)。显然其它准分子激光器和其它类型的激光器也可以使用。

25 从振荡器 2 发出的激光束由全反射镜 5 和 6 反射, 由放大器 3 放大, 反射镜 7 和 8 反射, 并进入光学系统中。

在光进入光学系统 4 之前, 假定激光束具有 $3 \times 2\text{cm}^2$ 的长方形状。通过光学系统 4 使激光束变成具有长为 10-30cm, 宽度为 0.1-1cm 的细长的宽光束 (线光束)。这种线激光束其光束的剖面形状在宽度方向, 近似于简正分布型 (图 3)。从光学系统 4 输出的激光束最大能量为 30 $1000\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的脉冲。

把初始激光束成形为宽而长的光束的原因在于提高光处理能力, 对

此见下面所述。由光学系统 4 输出的线性激光束, 经过一个全反射镜 9 作用到试样 11 上, 由于激光束宽度大于试样 11 的宽度, 所以通过试样 11 在一个方向的运动, 可以使激光束施加到整个试样 11。因此, 可以把承载试样的移动工作台 10 做成简单结构和容易维护的, 并且使放置试样 11 时的调整操作容易实现。

图 2 表示在光学系统 4 内的光路示例。输入到光学系统 4 的激光束通过一个柱面凹透镜 A, 一个柱面凸透镜 B, 以及水平和垂直复眼透镜 C 和 D, 还通过柱面凸透镜 E 和 F, 由平面镜 G 反射 (相当于图 1 的平面镜 9), 再由柱面透镜 H 聚焦, 最后作用至试样 11。通过使透镜 H 相对于光照表面的垂直移动。照射在样品表面上的激光束分布可以从近似长方形至简正分布型进行改变。由于图 2 中的全反射镜 G 相当于图 1 中的全反射镜 9, 所以透镜 H 实际上放置在全反射镜 9 至试样 11 之间。

一个实例是, 按照本发明利用激光光照使结晶硅膜形成在一个玻璃衬底上。其过程是, 首先制取一个 10 厘米 $\times$ 10 厘米的玻璃衬底 (例如, corning7059 或 1737), 通过等离子体 CVD 法利用 TEOS 作为一种材料, 在玻璃衬底上形成一层 2000Å 厚的氧化硅膜。这层氧化硅膜起到阻止杂质从玻璃衬底至半导体膜扩散的底层膜的作用。

之后, 利用等离子体 CVD 或低压加热的 CVD 法将一层 500Å 厚的非晶硅膜沉积。在采用激光束光照退火来形成一层结晶硅膜情况下, 希望作为初始膜的非晶硅膜其厚度小于 1000Å。这是因为, 如果非晶硅膜厚度大于 1000Å, 就不能取得所希望的退火效果。

用上述方法使非晶硅膜形成在玻璃衬底上。由此, 利用图 1 所示装置, 使 KrF 准分子激光束 (波长: 248nm; 脉宽: 25ns) 作用至非晶硅膜, 使它转换成结晶硅膜。

由光束成形变换透镜将激光束变换成线性光束, 在光照物体上提供 125 毫米 $\times$ 1 毫米的光束面积。由于线性激光束具有一种简正分布型的分布, 光束的边缘是不确定的。在本说明书中, 光束限定为能量不低于最大能量的 5% 的这部分光束分布。

试样 11 安置在试样台 10 上, 通过以 2 毫米/秒速度运动试样台 10 使其受到光照。至于激光束光照条件是, 激光能量密度为 300mJ/厘米², 脉冲速度 (每秒发射脉冲数) 为 30 脉冲/秒。需指出, “能量密度”用语是指光束分布的最高部分的能量密度值近似于一种简正的分布。

利用上述条件, $V=2 \times 10^{-3}$ 米/秒, $N=30$ 秒⁻¹, $L=1 \times 10^{-3}$ 米。所以, $LN/V=15$, 满足本说明书所公开的条件。

在按照上述条件进行激光束光照时, 在试样 11 上的任意选择点(线性区域)用 15 个激光束光照。该 15 个激光脉冲具有的能量密度值相当于图 4 所示简正分布型分布的值 E1 至 E15。如果在上述条件下利用线性激光束, 使具有能量密度值为 E1 至 E15 的激光脉冲依次施加, 复盖一个 125 毫米 $\times$ 1 毫米的线性面积。

图 3 表示在扫描运动时, 线性激光束是如何施加的。例如, 欲对线性区 A 扫描, 首先, 用具有相当于简正分布的底部的低能量密度的激光束脉冲, 然后使作用的激光束脉冲的能量密度逐步增加的方式对线性区 A 进行光照。在打算对线性区 B 光照时, 可见, 在它受到具有相当于简正分布的顶部的最大能量密度的激光束脉冲光照后, 所作用的激光束脉冲的能量密度逐渐下降。所以, 不用改变激光振荡器 2 的输出就能使光照能量最佳。由于可以总是使激光振荡器 2 处于稳定, 所以保证均匀的激光退火。

发明者的经验指出, 在参数 LN/V 处于 10-30 时可以取得最佳的结晶硅膜。即, 使硅膜结晶的最佳条件在于对它的预定线性区光照 10 至 30 次。光照激光束的能量密度应当在 $100-500\text{mJ/cm}^{-2}$, 最好在 $300-400\text{mJ/cm}^{-2}$ 范围内。

在激光束光照时, 使衬底温度保持在 200°C , 由于激光光照引起衬底表面温度的增加和降低的速度。已知通常环境条件的突然改变会造成物质的不均匀性。由于激光束光照引起的衬底表面均匀性的变差可以采用使衬底保持在高一点的温度来减小。虽然在本实施例中衬底温度置定在 200°C , 但是实际上置定在 $100^\circ\text{C}-60^\circ\text{C}$ 范围中的一个最合适于激光退火的温度上。不需特别的气氛控制, 即光照可以在空气中进行。

实施例 2

在实施例在于, 用激光光照提高已经用加热结晶的硅膜的结晶度和均匀性。发明者的多次研究指出, 可以通过在约 550°C , 4 小时的热处理, 再添加用于加速硅结晶的金属元素来获得结晶硅膜。这种技术在日本未审查的专利公开 No.Hei.232059 和 Hei.244107 中已作过介绍。

利用这种技术, 可使结晶硅膜甚至形成在处于应变不成为严重问题的温度范围内的大面积玻璃衬底上。由这种结晶硅膜生产的薄膜晶体管

其特性优于传统的用非晶结膜生产的薄膜晶体管。尤其是，在利用非晶硅的薄膜晶体管的迁移率小于 $1\text{cm}^2/\text{vs}$ 时，利用上述包涂加金属元素的结晶技术生产的薄膜晶体管其迁移率大于几十个 cm^2/vs 。

然而，用电子显微照相如拉曼光谱观察发现，在上述技术生产的结晶硅膜中仍具有许多非晶成分。已证明，用激光束光照可对剩留的非晶成分进行结晶，其最终的薄膜晶体管的特性进一步取得改进。

根据该实施例制取结晶硅膜的方法是，首先，在一玻璃衬底上沉积一层 $2000\text{\AA}$ 厚的氧化硅膜为低层膜。在其上采用等离子体 CVD 方法沉积一层 $500\text{\AA}$ 厚的非晶硅膜。然后把一种醋酸镍盐用旋转涂层法将它加到非晶硅膜的表面。调节醋酸镍盐溶液中的镍浓度，使镍最终剩留在硅膜中的浓度为 $1 \times 10^{16} - 5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。这是因为，如果镍浓度超过上述范围，具有金属硅化物的性质会出现，如果低于该浓度，不能获得加速结晶作用的较果。镍浓度作为 SIMS（次级离子质谱仪）测量的最大值来限定。

就再现性和效果而看，镍是最有利于作为加速硅结晶的金属元素。然而，也可以使用 Fe, Co, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Cu, 和 Au 中的一种或几种元素。尤其是 Fe, Cu, 和 Pd, 甚至 Pt 可以提供足够的实用效果。

在使镍保持在相邻于非晶硅膜的表面的情况下，衬底处于氮气氛下 450°C 一小时，以除去非晶硅膜中的氢。这种热处理可以通过相互间形成的悬空键来降低稍后进行的结晶步骤中的阈值能量。

之后，在镍保留在邻近非晶硅膜表面的状态下进行 550°C ，4 小时的热处理，使非晶硅膜变换成结晶硅膜。虽然这种热处理可以在大于 500°C 温度下进行，但重要的是，温度要低于玻璃衬底的应变点。

于是，在玻璃衬底上形成一层结晶硅膜。然后用相同于第一实施例的方法和条件把激光束加到硅膜上，结果，所得到的结晶硅膜在结晶化和均匀性方面均有所增加。由实验可见，如果激光束的能量密度增加 20-50%，激光束光照将更为有效果。

对于本实施例，采用激光束光照来提高由添加加速硅的结晶的金属元素通过热处理结晶硅膜的结晶作用的技术，它可以提供一种结晶硅膜，其晶体性能，均匀性和产出率均优于只用加热或激光束光照生产的结晶硅膜。

在用普通的方法，把激光施加至通过加热掺入金属元素，例如镍，所制取的结晶硅膜的情况下，会出现诸如金属元素的离析和局部凝聚的现象。金属元素的离析和局部凝聚，会形成捕获中心，他们是使最终半导体器件的电性能显著变差的因素。相比之下，如果采用在发明的激光光照方法，就不会发生这种现象。这是因为，金属元素的离析和局部凝聚可以通过逐步从低到高增加激光束能量来抑制。

实施例 3

在第 1 和第 2 实施例中施加具有一种简正分布型能量分布的线性激光束，在本实施例中，施加具有一种梯形能量分布的线性激光束。同样，在本实施例中，采用如同图 1 和 2 所示的激光光照装置，用 KrF 准分子激光器（波长：248nm，脉宽：25ms）发出的激光束光照来退火结晶的硅膜。

用光学系统中使激光束成形为 125 毫米×1 毫米的光束面积照到一个物体上，在线光束的宽度方向的能量密度如图 5 所示是梯形的。由于这样一种线性激光束的分布性质，使光束的边缘是不确定的。在本文中，使光束被限定为能量大于最大能量的 5% 的那部分光束分布。

试样 11 被安置在工作台 10 上，通过以 2 毫米/秒的速度运动工作台 10，用线性激光束对试样 11 完全光照。至于激光束光照条件是，使激光束能量密度为 100-500mJ/cm²，脉冲速率为 30 脉冲/秒。需指出，下面所述的"能量密度"用语是指，梯形光束分布的顶基部分（具有最大值）的能量密度值。

如果激光束光照是在上述条件下进行，其中脉冲激光束的宽度是 1 毫米，对于试样 11，光束用 0.5 秒通过 1 毫米宽的面积，在光照表面上的一点接收 15 个激光脉冲束。即，在试样上的一个任选点在一次扫描中用 15 个激光束受到光照。在本实施例中，由于施加具有梯形能量分布的线性激光束，所以在一次扫描的初始几个光束作用中，光照能量密度增加，而在最后几个光束作用中，光照能量密度下降。

这种情况示意表示在图 5 中。在初始的一半的 15 个光束作用中，激光束能量逐步增加（注意图 5 中的部分 A），而在后面的一半中激光束能量逐步下降（图 5 中的部分 B）。所以，可以不用改变激光振荡器 2 的输出来使光照能量最佳化。由于激光振荡器 2 可以总是稳定的，所以可保证均匀的激光退火。可从激光束宽度，工作台 10 的移动速度和

激光的脉冲数很容易地计算数目 15。根据我们的实验，可以用 3 至 100 束激光作用来制取具有最好结晶率的硅膜，最好使用 10 至 20 束激光作用。

在激光光照时保持衬底在 500℃，以便减小由于激光束光照所引起的衬底表面温度的增加和降低的速度。已知，一般环境条件的突然改变会对衬底的均匀性造成影响。所以通过保持高的衬底温度来减小由于激光束光照所引起的衬底均匀性的变差。虽然在本实施例中衬底温度置于 500℃，实际上使温度置定在离玻璃衬底的应变点 400℃范围内的最适宜激光退火的温度上。不需进行特殊的气氛控制，即光照在空气中进行。

第 4 实施例

第 4 实施例的特征在于，辐照激光束的能量分布采用设计的光学系统具有如图 6 所示形状。

在由于辐照光束到硅膜上所进行的退火中，最好使照射的能量密度在要辐照的区域内逐步地增加，进而使辐照能量密度逐步地降低。

这是因为退火效果是一致的，还有由退火造成的硅膜表面的不平度受到抑制之故。

图 6 所示的辐射能量分布，它是一种在用辐照激光束结晶非晶硅膜情况下的分布。

如图 6 所示的辐射能量分布表示一部分激光束它具有线性形状。在图 6 中，辐照至物体的激光束它是从右至左地对物体进行扫描。

需指出，在图 6 中，纵坐标轴代表归一化辐照能量密度的相对值。横坐标轴表示线状激光束的宽度方向。

下面，参照把激光束照射至非晶硅膜上，把非晶硅膜改变成结晶硅膜的方法，作为一个例子来介绍一种激光退火方法。

在这种情况下，注意某些需要照射的特定区域，使激光束的一部分 603 照射至欲照射的区域。在此，激光束以一部分 603 的能量密度被设定为使非晶硅膜不被加热的程度，使用如此的一种能量密度，在非晶硅膜结晶之前受到预加热。

之后，使激光束扫描欲照射的物体，激光束的一部分 602 被照射至欲照射的区域上。

使激光束的一部分 602 置定在允许非晶硅膜受熔化和结晶的能量密度。

用这样一种置定，可以使非晶硅膜结晶。在这种情况下，由于用激

光的一部分 602 照射所进行的加热不是迅速进行的，所以可使结晶作用以一种具有相当均匀度和抑制产生缺陷的方式进行。

之后，激光束的一部分 602 利用激光束扫描物体，把该部分激光束照射至欲照射的区域上。

5 激光束的一部分 601 具有激光束的一部分 603 相同的能量密度。换言之，激光束部分与 601 具有不致使受加热的硅膜被结晶的能量密度。

在用激光束部分 601 照射时，已经结晶的硅膜不至于进入迅速冷却的状态。

10 在用激光束部分 601 照射时，需要固化已熔硅膜的周期时间可以得到延长。

光束部分 601 的作用在于按照光束的形状或退火条件为置定的能量密度。

利用这样一种功能，可以统一进行晶体生长。同样，也可以抑制出现缺陷或应力。另外，表面不平度（凹/凸）的产生也受抑制。

15 在上述的方法中，按照由于激光束的照射而引起的迅速加热，在非晶硅膜结晶的初始阶段进行加热，以及由于用于使非晶硅膜结晶的光束照射所引起的加热，以及抑制结晶硅膜的迅速冷却的加热（或用于延长熔化时间的加热），他们可以采用一种照射激光束的处理方法等实现。

20 在图 6 所示的激光束分布中，激光束部分 601 和 603 的照射能量密度互相相等（或相同）。然而，采用另一种光学系统设计，可以改变光束截面的形状。

此外，如图 7 所示，具有结晶所需照射能量密度的激光束部分 701 可以把它宽度增加至使欲照射的预定区域上受到一个高辐射能量照射一个较长的时间。

25 这一种改变的设计可以按照欲照射的材料，它的膜厚，激光束的扫描速率以及所需的退火效果来选择进行。

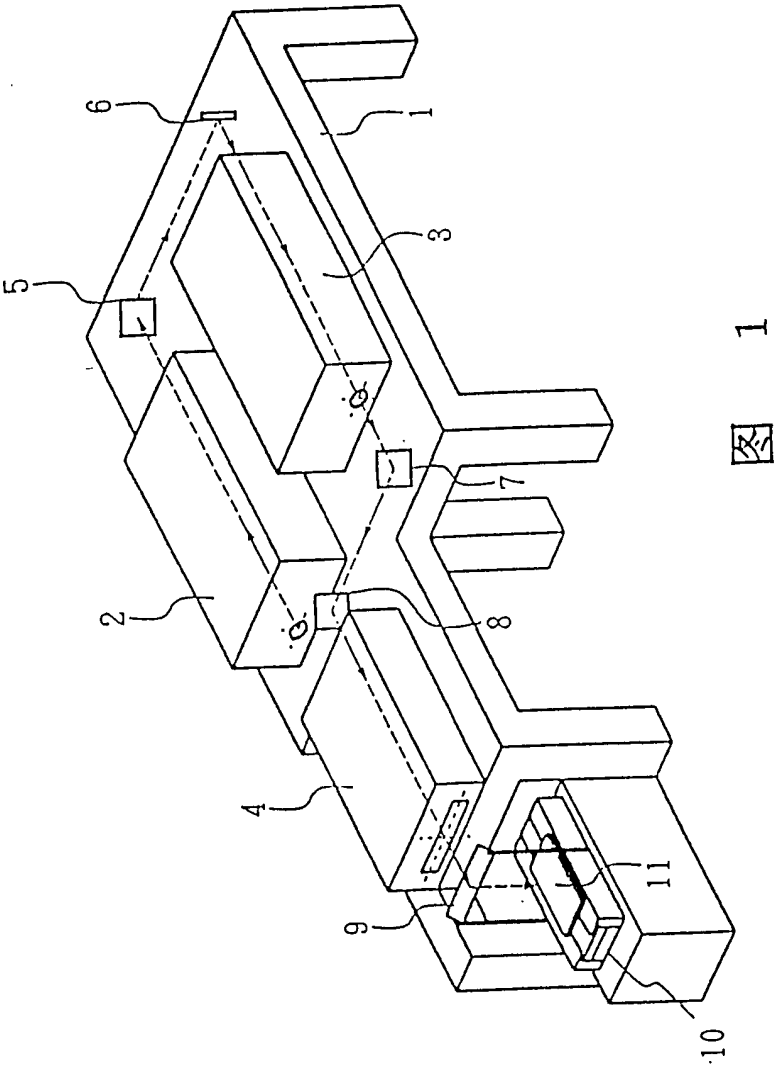
在该例子中，非晶硅膜按照上述所介绍的例子进行结晶。然而，作为另一例子，它可用于已由掺入杂质离子的非晶硅膜的退火。它可以加速已由加热结晶的硅膜的结晶作用。

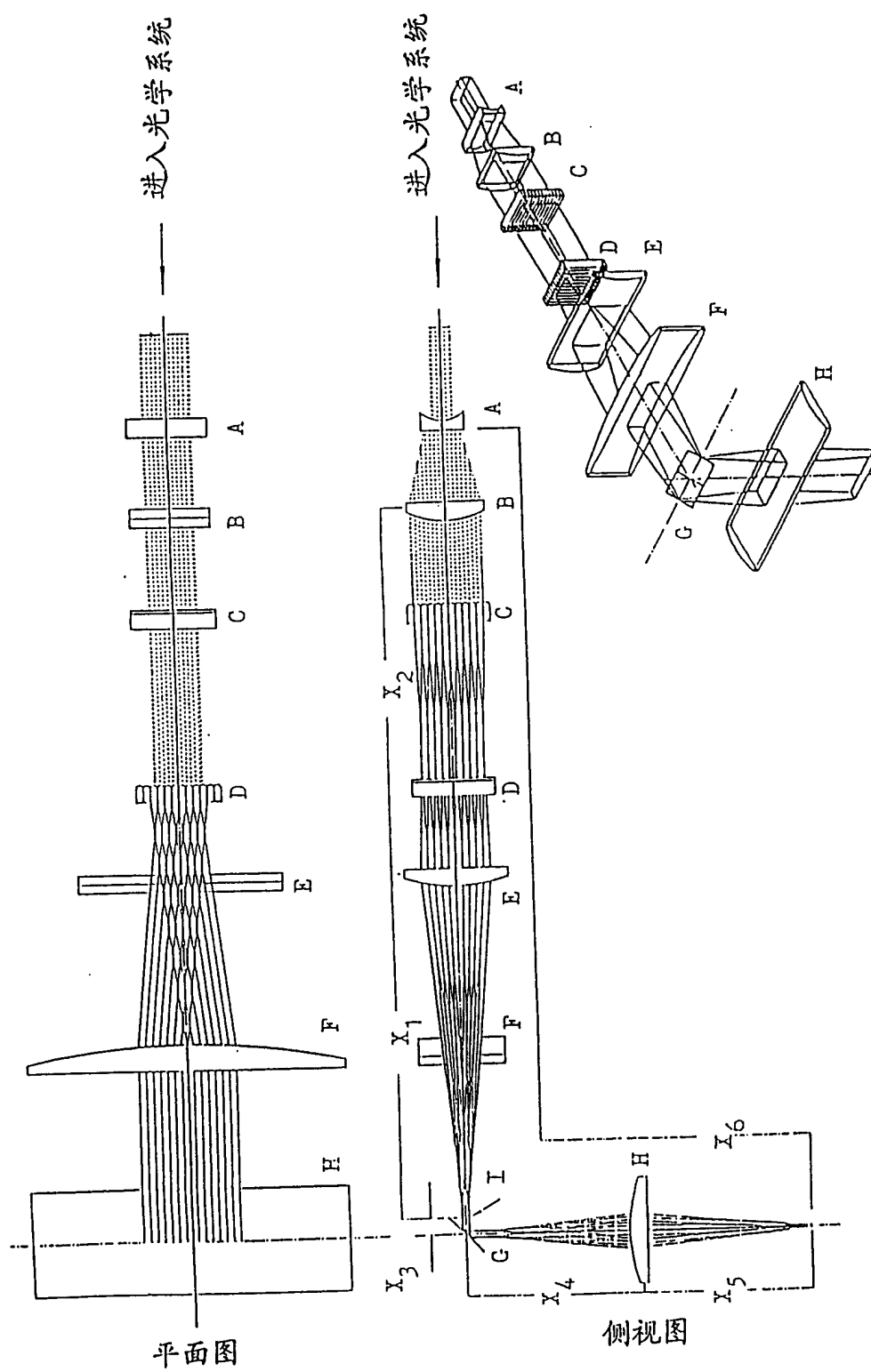
30 本发明的激光光照技术可以提高用于半导体器件的膜的产率和均匀性。本发明可用于任何半导体器制造过程中的任何激光处理步骤，尤其有利于用在薄膜晶体管制造过程中提供优良的特性的良好的均匀性。在

用不同光照能量密度的激光束对所希望的区域光照多次时，本发明能阻止在激光束作用区之间的错误配准。这在获取均匀的器件特性方面是非常有益的。

5 本发明的方法可以显著地提高把加到所希望区域的激光束能量密度，在多次施加时逐渐改变的加工工序的工作效率。即，本发明能够由一次激光束扫描中的光照来提供类似于常规的在多次扫描中作用多个激光束，而他们的能量密度按步进方式改变的激光束光照方法具有的效果。所以，可以不用改变激光振荡器的输出，用最佳的能量密度来进行多步的光照。由于激光振荡器是可以是稳定的，所以可以保证均匀的激光退火。

10





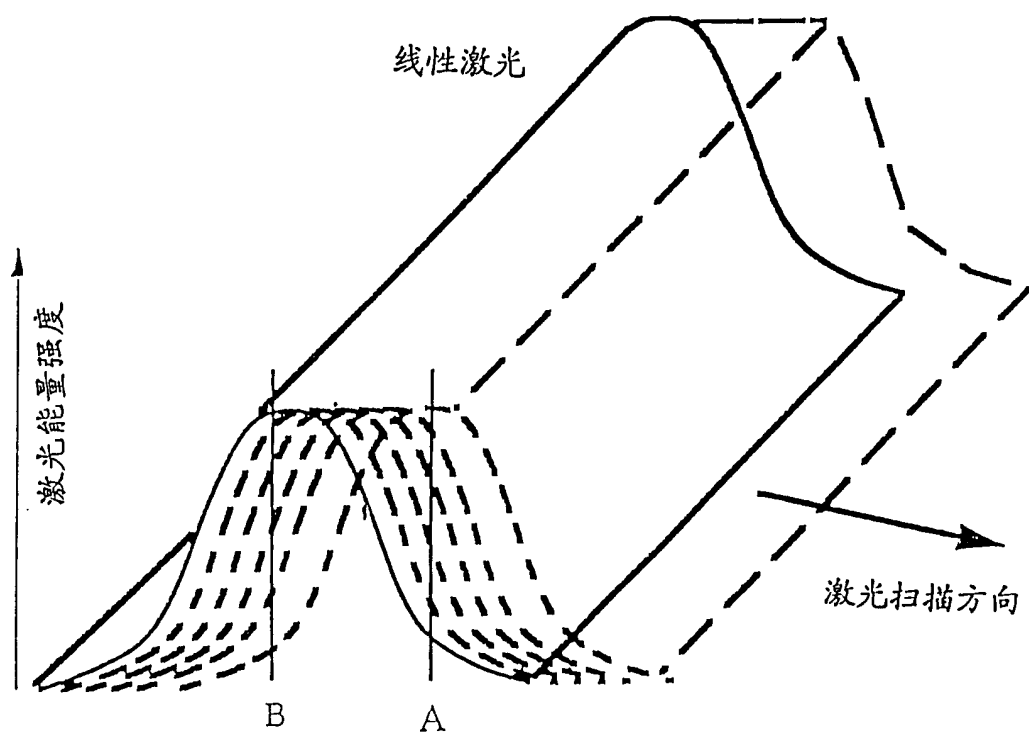


图 3

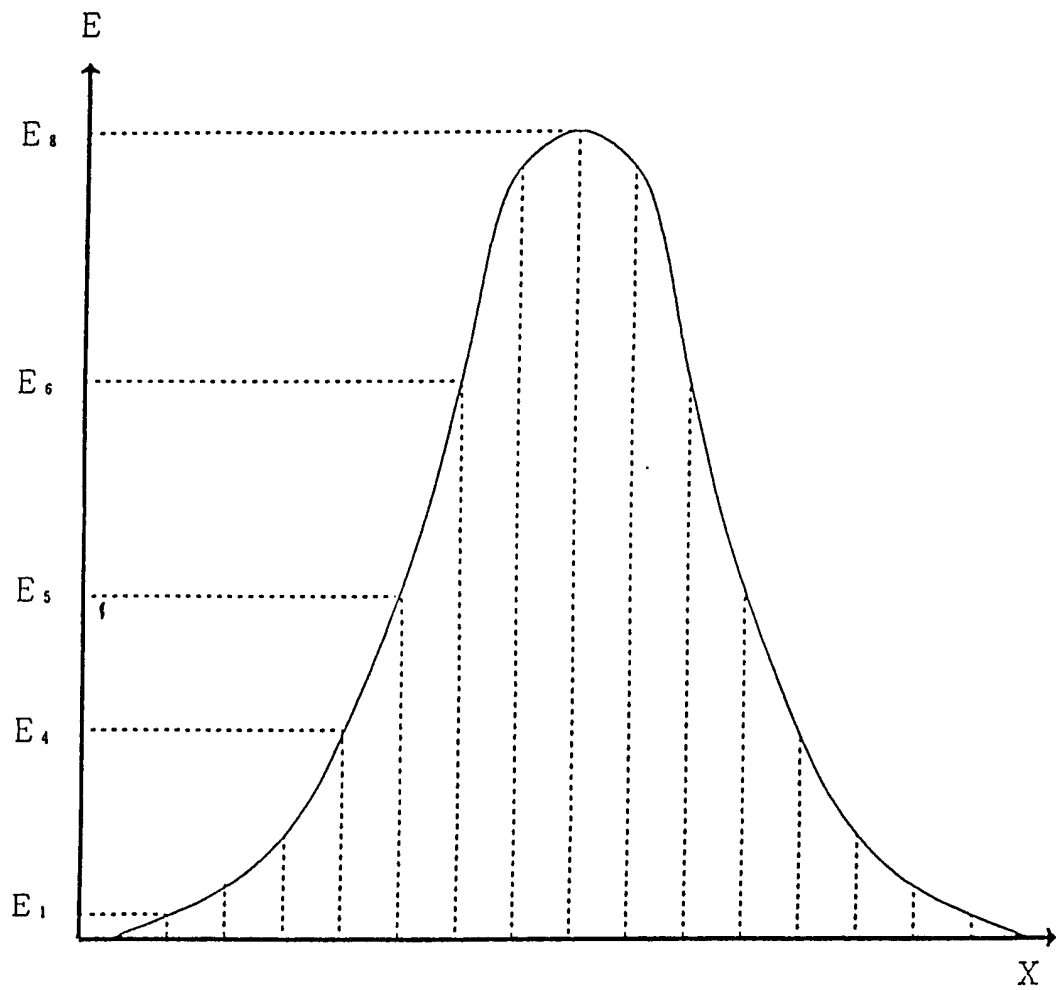


图 4

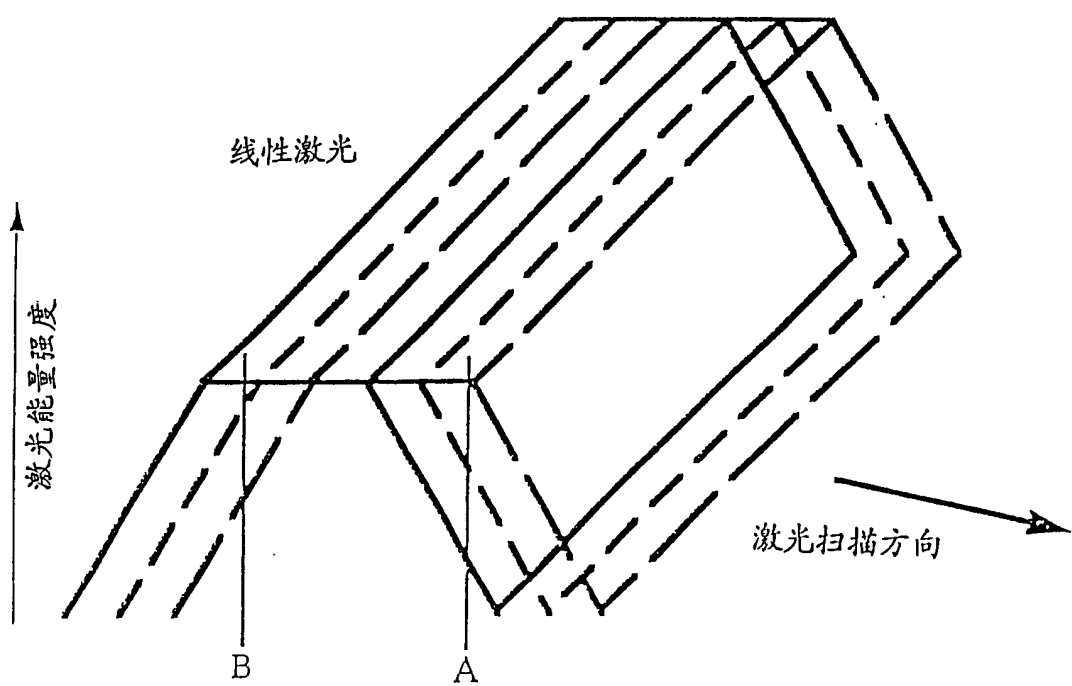


图 5

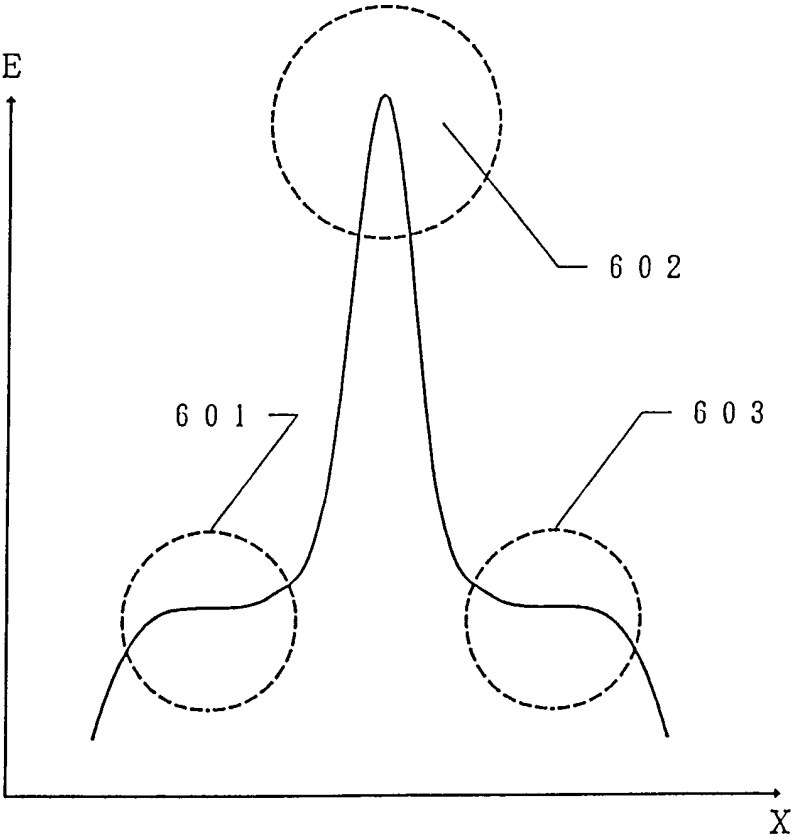


图 6

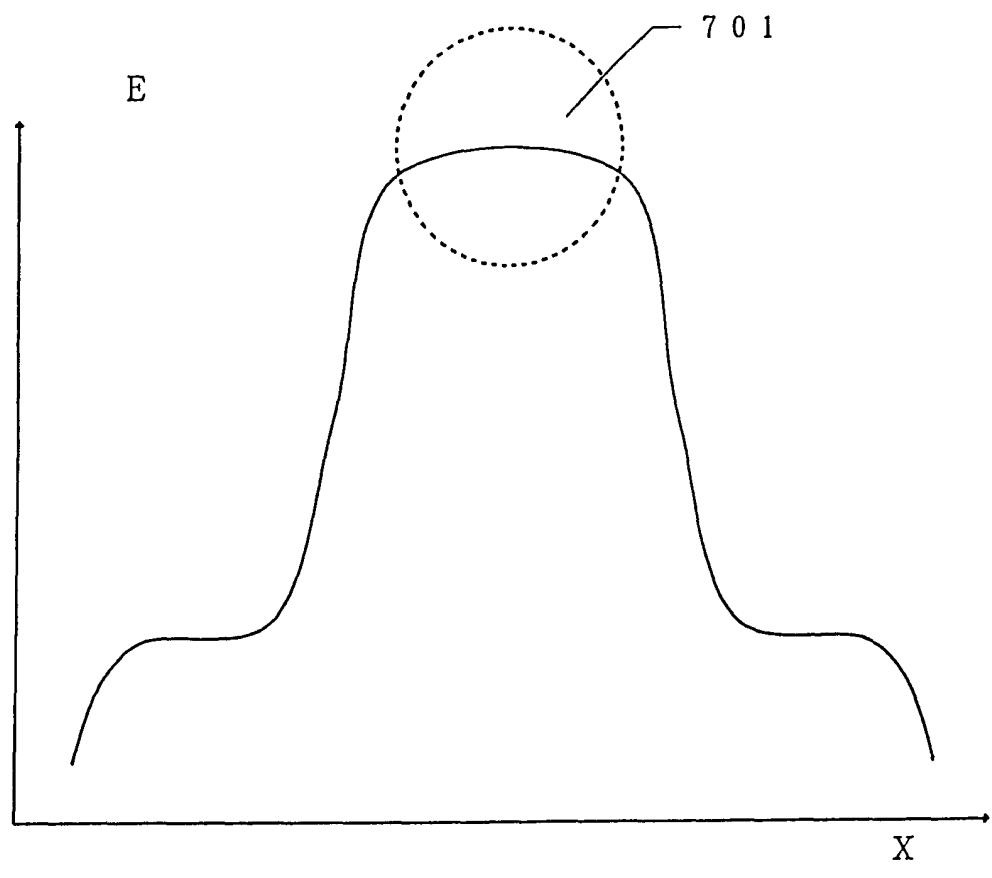


图 7