

[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 200510056200.X

[51] Int. Cl.

H01L 21/20 (2006.01)

H01L 21/84 (2006.01)

H01L 21/027 (2006.01)

H01L 21/336 (2006.01)

H01L 29/786 (2006.01)

G02F 1/136 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年5月6日

[11] 授权公告号 CN 100485868C

[22] 申请日 2005.3.31

[21] 申请号 200510056200.X

[30] 优先权

[32] 2004.3.31 [33] JP [31] 2004-104250

[32] 2005.2.3 [33] JP [31] 2005-027938

[73] 专利权人 日本电气株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 中田充

[56] 参考文献

US6692999B2 2004.2.17

US6479837B1 2002.11.12

CN1388564A 2003.1.1

CN1396317A 2003.2.12

US6117752A 2000.9.12

US6667198B2 2003.12.23

US2003/0003242A1 2003.1.2

审查员 陈 龙

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 穆德骏 陆 弋

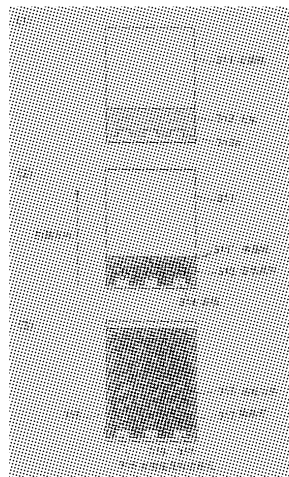
权利要求书 1 页 说明书 32 页 附图 15 页

[54] 发明名称

半导体薄膜制造方法及装置、光束成形掩模
及薄膜晶体管

[57] 摘要

提供一种半导体薄膜的制造方法，其能够减少半导体薄膜中的晶粒边界的数量并还能够控制晶粒边界的方向。如图 6(1) 中所示，当第一光束辐射到非晶硅上时，放射状地形成具有位于中心的凹形的顶端的温度梯度。从而，如图 6(2) 中所示，在凹形顶端中形成不仅是在光束宽度方向上而且是在光束长度方向上生长的晶粒。在第二光束等之后，利用在凹形顶端中所形成的晶粒作为籽晶重复生长。结果，与常规窄线光束的情况相比，用位于起点的凹形的顶端形成有更宽宽度的条状晶粒。此外，通过设定凹形图案的周期在垂直于光束扫描方向的方向上等于或小于晶粒直径，能够形成连续成直线排列的条状晶粒。



1. 一种制造半导体薄膜的方法，该方法用于通过扫描激光束在该半导体薄膜上生长晶粒，该方法包括如下步骤：

激光束成形步骤，形成具有至少一个凹形图案的激光束图案，其中所述凹形图案仅形成在扫描方向的背面侧；以及，用所述激光束照射所述半导体薄膜的步骤。

2. 根据权利要求1的制造半导体薄膜的方法，其中在通过所述凹形图案进行晶粒边界的位置控制的同时，在所述半导体薄膜上生长至少一个条状晶粒。

3. 根据权利要求2的制造半导体薄膜的方法，其中，在夹在平行的晶粒边界之间的区域中形成由至少一个条状晶粒构成的条状晶体区。

4. 根据权利要求2的制造半导体薄膜的方法，其中在所述激光束图案中的光束凹形长度被设定为等于或小于这样的光束凹形长度，在该长度情况下条状晶粒的晶体生长宽度变成最大值。

5. 根据权利要求2的制造半导体薄膜的方法，其中在所述激光束图案中的光束凹形宽度被设定为等于或大于这样的光束凹形宽度，在该宽度情况下条状晶粒的晶体生长宽度变成最大值。

6. 根据权利要求2的制造半导体薄膜的方法，其中设定成形所述凹形图案的周期等于或小于条状晶粒的晶体生长宽度。

7. 根据权利要求2的制造半导体薄膜的方法，其中，所述半导体薄膜是由粒状晶粒构成的，并且所述条状晶粒比所述粒状晶粒大。

半导体薄膜制造方法及装置、光束成形掩模及薄膜晶体管

技术领域

本发明涉及用于制造特别具有可控晶粒边界的半导体薄膜的一种方法及一种装置，以及涉及一种薄膜晶体管。

背景技术

作为用于构成液晶显示器中的像素的开关器件，使用形成在玻璃衬底上的薄膜晶体管（下文中简称为“TFT”）。近年来，除取得高度精细的液晶显示器以外，还存在用于提高 TFT 的运行速度的逐渐增长的需要，以便取得玻璃上系统，并且已关注用于形成高品质激光退火的多晶硅 TFT 的技术。

按图 1 所示的方式制造上述 TFT。例如，如图 1（1）中所示，非晶硅 1201 形成在于玻璃衬底 1203 的表面上所形成的绝缘膜 1202 上。然后，如图 1（2）中所示，通过辐射激光 1204 到非晶硅 1201 的表面上形成多晶硅 1201'。接着，如图 1（3）中所示，在所得到的多晶硅 1201' 上形成源区 1207、漏区 1209、以及夹在源区 1207 和漏区 1209 之间的沟道（有源层）1208。在其上形成栅极绝缘膜 1212 和栅电极 1206。在形成覆盖栅电极 1206 和栅极绝缘膜 1212 的层间绝缘膜 1211 之后，形成贯穿层间绝缘膜 1211 和栅极绝缘膜 1212 的接触孔。然后，在层间绝缘膜 1211 上，分别形成连接源区 1207 的接触孔的源电极 1205 和连接漏区 1209 的接触孔的漏电极 1206。由此，完成 TFT。

最近，存在用于进一步提高多晶 TFT 的运行速度的更加逐渐增长的需要。当沟道内的载流子（电子或空穴）的迁移率变得更大时，运行变得更快。然而，当在沟道内具有大量的晶粒边界时，降低了载

流子的迁移率。因此，如下所述提出了关于提高载流子迁移率的技术，其中通过控制激光退火时晶体生长，减少了沟道内晶粒边界的数量。

第一现有技术

在“在 SiO_2 上薄硅膜的连续横向固化 (Sequential lateral solidification of thin silicon film on SiO_2)” (Robert S. Sposili 和 James S. Im, 应用物理学 (Appl. phys.) Lett69(19)1996 第 2864-2866 页) 中公开了一种用于通过扫描窄线光束在扫描方向上形成大晶粒的技术。下面将介绍该技术。

首先，如图 2 (1) 中所示，用指定的掩模使脉冲激光成形为窄线光束 1302，并且沿衬底扫描成形的窄线光束 1302 以辐射到衬底的非晶硅 1301 上。从而，依序加热 (退火) 非晶硅 1301。

如图 2 (2) 中所示，通过窄线光束 1302 的第一次辐射，如下进行已溶解的非晶硅膜的结晶。首先，每个晶体向具有窄线扫描方向 (光束宽度方向) 的终止位置的已溶解区域的中心生长，其是位于起点的与相邻的未溶解区之间的固相和液相的界面。结果，固化的部分成为结晶的多晶硅 1301'。而且，每个晶体在中心区域和附近碰撞，并中断了生长，由此在这些区域中形成晶粒边界。在垂直于扫描方向的方向 (光束长度方向) 上，沿扫描方向产生了大量晶粒边界。

随后，如图 2 (3) 中所示，进行窄线光束 1302' 的第二次辐射。第二次窄线光束 1302' 的扫描量等于或小于沿第一次窄线光束 1302 的扫描方向结晶的晶粒的颗粒大小。

然后，如图 2 (4) 中所示，根据第二次窄线光束 1302' 的辐射，使用由第一次辐射生长的晶粒作为籽晶进行晶体生长。

通过依序扫描激光辐射区重复非晶硅 1301 的溶解和结晶，可以

形成沿扫描方向延伸的晶粒 1303，如图 2（5）中所示。

第二现有技术

日本专利待审公开 No.11-64883 公开了一种用于通过使光束成形为锯齿形光束形状来扫描和辐射的技术，通过利用包括图 3（1）中所示的锯齿形图案中的屏蔽部分 1402 和透射部分 1401 的屏蔽掩模让光束穿过透射部分 1401。在该技术中，用位于起点的光束图案的顶点，进行不仅在扫描方向上的生长，而且在垂直于扫描方向的方向上的晶体生长。结果，如图 3（2）中所示，已公开了，能够形成其中按照锯齿形图案的周期控制定位的晶粒 1502。在图 3（2）中，参考数字 1501 是高密度晶粒边界区，1503 是晶粒边界。

在第一现有技术所述的激光退火的情况下，能够在激光的扫描方向上（在光束宽度方向上）延伸晶粒。然而，在与激光的扫描方向正交的方向（光束长度方向）上没有温度梯度，使得在光束长度方向上任意地产生晶粒边界。因此，可以产生这种缺点使得中断晶粒的生长，并使得光束长度方向上的晶粒+变成 $1\mu\text{m}$ 那样短。结果，当通过提供沟道以便载流子平行于扫描方向移动来制造 TFT 时，由于不可控制晶粒边界的位置，所以具有在沟道中所产生的晶粒边界。从而，恶化了载流子的迁移率，并增加了迁移率和阈值电压的波动。此外，当通过提供沟道以便载流子沿垂直于扫描方向的方向移动来制造 TFT 时，由于不可控制晶粒边界的位置，所以具有由于截断载流子的跃迁在沟道中所产生的晶粒边界。从而，恶化了载流子的迁移率，并增加了迁移率和阈值电压的波动。

另外，在每次扫描步骤中，沿晶粒边界产生隆起部（protrusion）。由于任意地形成在光束宽度方向上的晶粒边界，所以在光束宽度方向上的隆起部的定位变得任意。在含有沟道内的隆起部的 TFT 中，在隆起部中集中了运行时的电场，由此引起阈值电压波动。也就是，在第一现有技术中所制造的 TFT 中阈值电压中的漂移变得很大，第一现有

技术中沟道内的隆起部的定位和数量变得任意。

在用第二现有技术中介绍的屏蔽掩模的激光退火中，在屏蔽掩模上的光束形状通常为矩形形状（激光辐射区 1403），如图 3（1）中所示。从而，当让激光穿过锯齿形图案的掩模时，与形成窄线光束的第一现有技术相比降低了激光的透射率。结果，辐射到衬底上的光束长度变得更短，并且在单次扫描辐射中得到的多晶区变得更窄。因此，延长了用于处理衬底所需的时间。

此外，在所得到的晶体中，在辐射的起始位置和终止位置中的宽范围内产生图 3（2）中所示的高密度晶粒边界区 1501。同样，在制造掩模的步骤中，与形成直线图案的情况相比，形成复杂的锯齿形图案增加了成本。此外，为了形成锯齿形图案光束，对激光退火装置来说，具有高分辨率的光学系统成为必要。

发明内容

本发明的一个目的是提供能够在形成晶体膜时在半导体薄膜上所形成的晶粒边界的位置的一种半导体薄膜制造方法、用于半导体薄膜制造方法的光束成形掩模、使用光束成形掩模制造半导体薄膜的半导体薄膜制造装置、以及用制造装置制造的薄膜晶体管。

为了取得上述目的，一种半导体薄膜的制造方法，用于通过辐射激光束到形成在绝缘衬底上的半导体薄膜上在半导体薄膜上生长晶粒，该方法包括一使激光束成形的步骤，其中在使激光束成形的步骤中，使要辐射到半导体薄膜上的激光束的一部分辐射图案成形为控制图案。

用本发明，由于在一部分辐射图案中成形的控制图案，在半导体薄膜中产生温度梯度。由于温度梯度，晶体膜要被连续形成在半导体薄膜上。从而，能确保进行晶粒边界的位置控制，使得能够获得具有

用于形成有源层的充分面积的晶体膜。

辐射图案被成形为矩形以及还在矩形的一边具有控制图案的形状。在通过控制图案进行晶粒边界的位置控制的同时，在半导体薄膜上生长条状晶粒。由此，不中断条状晶粒的生长，以及能进行晶粒边界的位置控制。

本发明不局限于用其中激光束不扫描的单脉冲（single shot）在半导体薄膜上形成晶体膜的情况。在扫描激光束的情况下，当扫描激光束时，通过把含有控制图案的辐射图案的激光束辐射到半导体薄膜上，在夹在平行的晶粒边界之间的区域中形成由条状晶粒构成的条状晶体区。在这种情况下，在激光束的扫描方向侧边上的一侧相反的一侧上形成控制图案以便成形激光束。

在扫描所述激光束的情况下，随着给半导体薄膜的温度梯度，生长条状晶粒。因此，通过进行晶粒边界的位置控制能够扩展用于形成有源层（沟道）的晶体膜的区域。此外，与锯齿形图案的情况相比，激光的透射率更大，使得能延伸光束长度并能加宽单次扫描辐射区。从而，可以缩短用于每块衬底的激光退火处理所需的时间。此外，通过缩短凹形图案中光束凹形宽度，与锯齿形图案的情况相比，能使在辐射起始位置中所产生的高密度晶粒边界区变窄。此外，由于光束的前半端是朝垂直于扫描方向的方向的直线，所以在辐射终止位置中所产生的高密度晶粒边界区变成大约单次辐射的晶体生长距离。由此，其变得比锯齿形图案的情况窄。在锯齿形图案的情况下在辐射终止位置中所产生的高密度区变成锯齿形图案的扫描方向长度和单次辐射的晶体生长距离的大约总和。此外，通过使控制图案成形为凹形形状，其变成没有锐角的图案。因此，与锯齿形图案的情况相比，可以降低制造成本并且对于激光退火装置的光学系统不需要同样多的高分辨率。而且，使用所得到的半导体薄膜制造的 TFT 能够提高载流子迁移率并能够抑制迁移率和阈值电压的漂移。

设定控制图案的长度方向上的光束凹形长度等于或小于控制图案的宽度方向上的光束凹形宽度，控制图案中条状晶粒的晶体生长宽度成为最大值。设定控制图案的宽度方向上的光束凹形宽度等于或大于控制图案的宽度方向上的光束凹形宽度，控制图案中条状晶粒的晶体生长宽度成为最大值。

从而，通过进行形成有位于起始位置的光束凹形部分的晶粒边界的位置控制，能够扩展用于形成有源层的晶体膜的区域。此外，能够形成具有连续成直线排列的减少数量的晶粒边界。

在矩形的一边中成形至少一个或多个控制图案。设定成形控制图案的周期等于或小于基本上与条状晶粒的晶体生长宽度相同的长度。如上所述，根据控制图案的定位，可以确保进行了晶粒边界的位置控制。

为了确保进行晶粒边界的位置控制，最好形成以下列结构的掩模。也就是，根据本发明的光束成形掩模是用于成形激光束的光束成形掩模，其中掩模的主体在用于透射激光束的一部分透射区中具有屏蔽激光束的屏蔽图案。

在这种情况下，按是矩形以及还按具有在矩形的一边中的屏蔽图案的开口的形状的形状形成透射区。屏蔽图案可以按从激光束的屏蔽区伸向透射区的凸起图案来形成。此外，设定屏蔽图案的长度方向上的凹形长度等于或小于屏蔽图案的凹形宽度，屏蔽图案中条状晶粒的晶体生长宽度变成最大值。设定屏蔽图案的宽度方向上的凹形宽度等于或大于屏蔽图案的凹形宽度，屏蔽图案中条状晶粒的晶体生长宽度变成最大值。在这种情况下，提供一个或多个屏蔽图案。可以周期性地提供屏蔽图案。最好设定屏蔽图案的周期等于或小于基本上与条状晶粒的晶体生长宽度相同的长度。

规定透射区的宽度方向上的开口宽度为 A ，屏蔽图案的宽度方向上的凹形宽度为 B ，以及在宽度方向上的条状晶粒的最大晶体生长距离为 L ，可以设定它们的尺寸关系为 $2L \leq A - B$ 。在这种情况下，当其设定为 $2L > A - B$ 时，通过从相反侧边中所产生的晶体生长来中断在控制图案侧边上的一边中的晶体生长，使得透射区的宽度方向上的单晶膜的生长宽度变窄。相反，通过设定其为 $2L \leq A - B$ ，通过从相反侧边中的晶体生长不会中断从控制图案侧边中的晶体生长，使得能使透射区的宽度方向上的单晶膜的生长宽度加宽。

规定屏蔽图案的长度方向上的凹形长度为 C ，屏蔽图案之间的间隔的凹形长度为 D ，以及透射区的宽度方向上的条状晶粒的最大晶体生长距离为 L ，它们的尺寸关系可以设定为 $2L \geq C + D$ 。在这种情况下，当其设定为 $2L < C + D$ 时，在形成条状单晶膜的晶粒之间产生大量的晶粒边界。相反，通过设定关系为 $2L \geq C + D$ ，放射状地形成温度梯度具有位于中心的控制图案，使得可以成直线形成条状晶粒。

规定透射区的宽度方向上的开口宽度为 A ，屏蔽图案的宽度方向上的凹形宽度为 B ，屏蔽图案的长度方向上的凹形长度为 C ，以及屏蔽图案之间间隔的凹形长度为 D ，可以设定它们的尺寸关系为 $A - B \geq C + D$ 。用这种设定，可以得到通过设定 $2L \leq A - B$ 和 $2L \geq C + D$ 所取得的两种效果。因此，可以在激光束的长度方向和宽度方向上加宽晶体膜的面积。

根据本发明的半导体薄膜制造装置是用于通过辐射激光束到由形成在绝缘衬底上的半导体薄膜构成的前体膜上以在前体膜上生长单晶晶粒的半导体薄膜制造装置，该装置包括用于成形激光束的光束成形掩模，其中掩模的主体在用于透射激光束的一部分透射区中具有屏蔽激光束的屏蔽图案。

用本发明，通过控制晶粒边界的形成位置，可以在由平行的晶粒边界夹着的区域中形成沿晶粒区的长度方向上延伸的条状晶体区。

根据本发明使用半导体薄膜的薄膜晶体管是具有使载流子流动的有源层的薄膜晶体管，该薄膜晶体管包括在夹在平行的晶粒边界之间的区域中形成的条状晶体区，其中在条状晶体区中形成至少任一第一有源层或第二有源层，在第一有源层中设定载流子的移动方向沿晶粒边界的长度方向，在第二有源层中设定载流子的移动方向沿与晶粒边界相交的方向。

当提供第一有源层时，在平行的晶粒边界之间夹着的条状晶体区中形成第一有源层，并且沿晶粒边界的长度方向通过夹着有源层形成漏区和源区。当提供第二有源层时，在平行的晶粒边界之间夹着的条状晶体区中形成第二有源层，并且沿与晶粒边界的长度方向相交的方向通过夹着有源层形成漏区和源区。此外，当提供了第一有源层和第二有源层时，分别在平行的晶粒边界之间夹着的条状晶体区中形成第一有源层和第二有源层；沿与晶粒边界的长度方向相交的方向通过夹着有源层形成第一有源层的漏区和源区；以及沿与晶粒边界的长度方向相交的方向通过夹着有源层形成第二有源层的漏区和源区。

通过含有晶粒边界和条状晶体区形成第一有源层的漏区和源区。仅在条状晶体区内形成第一有源层的漏区和源区。而且，通过含有晶粒边界和条状晶体区形成第二有源层的漏区和源区。此外，仅在晶粒边界中散布隆起部。

根据本发明的薄膜晶体管具有一定的结构，包括：由粒状晶粒构成的半导体薄膜；以及沿半导体薄膜的单方向形成的条状晶粒，其由具有比粒状晶粒的直径大的晶粒直径的晶粒构成，其中分别在半导体薄膜和条状晶粒中形成有源层。

用本发明，由于晶粒边界不包含在有源层内，所以能够取得载流子的高迁移率和高离子电流。

用根据本发明的制造方法和制造装置，能够减少半导体薄膜中的晶粒边界数量，并还能够制造可控制晶粒边界的方向的半导体薄膜。此外，与锯齿形图案的情况相比，激光的透射率更大，使得可以延伸光束长度并能加宽单次扫描辐射区。从而，可以缩短用于每块衬底的激光退火处理所需的时间。而且，通过缩短凹形图案中光束的凸起宽度，与锯齿形图案的情况下相比，能使在辐射起始位置中所产生的高密度晶粒边界区变窄。此外，由于光束的前半端是朝垂直于扫描方向的方向的直线，所以在辐射终止位置中所产生的高密度晶粒边界区变成大约由单次辐射所取得的晶体生长距离。从而，其变得比锯齿形图案的情况窄。同样，与锯齿形图案的情况相比，用于制造用于凹形图案的掩模的步骤更容易，并能减少制造成本。此外，与形成锯齿形图案光束形状的情况相比，当形成凹形图案光束形状时，在激光退火装置的光学系统方面不需要同样多的高分辨率。而且，使用所得到的半导体薄膜制造的 TFT 能够提高载流子迁移率并能够抑制迁移率和阈值电压的漂移。

另外，另一个目的是与锯齿形图案的情况相比要缩短激光退火处理时间，使在辐射的起始位置和终止位置中所产生的高密度晶粒边界区变窄，减少用于制造掩模的成本，以及通过提高光学系统的透射率在激光退火装置中取得低分辨率的光学系统。本发明的又一目的是提高用所得到的半导体薄膜所制造的 TFT 的运行速度，以便抑制运行速度和阈值电压中的漂移。

附图说明

图 1 是用于示出常规 TFT 的制造步骤的横截面，其中步骤按从图 1 (1) -图 1 (3) 的顺序进行；

图 2 是用于示出第一现有技术的激光退火的步骤的平面图，其中

步骤按从图 2 (1) -图 2 (5) 的顺序进行;

图 3 (1) 是用于示出第二现有技术的掩模的平面图, 以及图 3 (2) 是第二现有技术的多晶硅膜表面的模拟示图;

图 4 是用于示出根据本发明的激光退火装置的示图;

图 5 (1) 是用于示出根据本发明的掩模的第一例子的平面图, 以及图 5 (2) 是用于示出光束形状的平面图;

图 6 是用于示出根据本发明的激光退火的步骤的平面图, 其中步骤按从图 6 (1) -图 6 (3) 的顺序进行;

图 7 (1) 是用于示出根据本发明的掩模的第二例子的平面图, 以及图 7 (2) 是用于示出光束形状的平面图;

图 8 是用于示出例 1 中所形成的多晶硅膜表面的 SEM 图象的示图;

图 9 是用于示出例 2 中所形成的多晶硅膜表面的 SEM 图象的示图;

图 10 (1) 是用于示出例 3 中所形成多晶硅膜表面的 SEM 图象的示图, 以及图 10 (2) 是用于示出例 4 中所形成的多晶硅膜表面的 SEM 图象的示图;

图 11 (1) 是用于示出例 5 中所形成多晶硅膜表面的 SEM 图象的示图, 以及图 11 (2) 是用于示出例 6 中所形成的多晶硅膜表面的 SEM 图象的示图;

图 12 (1) 是例 7 中所形成的多晶硅膜表面的模拟示图, 以及图 12 (2) 是用于示出例 7 的 TFT 的模拟示图;

图 13 (1) 是例 8 中所形成的多晶硅膜表面的模拟示图, 以及图 13 (2) 是用于示出例 8 的 TFT 的模拟示图;

图 14 (1) 是例 9 中所形成的多晶硅膜表面的模拟示图, 以及图 14 (2) 是用于示出例 9 的 TFT 的模拟示图; 以及

图 15 是用于示出例 10 的平面图, 其中步骤按从图 15 (1) -图 15 (6) 的顺序进行。

具体实施方式

下文中将参考附图介绍本发明的优选实施例。使用图 4 中所示的激光退火装置进行激光退火。在图中，在衬底 110 上形成随后要介绍的前体，并把衬底 110 放置在反应室 109 内部的衬底台 111 上。在反应室 109 外面，设置激光振荡器 101。激光振荡器 101 通过按脉冲波形振荡其来输出具有 308nm 波长的 XeCl 受激准分子激光（束 102）。激光（束 102）通过镜子 103a、103b 对准均质器 104，并通过均质器 104 形成矩形光束轮廓。成型的光束 102 的光径通过镜子 103c 朝下弯曲，使得其通过掩模台 106 上的掩模 105，以成为用于辐射衬底 110 上的前体上的光束形状。而且，如必要的话用缩小透镜 107 缩小光束（激光）102，并通过提供给反应室 109 的窗口 108 辐射到衬底 110 上的前体的表面上。衬底 110 能按图 4 中箭头的方向（即，按与光束 102 相交的方向）连同衬底台 111 一起移动。通过光束 102 和衬底 110 的相对移动，光束 102 按衬底 110 的移动方向扫描衬底 110 的表面。在该实施例的装置中，通过用衬底台 111 相对移动光束 102 和衬底 110，把由光束 102 的扫描实行到衬底 110 的表面上。然而，不局限于此。可以通过在水平方向上移动掩模台 106，在固定的衬底 110 上进行扫描。

上述掩模 105 包括用于透射激光的由石英构成的透射区和通过用铬形成在石英表面上用于屏蔽激光的非透射区。还能够通过在透射激光的材料上形成由屏蔽激光的材料、例如铝、钼、铬、硅化钨或不锈钢合金构成的膜，并随后把所形成的屏蔽材料膜构图成所需要的形状，来形成非透射区。而且，其可以通过在形成用于透射激光的开口处的屏蔽膜上堆叠要作为保护膜的透明膜、例如氧化铬膜来形成，以使用透明膜来覆盖开口。可以构图单层或多层的电介质膜以用作屏蔽膜。并且，取代屏蔽掩模，可以使用相移掩模来用于定形光束 102 的形状。可以把上述掩模设置在从激光振荡器 101 至前体的光路径上的任何位置。

此外，尽管上述实施例中 XeCl 受激准分子激光器作为激光振荡

器 101，但不局限于此。激光振荡器 101 可以是其它受激准分子激光器，例如 KrF 激光器，或固态激光器，例如 Nd:YAG 激光器、Nd:YLF 激光器、Nd:YVO4 激光器，或气体激光器，例如氧化碳气体激光器、氩气体激光器。

对于衬底 110，依序在玻璃衬底上形成绝缘膜和非晶硅膜。

在本发明中，使用按图 5（1）中所示形状的掩模进行扫描辐射，其中周期地形成凸起屏蔽图案和凹形图案。也就是，如图 5（1）中所示，在屏蔽膜 206 上形成具有开口长度 201 和开口宽度 203 的矩形透射部分 207。此外，屏蔽膜 206 包括向透射部分 207 内部伸出的以梳子状形状的凸起屏蔽图案 206a。凸起屏蔽图案 206a 是以按具有凹形宽度 204 和凹形长度 202 的凸起形状形成的矩形形状。按开口长度 201 的长度方向成一直线形成凸起屏蔽图案 206a，在其两者之间具有凸起长度 205 的间隔，并且在凸起屏蔽图案 206a 之间形成凹形图案。如图 5（2）中所示，通过图 5（1）中所示的屏蔽膜 206 透射的光束 306 成形为具有多个凹形图案 306c 的矩形形状，光束 306 具有光束长度 301 和光束宽度 303，多个凹形图案 306c 形成在侧边 306b 上，侧边 306b 在扫描方向（单方向）侧边上的侧边 306a 的相反侧上。凹形图案 306c 具有光束凸起长度 305 和光束宽度 303，并且在之间具有光束凹形长度 302 的间隔的每个凹形图案 306c 在侧边 306b 中成一直线排列。在图 5（2）中，用箭头示出光束的扫描方向。

在图 6（1）中，使用非晶硅用于前体膜，通过形成在绝缘衬底上的半导体薄膜来形成前体膜。如图 6（1）中所示，通过第一次辐射光束 312（对应于图 5（2）中的光束 306），由光束 312 的凹形图案 312a（对应于图 5（2）中的凹形图案 306c）的顶端放射状地形成温度梯度，光束 312 处于要辐射光束 312 的非晶硅 311 的区域的中心。从而，如图 6（2）中所示，在对应于凹形图案 312a 的顶端的非晶硅 311 的区域中，形成晶粒 313，晶粒 313 不仅沿光束宽度方向（图 5（2）

中光束宽度 303 的方向)生长,而且还沿光束长度方向(图 5(2)中光束长度 301 的方向)生长。通过第二次在非晶硅 311 上辐射光束 312,随着在对应于作为籽晶的凹形图案 312a 的顶端的非晶硅 311 上形成晶核 314,重复生长晶粒 313。结果,在具有作为起点的凹形图案 312a 的顶端的非晶硅上形成以条状的晶粒 313,该条状具有比用常规窄线光束得到的晶粒的宽度宽的宽度。

此外,在光束的扫描方向上和在与扫描方向相交的方向(垂直方向)上,通过设定具有光束凹形宽度 304 和光束凹形长度 302 的凹形图案 312a 的尺寸以具有等于或小于晶粒直径的区域,可以在与光束扫描方向相交的方向上成直线连续形成条状晶粒 313。这时,不需要设定光束凸起长度 305 要相等,光束凸起长度是相邻的凹形图案 312a 之间的长度,但可以适当地设置凹形图案 312a 以便在理想的位置中形成条状晶粒 313。在上述实施例中,如图 6(3)中所示,能够减少半导体薄膜中晶粒边界 315 的数量,并且还能够制造其中可控制晶粒边界 315 的形成方向处于平行的位置关系的半导体薄膜。因此,能克服常规窄线光束的缺点。

此外,如图 6(3)中所示,沿晶粒边界 315 以光束的扫描步幅的间隔形成点状隆起部 317。因此,在本实施例中,得到了其中以方格图案形成隆起部 317 的半导体薄膜。在半导体薄膜上形成这种 TFT 的情况下,可以控制沟道内的隆起部 317 的位置和数量。从而,与用常规窄线光束制造的具有沟道内隆起部的任意位置和数量的 TFT 相比,阈值电压中的漂移(dispersion)变得更小。并且,通过避免隆起部 317 来形成沟道,可以进一步抑制阈值电压中的漂移。在图 6(3)中,沿平行的晶粒边界 315 的长度方向形成由晶粒边界 315 划分的三个条状晶体区 318。然而,条状晶体区 318 不局限于成三条线。用单晶形成每个条状晶体区 318。

而且,由于激光的透射率比锯齿形图形的透射率大,所以可以延

伸光束长度。由此，可以扩展用于每次的扫描辐射区域，使得可以缩短用于每块衬底的激光退火处理的时间。此外，通过缩短凹形图案 312a 的光束凹形宽度（图 5 中所示的光束凹形宽度 304），与锯齿形图案的情况相比，可以使高密度晶粒边界区 316 变窄，高密度晶粒边界区 316 产生在对应于光束辐射起点的非晶硅 311 中。另外，如图 5 (2) 中所示，由于在光束 306 的前侧上的侧边 306a 是朝垂直于扫描方向的方向延伸的直线，所以在非晶硅 311 上的光束辐射末端位置中产生的高密度晶粒边界区 316 大约是用一次辐射所得到的晶体生长距离。在锯齿形图案的情况下光束辐射末端位置中所产生的高密度晶粒边界区与锯齿形图案的扫描方向长度和用一次辐射所得到的晶体生长距离的总和大约一样大。同样，对于凹形图案 306c，用于制造掩模的步骤比锯齿形图案的容易，使得能减少制造成本。此外，形成光束 306 的凹形图案 306c 不需要在激光退火装置的光学系统方面与形成锯齿形图案的光束形状的情况同样多的高分辨率。从而，可以克服常规锯齿形图案光束的缺点。

另外，利用所得到的半导体薄膜制造的 TFT 能改善载流子的迁移率并抑制迁移率和阈值电压的漂移。同样，参考凹形图案 306c 为矩形形状的情况介绍了本实施例，但是，不局限于此。凹形图案 306c 可以是多边形、例如三角形，或可以是半圆形、例如半椭圆形，等等。

总之，本发明的实施例属于半导体薄膜制造方法，该方法用于通过把激光束（102，1602）辐射到在绝缘衬底（110）上所形成的半导体薄膜（311，1603）上来在半导体薄膜上生长晶体膜，其中，在激光束成形步骤中，把要辐射到半导体薄膜上的激光束的辐射图案的一部分成形为控制图案（凹形图案 312a）。在这种情况下，对于生长晶体来说，半导体薄膜的晶粒直径和晶体膜的晶粒直径分别设定不同的。

当使辐射到半导体薄膜上的激光束的辐射图案成形为矩形（图 5、

图 7) 时, 辐射图案被成形为是矩形并还在矩形的一边具有控制图案的形状。然后, 通过用控制图案进行晶粒边界的位置控制来生长条状晶粒。

本发明的实施例可以同时应用于通过不用扫描激光束 (102) 的单脉冲 (single shot) 在半导体薄膜上形成条状晶粒的情况, 以及应用于通过扫描激光束形成条状晶粒的情况。当扫描激光束时, 通过辐射含有控制图案的辐射图案的激光束来生长条状晶粒。在这种情况下, 通过用控制图案进行晶粒边界的位置控制来生长条状晶粒, 控制图案形成在激光束扫描方向侧边上的侧边相反的侧边中。当扫描激光束时, 条状晶粒形成在每次辐射激光束的位置可控的晶粒边界之间。通过这些条状晶粒, 在夹在平行的晶粒边界之间的区域中形成条状晶体区 (318)。

对于用于根据本发明实施例的半导体薄膜制造方法的光束成形掩模, 掩模的主体具有包括屏蔽图案 (206a, 406a) 的结构, 屏蔽图案 (206a, 406a) 用于屏蔽在透射激光的一部分透射区 (透射部分 207) 中的激光束。在按矩形形状形成透射区的情况下, 其按带具有矩形的一边中的屏蔽图案的开口的形状来形成 (图 5, 图 7)。按凸起图案形状形成屏蔽图案, 凸起图案形状从激光束的屏蔽区向透射区凸出。

最好设定尺寸关系为 $2L \leq A - B$, 规定在透射区 (透射部分 207, 407) 的宽度方向上的开口宽度 (开口宽度 203, 402) 为 A, 在屏蔽图案 (206a, 406a) 的宽度方向上的凹形宽度 (凹形宽度 204, 403) 为 B, 以及在宽度方向上的条状晶粒的最大晶体生长距离为 L。此外, 最好设定尺寸关系为 $2L \geq C + D$, 规定在屏蔽图案 (206a, 406a) 的长度方向上的凹形长度 (202, 404) 为 C, 是屏蔽图案之间的间隔的凸起长度 (205) 为 D, 以及在透射区的宽度方向 (光束宽度 303, 502) 上的条状晶粒的最大晶体生长距离为 L。

另外，尺寸关系可以设定为 $A-B \geq C+D$ ，规定在透射区的宽度方向上的开口宽度（203，402）为 A，在屏蔽图案的宽度方向上的凹形宽度（204，403）为 B，在屏蔽图案的长度方向上的凹形长度（202，404）为 C，屏蔽图案之间的间隔的凸起长度（205）为 D。

接着，介绍更加具体表达本发明实施例的例子。

例 1

使用图 4 所示的激光退火装置进行激光退火。因此所用的方法、掩模和激光是实施例中所介绍的那些。对于在掩模中所形成的开口和透射部分，可以成一直线形成以极窄宽度的大量的狭缝以作为开口等，或可以集体形成大量的孔来作为开口等。在这种情况下，通过改变狭缝的数量或孔的密度，可以改变激光的能量。将介绍衬底。非碱性玻璃用于玻璃衬底。在玻璃衬底上，形成用于阻止杂质从玻璃中扩散的绝缘膜。在绝缘膜上，通过低压化学汽相淀积（LP-CVD）形成 60nm 的非晶硅膜作为前体膜。

在该例中，通过利用按图 7（1）中所示形成的掩模进行扫描辐射。表 1 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。激光束扫描的步幅宽度是在矩形激光束的每次辐射之间用激光束所扫描的衬底上的距离。图 7（1）中所示的掩模具有含有在开口内的凸起图案（凸起屏蔽图案 406a）的结构，凸起图案具有凹形长度 404 和凹形宽度 403，开口具有开口宽度 402 和开口长度 401。穿过掩模的光束在衬底上变成图 7（2）中所示的形状。也就是说，光束 505 成形为具有光束长度 501 和光束宽度 502 的光束形状，光束 505 具有在扫描方向（单方向）侧上的侧边 505a 上以及在相反侧上的侧边 505b 上的单个凹形图案（控制图案）505c。凹形图案 505c 具有光束凹形长度 504 和光束凹形宽度 503 的大小。在图 7（2）中，用箭头示出光束的扫描方向。衬底上的光束大小成为掩模上的光束大小的 1/3。也就是，光束宽度 502 为 10 μm ，光束凹形长度 504 为 1 μm ，以及光束凹形宽度 503 为 5 μm 。

表 1	例 1
辐射强度 (mJ/cm^2)	600
步幅宽度 (μm)	0.5
开口宽度 (μm)	30
凹形长度 (μm)	3
凹形宽度 (μm)	15

图 8 示出了干蚀刻 (secco-etching) 之后 SEM 观察的结果。在夹在晶粒边界之间的区域中形成具有晶体生长宽度 $2\mu\text{m}$ 的条状晶体区, 晶粒边界与光束扫描方向 (沿图 8 的水平方向) 平行。证实了条状晶体区对应于凹形图案 505c 的位置。在沿与光束扫描方向相交的方向形成的条状晶粒的周围中, 形成了逆着扫描方向倾斜的晶粒边界。此外, 在条状晶粒的周围中, 与常规窄线光束的情况下所发现的一样, 沿光束长度方向任意地产生了晶粒边界。在具有对应于处于中心的凹形图案 505c 的顶端的位置的非晶硅上放射状地形成了温度梯度, 使得沿光束长度方向 (沿与光束扫描方向相交的方向) 生长晶体。因此, 与常规窄线光束的情况相比, 可以延伸沿光束长度方向的条状晶粒的晶体生长宽度。如上所述, 已证实, 用根据本发明实施例的制造方法, 能够在夹在晶粒边界之间的区域中形成沿光束扫描长度方向生长的条状晶体区, 晶粒边界是位置可控的并且还比常规窄线光束的情况宽。沿光束长度方向的晶体生长宽度简称为晶体生长宽度。

例 2

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按图 7 (1) 中所示形状的掩模, 通过从 $1.5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $6\mu\text{m}$ 以及至 $12\mu\text{m}$ 改变光束波形长度, 进行扫描辐射。表 2 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次辐射之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 402、凹形长度 404 和凹形宽度 403 是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 7 (2) 中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上

的光束大小的 1/3。也就是，光束宽度 502 为 $10\ \mu\text{m}$ ，光束凹形长度 504 为 $0.5\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 或 $4\ \mu\text{m}$ ，以及光束凹形宽度 503 为 $5\ \mu\text{m}$ 。

表 2	例 2-1	2-2	2-3	2-4
辐射强度 (mJ/cm^2)	600	600	600	600
步幅宽度 (μm)	0.5	0.5	0.5	0.5
开口宽度 (μm)	30	30	30	30
凹形长度 (μm)	1.5	3	6	12
凹形宽度 (μm)	15	15	15	15

图 9 示出了干蚀刻 (secco-etching) 之后 SEM 观察的结果。在凹形长度为 $1.5\ \mu\text{m}$ (光束凹形长度为 $0.5\ \mu\text{m}$) 的情况下 (例 2-1)，沿扫描方向形成具有处于起点的凹形图案的顶端的条状晶体区。晶体生长宽度为 $1.6\ \mu\text{m}$ 。

在凹形长度为 $3\ \mu\text{m}$ (光束凹形长度为 $1\ \mu\text{m}$) 的情况下 (例 2-2)，与在 $1.5\ \mu\text{m}$ 凹形长度的情况下一样形成了条状晶体区。在这种情况下，由平行的晶粒边界夹着的区域中的条状晶粒的晶体生长宽度为 $2.0\ \mu\text{m}$ ，其与 $1.5\ \mu\text{m}$ 凹形长度的情况相比被延伸了。

在凹形长度为 $6\ \mu\text{m}$ (光束凹形长度为 $2\ \mu\text{m}$) 的情况下 (例 2-3)，在用凹形图案所扫描的一部分区域中产生了逆着扫描方向倾斜的大量晶粒边界。对于这样的原因可以是，由于延伸的凹形长度，具有在对应于凹形图案 505c 的凹形顶部的半导体薄膜上产生的大量晶核，以及可以是在光束长度方向上的温度梯度在凹形图案 505c 的光束长度方向的中心处变得缓和。

在凹形长度为 $12\ \mu\text{m}$ (光束凹形长度为 $4\ \mu\text{m}$) 的情况下 (例 2-4)，进一步延伸了凹形长度。从而，在凹形光束长度方向的中心处的光束长度方向上任意地形成了晶粒边界，这是在常规窄线光束的情况下所

看到的。

如从上述例子中所看到的，通过设定凹形图案 505c 的光束凹形长度 504 等于或小于这样的长度，在该长度情况下条状晶粒的晶体生长宽度变成最大值，能够形成其中晶粒边界位置被很好控制的条状晶体区。

在这些例子的辐射条件中，通过设定凹形长度为 $3\mu\text{m}$ （光束凹形长度为 $1\mu\text{m}$ ）或更小，可以形成具有很好可控的晶粒边界位置的条状晶体区。由此，变得能够制造在性能上具有好迁移率和低漂移的 TFT。然而，按照前体膜的膜厚度、形成膜的方法、光束的辐射强度或光学系统的分辨率中的变化改变了优选光束凹形长度。从而，可以按照这些条件适当地调整光束凹形长度。

例 3

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按其中周期性地形成了凹形图案 306c 的图 5（1）中所示形状的掩模，进行扫描辐射。表 3 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次辐射之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 203、凹形长度 202、凹形宽度 204 和凸起长度 205 是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5（2）中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 $1/3$ 。也就是，光束宽度 303 为 $6\mu\text{m}$ ，光束凹形长度 302 为 $1\mu\text{m}$ ，光束凹形宽度 304 为 $3\mu\text{m}$ ，以及光束凸起长度 305 为 $1\mu\text{m}$ 。

表 3	例 3
辐射强度 (mJ/cm^2)	600
步幅宽度 (μm)	0.2
开口宽度 (μm)	18
凹形长度 (μm)	3
凹形宽度 (μm)	9

凸起长度 (μm)

3

图 10 (1) 示出了干蚀刻 (secco-etching) 之后 SEM 观察的结果。在从每个凹形图案的顶部的扫描方向上平行地形成了具有晶体生长宽度 $2\mu\text{m}$ 的条状晶体区。当比较图 8 (例 1) 和图 10 (1) (例 3) 的结果时, 在条状晶体区的大小和晶体状态方面的观察没有变化。可以说, 即使当周期性地排列凹形图案时, 在形成的条状晶粒的晶体状态下也没有影响。此外, 可以在夹在平行的晶粒边界之间的区域中成直线形成条状晶体区, 使得可以用单次扫描辐射形成多个条状晶体区。该例示例了周期性的扫描图案的情况。然而, 不必以相等间距来形成凹形图案, 但其可以适当来设计以便在理想的位置形成条状晶体区。通过条状晶粒形成沿晶体边界的长度方向的这些条状晶体区, 条状晶粒生长在与晶粒边界的长度方向 (光束扫描方向) 相交的方向上。

例 4

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按其中周期性地形成了凹形图案的图 5 (1) 中所示形状的掩模, 通过从 $6\mu\text{m}$ 至 $3\mu\text{m}$ 改变凹形长度, 来进行扫描辐射。表 4 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次辐射之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 203、凹形长度 202、凹形宽度 204 和凸起长度 205 是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5 (2) 中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 $1/3$ 。也就是, 光束宽度 303 为 $10\mu\text{m}$, 光束凹形长度 302 为 $1\mu\text{m}$, 光束凹形宽度 304 为 $5\mu\text{m}$, 以及光束凸起长度 305 为 $1\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 。

表 4	例 4-1	4-2
辐射强度 (mJ/cm^2)	600	600
步幅宽度 (μm)	1	1
开口宽度 (μm)	30	30
凹形长度 (μm)	3	3

凹形宽度 (μm)	15	15
凸起长度 (μm)	6	3

图 10 (2) 示出了干蚀刻 (secco-etching) 之后 SEM 观察的结果。在凸起长度为 $6\mu\text{m}$ (光束凸起长度为 $2\mu\text{m}$) 的情况 (例 4-1) 下, 在垂直于光束扫描方向的方向上, 以 $3\mu\text{m}$ 的间距形成了从作为起点的光束凹形顶端生长的条状晶粒, 并且在条状晶体区之间形成了大量的平行晶粒边界。如例 2-2 中所示, 依据 $3\mu\text{m}$ 凹形长度 ($1\mu\text{m}$ 的光束凹形长度) 的条状晶粒的晶体生长宽度大约为 $2\mu\text{m}$ 。该原因可以是, 由于凹形图案的周期比条状晶粒的晶体生长宽度长, 所以产生了大量的晶粒区。

在凸起长度为 $3\mu\text{m}$ (光束凸起长度为 $1\mu\text{m}$) 的情况 (例 4-2) 下, 例 4-1 中所形成的大量晶粒边界消失了, 并在垂直于扫描方向的方向上, 以 $2\mu\text{m}$ 的间距连续形成了具有 $2\mu\text{m}$ 的晶体生长宽度的条状晶粒。这认为是由于凹形图案的间距等于或小于条状晶粒的晶体生长宽度所引起的。

如从上述结果中所看到的, 当前体膜上以光束平面形状的凹形图案的间距等于或小于基本与条状晶粒的晶体生长宽度相同的长度, 可以在垂直于扫描方向的方向上连续形成条状晶粒。从而, 能够在夹在平行的晶粒边界之间的区域中有效形成条状晶体区。此外, 当形成具有比条状晶粒的晶体生长宽度长的沟道长度和沟道宽度的 TFT 时, 能够形成在性能方面具有高迁移率和低漂移的 TFT, 这是由于其可以在沟道内不含有大量晶粒边界的情况下来制造。

例 5

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按其中周期性地形成了凹形图案的图 5 (1) 中所示形状的掩模, 通过从 $15\mu\text{m}$ 、 $9\mu\text{m}$ 以及至 $3\mu\text{m}$ 改变凹形长度, 来进行扫描辐射。表 5 中示出辐射条件。辐射

强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次辐射之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 203、凹形长度 202、凹形宽度 204 和凸起长度 205 是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5 (2) 中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 1/3。也就是, 光束宽度 303 为 $8\mu\text{m}$ 或 $6\mu\text{m}$, 光束凹形长度 302 为 $1\mu\text{m}$, 光束凹形宽度 304 为 $3\mu\text{m}$ 或 $1\mu\text{m}$, 以及光束凸起长度 305 为 $1\mu\text{m}$ 。

表 5	例 5-1	5-2
辐射强度 (mJ/cm^2)	600	600
步幅宽度 (μm)	1	1
开口宽度 (μm)	24	18
凹形长度 (μm)	3	3
凹形宽度 (μm)	9	3
凸起长度 (μm)	3	3

图 11 (1) 示出了干蚀刻 (secco-etching) 之后 SEM 观察的结果。在例 5-2 (凹形宽度为 $3\mu\text{m}$ (光束凹形长度为 $1\mu\text{m}$)) 的情况下, 与例 5-1 (凹形宽度为 $9\mu\text{m}$ (光束凹形宽度为 $3\mu\text{m}$)) 相比, 形成了大量的晶粒边界。这认为是, 由于凹形宽度比例 5-1 中的短, 所以恶化了形成凹形图案的条状晶粒的效果。

如从上述结果中所看到的, 通过设定凹形宽度等于或大于其中晶体生长宽度成为最大值的条状晶粒的凹形宽度 (即, 通过在该例的辐射条件方面设定等于或大于 $9\mu\text{m}$ ($3\mu\text{m}$ 的光束凹形宽度) 的凹形宽度), 可以形成具有很好可控的晶粒边界位置的条状晶体区。由此, 变得能够形成在性能方面具有高迁移率和低漂移的 TFT。然而, 按照前体膜的膜厚度、形成膜的方法、光束的辐射强度或光学系统的分辨率中的变化改变了优选光束凹形长度。从而, 可以按照这些条件适当地调整光束凹形长度。

例 6

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按其中周期性地形成了凹形图案的图 5 (1) 中所示形状的掩模, 进行扫描辐射。表 6 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次辐射之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 203、凹形长度 202、凹形宽度 204 和凸起长度 205 是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5 (2) 中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 1/3。也就是, 光束宽度 303 为 $6\mu\text{m}$, 光束凹形长度 302 为 $1\mu\text{m}$, 光束凹形宽度 304 为 $1\mu\text{m}$, 以及光束凸起长度 305 为 $1\mu\text{m}$ 。

表 6	例 6
辐射强度 (mJ/cm^2)	600
步幅宽度 (μm)	1
开口宽度 (μm)	18
凹形长度 (μm)	3
凹形宽度 (μm)	3
凸起长度 (μm)	3

在该例的辐射条件中, 即使具有 $3\mu\text{m}$ 的凹形宽度 ($1\mu\text{m}$ 的光束凹形宽度), 也能够形成具有很好可控的晶粒边界位置的条状晶体区 (即, 在由平行的晶粒边界夹着的区域中)。在该例中证实了, 即使当光束凹形宽度是 $1\mu\text{m}$ 的小凹槽时, 也可以在与晶粒边界的长度方向相交的方向上形成条状晶粒。由此, 不仅在理想的位置中可以形成条状晶粒, 还可以取得类似于常规窄线光束的装置透射率。此外, 在扫描起始位置和末端位置中可以使高密度晶粒边界区变窄。此时掩模的透射率是 62% (激光透射率是 9%)。此外, 在 60 度角的锯齿形图案的掩模透射率是 43% (激光透射率是 6%)。从中得出, 由于在本发明的图案中激光的透射率高, 所以很明显可以延伸光束长度以及可以在短时间内进行处理。

例 7

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按其中周期性地形成了凹形图案的图 5 (1) 中所示形状的掩模, 通过对 $300\ \mu\text{m}$ 的长度进行扫描辐射形成了多晶区域, 在多晶区域中沿垂直于扫描方向的方向上连续成直线排列具有 $2\ \mu\text{m}$ 的晶体生长宽度的条状晶粒。表 7 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次扫描之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 203、凹形长度 202、凹形宽度 204 和凸起长度 205 是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5 (2) 中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 $1/3$ 。也就是, 光束宽度 303 为 $6\ \mu\text{m}$, 光束凹形长度 302 为 $1\ \mu\text{m}$, 光束凹形宽度 304 为 $3\ \mu\text{m}$, 以及光束凸起长度 305 为 $1\ \mu\text{m}$ 。

表 7	例 7
辐射强度 (mJ/cm^2)	600
步幅宽度 (μm)	1
开口宽度 (μm)	30
凹形长度 (μm)	3
凹形宽度 (μm)	15
凸起长度 (μm)	3

如图 6 (3) 中所示, 在如实施例中描述的已得到的半导体薄膜中, 仅在晶粒边界 315 上的方格图案中形成了隆起部 317。利用由图 6 (3) 所示的本发明的例子所得到的半导体薄膜制造了薄膜晶体管。具体地, 如图 12 (1) 中所示, 在根据本发明例子的半导体薄膜中, 沿激光束的扫描方向形成了平行的晶粒边界 603, 以及沿扫描方向在晶粒边界 603 之间的区域中形成了单晶区 (条状晶体区) 602。这表明, 在本发明的例子中, 控制了晶粒边界 603 的位置, 使得在激光束的扫描方向上平行地形成了晶粒边界 603。

如图 12 (1) 中所示, 在含有单晶区 602、602a、602b 以及晶粒

边界 603 的区域中形成岛状区 601。按矩形形状形成了岛状区 601，该矩形形状具有在扫描方向上 $10\mu\text{m}$ 的长度和在与扫描方向正交的方向上 $4\mu\text{m}$ 的长度。此外，如图 12(2) 中所示，使用夹在晶粒边界 603 之间的单晶区 602 作为有源层，并且载流子要在激光束的扫描方向上的有源层 (602) 内移动。在扫描方向上形成了在其之间具有有源层 (602) 的漏区 703 和源区 701。然后，在绝缘膜 (未示出) 上形成了用于连接漏电极 (未示出) 和漏区 703 的接触 704。类似地，在绝缘膜 (未示出) 上形成了用于连接源电极 (未示出) 和源区 701 的接触 705。同样，形成了栅电极 702。由此，载流子的移动方向被设定在扫描方向上，并且制造了其中有源层 602 的沟道长度为 $4\mu\text{m}$ 和沟道宽度为 $4\mu\text{m}$ 的 n 型 TFT 和 p 型 TFT。在所得到的 TFT 中的载流子的迁移率对于 n 型的为 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，而对于 p 型的为 $150\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。此外，对于百分之百的 n 型 TFT 来说阈值电压的漂移为 0.2V 。

作为比较，使用与例 1 中的相同的激光退火装置通过用光束对 $300\mu\text{m}$ 的长度进行扫描辐射制造了多晶膜，该光束是通过没有凹形图案的窄线图案掩模来成形的。此处，光束成形为掩模上 $270\mu\text{m}$ 的开口长度、 $9.9\mu\text{m}$ 的开口宽度以及衬底上 $90\mu\text{m}$ 的开口长度、 $3.3\mu\text{m}$ 的开口宽度。

在比较例中所得到的半导体薄膜中，任意地形成了隆起部。辐射强度为 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，并且在衬底上布幅宽度为 $0.2\mu\text{m}$ 。使用多晶体作为有源层并设置沟道使得载流子平行于扫描方向移动，以便制造具有 $4\mu\text{m}$ 的沟道长度和 $4\mu\text{m}$ 的沟道宽度的 n 型 TFT 和 p 型 TFT。TFT 中载流子的迁移率对于 n 型为 $320\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，而对于 p 型为 $120\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。此外，对于百分之百的 n 型 TFT 的阈值电压的漂移为 1V 。

通过比较上述两种类型的 TFT 的迁移率，很明显能够有满足本发明的期望条件以得到与用传统窄线制造的 TFT 相比具有高迁移率的 TFT。这样，能够通过本发明提供高性能 TFT。进一步，很明显能够

有满足本发明的条件以得到裕使用具有任意隆起部的半导体薄膜制造的 TFT 相比具有在阈值电压方面更小漂移的 TFT，具有任意隆起部的半导体薄膜是用常规窄线光束制造的。因此，能够通过本发明提供高性能 TFT。

例 8

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按其中周期性地形成了凹形图案的图 5 (1) 中所示形状的掩模，通过对 $300\ \mu\text{m}$ 的长度进行扫描辐射形成了多晶区域，在多晶区域中沿垂直于扫描方向的方向上连续成直线排列具有 $2\ \mu\text{m}$ 的晶体生长宽度的条状晶粒。表 7 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次扫描之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度、凹形长度、凹形宽度和凸起长度是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5 (2) 中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 $1/3$ 。也就是，光束宽度 303 为 $6\ \mu\text{m}$ ，光束凹形长度 302 为 $1\ \mu\text{m}$ ，光束凹形宽度 304 为 $3\ \mu\text{m}$ ，以及光束凸起长度 305 为 $1\ \mu\text{m}$ 。

如图 6 (3) 中所示，在如实施例中描述的已得到的半导体薄膜中，仅在晶粒边界 315 上的方格图案中形成了隆起部 317。利用由图 6 (3) 所示的本发明的例子所得到的半导体薄膜制造了薄膜晶体管。具体地，如图 13 (1) 中所示，在根据本发明例子的半导体薄膜中，沿激光束的扫描方向形成了平行的晶粒边界 803，以及沿扫描方向在晶粒边界 803 之间的区域中形成了单晶区（条状晶体区）802。这表明，在本发明的例子中，控制了晶粒边界 803 的位置，使得在激光束的扫描方向上平行地形成了晶粒边界 803。

如图 13 (1) 中所示，通过限制区域在晶粒边界 803 之间夹着的单晶区 802 内形成了岛状区 801。因为避开单晶区 802a、802b 和晶粒边界 803 形成了岛状区 801，所以该例不同于图 12 中所示的例子。按矩形形状形成了岛状区 801，该矩形形状具有在扫描方向上 $5\ \mu\text{m}$ 的

长度和在与扫描方向正交的方向上 $4\mu\text{m}$ 的长度。此外，如图 13 (2) 中所示，使用夹在晶粒边界 803 之间的单晶区 802 作为有源层，并且载流子要在激光束的扫描方向上的有源层 (802) 内移动。从而，形成了在扫描方向上其之间具有有源层 (802) 的漏区 903 和源区 902。然后，在绝缘膜 (未示出) 上形成了用于连接漏电极 (未示出) 和漏区 903 的接触 904。类似地，在绝缘膜 (未示出) 上形成了用于连接源电极 (未示出) 和源区 902 的接触 905。并且，制造了 n 型 TFT 和 p 型 TFT，其中有源层 802 的沟道长度为 $1.4\mu\text{m}$ ，沟道宽度为 $1.4\mu\text{m}$ ，以及载流子的移动方向变成扫描方向。

所得到的 TFT 中的载流子的迁移率对于 n 型为 $520\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，而对于 p 型的为 $200\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。为了在具有 $2\mu\text{m}$ 晶粒宽度的条状单晶区 802 中形成沟道，期望设定沟道宽度为 $2\mu\text{m}$ 或更小，并更优选为 $1.8\mu\text{m}$ 或更小。此外，对于百分之百的 n 型 TFT 来说阈值电压的漂移为 0.2V 。

作为比较，使用与例 1 中的相同的激光退火装置通过用光束对 $300\mu\text{m}$ 的长度进行扫描辐射制造了多晶膜，该光束是通过没有凹形图案的窄线图案掩模来成形的。此处，光束成形为掩模上 $270\mu\text{m}$ 的开口长度、 $9.9\mu\text{m}$ 的开口宽度以及衬底上 $90\mu\text{m}$ 的开口长度、 $3.3\mu\text{m}$ 的开口宽度。

在比较例中所得到的半导体薄膜中，任意地形成了隆起部。辐射强度为 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，并且在衬底上布幅宽度为 $0.2\mu\text{m}$ 。设置沟道使得载流子平行于扫描方向移动，以便制造具有 $1.4\mu\text{m}$ 的沟道长度和 $1.4\mu\text{m}$ 的沟道宽度的 n 型 TFT 和 p 型 TFT。由于晶粒边界的位置不可控制，所以有晶粒边界出现在沟道内。TFT 中载流子的迁移率对于 n 型为 $320\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，而对于 p 型为 $120\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。此外，对于百分之百的 n 型 TFT 的阈值电压的漂移为 0.15V 。

通过比较上述两种类型的 TFT 的迁移率，很明显能够有满足本

发明期望条件的 TFT，以得到比常规 TFT 高的迁移率。从而，能够用本发明提供高性能的 TFT。此外，由于本发明中的迁移率比由例 7 所示例的 TFT 的迁移率高，所以很明显能够通过条状晶粒内形成沟道来获得具有更高性能的 TFT。此外，很显然能够有满足本发明条件的 TFT，以得到与用具有任意隆起部的半导体薄膜制造的 TFT 相比具有在阈值电压方面更小漂移的 TFT，具有任意隆起部的半导体薄膜是用常规窄线光束制造的。因此，能够通过本发明提供高性能 TFT。

例 9

利用与例 1 中的相同的激光退火装置和按其中周期性地形成了凹形图案的图 5 (1) 中所示形状的掩模，通过对 $300\ \mu\text{m}$ 的长度进行扫描辐射形成了在垂直于扫描方向的方向上连续成直线排列的条状晶粒，条状晶粒具有 $2\ \mu\text{m}$ 的晶体生长宽度。表 7 中示出辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次扫描之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 203、凹形长度 202、凹形宽度 204 和凸起长度 205 是掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5 (2) 中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 $1/3$ 。也就是，光束宽度 303 为 $6\ \mu\text{m}$ ，光束凹形长度 302 为 $1\ \mu\text{m}$ ，光束凹形宽度 304 为 $3\ \mu\text{m}$ ，以及光束凸起长度 305 为 $1\ \mu\text{m}$ 。

如图 6 (3) 中所示，在如实施例中描述的已得到的半导体薄膜中，仅在晶粒边界 315 上的方格图案中形成了隆起部 317。利用由图 6 (3) 所示的本发明的例子所得到的半导体薄膜制造了薄膜晶体管。具体地，如图 14 (1) 中所示，在根据本发明例子的半导体薄膜中，沿激光束的扫描方向形成了平行的晶粒边界 1003，以及沿扫描方向在晶粒边界 1003 之间的区域中形成了单晶区（条状晶体区）1002。这表明，在本发明的例子中，控制了晶粒边界 1003 的位置，使得在激光束的扫描方向上平行地形成了晶粒边界 1003。

如图 14 (1) 中所示，在含有单晶区 1002、1002a、1002b 以及晶

粒边界 1003 的区域中形成岛状区 1001。按矩形形状形成了岛状区 1001，该矩形形状具有在扫描方向上 $4\mu\text{m}$ 的长度和在与扫描方向正交的方向上 $5\mu\text{m}$ 的长度。此外，如图 14 (2) 中所示，使用夹在晶粒边界 1003 之间的单晶区 1002 作为有源层，并且载流子要在与激光束的扫描方向正交的方向上的有源层 (1002) 内移动。从而，在与扫描方向正交的方向上形成了在其之间具有有源层 (1002) 的漏区 1102 和源区 1101。然后，在绝缘膜 (未示出) 上形成了用于连接漏电极 (未示出) 和漏区 1102 的接触 1105。类似地，在绝缘膜 (未示出) 上形成了用于连接源电极 (未示出) 和源区 1101 的接触 1104。同样，形成了栅电极 1103。由此，载流子的移动方向被设定在与扫描方向正交的方向上，并且制造了其中有源层 1102 的沟道长度为 $1.4\mu\text{m}$ 和沟道宽度为 $4\mu\text{m}$ 的 n 型 TFT 和 p 型 TFT。

在所得到的 TFT 中的载流子的迁移率对于 n 型为 $520\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，而对于 p 型为 $200\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。为了在具有 $2\mu\text{m}$ 晶粒宽度的条状晶粒的晶粒内形成沟道，期望设定沟道长度为 $2\mu\text{m}$ 或更小，并更优选为 $1.8\mu\text{m}$ 或更小。此外，对于百分之百的 n 型 TFT 来说阈值电压的漂移为 0.15V 。

作为比较，使用与例 1 中的相同的激光退火装置通过用光束对 $300\mu\text{m}$ 的长度进行扫描辐射制造了多晶膜，该光束是通过没有凹形图案的窄线图案掩模来成形的。此处，光束成形为掩模上 $270\mu\text{m}$ 的开口长度、 $9.9\mu\text{m}$ 的开口宽度以及衬底上 $90\mu\text{m}$ 的开口长度、 $3.3\mu\text{m}$ 的开口宽度。在比较例中所得到的半导体薄膜中，任意地形成了隆起部。辐射强度为 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，并且在衬底上布幅宽度为 $0.2\mu\text{m}$ 。

设置沟道使得载流子平行于扫描方向移动，以便制造具有 $1.4\mu\text{m}$ 的沟道长度和 $4\mu\text{m}$ 的沟道宽度的 n 型 TFT 和 p 型 TFT。由于晶粒边界的位置不可控制，所以通过截断载流子的跃迁有晶粒边界出现在沟道内。在所得到的 TFT 中载流子的迁移率对于 n 型为 $150\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，

而对于 p 型为 $100\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。此外，对于百分之百的 n 型 TFT 的阈值电压的漂移为 0.15V。

通过比较上述两种类型的 TFT 的迁移率，很明显能够有满足本发明期望条件的 TFT，以得到比常规 TFT 高的迁移率。从而，通过本发明能够提供高性能的 TFT。此外，由于与例 7 所示例的 TFT 相比迁移率较高，所以当在该例中晶体生长宽度比沟道长度长、而比沟道宽度短时，通过设定 TFT 使得载流子流动方向变成垂直于扫描方向的方向，能够在条状晶体内形成沟道。由此，能形成具有更高性能的 TFT。此外，很显然能够有满足本发明条件的 TFT，以得到与用具有任意隆起部的半导体薄膜制造的 TFT 相比具有在阈值电压方面更小漂移的 TFT，具有任意隆起部的半导体薄膜是用常规窄线光束制造的。因此，通过本发明能够提供高性能 TFT。

例 10

在非碱性玻璃上形成绝缘膜，并用低压化学汽相淀积在绝缘膜上形成了 60nm 的非晶硅膜 1601。然后，如图 15 (1)、(2) 中所示，通过进行 XeCl 受激准分子激光器的光束 1602 的扫描辐射，在非晶硅膜 1601 上形成了具有 $0.1-1\ \mu\text{m}$ 晶粒直径的粒状多晶硅，XeCl 受激准分子激光器具有 $360\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的能量强度和 $50\ \mu\text{m}$ 的步幅宽度。上述粒状晶粒是具有比随后要介绍的条状晶粒的直径小的直径的晶粒，并且在本说明书中简称为粒状晶粒 1603，以便使其区别于条状晶粒。尽管在该例中使用了 XeCl 受激准分子激光器，但要使用的激光器可以是其它受激准分子激光器，例如 KrF 激光器，或固态激光器，例如 Nd:YAG 激光器、Nd:YLF 激光器、Nd:YV04 激光器，或气体激光器，例如氧化碳气体激光器、氩气体激光器。

然后，利用按如其中周期性地形成了凹形图案的图 5 (1) 中所示的形状的掩模，如图 15 (3)、(4) 所示，在需要高迁移率的区域（例如，在包括有源矩阵衬底的像素显示器件中的驱动电路区域中）

上用光束 1604 选择性地进行扫描辐射。由此，在垂直于扫描方向的方向上形成了具有连续成直线排列的 $2\mu\text{m}$ 晶体生长宽度的条状晶粒 1605，如图 14（4）中所示。

在表 7 中示出了此时的辐射条件。辐射强度是在衬底上的值。步幅宽度是在每次扫描之间所扫描的衬底上的距离。表中的开口宽度 203、凹形长度 202、凹形宽度 204 和凸起长度 205 是图 5（1）中所示的掩模上的值。穿过掩模的光束在衬底上成为图 5（2）中所示的形状。衬底上的光束大小变成掩模上的光束大小的 $1/3$ 。也就是，光束宽度 303 为 $6\mu\text{m}$ ，光束凹形长度 302 为 $1\mu\text{m}$ ，光束凹形宽度 304 为 $3\mu\text{m}$ ，以及光束凸起长度 305 为 $1\mu\text{m}$ 。

然后，在旋转衬底 90° 之后，如图 15（5）、（6）中所示，利用按如其中周期性地形成了凹形图案的图 5（1）中所示的形状的掩模，用光束 1606 进行扫描辐射。表 7 中示出辐射条件。可以通过旋转扫描方向 90° 而不旋转衬底 90° 的情况下进行辐射。

利用所得到的粒状晶粒 1603 和条状晶粒 1605 作为有源层制造了 TFT。在使用条状晶粒的情况下，通过设定沟道方向和扫描方向相互平行制造了 TFT。结果，获得了高迁移率到 n 型中 $520\text{cm}^2/\text{Vs}$ 和 p 型中 $200\text{cm}^2/\text{Vs}$ 的程度。对于使用条状晶粒 1605 作为有源层的 TFT 来说，当 TFT 的沟道方向是按扫描方向以及按垂直于扫描方向的方向时，可以取得高迁移率。从而，可以适当设计每个激光的扫描方向和 TFT 的沟道方向。

如上所述，通过选择性地施加具有需要缩短步幅宽度的凹形图案的光束扫描辐射到需要高迁移率的区域上，与辐射衬底的全部表面的情况相比，可以改善每块衬底的处理速度。

将概括介绍根据上述本发明实施例的薄膜晶体管。根据本发明实

施例的薄膜晶体管包括形成在夹在平行的晶粒边界（603、803、1003）之间的区域中所形成的条状晶体区（602、802、1002），以及在单晶膜上形成至少其中设定载流子移动方向按晶粒边界的长度方向的第一有源层、或其中设定载流子的移动方向按与晶粒边界相交的方向的第二有源层。

当提供第一有源层时，通过沿晶粒边界（603、803）的长度方向夹入有源层形成了第一有源层的漏区（703、903）和源区（701、902）。在这种情况下，形成了第一有源层的源区和漏区，以便包括晶粒边界和条状晶体区，或仅在条状晶体区的区域内形成了第一有源层的源区和漏区。

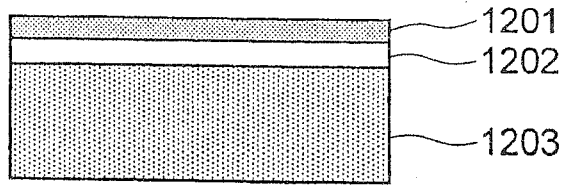
当提供第二有源层时，通过沿与晶粒边界（1003）的长度方向相交的方向夹入有源层形成了第二有源层的漏区（1102）和源区（1101）。在这种情况下，形成了第二有源层的源区和漏区，以便包括晶粒边界和条状晶体区。

当提供第一有源层和第二有源层时，通过沿与晶粒边界的长度方向相交的方向夹入有源层形成了第一有源层的漏区和源区，并且通过沿与晶粒边界的长度方向相交的方向夹入有源层形成了第二有源层的漏区和源区。

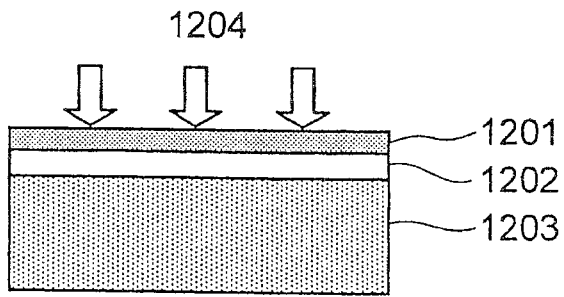
此外，根据本发明实施例的薄膜晶体管可以为以下结构，包括由粒状晶粒和由具有比粒状晶粒大的晶粒直径的晶粒构成的条状晶粒（1605）组成的半导体薄膜（1603），其中分别在半导体薄膜和条状晶粒中形成有源层。

图1 现有技术

(1)



(2)



(3)

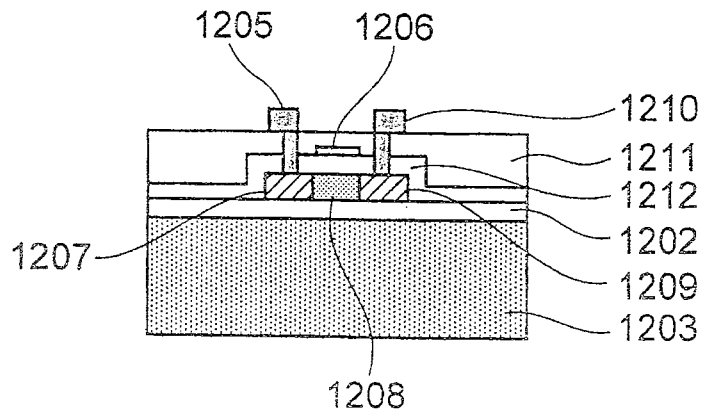
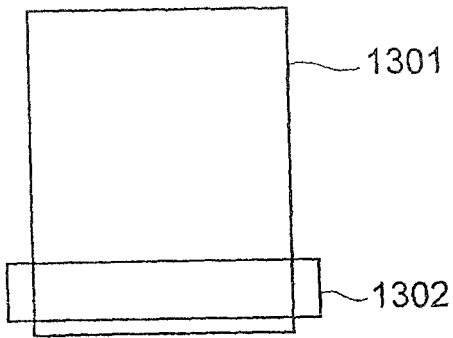
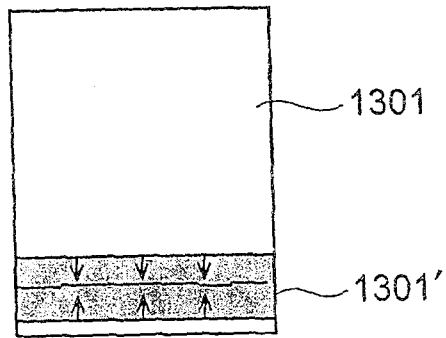


图2 现有技术

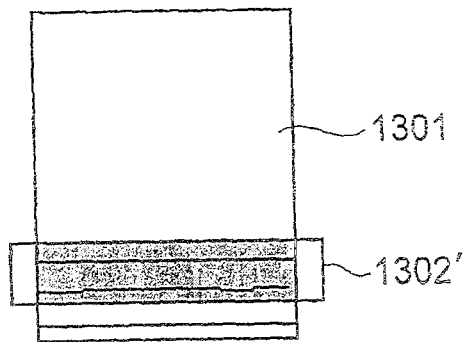
(1)



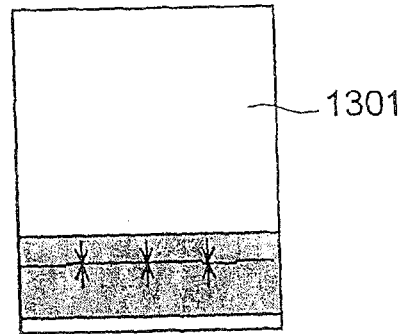
(2)



(3)



(4)



(5)

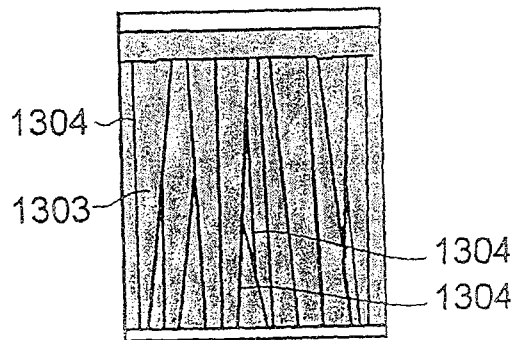
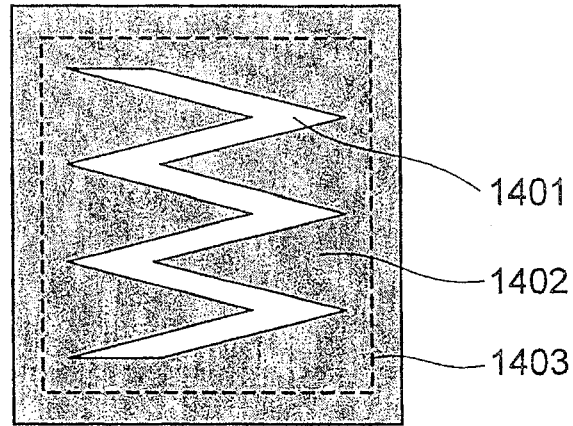


图3 现有技术

(1)



(2)

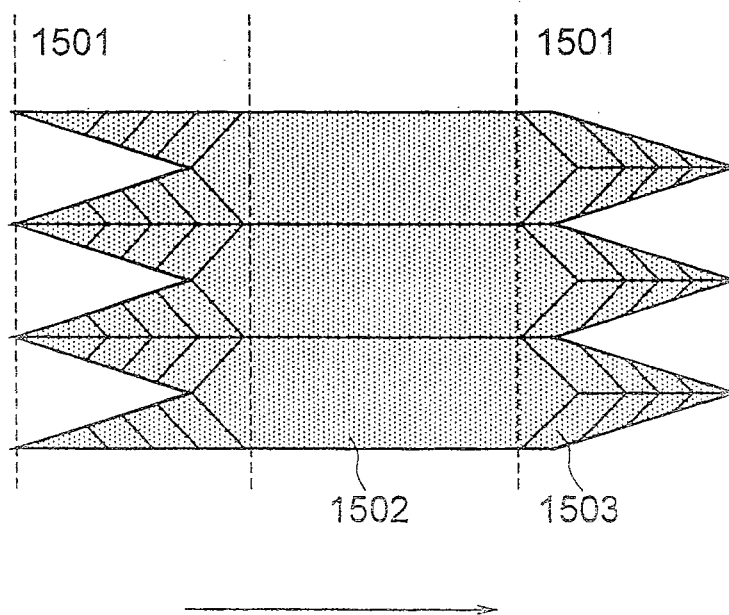


图4

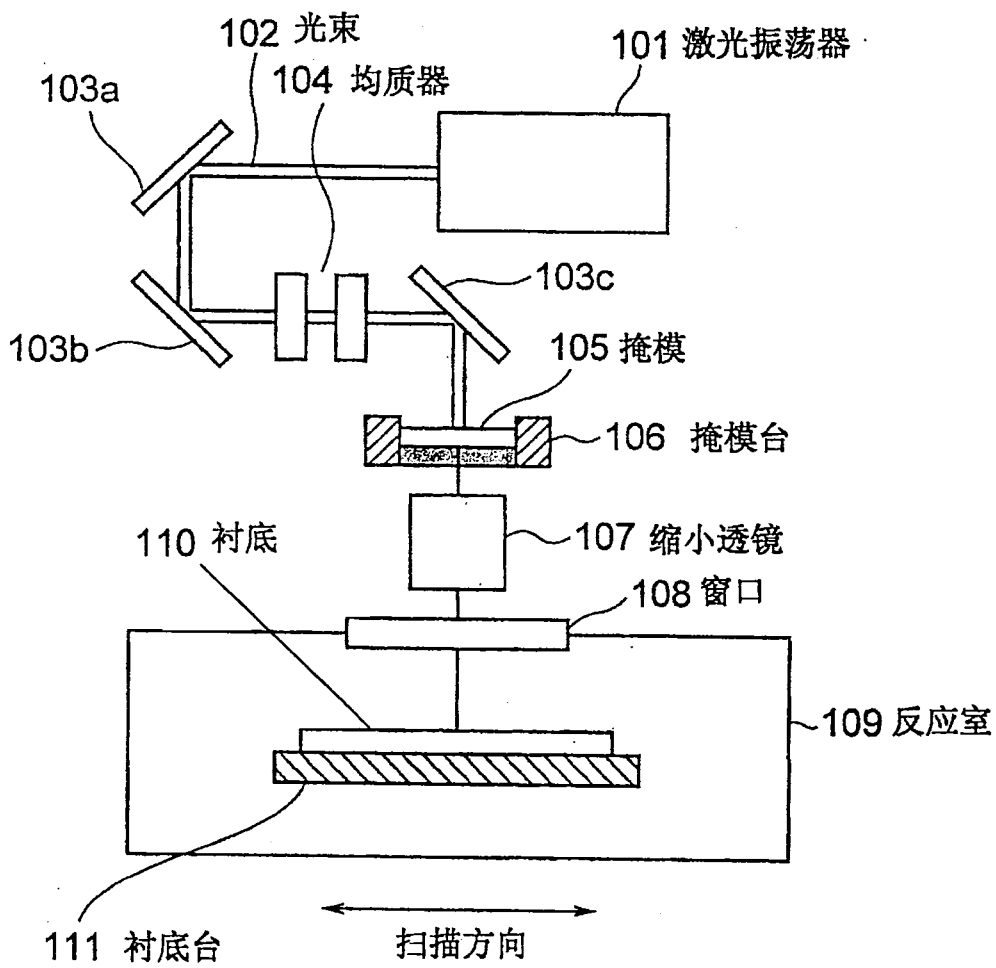
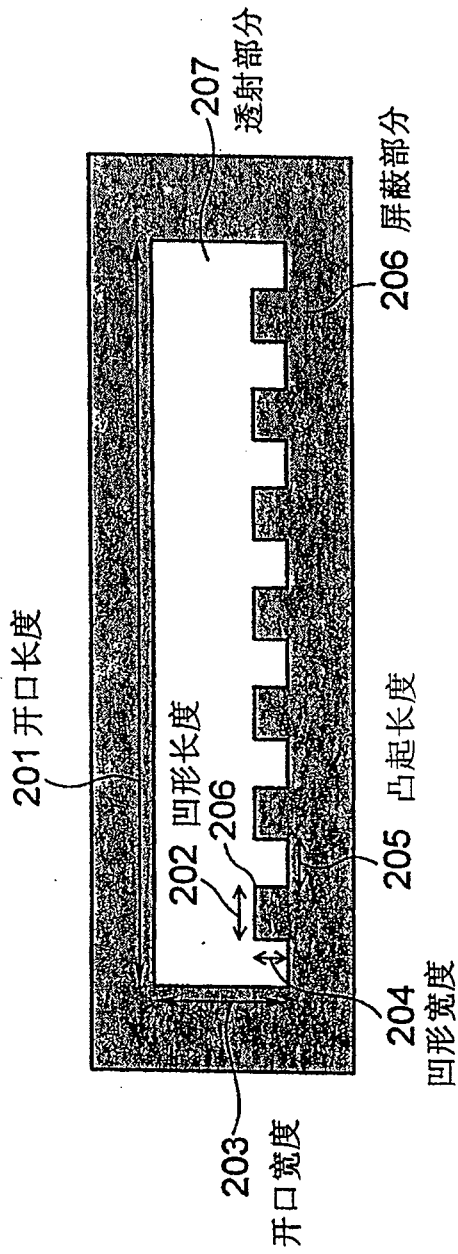


图5

(1)



(2)

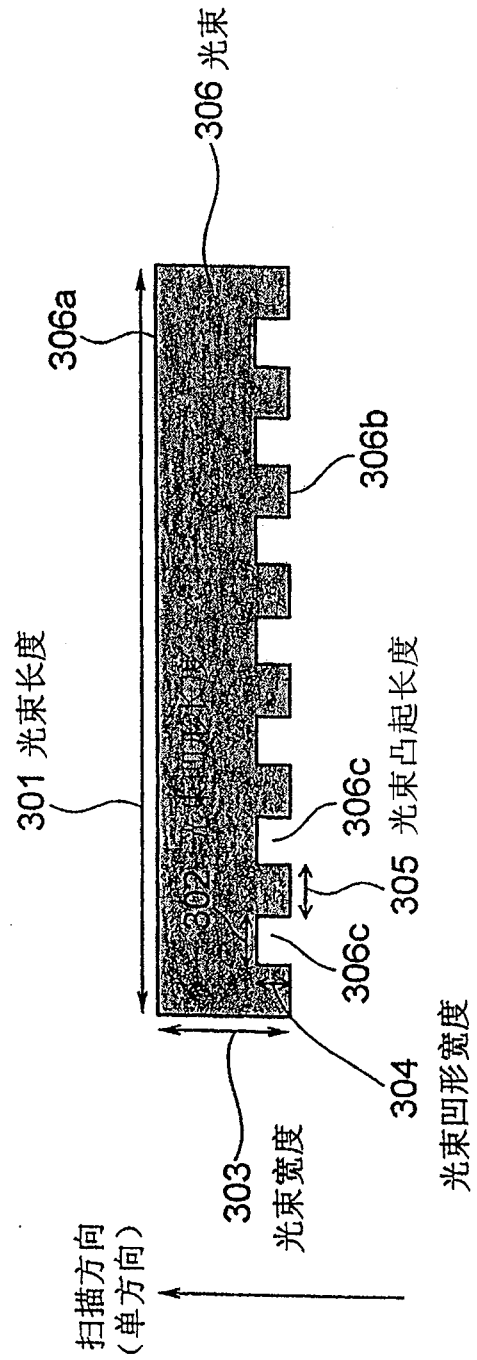
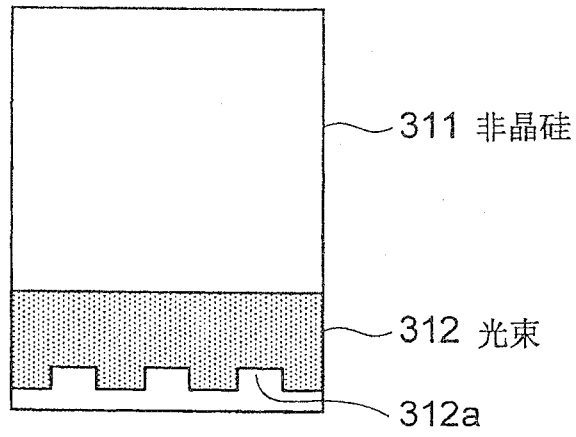
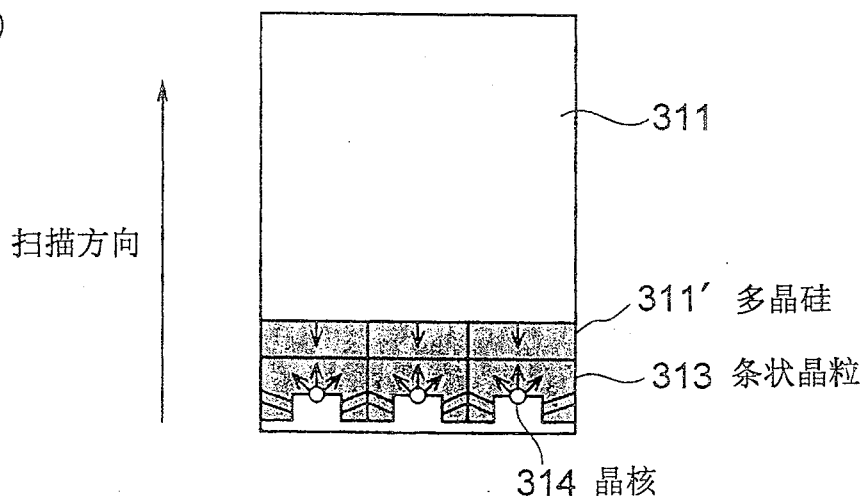


图6

(1)



(2)



(3)

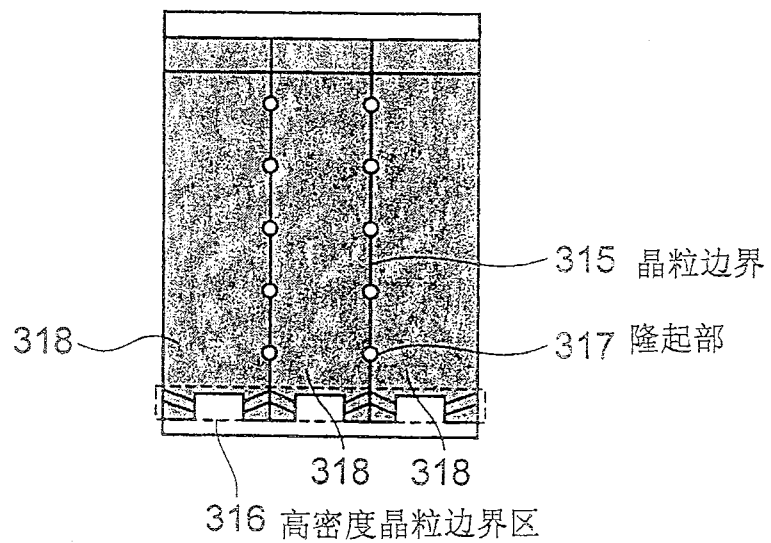


图7

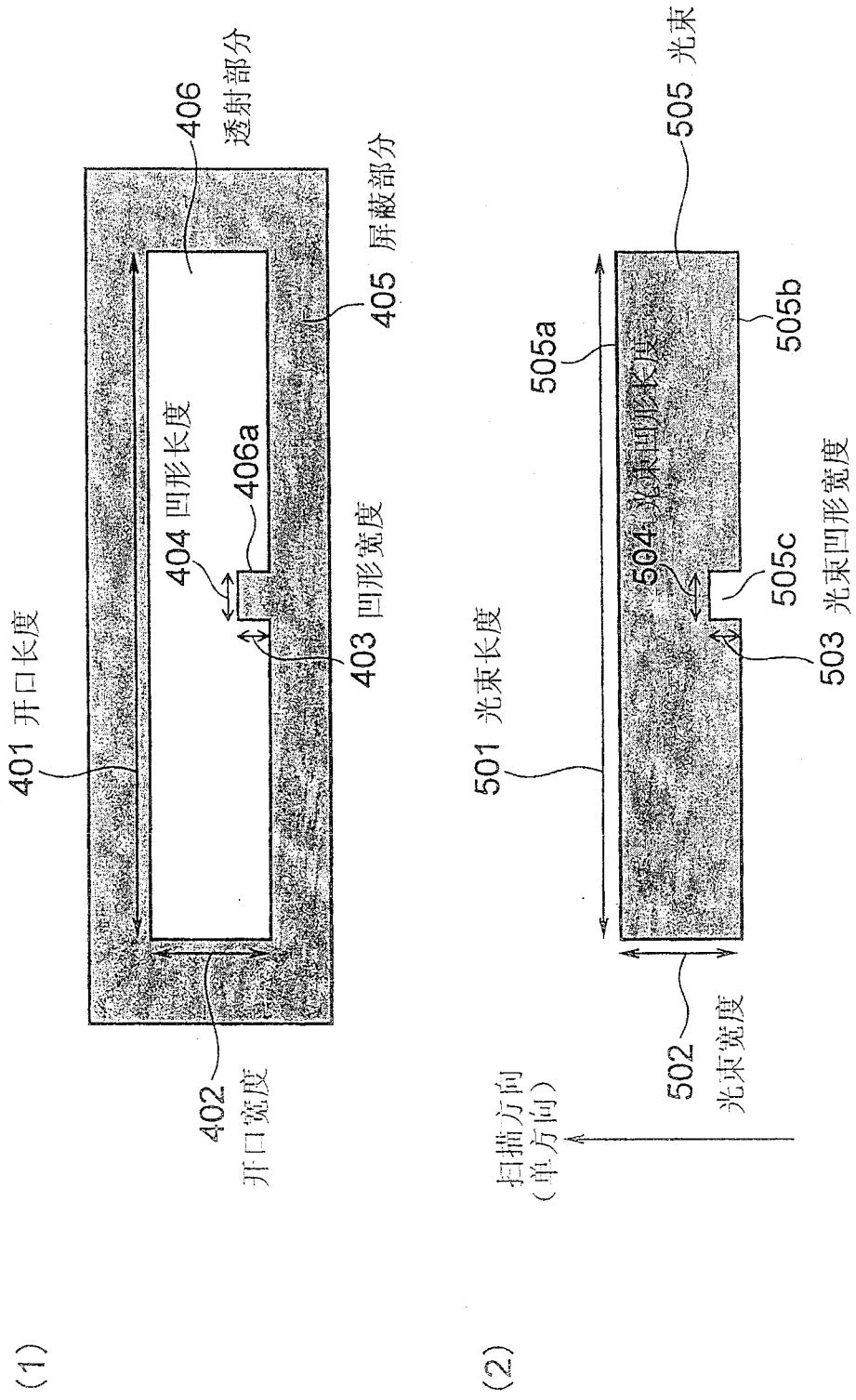


图8

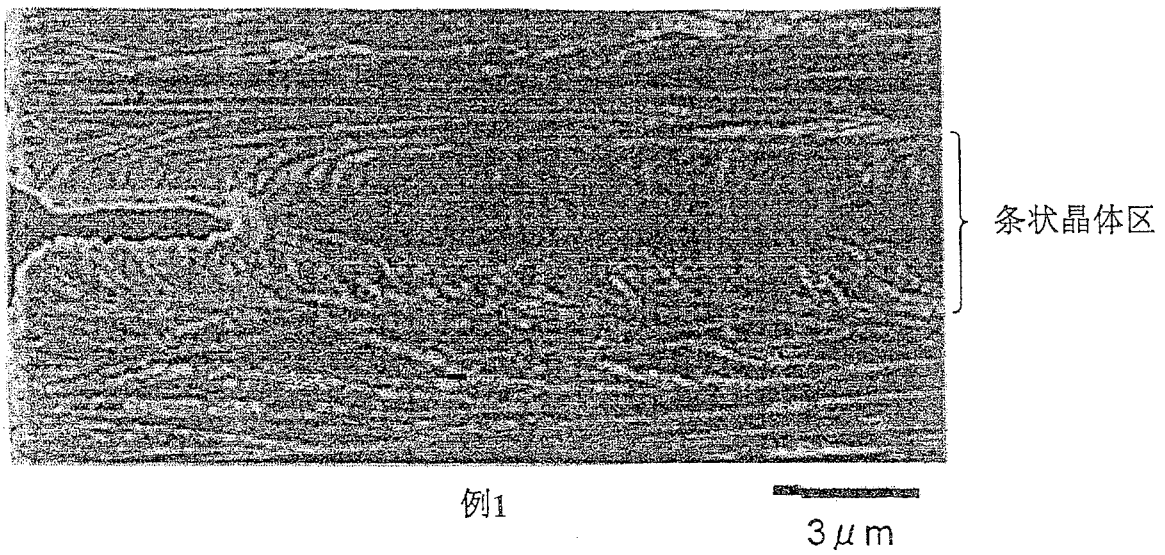
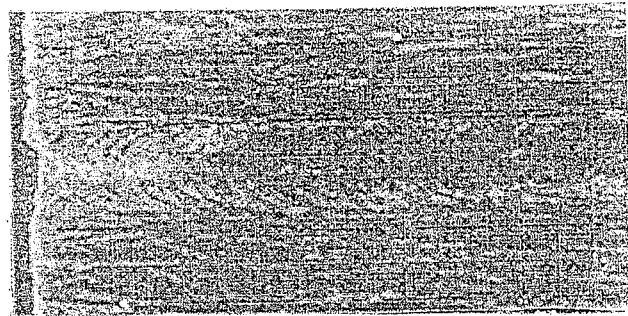
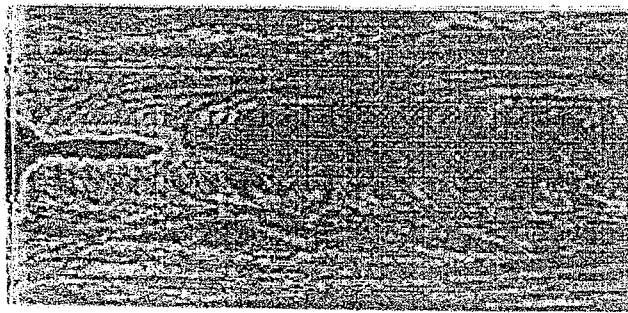


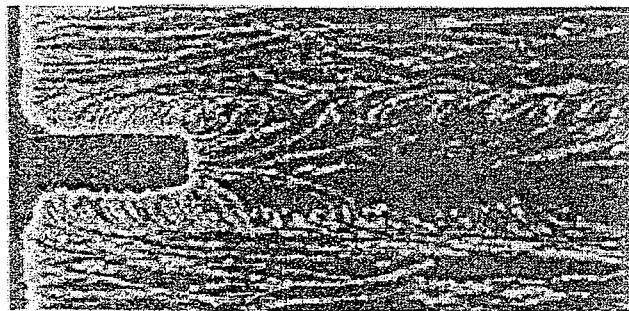
图9



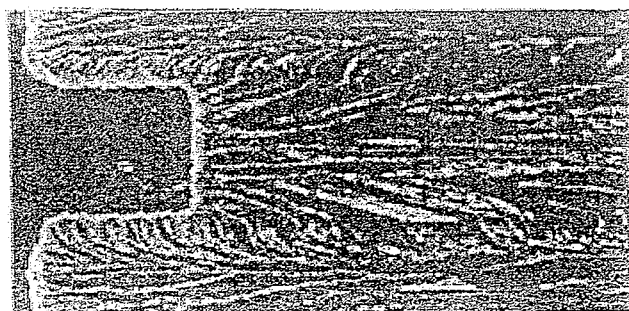
例2-1凹形长度 $1.5\mu\text{m}$



例2-2凹形长度 $3\mu\text{m}$



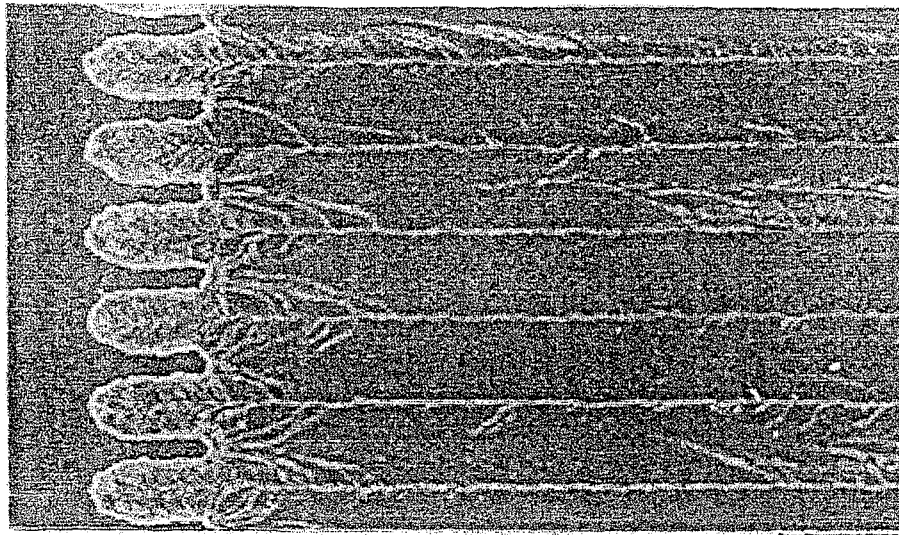
例2-3凹形长度 $6\mu\text{m}$



例2-4凹形长度 $12\mu\text{m}$ $3\mu\text{m}$

图10

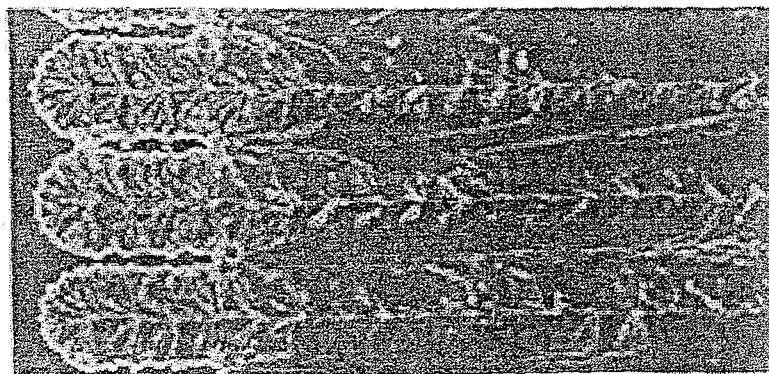
(1)



例3

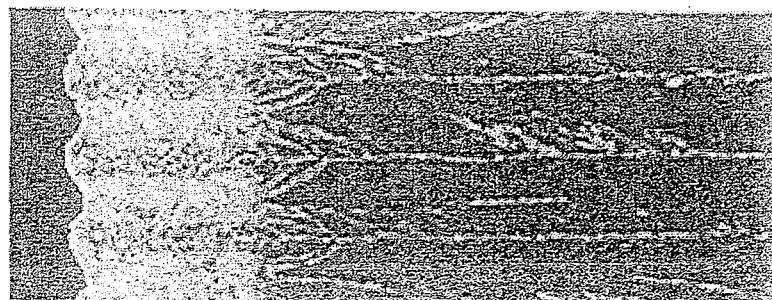
3 μ m

(2)



例4-1凹形长度6 μ m

3 μ m

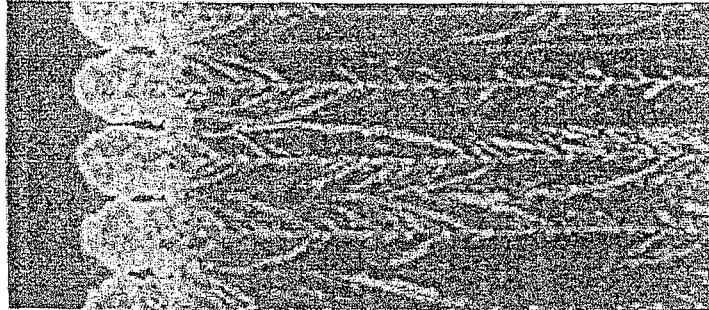


例4-2凹形长度3 μ m

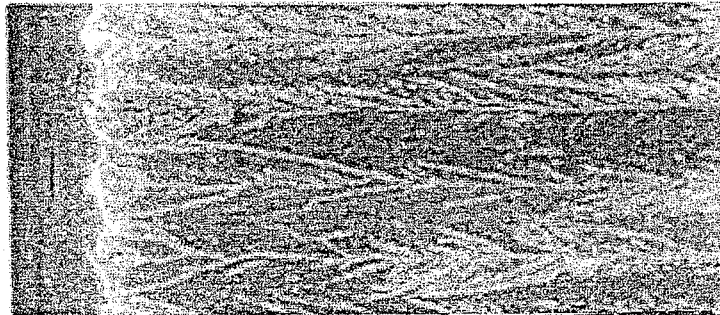
3 μ m

图11

(1)



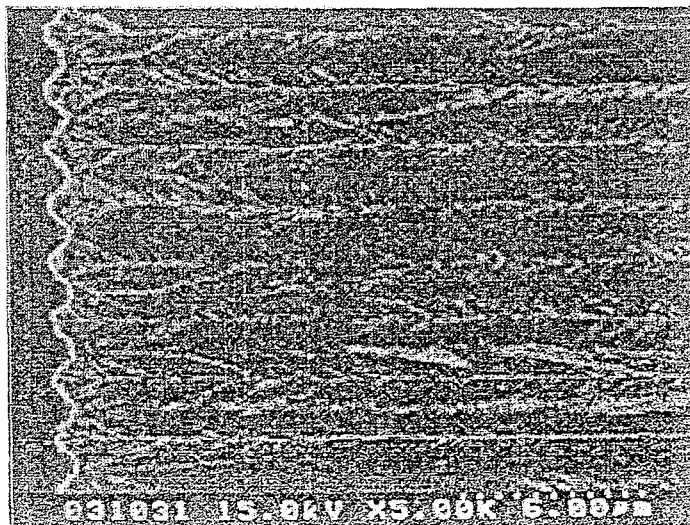
例5-1凹形长度 $9\mu\text{m}$



例5-2凹形长度 $3\mu\text{m}$

$3\mu\text{m}$

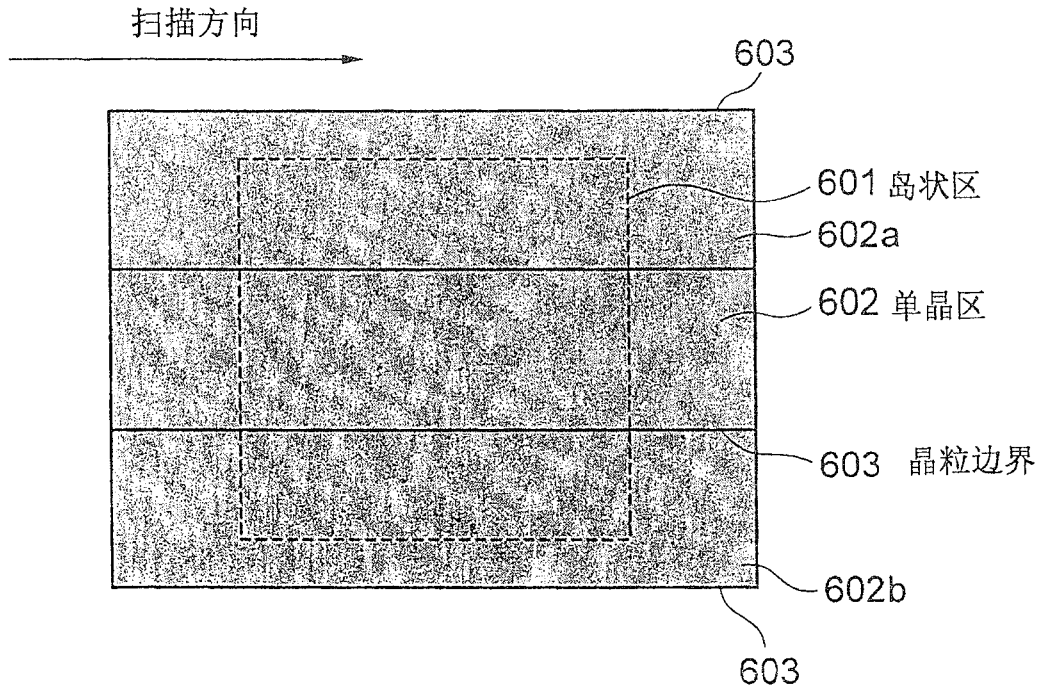
(2)



例6

图12

(1)



(2)

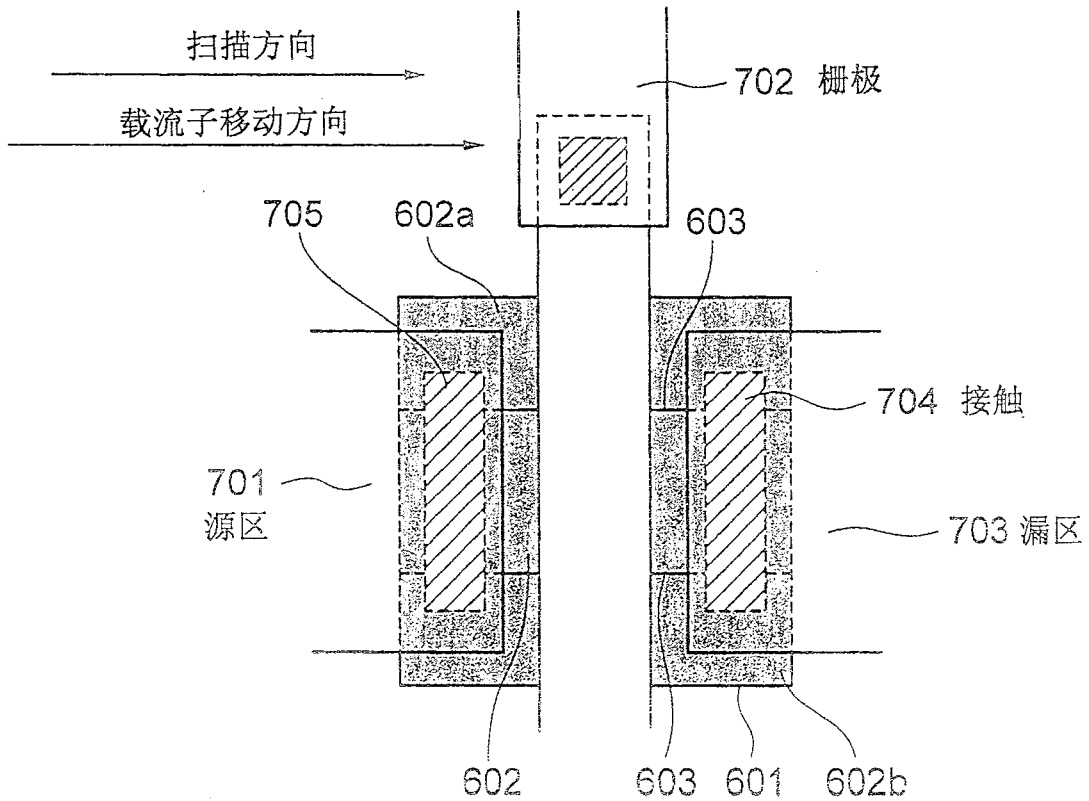


图13

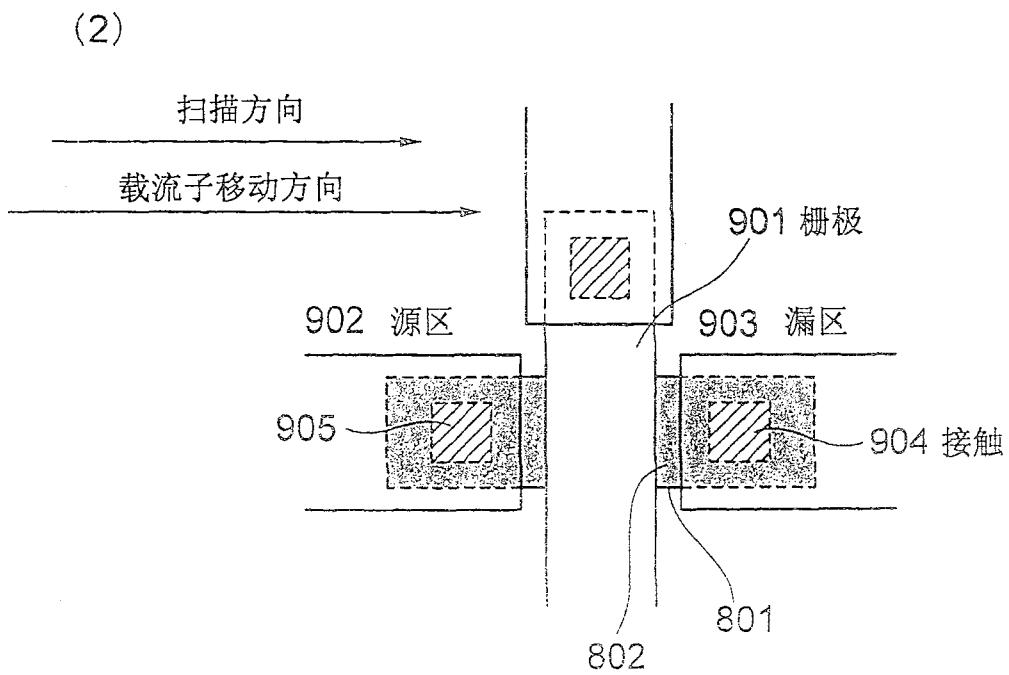
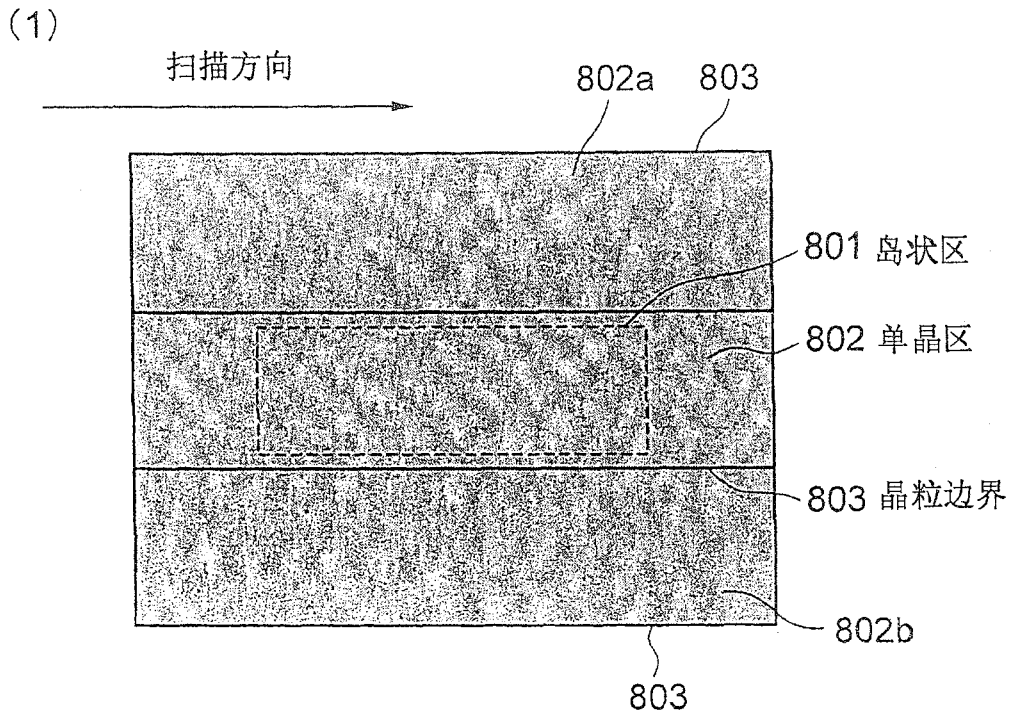
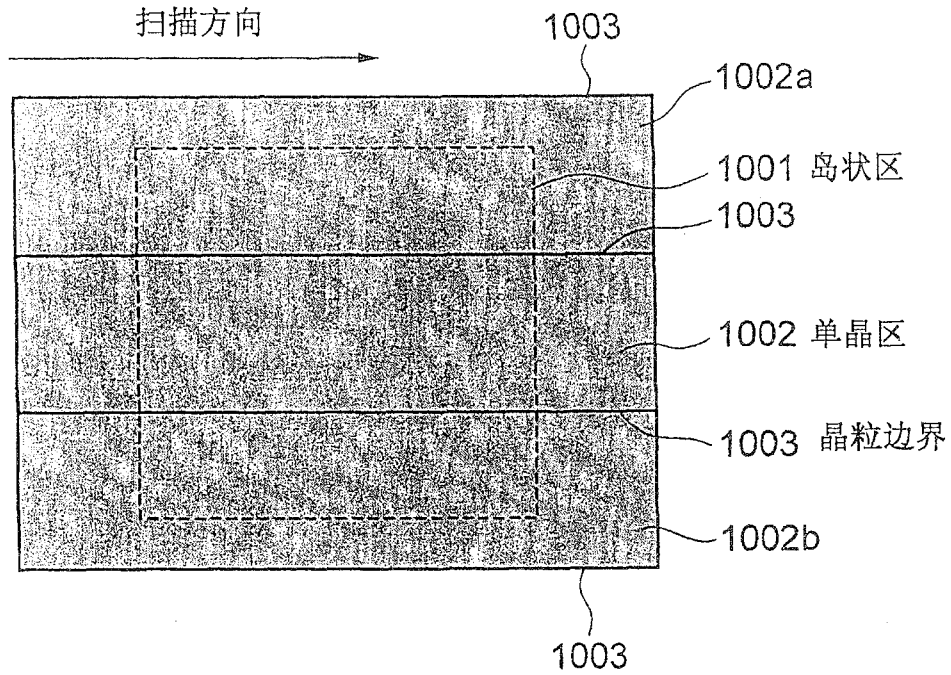


图14

(1)



(2)

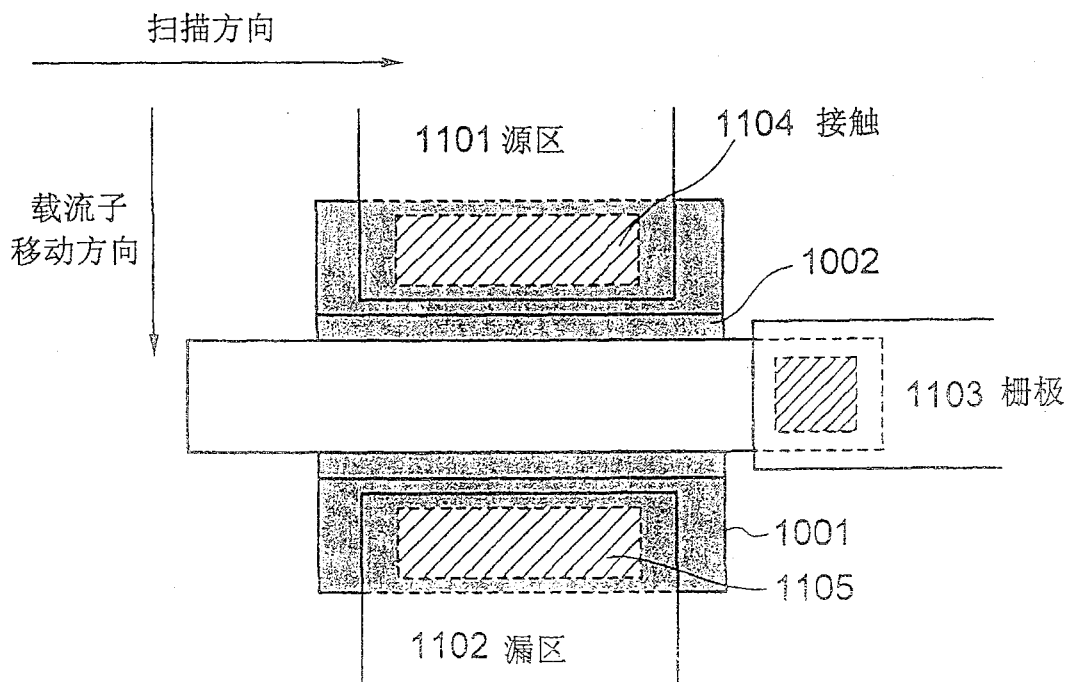
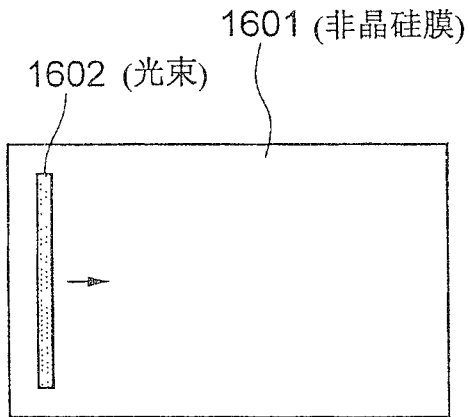
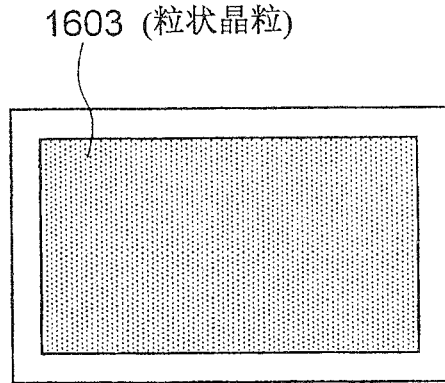


图15

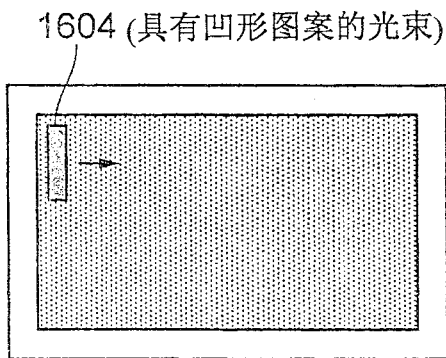
(1)



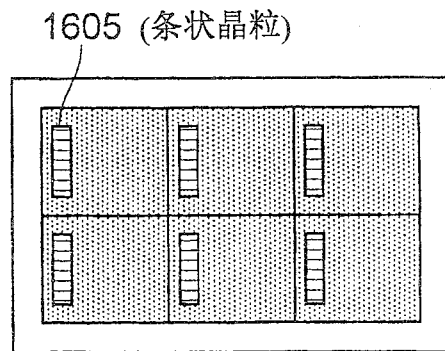
(2)



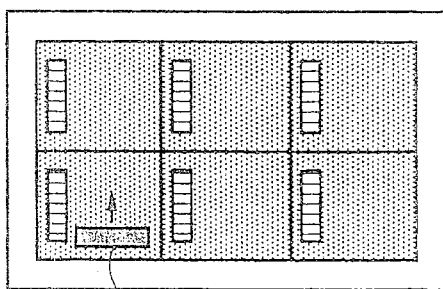
(3)



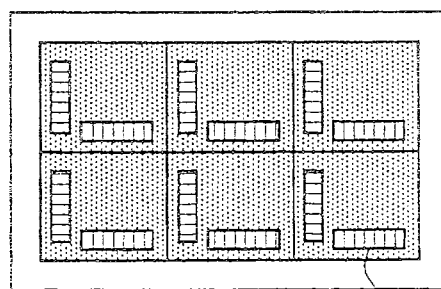
(4)



(5)



(6)



1606 (梳子状的光束)

1605 (条状晶粒)