

1. 一种加工高密度亚光刻图形的方法，包括：
在衬底（11）上淀积一个掩模层（17）；
将掩模层（17）图形化以在其上形成图象（18，19），图像具有
5 一个最小特征尺寸 λ ，其值大于或等于用来图形化的光刻系统的最小分辨率；
对衬底（11）进行刻蚀以将图象（18，19）转换至衬底（11）上，
从而在衬底上形成特征（10，20），此特征具有最小特征尺寸 λ 、水平
面（14）和两个垂直侧壁表面（16）；
10 将间隔材料（31）淀积在水平面和垂直侧壁表面（14，16）上，
直至间隔材料（31）具有一个小于最小特征尺寸 λ 的预定厚度（ t_u, t_v ）；
通过对间隔材料（31）的各向异性刻蚀来从水平面（14）有选择
地去掉间隔材料（31），使得最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度增加，
从而在垂直侧壁面（16）上仍留着间隔材料（31）并形成一些亚光刻
15 间隔（33），亚光刻间隔（33）的厚度 t_v 小于最小特征尺寸 λ ；以及
可以选择地，通过重复淀积和各向异性刻蚀步骤来在原先已形成的
亚光刻间隔（33）上形成附加的亚光刻间隔（53），亚光刻间隔（53）
的厚度（ T_u, T_v ）小于最小特征尺寸 λ ，从而进一步增加最小特征尺寸 λ
范围内的特征密度。
20 2. 如权利要求1所述的方法，其中亚光刻间隔（33，53）是由从
金属，导电材料，半导体材料，硅和介电材料构成的组选择的材料制
成的。
3. 如权利要求1所述的方法，其中衬底（11）是由从金属，导电
材料，半导体材料，硅，介电材料和玻璃构成的组选择的材料制成的。
25 4. 如权利要求1所述的方法，其中最小特征尺寸 λ 范围内的特征密
度大于2.0。
5. 如权利要求1所述的方法，在是最小特征尺寸 λ 两倍的周期内的
特征密度大于3.0。
6. 如权利要求1所述的方法，还包括：
30 在完成各向异性刻蚀步骤后，淀积一种镶嵌材料（37，67），它
完全盖住特征（12，14）和亚光刻间隔（33，53），并填入衬底（11）
上的任何凹陷区域；

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 21/027

G03F 7/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03128436.1

[43] 公开日 2003 年 11 月 12 日

[11] 公开号 CN 1455440A

[22] 申请日 2003. 4. 29 [21] 申请号 03128436. 1

[30] 优先权

[32] 2002. 4. 29 [33] US [31] 10/135900

[71] 申请人 惠普公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 T·安东尼

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

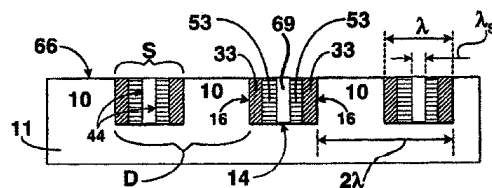
代理人 肖春京

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称 在衬底上加工高密度亚光刻图形的
方法

[57] 摘要

本发明公开了一种加工高密度亚光刻图形的方
法。此方法包括使用普通的微电子工艺包括形成
亚光刻间隔和镶嵌工艺来在衬底(11, 71)所含图形
的垂直侧壁面上形成一些亚光刻间隔(33, 53,
83, 93)。此亚光刻间隔(33, 53, 83, 93)的周期
小于光刻系统的最小分辨率 λ 。通过对材料的后
续淀积,并经各向异性刻蚀来有选择地除掉被淀积
材料的水平表面,可以增加在光刻系统最小分辨率
 λ 范围内图形包括亚光刻间隔(33, 53, 83, 93)
的密度。可以选择地,可以将间隔材料共形淀积。



ISSN 1008-4274

将衬底(11)平面化以形成一个基本上平的表面(P)以及形成一个镶嵌间隔(39, 69)。

7. 如权利要求6所述的方法, 其中平面化步骤包括化学机械平面化。

5 8. 如权利要求6所述的方法, 其中镶嵌间隔(39, 69)可由从金属, 导电材料, 半导体材料, 硅, 介电材料构成的组选择的材料制成。

9. 如权利要求6所述的方法, 其中在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度大于3.0。

10 10. 如权利要求6所述的方法, 其中在是最小特征尺寸 λ 两倍的周期内特征密度大于4.0。

11. 如权利要求6所述的方法中, 镶嵌间隔(39, 69)的厚度小于最小特征尺寸 λ 。

12. 一种加工高密度亚光刻图形的方法, 包括:

15 将一个特征层(80)淀积于衬底(71)的表面(82)上;

将特征层(80)图形化然后进行蚀刻, 以形成具有水平面(82, 84)和几个垂直侧壁面(86)的特征(81, 83), 且最小特征尺寸 λ 大于或等于用来图形化的光刻系统的最小分辨率;

20 将间隔材料(87)淀积于水平(82, 84)和垂直(86)侧壁面上, 直至间隔材料(87)的厚度达到一个小于最小特征尺寸 λ 的预定厚度(t_h , t_v);

通过对间隔材料(81)的各向异性刻蚀来有选择地从水平面(82, 84)除掉间隔材料(87), 使得间隔材料(87)留在垂直侧壁面(86)上以在其上形成一些亚光刻间隔(83), 从而增加在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度, 这个亚光刻间隔(83)具有小于最小特征尺寸 λ 的厚度 t_v ;

30 可以选择地, 通过重复淀积和各向异性刻蚀步骤来在原先已形成的亚光刻间隔(83)上形成附加的亚光刻间隔(93), 从而进一步增加在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度, 这些附加的亚光刻间隔(93)具有小于最小特征尺寸 λ 的厚度(t_h , t_v)。

13. 如权利要求12所述的方法, 其中亚光刻间隔(83, 93)是由从金属, 导电材料, 半导体材料, 硅和介电材料构成的组选择的材料

制成的。

14. 如权利要求 12 所述的方法，其中衬底 (71) 是由从金属，导电材料，半导体材料，硅，介电材料和玻璃构成的组选择的材料制成的。

5 15. 如权利要求 12 所述的方法，其中在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度大于 2.0。

16. 如权利要求 12 所述的方法，其中在是最小特征尺寸 λ 的两倍的周期内的特征密度大于 3.0

10 17. 如权利要求 12 所述的方法，特征层 (80) 的材料是由从金属，导电材料，半导体材料，硅，介电材料和玻璃构成的组选择的材料制成的。

18. 如权利要求 12 所述的方法，还包括：

15 在完成各向异性刻蚀步骤后，淀积镶嵌材料 (37, 67)，用它完全覆盖特征 (92)、亚光刻间隔 (83, 93) 和衬底 (71) 上任何凹陷的区域；

将镶嵌材料 (37, 67)、特征 (92) 和亚光刻间隔 (83, 93) 平面化，以形成一个基本上平的表面 (P)，并形成镶嵌间隔 (39, 69)。

19. 如权利要求 18 所述的方法，其中平面化步骤包括化学机械平面化。

20 20. 如权利要求 18 所述的方法中，镶嵌间隔 (39, 69) 是由从金属，导电材料，半导体材料，硅和介电材料构成的组选择的材料制成的。

在衬底上加工高密度亚光刻图形的方法

技术领域

- 5 本发明总的说涉及在衬底上加工高密度亚光刻图形的方法。更具体地说，本发明涉及在衬底上利用普通的微电子加工技术加工高密度亚光刻图形的方法，以便衬底上形成一些亚光刻间隔，而且在光刻系统最小分辨率的范围内特征密度可以增加一倍或更多。

背景技术

- 10 在微电子工业中，在衬底上图形化特征的标准方法是采用大家都知的光刻技术。通常先在衬底材料上涂上一层光抗蚀剂，然后用一个光源通过掩模使光抗蚀剂曝光。掩模上含有一些图形（如线条和间隔），它们将要被转换到光抗蚀剂上。光抗蚀剂曝光之后浸泡在一种溶液中，以确定转移到抗蚀剂上的图形。用这种方法作出的图形的线
15 宽一般大于光刻对准设备的最小分辨率 λ ，它最终受到用来使光抗蚀剂曝光的光源的光波长的限制。目前先进的光刻对准设备能作出小到100.0 纳米的线宽。

- 利用大家熟知的微电子工艺技术（如反应离子刻蚀，离子蚀刻，等
20 等离子体刻蚀，或化学刻蚀等）可以把光抗蚀剂上的图形转移到衬底材料上。采用标准的半导体工艺方法，可以做出宽度为 λ 的线条或图形为 2λ 的栅格（即线条-间隔序列）。

- 不过，在许多应用中，线宽或图形尽可能地小是有利的。较小的
25 线宽或图形能产生高性能和/或高密度的电路。因此，微电子工业一直在追求不断降低光刻系统的最小分辨率，从而减小图形衬底上的线宽或图形。由于电子工业受到对更快和更小的电子器件的需求的驱使，性能和/或密度的增加将会带来巨大的经济利益。

- 在图 1a 中，加工比最小特征尺寸 λ 更窄的线条的方法包括对用来使衬底材料图形化的刻蚀过程进行控制。衬底 101 包含具有最小
30 特征尺寸 λ 的线条 103，它比用来制作线条 103 的光刻系统的最小分辨率 λ 要大或者相等。由于光刻系统的最小分辨率 λ ，各线条 103 将被间隔 105 分开，该间隔也将比 λ 大或者相等。在图 1a 中，线条 103 和间隔 105 的周期为 2λ 。因而在周期 2λ 内，特征的密度为 2，即有

一个线条 103 和一个间隔 105。类似地，在 λ 的距离内，特征密度为 1，也就是说，在距离 λ 内，或者是一个线条 103，或者是有一个间隔 105。

在图 1b 中，线条 103 各自的宽度已减小至小于 λ 的值，这是通过
5 控制横向等离子体刻蚀，使线条 103 的垂直侧壁 S 在刻蚀前（见图中箭头 e）在横向减至小于 λ 的宽度（见虚线箭头 r）来实现的。但是，按上述方法并不使线条 103 的密度增加。实际上，由于横向刻蚀使线条 103 变成比 λ 窄（即 $<\lambda$ ），同时，由于垂直侧壁 s 的后退使间隔 105 的宽度变得比 λ 大（即 $>\lambda$ ）。结果在周期 2λ 内的特征密度（103, 105）
10 仍为 2，而在距离 λ 内的特征密度仍为 1。

类似地，在图 2a 中，如果衬底 107 内的特征包括一个栅格 109（包含线条 111 和间隔 113，其特征尺寸大于或等于 λ ），则在周期 2λ 内的特征密度（111, 113）为 2，而在距离 λ 内的特征密度仍为 1。

在图 2b 中，经过控制横向等离子体刻蚀之后，垂直侧壁 S 向内缩
15 进的结果使得间隔 113 比 λ 宽（即 $>\lambda$ ），而线条 111 比 λ 窄（即 $<\lambda$ ）。和上面一样，在周期 2λ 内的特征密度（111, 113）仍为 2；而在距离 λ 内的特征密度仍为 1。

因此，需要有一种加工亚光刻尺寸的特征的方法，使得特征的宽度比光刻系统的最小分辨率还窄。还需要有一种加工亚光刻尺寸的特征的方法，它能在光刻系统最小分辨率的范围内增加特征密度。
20

发明内容

本发明的加工高密度亚光刻图形的方法，通过采用普通的微电子工艺形成亚光刻间隔，以及采用镶嵌工艺在衬底上形成一些亚光刻间隔，从而解决了上述问题。亚光刻间隔的周期小于光刻系统的最小分
25 辨率。按照微电子工艺的说法，所谓间隔就是一些薄膜，它将衬底上图形的垂直侧壁盖住。镶嵌工艺是这样一种技术，它通过将第一种材料淀积在第二种材料中的凹陷部位，然后用平台化工艺除掉第一种材料的一部分，而在第二种材料的母体内形成第一种材料的镶嵌图形。比如说，可以采用化学机构平面化（CMP）之类的平面化工艺来除掉第
30 一种材料并使之平面化。

采用本发明的方法，可以在光刻系统最小分辨率的范围内增加包含亚光刻间隔在内的特征密度。另外，还可通过材料的淀积及随后的

各向异性刻蚀有选择性地除掉淀积材料的水平表面，而进一步增加在光刻系统最小分辨率范围内的特征密度。材料的淀积可以是共形淀积，其中被淀积材料的水平厚度和垂直厚度彼此基本相同。

5 通过下面结合附图以实例说明本发明的原理所作的详细描述，可以了解本发明的另一些特征。

附图说明

图 1a 是一个现有的衬底的横剖面图，衬底上有一些线条图形，其周期两倍于光刻系统的最小分辨率。

10 图 1b 是图 1a 的经过预先控制的横向刻蚀工艺以减小线条宽度后的横剖面图。

图 2a 是一种上面有栅格的现有的衬底的横剖面图，图形的周期两倍于光刻系统的最小分辨率。

图 2b 是图 2a 经过预先控制的横向刻蚀工艺以减小图形宽度后的横剖面图。

15 图 3a 是按照本发明在掩模层上光刻图形的横剖面图。

图 3b 是图 3a 的掩模层按照本发明经过刻蚀后的横剖视图。

图 3c 和 3d 是包含具有最小特征尺寸的图形的衬底按照本发明经过刻蚀后的横剖视图。

图 4 是按照本发明的淀积间隔材料的横剖视图。

20 图 5 是按照本发明经过各向异性刻蚀工艺形成的亚光刻间隔的横剖视图。

图 6 是按照本发明淀积在图 5 的亚光刻间隔上的另一种淀积间隔材料的横剖视图。

25 图 7 是按照本发明经各向异性刻蚀形成的附加的亚光刻间隔的横剖视图。

图 8 和 10 是按照本发明经淀积工艺后一种镶嵌材料的横剖视图。

图 9 和 11 是按照本发明用平面化工艺形成的一个镶嵌间隔的横剖视图。

30 图 12a 和 12b 是用来说明按照本发明在衬底上形成特征的横剖视图。

图 13 是按照本发明的一种淀积间隔材料的横剖视图。

图 14 是按照本发明用各向异性刻蚀工艺形成的亚光刻间隔的横剖视图。

图 15 是按照本发明用各向异性刻蚀工艺形成的附加亚光刻间隔的横剖视图。

5 具体实施方式

在下面的详细描述及一些附图中，类似的元件用类似的标号来标识。

如用作说明的那些附图所示，本发明体现为一种加工高密度亚光刻图形的方法。此方法包括将一个掩模层淀积在衬底上，然后在掩模层上图形化以形成一个图象，它包含一特征尺寸，其值比用来在掩模层上图形化的光刻系统的最小分辨率大或相等。然后对掩模层进行刻蚀以将图象转移至衬底上，从而在衬底上确定特征。这个图形包含最小特征尺寸，也包含水平表面和垂直侧壁表面。

将间隔材料淀积在特征上，用来覆盖水平表面和垂直侧壁表面。淀积过程一直持续到使间隔材料具有一个预先确定的比最小特征尺寸小的厚度。

通过对间隔材料进行各向异性刻蚀以便有选择地从水平表面上除掉间隔材料，可以使在最小特征尺寸范围内的特征密度增加。这样一来，间隔材料就留在垂直侧壁上并形成一些亚光刻间隔，它们与垂直侧壁表面相接触并横向延伸到垂直侧壁表面的外面。亚光刻间隔的厚度小于最小特征尺寸。因此，在最小特征尺寸范围以内的特征密度大于 2.0。这个密度包括图形和亚光刻间隔。

如果愿意的话，可以通过重复上述淀积和各向异性刻蚀步骤，在原先的亚光刻间隔上形成附加的亚光刻间隔，以进一步增加在最小特征尺寸范围内的特征密度。附加的亚光刻间隔的厚度也比最小特征尺寸小。

在图 3a 中，掩模层 17 是淀积在衬底 11 的表面 12 上。掩模层 17 可以是一个光抗蚀剂层材料等。掩模层 17 被图形化以形成一个具有最小特征尺寸 λ 的图象。此最小特征尺寸 λ 比用来将掩模层 17 图形化的光刻系统的最小分辨率大或者相等。举例来说，光刻系统可以是一个普通的光学光刻系统，且最小分辨率可以由该光学光刻系统所带光源的波长来确定，此光源被用来将一个图象投射到掩模层 17 上。

再回到图 3a, 掩模 21 上带有特征 (23, 25), 其尺寸也是最小特征尺寸 λ , 且大于或等于光刻系统的最小分辨率。掩模 21 被一个光源 (未示) 照射, 此光线的一部分 43 被不透明的特征 23 所阻挡, 而另一部分 41 则穿过透明特征 25 使掩模层 17 曝光。

5 在图 3b 中, 曝露在光线 41 下的那部分掩模层 17 在掩模层经过刻蚀后仍然保留, 而不曝露在光线下那部分在掩模层 17 经刻蚀后被除掉。经过刻蚀之后, 在掩模层 17 内出现图象 (18, 19)。该图象 (18, 19) 也包含最小特征尺寸。例如, 该图象 (18, 19) 可以通过将掩模层 17 浸泡在一种溶剂内, 并使原来被光线 41 曝光的那部分掩模层 17
10 溶解来形成。其结果是溶解部分形成图象 18, 而未被溶解部分形成图象 19。

在图 3c 中, 图象 19 将衬底 11 表面 12 的某一部分盖住, 而图象 18 则与表面 12 重合。然后通过对衬底的刻蚀使图象 (18, 19) 传至衬底 11 而形成特征 (10, 20)。该特征 (10, 20) 包含最小特征尺寸
15 λ 。该特征 20 是一个沟槽, 它具有一个垂直侧壁面 16 和一个水平面 14; 特征 10 则是一条线, 它也具有垂直侧壁面 16 和一个水平面 12。由于特征 (10, 20) 包含最小特征尺寸 λ , 故重复的特征之间的最小周期是 2λ 。

因而, 在图 3d 中, 在一个距离 λ 内, 特征密度等于 1 (即 1.0),
20 也即一个特征 10 或一个特征 20。另一方面, 在周期 2λ 内, 特征密度等于 2 (即 2.0), 即有一个特征 10 和一个特征 20。

在图 4 中, 把一种间隔材料 31 淀积在水平面 (12, 14) 和垂直侧壁表面 16 上。这种间隔材料 31 的淀积过程一直持续到使间隔材料 31 达到一个预先确定的厚度 (t_h, t_v), 此厚度小于最小特征尺寸 λ 。就
25 是说, 间隔材料 (31) 在水平面 (12, 14) 上的厚度 t_h 小于 λ ($t_h < \lambda$), 而在垂直侧壁面 16 上间隔材料的厚度小于 λ ($t_v < \lambda$)。例如在具有最小特征尺寸 λ 的 optical lithography 过程中, 水平和垂直侧壁厚度 (t_h, t_v) 通常在约 0.1λ 至 0.5λ 的范围。厚度 (t_h, t_v) 不一定要彼此相等 (即 $t_h \neq t_v$)。

30 对于这所述的所有实施方案中, 下面会说到的间隔材料 (包括间隔材料 31) 和镶嵌材料可以进行共形淀积, 使得水平和垂直侧壁厚度 (t_h, t_v) 基本上彼此相等 (参见图 4 至 7 及图 13 至 15), 即 $t_h = t_v$ 。

此外，在以后为增加最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度的淀积也可以是共形淀积。除此之外，间隔材料的淀积可以是非共形淀积（此时 $t_h \neq t_v$ ）和共形淀积（此时 $t_h = t_v$ ）的一种组合。

淀积间隔材料 31 的方法包括（但不限于）化学汽相淀积（CVD），
5 等离子体增强化学汽相淀积（PECVD），溅射，镀膜，和原子层淀积（ALD）。

图 5 中，通过对间隔材料 31 进行各向异性刻蚀以有选择地从水平面（12，14）除掉间隔材料 31，使在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度增加了；但是，在垂直侧壁面 16 上仍保留着间隔材料 31，并形成一些亚光刻间隔 33，它们与垂直侧壁面 16 相接触并由此向外延伸。这个
10 亚光刻间隔 33 是亚光刻性的，因为它们的厚度 t_v 小于最小特征尺寸（即 $t_v < \lambda$ ）。

在各向异性刻蚀后，在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度为 3，而两个亚光刻间隔 33 和一个特征 24（就是说，图形 24 是处于两间隔 33
15 之间的空间，见图 5 中的标号 S）。因而，在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度大于 2.0。类似地，在周期 2λ 内的特征密度为 4，即有两个亚光刻间隔 33，一个特征 24，和一个特征 10（见图 5 中的标号 D）。因此，在周期 2λ 范围内的特征密度大于 3.0。

亚光刻间隔 33 具有垂直侧壁面 22。在图形 24 内两个垂直侧壁面
20 22 之间的距离 λ_s 小于最小特征尺寸 λ （ $\lambda_s < \lambda$ ）。另外，特征 24 内垂直侧壁表面 22 之间的距离 λ_r 小于最小特征尺寸 λ （ $\lambda_r < \lambda$ ）。其结果（下面会说到）是，一个镶嵌间隔可以有选择地填充距离 λ_s ，同时也具有小于最小特征尺寸 λ 的亚光刻尺寸。

在图 6 中，可能希望通过如上面所述的重复淀积的各向异性刻蚀
25 步骤来进一步增加最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度。在原先已形成的亚光刻间隔 33 的水平面（12，14）和垂直侧壁面 22 上淀积一层间隔材料 51 并完全将特征 24 填满。淀积过程一直持续到间隔材料 51 达到一个预先确定的厚度（ t_h ， t_v ），此厚度小于最小特征尺寸 λ 。

图 7 中，通过各向异性刻蚀间隔材料 51 以有选择地从水平面
30 （12，14）上除掉间隔材料 51，进一步增加了最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度；但是，在垂直侧壁面 22 上仍留着间隔材料 51 并形成一些亚光刻间隔 53，它们与垂直侧壁面 22 相接触同时由此向外延

伸。这些亚光刻间隔 53 是亚光刻的，因为它们的厚度 t_v 小于最小特征尺寸 λ ($t_v < \lambda$)。

在各向异性刻蚀后，最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度为 5，就是说，有四个亚光刻间隔 (33, 53) 和一个特征 26 (见图 7 的标号 S)。
5 因此，在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度大于 4.0。类似地，在周期 2λ 内的特征密度为 6，即有四个亚光刻间隔 (33, 53) 和一个特征 26，和一个特征 10 (见图 7 中的标号 D)。因此，在周期 2λ 范围内的特征密度大于 5.0。

亚光刻间隔 53 具有几个垂直侧壁面 44。在特征 26 内两垂直侧壁面 44 间的距离 λ_s 小于最小特征尺寸 λ ($\lambda_s < \lambda$)。此外，特征 26 内垂直侧壁 44 之间的距离 λ_p 小于最小特征尺寸 λ ($\lambda_p < \lambda$)。如下面将要谈到的那样，其结果是，一个镶嵌间隔可以有选择地填充距离 λ_s ，而且具有一个小于最小特征尺寸的亚光刻尺寸。
10

在完成各向异性刻蚀步骤后，可以沿一个平面 (见图 4 和 6 中的虚线 P) 使衬底 11 平面化，以形成一个基本上平的表面。例如，可以采用化学机械平面化 (CMP) 等工艺来使衬底 11 平面化。
15

在图 8 和 10 中，在完成各向异性刻蚀步骤后，可将一种镶嵌材料 (37, 67) 淀积在衬底 11 上。镶嵌材料 (37, 67) 完全将水平面 (12, 14) 和图形 (10, 20) 覆盖，并填入衬底内的凹陷区域，例如在亚光刻间隔 (33, 53) 的垂直侧壁表面 (22, 44) 之间的空间所形成的那些凹陷区。
20

在图 9 和 11 中，衬底 11 经平面化 (见虚线 P) 形成一个基本平的表面并造成一个镶嵌间隔 (39, 69)。可以采用 CMP 等方法使衬底 11 平面化。
25

此外，在图 9 和 11 中，镶嵌间隔 (39, 69) 是形成于亚光刻间隔 (33, 53) 的垂直侧壁面 (22, 44) 之间。这些垂直侧壁表面 (22, 44) 之间的距离 λ_s 小于最小特征尺寸 λ 。因而，镶嵌间隔 (39, 69) 也是亚光刻性的，因为它们的厚度等于距离 λ_s ，也就是说也小于最小特征尺寸 λ 。
30

在图 9 中，最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度大于 2.0，因为有两个亚光刻间隔 33，和一个镶嵌间隔 39。

在图 11 中，最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度大于 4.0，因为有两

个亚光刻间隔 33, 两个亚光刻间隔 53, 和一个镶嵌间隔 69。

在图 9 中, 在周期 2λ 内的特征密度大于 3.0, 因为有两个亚光刻间隔 33, 两个亚光刻间隔 53, 一个镶嵌间隔 69, 和特征 10。

在如图 12a 所示的本发明的另一个实施装置中, 特征层 80 被淀积在衬底 71 的表面 82 上。如上所述, 利用一种光抗蚀剂和光学光刻工艺, 可将一层光抗蚀剂淀积到特征层 80 上并经过曝光形成图象, 通过刻蚀使图象转换就在特征层 80 上形成图形 91。

在图 12b 中, 特征层 80 被刻蚀后形成特征 (81, 85), 它们包含水平面 (82, 84) 和垂直侧壁表面 86。该特征 (81, 85) 包含最小特征尺寸 λ , 它大于或等于用来使特征层 80 图案化的光刻系统的最小分辨率。

图 13 中, 一种间隔材料 87 被淀积在特征 (81, 85) 的水平面 (82, 84) 和垂直侧壁面 86 上。淀积过程一直持续到间隔材料 87 具有一个小于最小特征尺寸 λ 的预定厚度 (t_h, t_v)。

在图 14 中, 通过对间隔材料 87 的各向异性刻蚀从水平面 (82, 84) 有选择地除掉间隔材料 87, 而使最小尺寸范围内的特征密度有所增加; 但是, 在垂直侧壁表面 86 上仍留有间隔材料 87 并形成一些亚光刻间隔 83, 它们与垂直侧壁面 86 相接触。间隔 83 是亚光刻性的, 因为它们的厚度 t_v 小于最小特征尺寸 λ ($t_v < \lambda$)。

在各向异性刻蚀后, 最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度为 3, 即两个亚光刻间隔和一个特征 85。因而在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度大于 2.0 类似地, 在周期 2λ 内的特征密度为 4, 即有两个亚光刻间隔 83, 一个特征 85, 和一个特征 81。因此, 在周期 2λ 内的特征密度大于 3.0。

亚光刻间隔 83 具有垂直侧壁表面 94。特征 85 中垂直侧壁表面 94 之间的距离 λ_s 小于最小特征尺寸 λ ($\lambda_s < \lambda$)。此外, 特征 85 内垂直侧壁表面 94 之间的距离 λ_p 小于最小特征尺寸 λ ($\lambda_p < \lambda$)。结果如上所述, 一种镶嵌材料 (未示) 可以有选择地填入距离 λ_s 内, 并将具有一个亚光刻尺寸 (小于最小特征尺寸 λ)。

需要的话, 可以通过重复淀积和各向异性刻蚀步骤, 进一步增加最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度, 如上面对图 6 和 7 所作的说明那样。举例来说, 可在原先已形成的亚光刻间隔 83 的水平面 (82, 84)

和垂直侧壁面 94 上淀积另一层间隔材料（未示）。这种淀积一直持续到间隔材料具有一个小于最小特征尺寸 λ 的预定厚度（ t_H , t_V ）。

在图 15 中，经过各向异性刻蚀步骤后，在原先已形成的亚光刻间隔 83 的垂直侧壁面 94 上形成了一些亚光刻间隔。该亚光刻间隔 93 是亚光刻性的，因为它们的厚度 t_V 小于最小特征尺寸 λ （ $t_V < \lambda$ ）。

另外，在最小特征尺寸 λ 范围内的特征密度是 5，即有四个亚光刻间隔（83, 93）和一个特征 92（见图 15，其中 92 是处于间隔 93 之间的一个空间）。因此，在最小特征尺寸范围内的特征密度大于 4.0。类似地，在图形 2λ 内的特征密度为 6，即有四个亚光刻间隔（83, 93），一个特征 92，和一个特征 81。所以，在一个周期 2λ 内的特征密度大于 5.0。

如上所述，可以淀积一种镶嵌材料（未示）并经平面化，以形成一个填充图形 92 的镶嵌间隔（未示）。如前所述，该镶嵌间隔增加了最小特征尺寸 λ 范围内和周期 2λ 范围内的特征密度。

用作镶嵌间隔（39, 69）和亚光刻间隔（33, 53, 83, 93）的材料包括（但不限于）金属，导电材料，半导体材料，硅（Si），介电材料，和光学材料。硅可以是多晶硅（ α -Si）。金属可以是（但不限于）铝（Al），钨（W），钽（Ta），和铜（Cu）等材料。

用作衬底（11, 71）和特征层（80）的材料可以是（但不限于）金属，导电材料，半导体材料，硅（Si），介电材料，玻璃，和光学材料。硅可以是单晶硅（Si）或多晶硅（ α -Si）。金属可以是（但不限于）铝（Al），钨（W），钽（Ta），铜（Cu）等材料。

本发明的高密度亚光刻图形的一种用途是纳米压印模，其中将一个或几个特征（包括亚光刻间隔）经过有选择地刻蚀而除去沿其水平面的材料，以使特征和亚光刻间隔之中的高度产生变化。这些高度变化可以传给承载印刷层的衬底，该衬底通过将纳米印刷标记压入印刷层来承载。

本发明的高密度亚光刻图形的另一个用途包括一种光学元件。举例来说，光学元件可以是光栅，极化过滤器，或中性密度过滤器。衬底（11, 71）、间隔、镶嵌间隔，和特征层 80 可以是具有足够大的带宽而成为光学透明的光学材料。

例如，衬底可用（但不限于）光学透明玻璃制成，间隔和镶嵌间

隔可用（但不限于）下列材料来做：氧化镁（ MgO ），氧化硅（ SiO_2 ），氧化钽（ Ta_2O_5 ），氟化钙（ CaF_2 ），和氟化镁（ MgF_2 ）。

间隔和镶嵌间隔材料的淀积可采用以下（但不限于）工艺完成：化学汽相淀积（CVD），等离子体增强化学汽相淀积（PECVD），溅射，
5 镀覆，和原子层淀积（ALD）。

各向异性刻蚀步骤可通过下列（但不限于）技术完成：反应离子刻蚀，离子蚀刻，化学刻蚀，和等离子体刻蚀。

虽然上面对本发明的几种实施装置进行了说明和示例，但本发明
10 不只限于这些具体的形式或装置。只有下面的权利要求书对本发明的范围作了限制。

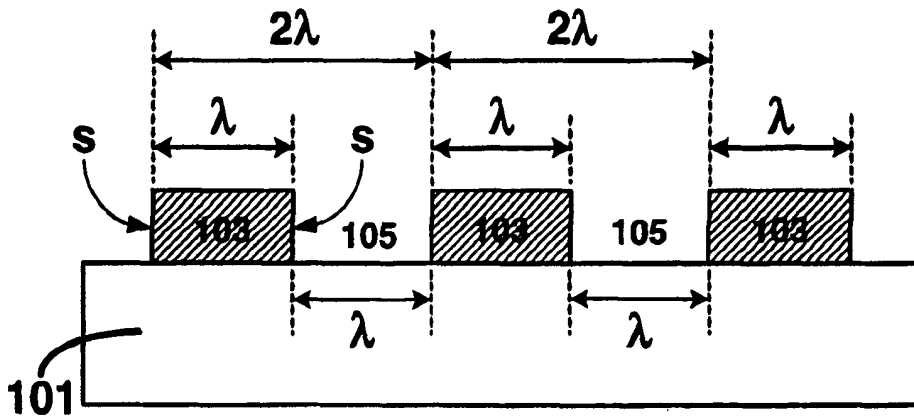


图 1a(现有技术)

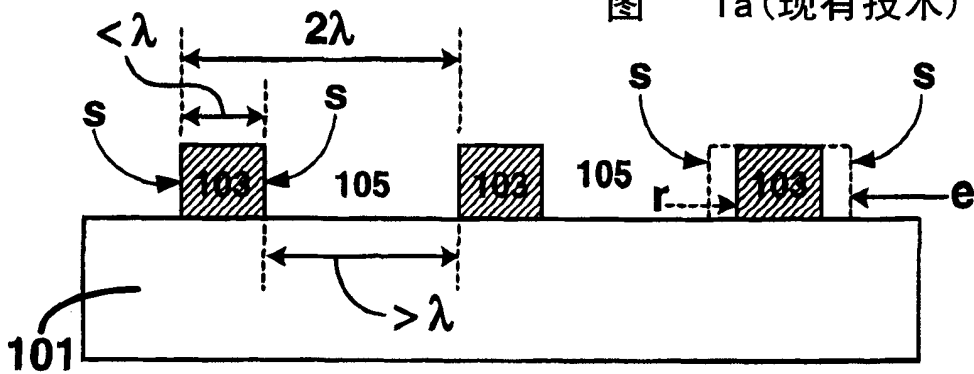


图 1b(现有技术)

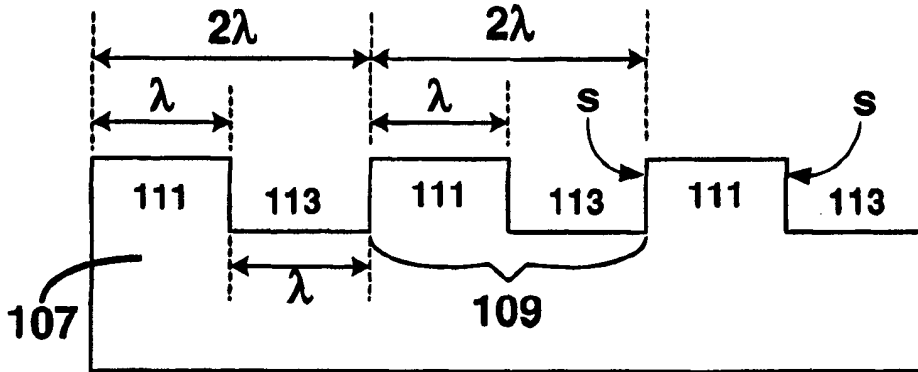


图 2a(现有技术)

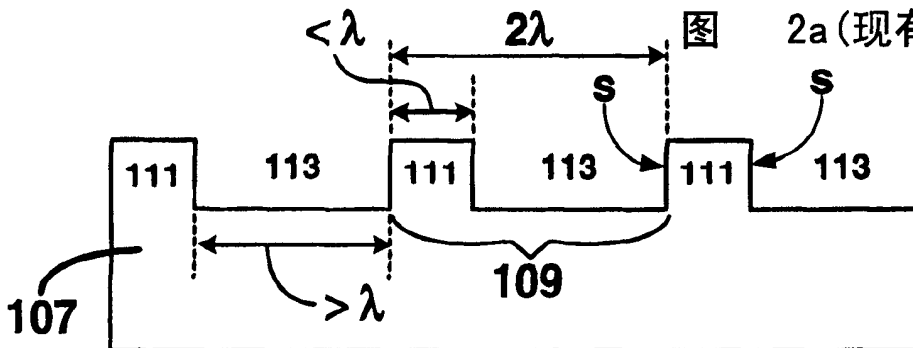


图 2b(现有技术)

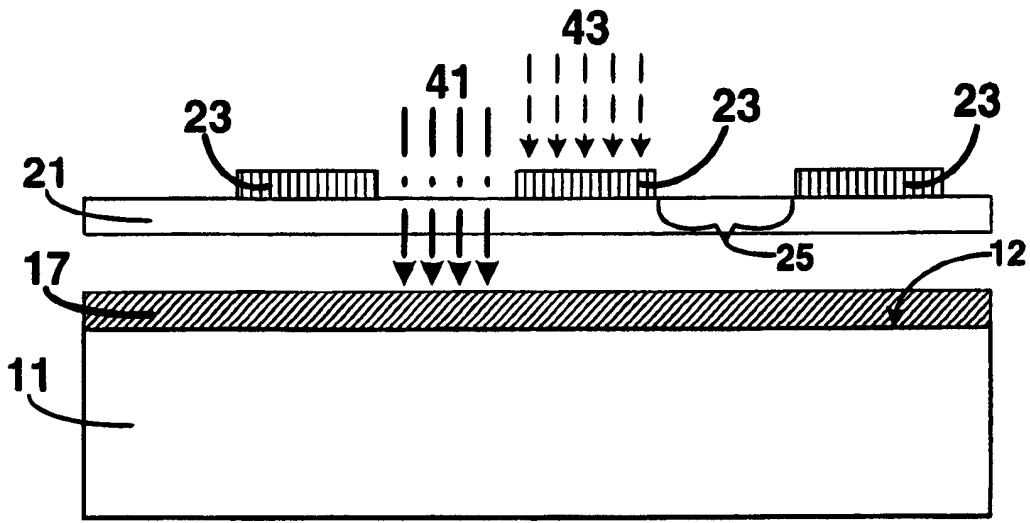


图 3a

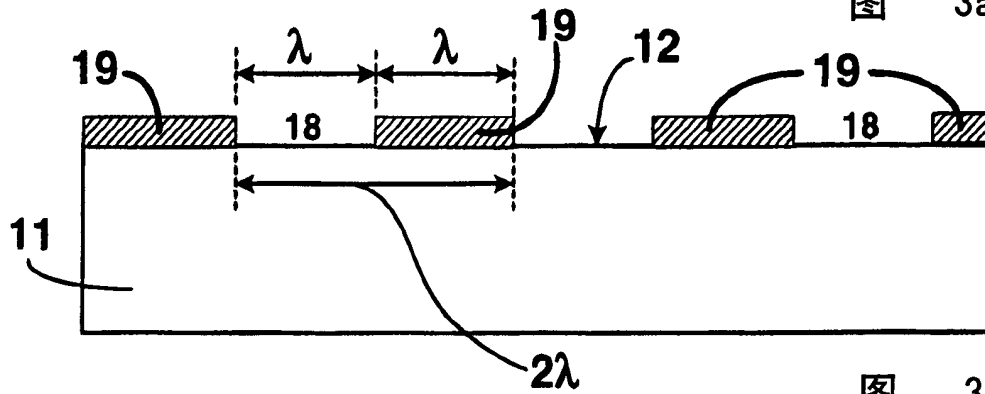


图 3b

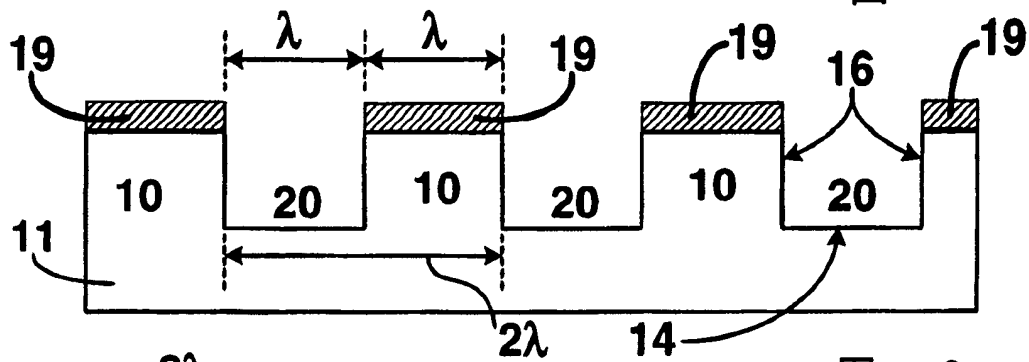


图 3c

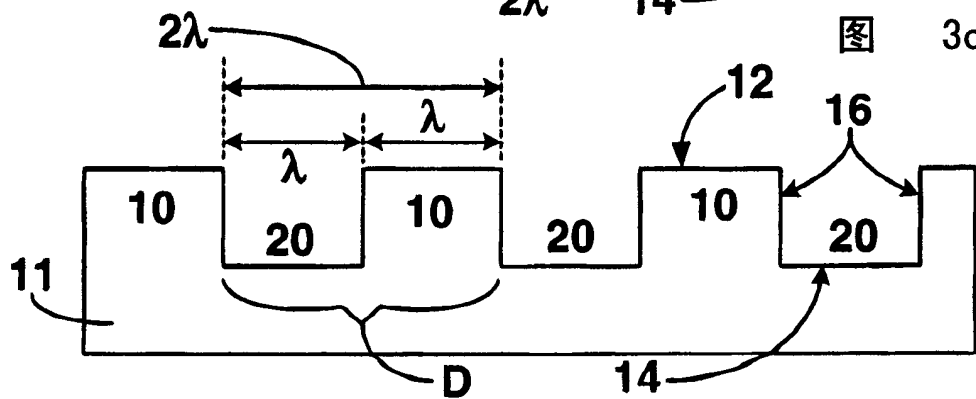


图 3d

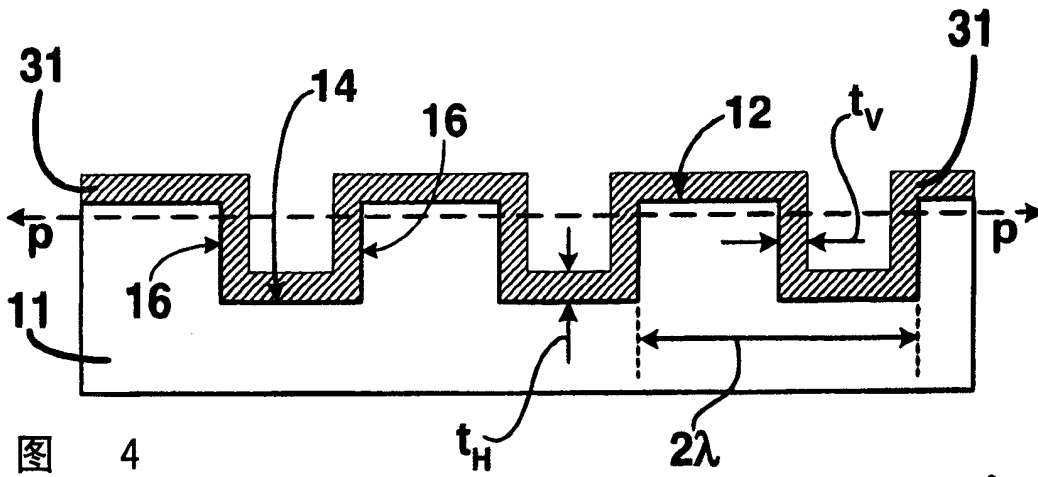


图 4

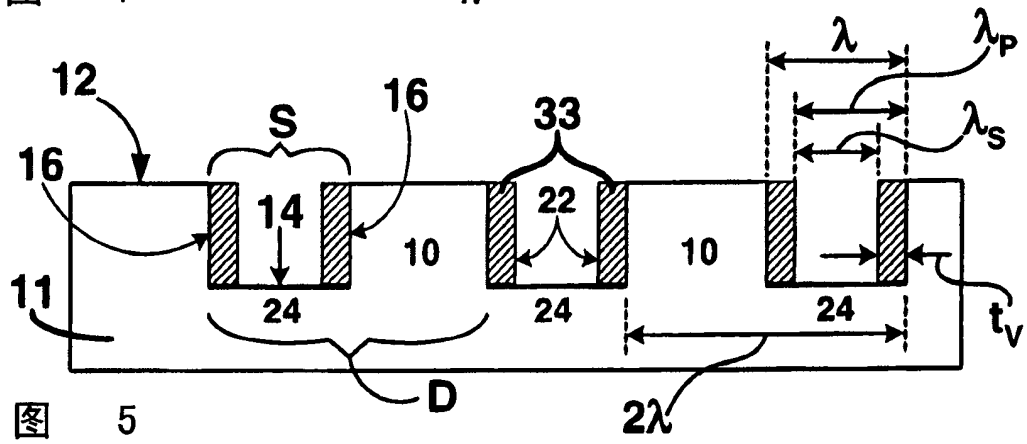


图 5

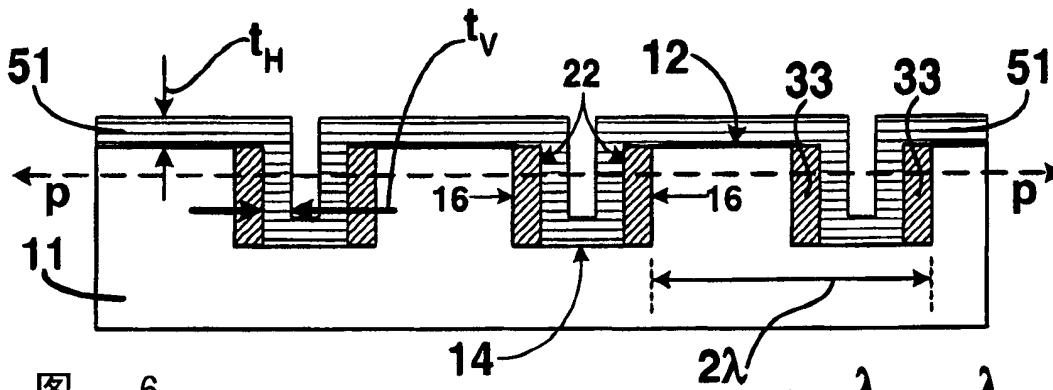


图 6

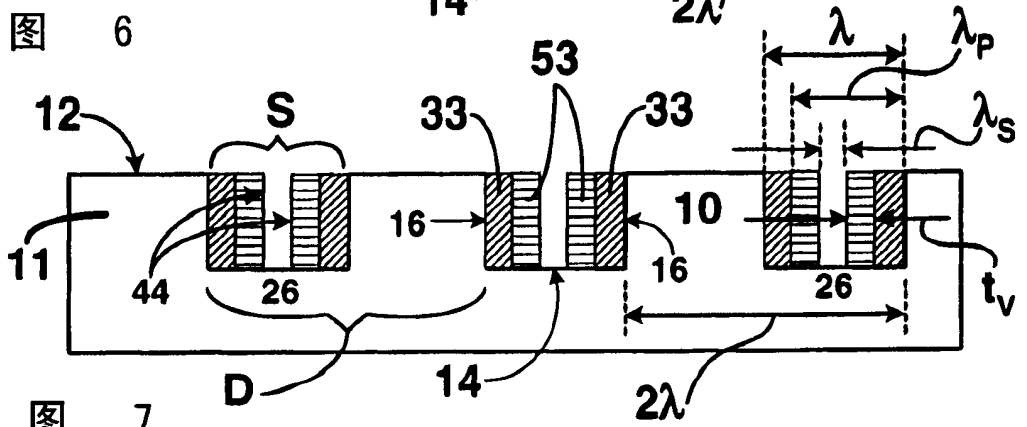
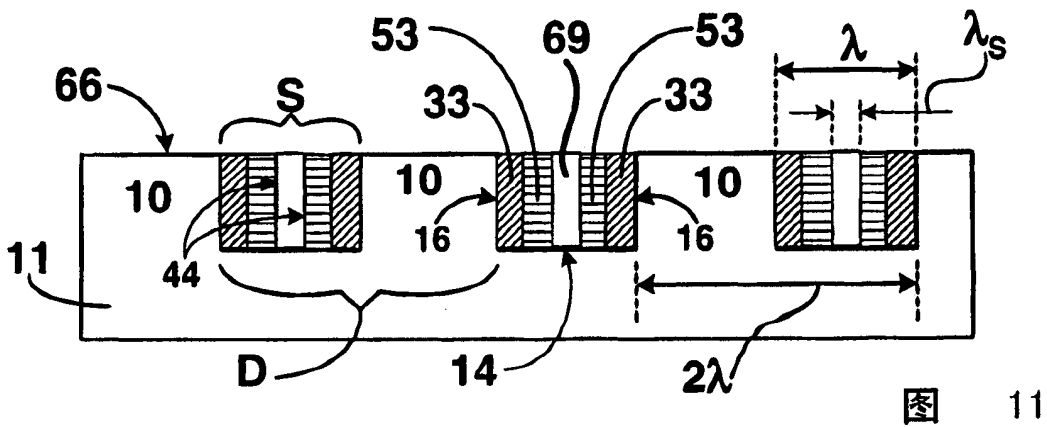
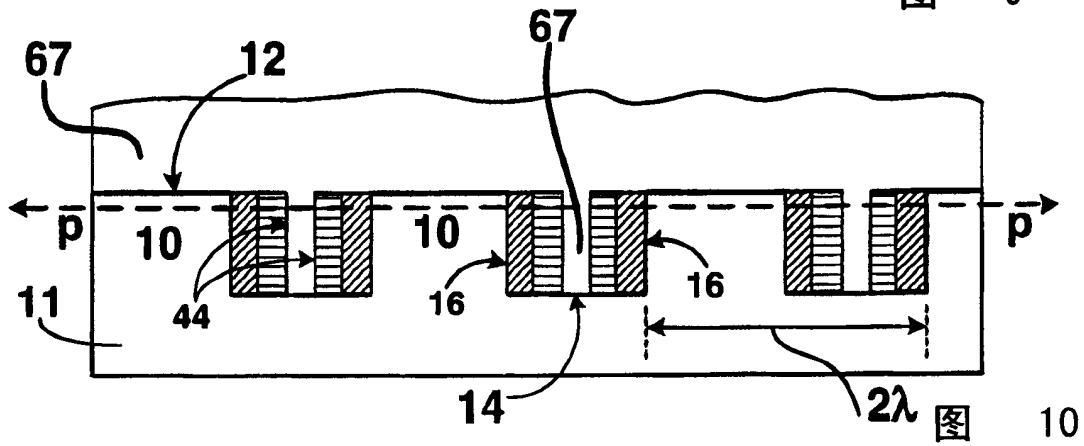
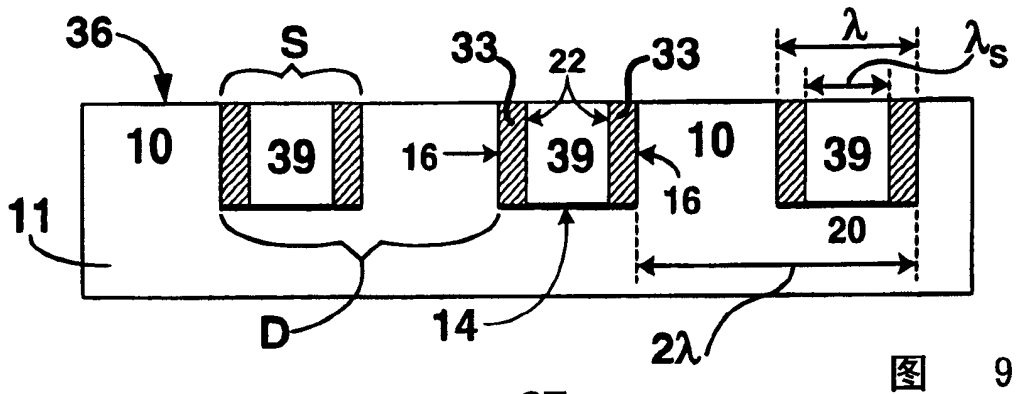
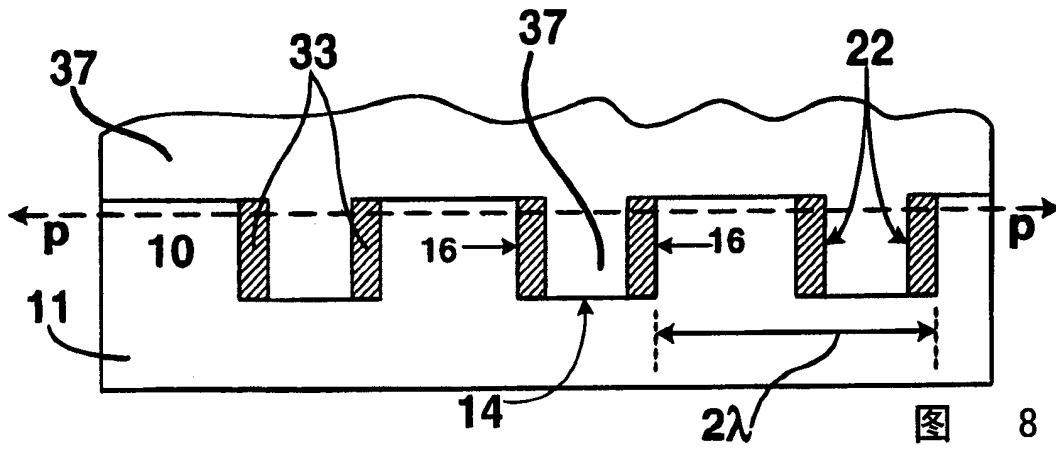


图 7



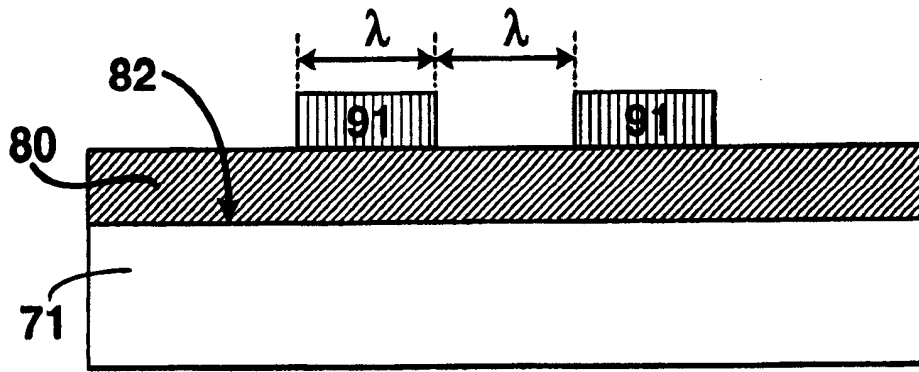


图 12a

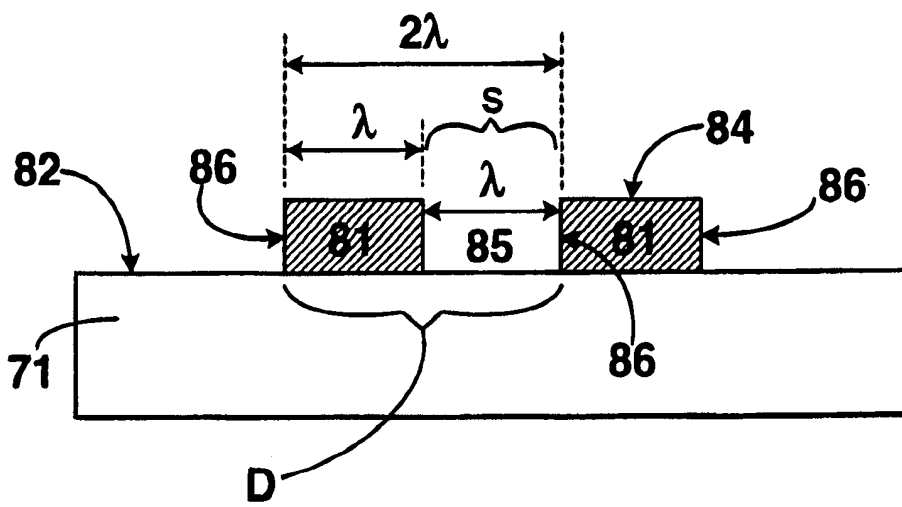


图 12b

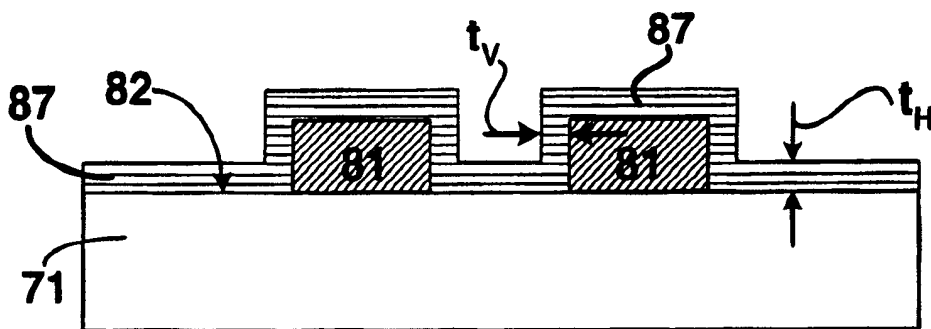


图 13

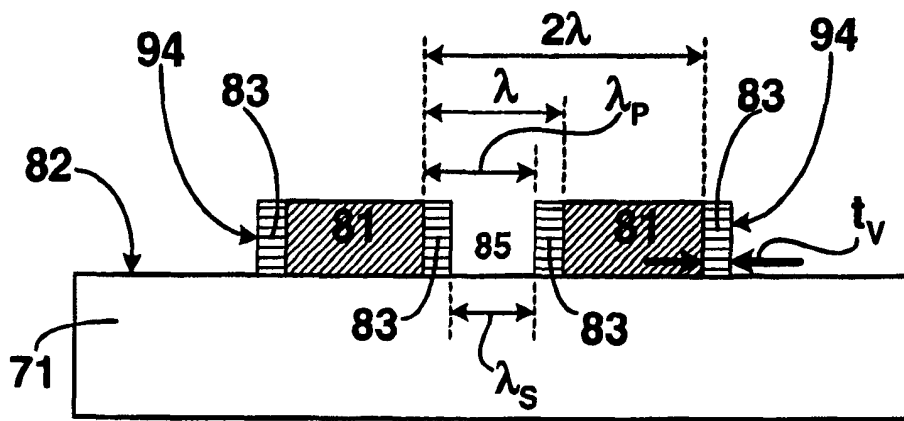


图 14

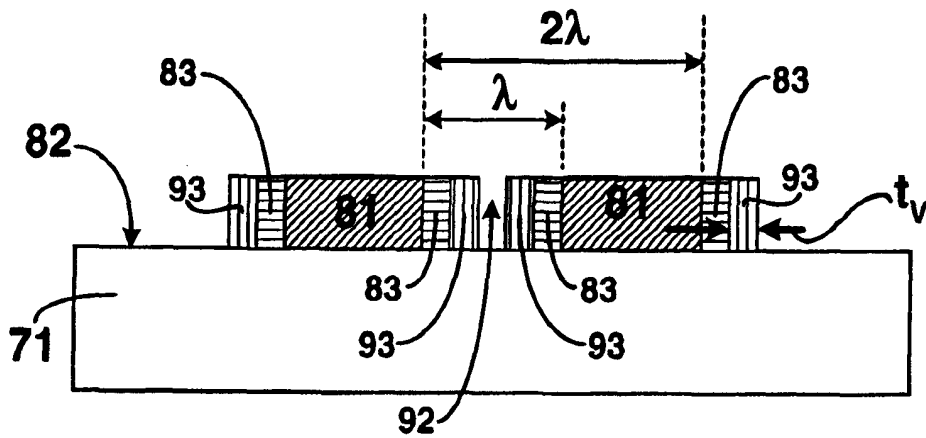


图 15