

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 5/18 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02108702.4

[45] 授权公告日 2006 年 2 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 1239939C

[22] 申请日 2002.3.29 [21] 申请号 02108702.4

[30] 优先权

[32] 2001.3.29 [33] US [31] 09/821529

[71] 专利权人 伊斯曼柯达公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 M·W·科瓦茨

审查员 商爱学

[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 林长安

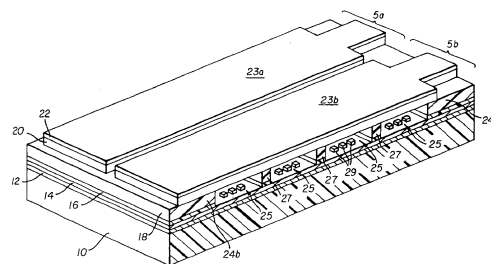
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 9 页

[54] 发明名称

具有改善的光学效率和衬度的机电适形光栅器件

[57] 摘要

一种周期为 Λ 的机电适形光栅器件，包括：一个细长带状元件，它包括一个光反射表面；一对端支座，它们用来将长形带状元件的两端支承在衬底的上方；一个中间支座；以及用来将一个力施于细长带状元件上以使它在第一和第二工作状态之间变形的装置，其中在第二工作状态下，细长带状元件机械上与中间支座相适应，形成一个具有交替的凸出和下陷的部分的适形光栅，同时凸出部分和下陷部分的长度大致相等。



1. 一种周期为 Λ 的机电适形光栅器件, 包括:

(a) 一细长带状元件, 它的位置是施加的电压的函数, 并且该细长带状元件包括一光反射表面和一导电层;

5 (b) 一对端支座, 用来将细长带状元件在两端支承在带有底部导电层的衬底上方;

(c) 一中间支座, 其中在所述细长带状元件的导电层和衬底的底部导电层之间施加的电压在细长带状元件上引起静电力, 使细长带状元件在非激励状态和激励状态之间变形, 使得在激励状态下, 细长带状元件机械上与中间支座的形状相适应, 形成一光栅, 该光栅的衍射光栅周期为 Λ 并具有交替凸起和下陷的部分;

(d) 衍射光栅周期 Λ 由中间支座的布置确定;

(e) 凸起部分和下陷部分的长度大致相等。

2. 如权利要求 1 所述的机电适形光栅器件, 其中中间支座具有宽度 b , b 被选为使得 $\Lambda/4 < b < \Lambda/2$ 。

3. 一种具有改善的光学效率和衬度的机电适形光栅器件, 包括:

(a) 一细长带状元件, 它的位置是施加的电压的函数, 并且该细长带状元件包括一个光反射表面和一导电层;

20 (b) 一对端支座, 用来将细长带状元件在两端支承在带有底部导电层的衬底上方;

(c) 至少一个具有宽度 b 的中间支座, 其中在宽度 b 内存在至少一个中间支座的多个分支座, 其中在细长带状元件的导电层和衬底的底部导电层之间施加的电压在细长带状元件上引起静电力, 使细长带状元件在非激励状态和激励状态之间变形, 使得在激励状态下细长带状元件机械上与中间支座形状相适应, 且保持悬在分支座之间, 以形成一光栅。

4. 如权利要求 3 所述的机电适形光栅器件, 其中在宽度 b 内至少有两个相隔开的分支座。

5. 如权利要求 3 所述的机电适形光栅器件, 其中宽度 b 应选为使 $\Lambda/4 < b < \Lambda/2$, 其中 Λ 是衍射光栅的周期。

6. 如权利要求 3 所述的机电适形光栅器件, 其中宽度 b 应选为使 $b \approx \Lambda/3$, 其中 Λ 是衍射光栅的周期。

7. 如权利要求 3 所述的机电适形光栅器件, 其中在非激励状态, 细长带状元件起平面反射器的作用, 而在激励状态下, 细长带状元件起衍射光栅的作用, 此光栅的周期平行于细长带状元件的长度。

8. 如权利要求 3 所述的机电适形光栅器件, 其中细长带状元件被固定在分支座和端支座上。

9. 如权利要求 3 所述的机电适形光栅器件, 其中在非激励状态下细长带状元件平坦地悬着, 在激励状态下该机电适形光栅器件具有平滑变化的轮廓并至少有两个周期。

10. 一种具有改进的光学效率的机电适形光栅器件, 包括:

(a) 一细长带状元件, 它的位置是施加的电压的函数, 并且该细长带状元件包括一个光反射表面和一导电层;

(b) 一对端支座, 用来将细长带状元件在两端支承在带有底部导电层的衬底上方;

(c) 至少一个宽度为 b 的中间支座, 其中 b 被选为使得 $\Lambda/4 < b < \Lambda/2$, 其中 Λ 是衍射光栅的周期; 以及在细长带状元件的导电层和衬底的底部导电层之间施加的电压在细长带状元件上引起静电力, 使细长带状元件在非激励状态和激励状态之间变形, 使得在激励状态细长带状元件在机械上与中间支座形状相适应。

11. 如权利要求 10 所述的机电适形光栅器件, 其中宽度 b 被选为使得 $b \approx \Lambda/3$ 。

12. 如权利要求 10 所述的机电适形光栅器件, 其中在非激励状态下, 细长带状元件起平面反射器作用; 在激励状态下, 细长带状元件起衍射光栅的作用, 其周期平行于细长带状元件长度。

13. 如权利要求 10 所述的机电适形光栅器件, 其中中间支座仅在激励状态下与细长带状元件相接触。

14. 如权利要求 10 所述的机电适形光栅器件, 其中细长带状元件包含多个平行的隔开的部分。

15. 如权利要求 10 所述的机电适形光栅器件, 其中在非激励状态下细长带状元件是平坦地悬着; 在激励状态下, 该机电适形光栅器件具有平滑变化的轮廓并至少有两个周期。

具有改善的光学效率和衬度 的机电适形光栅器件

5 技术领域:

本发明涉及通过衍射对入射光束进行空间和时间调制的机电器件的设计。更具体地说,本发明描述一种机电适形光栅器件,它具有改善的光学效率和衬度的支承结构。

背景技术:

10 设计各异的机电空间光调制器已用于显示、光学处理、印刷、光学数据存储和光谱学等诸多领域。这些调制器利用系列可单独寻址的器件使入射光束的相位和/或幅度产生空间变化。

一类机电空间光调制器具有带有周期序列的反射元件的器件,它们形成机电相位光栅。在这些器件中,入射光束被有选择性地反射或衍射
15 成一些离散的序列。光学系统可以根据不同的用途收集和使用一种或几种这类衍射序列。机电相位光栅可以在金属化弹性体凝胶中形成,这可参见1986年12月2日颁发给Glenn的美国专利4,626,920和1989年8月15日颁发给Goldburt等人的美国专利4,857,978。位于弹性体下面的电极被做成一定图形,这样施加电压后会使弹性体变形,形成一个近
20 似正弦形的相位光栅。这类器件已被成功地用于彩色投影显示装置中。

在1994年5月10日颁发给Bloom等人的美国专利5,311,360中,描述了一种用悬挂式微机械带状元件制成的机电相位光栅,它的响应时间要快得多。这种器件也称为栅形光阀(GLV),它可以利用类似CMOS工艺在硅上制造。Bloom等人后来提出了对这种器件的一些改进措施,包
25 括:(1)将带状元件下面的凸起区域制成一定图形,以减小接触面积,使带条与衬底之间的静摩擦降低。2)采用替换的器件设计,在该设计中带条之间的距离减小了,且交替的带条能产生较好的衬度;有关情形可参见1995年10月17日发布的美国专利5,459,610。Bloom等人还提出了一种用于制造这种器件的方法;请参看1997年10月14日发布的美国专
30 利5,677,783。对于线性的这类GLV阵列,衍射方向与阵列方向不垂直,这增加了分离衍射序列所需光学系统的复杂性。另外,由于阵列的有效区域较窄,因而要求在整个阵列长度上的线性照明对准良好,一般在几

厘米的长度上应在 $10\text{--}30\ \mu\text{m}$ 以内。同时还要求在整个线性阵列上线性照明的直线性很好。

发明内容:

因此,要求光栅器件线性阵列具有较大的有效区域,其中衍射方向垂直于阵列的方向。另外,器件还能在具有高衬度和高速度的同时将光线有效地衍射成离散序列。除此而外,器件的制造还要与 CMOS 型工艺兼容。

上述要求在本发明中是通过采用一种周期为 Λ 的机电适形光栅器件来实现的,此器件包括:一个细长带状元件,它的位置是施加的电压的函数,并且该细长带状元件包括一个光反射面和一导电层;一对端支座,其用来将细长带状元件的两端支承在带有底部导电层的衬底上方;一个中间支座,其中在所述细长带状元件的导电层和衬底的底部导电层之间施加的电压在细长带状元件上引起静电力,使细长带状元件在非激励状态和激励状态之间变形,使得在激励状态下细长带状元件机械上与中间支座的形状相符合,形成一光栅,该光栅的衍射光栅周期为 Λ 且具有交替凸起和下陷的部分;衍射光栅周期 Λ 由中间支座的布置确定;其中升高和降低的部分的长度基本上相同。

本发明的另一方面涉及一种具有改善的光学效率和衬度的机电适形光栅器件,包括:一细长带状元件,它的位置是施加的电压的函数,并且该细长带状元件包括一个光反射表面和一导电层;一对端支座,用来将细长带状元件在两端支承在带有底部导电层的衬底上方;至少一个具有宽度 b 的中间支座,其中在宽度 b 内存在至少一个中间支座的多个分支座,其中在细长带状元件的导电层和衬底的底部导电层之间施加的电压在细长带状元件上引起静电力,使细长带状元件在非激励状态和激励状态之间变形,其中在激励状态下,细长带状元件机械上与中间支座形状相适应,且保持悬在分支座之间,以形成一光栅。

本发明的第三方面涉及一种具有改进的光学效率的机电适形光栅器件,包括:一细长带状元件,它的位置是施加的电压的函数,并且该细长带状元件包括一个光反射表面和一导电层;一对端支座,用来将细长带状元件在两端支承在带有底部导电层的衬底上方;至少一个宽度为 b 的中间支座,其中 b 被选为使得 $\Lambda/4 < b < \Lambda/2$, 其中 Λ 是衍射光栅的周期;以及在细长带状元件的导电层和衬底的底部导电层

之间施加的电压在细长带状元件上引起静电力，使细长带状元件在非激励状态和激励状态之间变形，使得在激励状态此细长带状元件在机械上与中间支座形状相适应。

5 根据本发明的另一方面，机电适形光栅器件中的细长带状元件在非激励状态起平面反射器的作用，而在激励状态下起衍射光栅的作用，此光栅的周期平行于细长带状元件的长度。

根据本发明的再一方面，在非激励状态下，机电适形光栅器件的细长带状元件是平坦地悬着；在激励状态下，该机电适形光栅器件具有平滑变化的轮廓并至少有两个周期。

10 附图说明：

图 1 是一个局部剖开的带有机电适形光栅器件的空间光调制器的透视图，图中示出两个以线性阵列的器件；

图 2 是带有机电适形光栅器件的空间光调制器的俯视图，图中示出排列成一个线性阵列的四个可独立工作的器件；

15 图 3a 和 3b 是沿图 2 和 3-3 线所取的横剖面视图，分别表示机电适形光栅器件在非激励状态和激励状态下的工作状况；

图 4a 和 4b 为沿图 2 的 4-4 线所取的横剖面视图，分别表示器件处在非激励状态和激励状态的状况；

图 5 是作为所加电压函数的带状元件位置的曲线；

20 图 6 为带状元件在激励状态下的轮廓图；

图 7 为不同衍射序列组合下作为支座宽度的函数的适形光栅器件的衍射效率的曲线；

图 8 为衍射效率增加的器件在激励状态下时带状元件的轮廓图；

图 9 是空间光调制器的另一种实施方案的俯视图；

25 图 10 是沿图 9 的 10-10 线所取的适形光栅器件的横剖面视图，此器件制成中间支座是凸出的，因而衬度较低；

图 11a 至 11c 是几种不同形状的中间支座的俯视图；

图 12 是带有被分成两个分支座的中间支座的适形光栅器件的侧视图。

30 具体实施方式：

在 GLV 中光栅结构是由对带状元件所制出的图形确定的。通过确定处于细长带状元件下面的支座中的光栅结构，可以得到类型完全不同的

机电光栅器件。这些适形光栅器件是按隐式光栅 (hidden grating) 的原理工作的。在非激励状态下, 光栅结构完全隐藏从而不可见, 这时器件就象一面镜子。在激励状态下, 细长带状元件发生变形从而显露出支座的

5 光栅结构, 这样产生一个局部适形衍射光栅。因此, 适形光栅器件在功能上与金属化弹性体凝胶光栅相似, 但具有较高速度的 GLV 能力。另外, 它在制造上与 CMOS 型工艺兼容。某些适形光栅器件不具有最大可能的光学效率和衬度, 因为细长带状元件下面的支座结构可能不是最理想的。所以需要有一种更好的支座结构。

图 1 示出处于非激励状态的两个并排放置的适形光栅器件 5a 和 5b

10 的结构。在此实施装置中, 施加一个静电力就可让器件工作。光栅器件 5a 和 5b 处于由玻璃、金属、塑料或半导体材料做的衬底 10 的顶上, 衬底由一个底部导电层 12 所覆盖, 导电层则当作一个激励器件的电极。底部导电层 12 可用铝、钛、金、银、钨、掺杂硅或铟锡氧化物等材料制造。底部导电层 12 用一层介质防护层 14 覆盖, 上面是一层隔离层 18。隔离层 18 的顶上是一层带状层 20, 带状层由一层反射层 22 所覆盖。在本实

15 施装置中, 反射层 22 也是一个导电体, 用作激励适形光栅器件 5a 和 5b 的电极。在反射和导电层 22 上制出图形, 以给两个适形光栅器件 5a 和 5b 提供电极。带状层 20 最好包括张力较大的材料, 以提供较大的恢复力。带状材料例如可以是氮化硅、钛的铝化物、氧化钛等。带状层 20 的厚度和张力应这样选择, 即可以通过影响静电激励力和恢复力获得最佳性能。这些力将影响适形光栅器件 5a 和 5b 的电压需求、速度和谐振频率。

20

每个器件 5a 和 5b 各有一个相应的细长带状元件 23a 和 23b, 其图形由反射和导电层 22 以及带状层 20 形成。细长带状元件 23a 和 23b 被

25 隔离层 18 上形成的端支座 24a 和 24b 以及一个或数个中间支座 27 支承着。图 1 中有三个在隔离层 18 上形成的中间支座 27。这些中间支座 27 的间隔是相同的, 以形成四个等宽度的槽 25。细长带状元件 23a 和 23b 被固定在端支座和中间支座 27 上。端支座 24a 和 24b 只在面对槽 25 的边缘处经过限定。在槽 25 的底部由托脚层 16 制出一些方形托脚 29。这些托脚 29 降低了带状元件在被激励时粘在一起的可能性。托脚的形状也可以不是方形, 而做成矩形或圆形等。

30

图 2 是适形光栅器件 5a、5b、5c 和 5d 的四器件线性阵列的俯视图。

为显示下层结构，我们把线 2-2 以下图形部分的上层局部地除去来表示细长带状元件。为获得最佳的光学性能和最大衬度，中间支座 27 完全隐藏在细长带状元件 23a、23b、23c、23d 的下面。因此，从顶上看下去，在适形光栅器件 5a-5d 之间的隙缝 28 中看不见中间支座。此处每个适形光栅器件有三个中间支座 27 和四个等宽度的槽 25。有些适形光栅器件可能仅有一个中间支座 27。适形光栅器件中间支座 27 的中心至中心距离 Λ ，或等效的槽 25 的中心至中心距离，决定了器件在激励状态下的周期 Λ 。后面将会详细解析为什么中间支座 27 的宽度 b 对衍射效率有重要的影响。细长带状元件 23a-23d 在机械上和电气上是彼此孤立的，使得四个适形光栅器件 5a-5d 能独立工作。图 1 中底部的导电层 12 可为所有器件共用。

图 3a 是在非激励状态下，沿图 2 的 3-3 线所取的适形光栅器件 5a 的两个槽 25 的侧视图。图 3b 是在激励状态下的同样的视图。为使器件运行，要在细长带状元件 23a 的底部导电层 12 和导电层 22 之间加上一个电压差以产生一个静电吸引力。在非激励状态下（见图 3a）没有电压差，带状元件 23a 平坦地悬在支座之间。在此状态下，入射光束 30 大部分被沿着垂直镜面的方向 32 反射。为得到激励状态，将一个电压加到适形光栅器件 5b 上，该电压使细长带状元件 23b 变形，从而产生一个周期为 Λ 的局部适形光栅。图 3b 表示器件处在完全激励的状态，此时细长带状元件 23a 与托脚 29 相接触。将元件 23a 底部和托脚 29 顶部的高度差选为入射光的波长 λ 的 $1/4$ 左右。最佳的高度取决于激励器件的具体形状。在激励状态下入射光束 30 大部分衍射成第+1 序列 35a 和第-1 序列 35b，其余的光衍射成第+2 序列 36a 和第-2 序列 36b。很少量的光被衍射成更高的序列，同时有一些光被反射。对于垂直于器件表面的入射光，入射光束和第 m 序列衍射光束间的夹角 θ_m 由下式给出：

$$\sin\theta_m = m\lambda / \Lambda$$

式中 m 为整数。根据不同的应用，有一个或数个衍射序列被光学系统所收集并加以利用。当外加电压去掉后，由张力和弯曲引起的力使带状元件 23a 恢复到它初始的非激励状态。

图 4a 和 4b 分别表示适形光栅器件 5b 在非激励和激励状态下，沿图 2 的 4-4 线旋转后的侧视图。细长带状元件 23a 是由端支座 24b 和相邻的中间支座 27（图中未示出）悬撑着。加上电压就使器件激励，如图 4b

所示。

在这个优选实施装置中, 通过将器件安排成如图 1-3 所示而形成了一个线性适形光栅器件阵列, 其中光栅周期 Λ 的方向(Y 方向)垂直于阵列的方向(X 方向)。于是在 Y-Z 平面中衍射序列处于不同角度并垂直于阵列方向。即使对由狭窄光成照射的可能由几千个器件构成的大线性阵列, 各衍射序列也将在比较短的距离内从空间上分开。这个特征简化了光学系统的设计, 并使各序列从空间上分离不需要采用纹影光学系统就可以做到。

在由传统的 GLV 器件构成的线性阵列中, 光栅周期与阵列的方向平行, 这就使得将衍射序列从空间上分离所需的距离要大得多。作为一个比较的例子, 让我们考虑一个适形光栅器件阵列, 它的长度为 4 厘米(2000 个 20 微米宽的器件), 被一个 100 微米的光线照射。对于器件周期选得使各衍射序列角向分开 1 度时, 这些序列将在空间上分开约 6 厘米内。而对于一个类似的在各衍射序列间角向分开 4 度的已有 GLV 器件的 4 厘米线性阵列, 如不使用纹影光学系统, 则需要至少 60 厘米才能将各序列在空间上分开。

此外, 由于适形光栅阵列的光栅周期 Λ 垂直于阵列方向, 阵列的宽度制成等于很多个周期, 同时不会对可能的周期数提出多大的限制。周期数增加将改善光学对准误差, 而且在局部器件失效的情况下能提供一一些固有的冗余度。如果有一部分适形光栅器件不起作用, 则光束可以重新移到一个有效的部分去。

为了更详细地了解适形光栅器件的机电和光学工作原理, 考查一个真实结构可达到的性能指标将是有益的, 该结构所用的材料和参数如下:

衬底 10 的材料: 硅

底部导电层 12: 掺杂硅

保护层 14: 氧化硅, 厚度=50 纳米

隔离层 18: 氧化硅, 厚度=150 纳米

带状层 20: 氮化硅, 厚度=100 纳米, 张力=600Mpa

反射和导电层 22: 铝, 厚度=50 纳米

光栅周期 Λ =20 微米

细长带状元件 23a 的悬挂长度=16 微米

细长带状元件 23a 的宽度 W=30 微米

中间支坐 27 的宽度 $b=4$ 微米

这类结构可以用 CMOS 方法制造并与 CMOS 电路集成一体。在这个特定结构中，带状元件的谐振频率约是 11 兆赫。最实用的结构谐振频率在 2 兆赫至 15 兆赫之间。由于谐振频率高，器件的开关时间可以很短。

图 5 和 6 模拟这种特定器件的机电工作原理。图 5 是在槽中心处细长带状元件的位置与外加电压的函数关系曲线，图中示出了相关的迟滞特性。当电压从 0V（处于第一工作状态）开始增加，中心位移近似以二次曲线增大，使细长带状元件变形，直至达到 20.1 V（第二工作状态）的下拉电压。在此电压下，静电力克服恢复张力，使细长带状元件撞到衬底上。继续提高外加电压，能改变已变形带条的形状，但不能改变中心位置。当带条与衬底接触时，电压可降至下拉值以下而仍能保持接触，直至回到 10.8 V 时被松开。这种迟滞特性可用来改善器件的光学性能。在某些应用中也可利用这种特性而用作一个开关。

图 6 表示在第二工作状态，即激励状态（22.1 V）下细长带状元件的轮廓。凸起部分 42 的长度约等于中间支座的宽度 $b=4$ 微米。与衬底相接触的下陷部分 44 的长度约为 8.2 微米。但是，如图 7 所示，为获取最大可能的衍射效率，需要将凸起部分 42 的长度增加，以改善光栅的工作周期。

图 7 是当保持图形 $\Lambda=20$ 微米时，适形光栅器件的衍射效率与改变的中间支座宽度 b 的函数关系曲线。图中假定外加电压是下拉电压的 110%，照射波长是 550 纳米，反射率是 100%，而且各细长带状元件之间的间隙 55 可以忽略不计。图中画出了四种情况下的效率曲线：（1）收集-1 和+1 序列光束的光学系统；（2）收集-2，-1，+1，+2 序列光束的光学系统；（3）收集-3，-2，-1，+1，+2，+3 序列光束的光学系统；（4）收集除 0 序列以外所有序列光束的光学系统。从图 7 可以明显看出，图 6 中的 $b=4$ 微米的例子并不是有最好的衍射效率。一般说来，为获得好的衍射效率，中间支座的宽度应选得使 $\Lambda/4 \leq b \leq \Lambda/2$ 。对于周期 $\Lambda=20$ 微米的细长带状元件，当 $5 \text{ 微米} \leq b \leq 10 \text{ 微米}$ 时可达到好的效率。产生最大衍射效率的具体 b 值取决于具体的带条材料、带条形状和光学系统所收集的是哪些光束。带条的材料之所以起作用，是因为它们影响凸起部分 42 伸出中间支座宽度 b 之外的长度。通常在 $b \approx$

$\Lambda/3$ 时可获得最大衍射效率。

图 8 是一个为获得好的衍射效率的 $\Lambda=20$ 微米和 $b=7$ 微米的适形光栅器件的细长带状元件在激励状态下的轮廓，它分别具有交替凸起的和下陷的部分 42 和 44。下陷部分 44 的长度基本等于凸起部分 42 的长度。

图 9 为另一种实施装置，表示一个类似于图 2 的器件线性陈列的俯视图。这时每个适形光栅器件 5a, 5b, 5c, 5d 分别有一对相应的细长带状元件 (51a, 52a), (51b, 52b), (51c, 52c), (51d, 52d)。象这样把每个器件分开可以把器件做得更宽而不会严重影响光学性能。最好的加工方法是从槽中刻蚀出一个牺牲层，以将带状元件释放。通过各元件间的间隙 55 可使腐蚀液进入牺牲层。因此，增加间隙 55 的数目可以改善刻蚀过程。实际上，可能需要进一步将适形光栅器件再分为两个以上的部分。为了显示下面的结构，图中把线 2-2 以下的图形上面的部分局部地去掉了。为获得最好的光学性能和最大衬度，中间支座 27 完全隐藏在细长带状元件 51a, 52a, 51b, 52b, 51c, 52c, 51d, 52d 之下。因此，当从顶上往下看时，中间支座 27 不会穿进隙缝 55 中。在一个适形光栅器件内的各带状元件机械上是隔离的，而电气上是相互耦合的。所以当施加上电压时，它们都同时动作。

图 10 是处于非激励状态下适形光栅器件 5a 的两个槽 25 沿图 9 的 10-10 线所取的侧视图。在此特例中，器件的制造有些缺陷，故在中间支座 27 附近有一个高度为 ϵ 的小凸起台阶。因此，细长带状元件 52a 在非激励状态下有一个周期为 Λ 的弱光栅，使得入射光束的一小部分被衍射成第 -2, -1, +1 和 +2 序列。结果造成器件衬度下降。在图 1 和 2 的适形光栅器件中也可能存在同样的制造误差。为使这种弱光栅对衬度的影响最小，一种方法是把中间支座的宽度 b 做得尽量小。不过，如前所述，减小 b 将使器件的衍射效率下降。下面将会谈到另一种能维持高衍射效率的解决办法。

图 11a-11c 示出了具有同样 b 值的中间支座 27 (见图 10) 的三种结构。因此每种结构使得在激励状态下都具有同样的衍射效率。图 11a 示出图 10 的中间支座 27。图 11b 示出另一种实施方案，其中把中间支座 27 再分成一对相应的分支座 27a 和 27b。这样分开后，由于降低了在非激励状态下形成的弱光栅的衍射效率，使器件的衬度有所改善。

这些相应的分支座 27a 和 27b 中每一对的宽度可能都小于 1 微米。图 11c 表示另一种实施方案，其中的中间支座 27 也被再分成更多的分支座。也可以把中间支座的外壁做成一些分支座。有了这些型式的分支座，就可以制造同时具有高衬度和高效率的器件。对于图 8 的高效率例子（其中 $\Lambda=20$ 微米， $b=7$ 微米），每个中间支座 27 可以有宽为 1 微米、分隔 5 微米的相应分支座 27a 和 27b。分支座的形状也可以不是方形或矩形。

另外，分支座的结构对于能用来使细长带状元件在激励状态下产生弯曲的电压有一定影响。尤其要使电压足够低，以便保持细长带状元件悬撑在分支座之间。因此，好的分支座结构应使各对分支座之间有小的弯曲，而在中间支座之间完全弯曲。上面讨论过的高效率例子，即 $\Lambda=20$ 微米， $b=7$ 微米，且两个 1 微米宽的分支座相隔 5 微米，能满足在很宽电压范围内在激励状态下分支座间仅有很小弯曲的要求。若要使电压范围更宽，可以采用相隔 2 微米的三个 1 微米宽的分支座。

图 12 示出一个适形光栅器件 5a 在非激励状态下两个槽 25 的侧视图，其中的中间支座 27 如图 11b 那样分为两个分支座 27a 和 27b。这个器件的衬度比图 10 的器件要高，因为细长带状元件 52a 的较多部分处于同样的高度。实际上，相关的改善比图 12 所示的还要大些，这是因为细长带状元件 52a 的张力将引起一定程度的变平，从而降低总高度 ε 。应该指出，在激励状态（图 12 中未表示）下，细长带状元件在与相邻两个中间支座 27 之间的托脚 29 相接触时，在一个相应的中间支座 27 的两个分支座 27a 和 27b 之间仍近似保持平的状态。

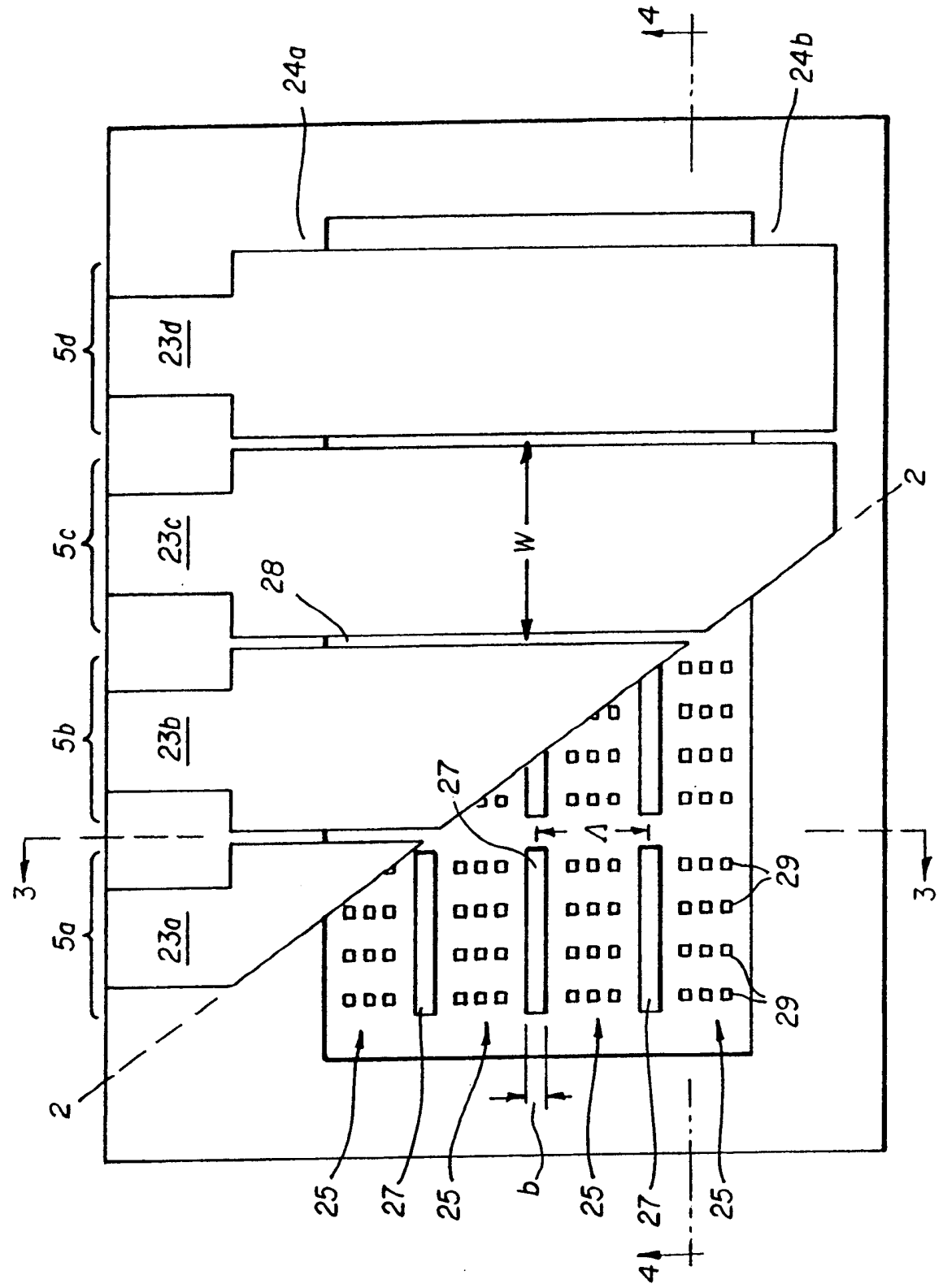


图 2

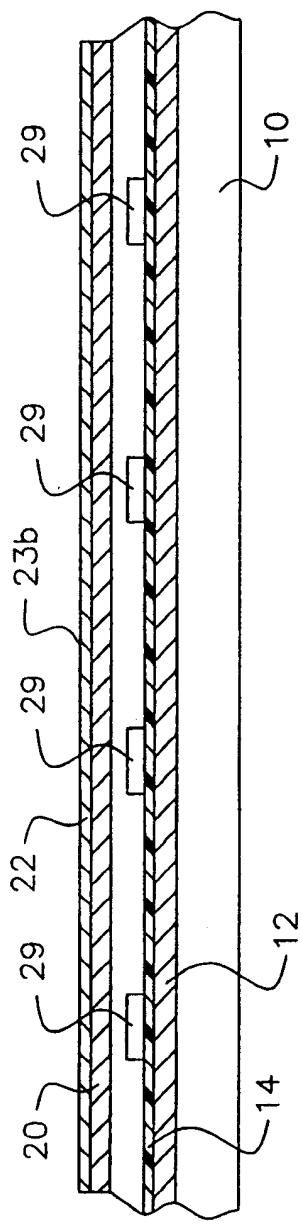


图 4a

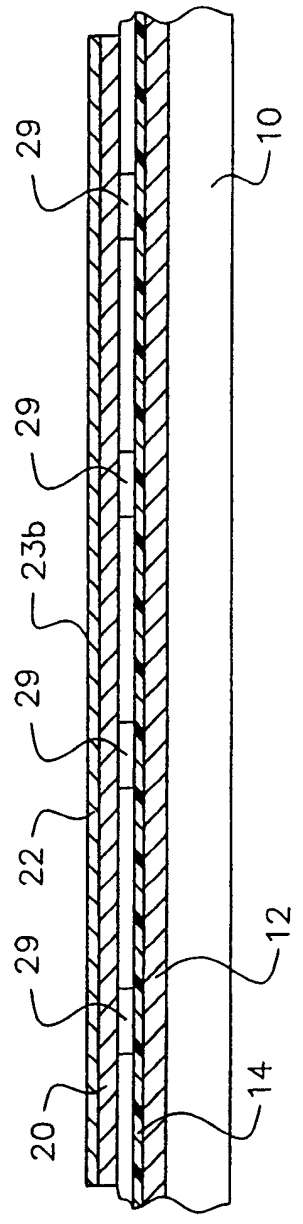


图 4b

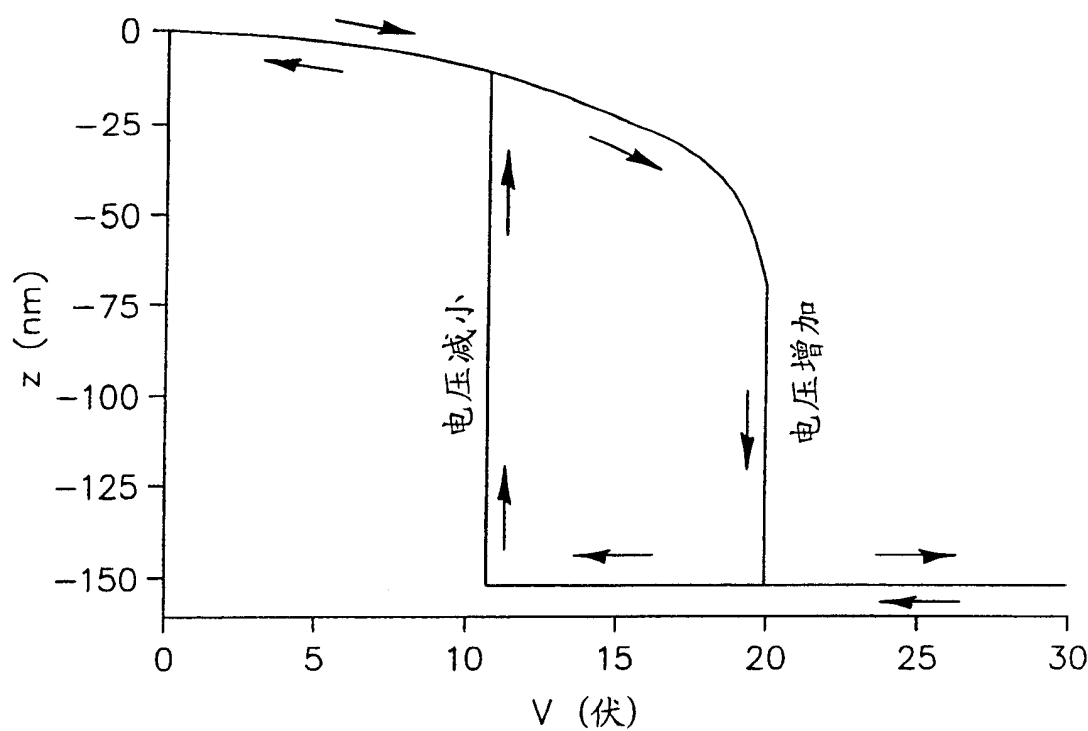


图 5

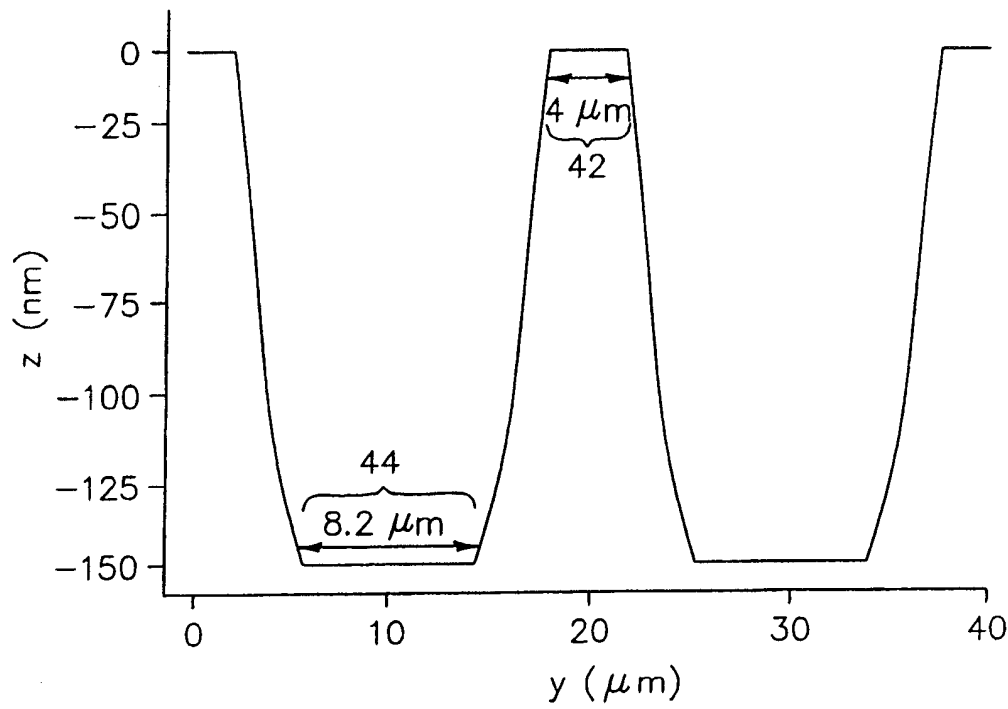


图 6

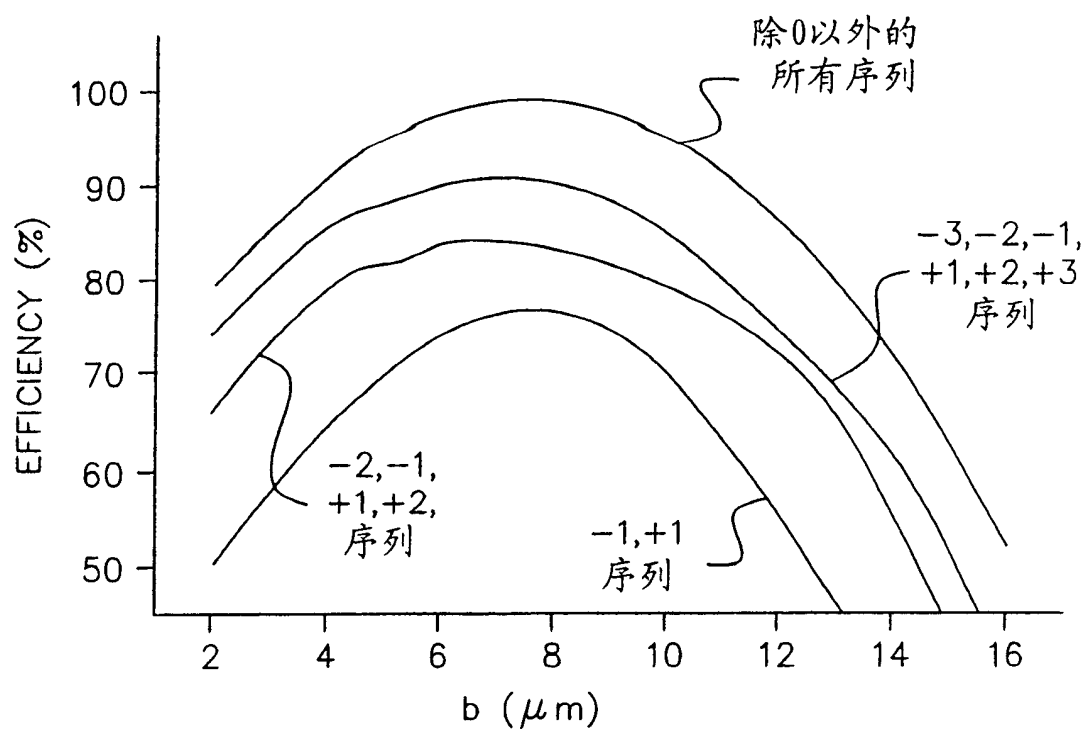


图 7

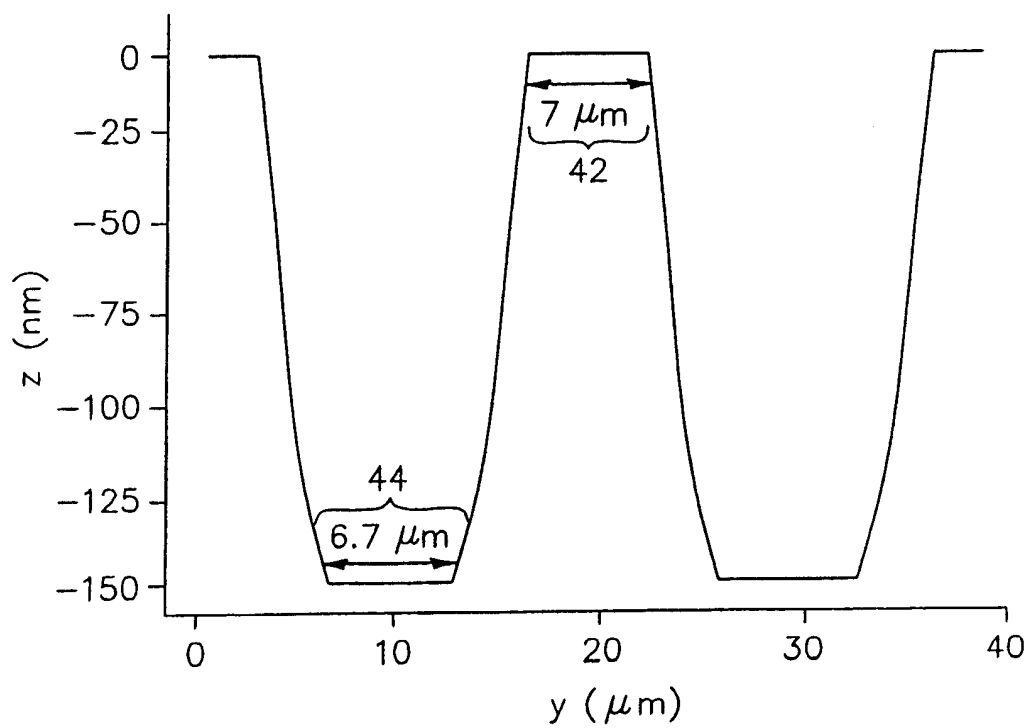
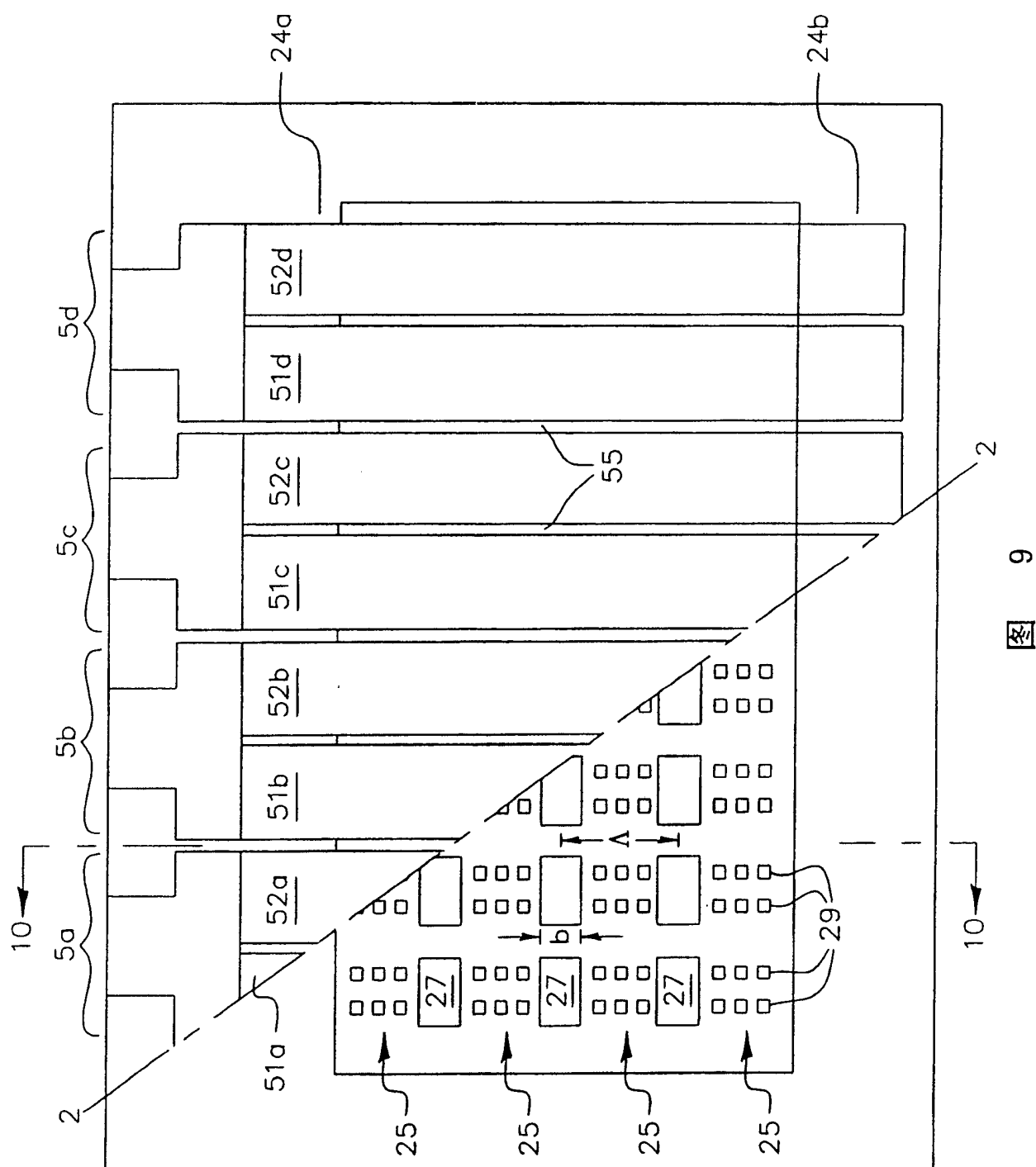


图 8



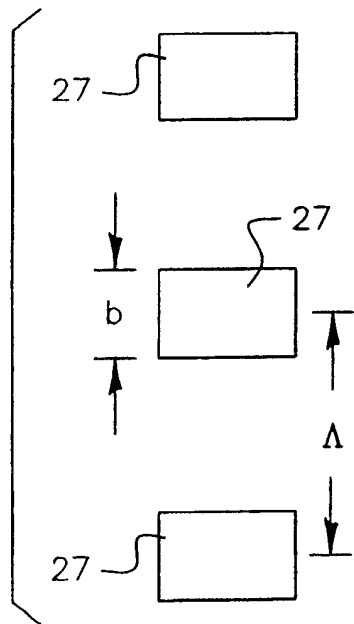


图 11a

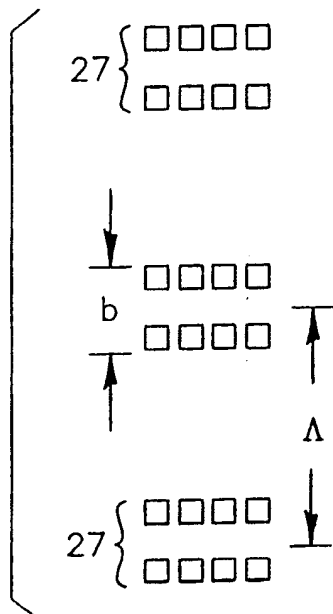


图 11c

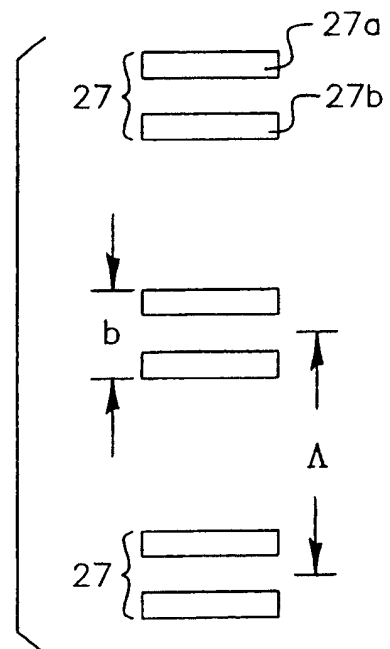


图 11b

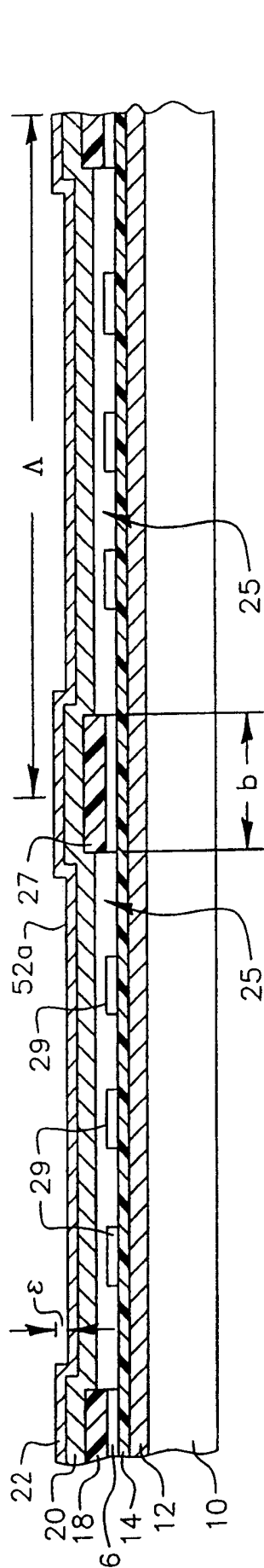


图 10

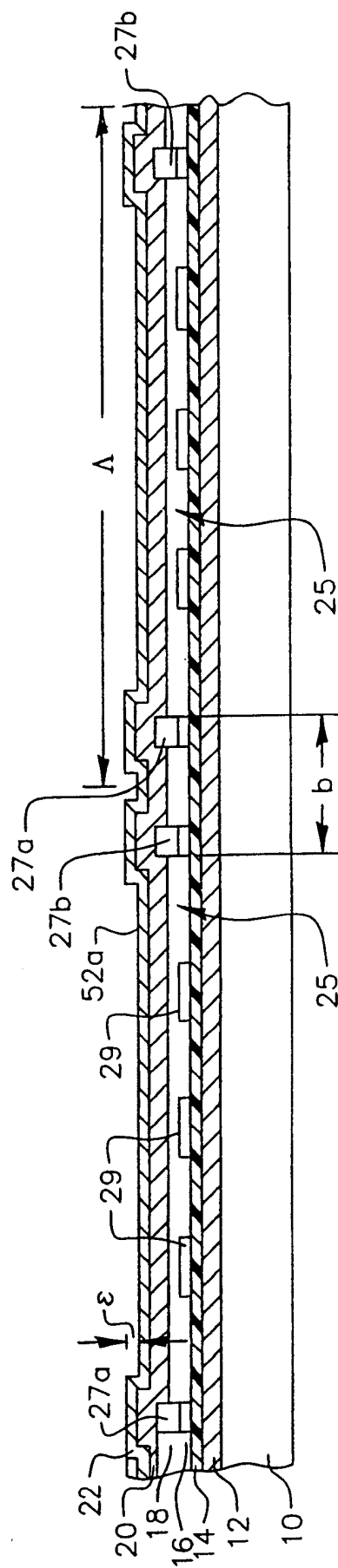


图 12