



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104641273 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201280074278. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 07. 26

G02B 6/42(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 12. 25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/048356 2012. 07. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/018043 EN 2014. 01. 30

(71) 申请人 惠普发展公司, 有限合伙企业

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 彭真 大卫·W·法塔勒

马科斯·菲奥伦蒂诺

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司

公司 11018

代理人 郭艳芳 康泉

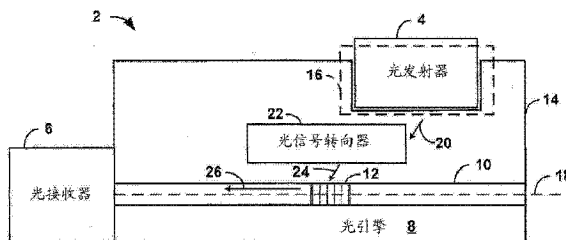
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

光引擎

(57) 摘要

一个示例涉及包括给定材料的给定层的光引擎, 该给定材料的给定层覆盖另一材料的光波导。该给定材料的给定层可以包括对准座, 该对准座用于容纳用于提供光信号的光发射器。该对准座还可以对准该光发射器, 使得该光发射器沿相对于该光波导的纵轴基本不偏斜的方向提供该光信号。该光引擎还可以包括用于使该光信号倾斜一倾斜角的光信号转向器。该光波导可以包括光栅耦合器, 该光栅耦合器用于将以该倾斜角提供的该光信号衍射到该光波导内。



1. 一种光引擎,包括:  
给定材料的给定层,覆盖另一材料的光波导,所述给定材料的给定层包括:对准座,用于:  
容纳用于提供光信号的光发射器;以及  
对准所述光发射器,使得所述光发射器沿相对于所述光波导的纵轴基本不偏斜的方向提供所述光信号;和  
光信号转向器,用于使所述光信号倾斜一倾斜角;  
所述光波导包括:  
光栅耦合器,用于将以所述倾斜角提供的所述光信号衍射到所述光波导内。
2. 根据权利要求 1 所述的光引擎,其中所述给定材料包括二氧化硅。
3. 根据权利要求 2 所述的装置,其中所述另一材料包括氮化硅。
4. 根据权利要求 1 所述的光引擎,其中相对于与所述光波导的所述纵轴垂直的线,所述倾斜角为大约  $2^\circ$  至大约  $20^\circ$ 。
5. 根据权利要求 1 所述的光引擎,其中所述对准座用于对准所述光发射器,使得所述光发射器沿与所述光波导的所述纵轴基本垂直的方向提供所述光信号。
6. 根据权利要求 5 所述的光引擎,其中所述光转向器包括形成在所述对准座中的光楔,其中所述光楔包括充满空气的槽。
7. 根据权利要求 6 所述的光引擎,其中所述光楔包括具有倾角的表面,所述表面使所述光信号倾斜至所述倾斜角。
8. 根据权利要求 7 所述的光引擎,其中:  $\theta < 90^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$ ; 其中:  
 $\theta$  是所述倾斜角;  
 $n_1$ 是空气的折射率;并且  
 $n_2$ 是所述给定材料的折射率。
9. 根据权利要求 1 所述的光引擎,其中所述对准座用于对准所述光发射器,使得所述光发射器沿与所述光波导的所述纵轴基本平行的方向提供所述光信号。
10. 根据权利要求 9 所述的光引擎,其中所述对准座基本是 U 形的,并且所述光信号转向器包括与所述对准座间隔开的光楔。
11. 根据权利要求 1 所述的光引擎,其中所述光楔包括具有倾角的表面,所述表面使所述光信号倾斜至所述倾斜角。
12. 根据权利要求 9 所述的光引擎,其中相对于所述光波导的所述纵轴,所述倾角为大约  $35^\circ$  至大约  $44^\circ$ 。
13. 一种光引擎,包括:  
给定材料的给定层;  
所述给定材料的另一层;以及  
光波导,夹在所述给定层与所述另一层之间;  
所述给定层包括:  
对准座,用于对准光发射器,使得所述光发射器提供与所述光波导的纵轴基本垂直或基本平行的光信号;以及

光信号转向器,用于以一倾斜角重定向所述光信号,使得所述光信号与所述光波导的光栅耦合器相交。

14. 根据权利要求 13 所述的光引擎,其中相对于与所述光波导的所述纵轴垂直的线,所述倾斜角为大约  $2^\circ$  与大约  $20^\circ$  之间。

15. 一种系统,包括:

光发射器,用于沿给定方向提供多个可独立控制的光信号;和

光引擎,包括:

二氧化硅的给定层;

二氧化硅的另一层;以及

由氮化硅形成的光波导,夹在所述二氧化硅的给定层与所述二氧化硅的另一层之间,所述光波导包括:

光栅耦合器,用于将所述可独立控制的光信号衍射到所述光波导内;所述二氧化硅的给定层包括:

对准座,用于对准光发射器,使得所述光发射器以相对于所述光波导的纵轴基本不偏斜的角度提供所述可独立控制的光信号;以及

包括充满空气的槽的光信号转向器,用于以一倾斜角重定向所述光信号,使得所述可独立控制的光信号中的每一个以所述倾斜角与所述光波导的所述光栅耦合器相交。

## 光引擎

### 背景技术

[0001] 在光学领域中,光学介质的折射率(被表示为“n”)是描述光或任何其它辐射如何传播通过该介质的数值。折射率被定义为辐射的波长和速度相对于它们的真空值如何减小的因子:当光从一种介质传播至另一种介质时,光改变方向(例如,光被折射)。

[0002] 衍射光栅是具有周期性结构的光学组件,其将光分离并衍射成沿不同方向行进的数个光束。这些光束的方向依赖于光栅的间距和光的波长,使得光栅用作色散元件。

### 附图说明

[0003] 图 1 图示用于发射和接收光信号的系统的示例。

[0004] 图 2 图示光引擎和光发射器的俯视图。

[0005] 图 3 图示图 2 中图示的光引擎和光发射器的剖面图。

[0006] 图 4 图示图 2 中图示的光引擎的示例。

[0007] 图 5 图示图 4 中图示的光引擎的剖面图的示例。

[0008] 图 6 图示光楔的放大图。

[0009] 图 7 图示另一光引擎和另一光发射器的俯视图。

[0010] 图 8 图示图 7 中图示的光引擎和光发射器的剖面图。

[0011] 图 9 图示图 7 中图示的光引擎的示例。

[0012] 图 10 图示该光引擎的剖面图的示例。

[0013] 图 11 图示另一光楔的放大图。

[0014] 图 12 图示光引擎的又一示例。

[0015] 图 13 图示光引擎的再一示例。

### 具体实施方式

[0016] 光引擎可以包括光波导,其中该光波导夹在具有小于该光波导的折射率的材料的两层之间,使得光能够通过内部全反射(TIR)传播通过该波导。此外,该光波导可以包括光栅耦合器,该光栅耦合器可以将光信号衍射到该光波导内。光信号可以以相对于光波导的纵轴成大约 $2^\circ$ 至大约 $20^\circ$ 的角度被提供给光栅耦合器。此外,光引擎的顶层可以包括对准座,该对准座可以保证由光发射器提供的光信号以相对于光波导的纵轴不偏斜的方向(例如,平行或垂直)传播。该光引擎可以包括光信号转向器,该光信号转向器可以使从光发射器提供的光信号倾斜至大约 $2^\circ$ 至大约 $20^\circ$ 的角度,使得从光发射器提供的光信号可以传播穿过光波导。该光引擎可以减少和/或消除在将光发射器插入对准座中时对光发射器进行调整的需要。

[0017] 图 1 图示用于发射和接收光信号的系统 2 的示例。可以从光发射器 4 提供光信号。在一些示例中,可以将光发射器 4 实现为可以发射 K 个单模光信号的单模激光器阵列,其中 K 是正整数。在其它示例中,可以将光发射器 4 实现为可以发射 K 个多模光信号的多模激光器阵列。

[0018] 光信号可以由光接收器 6 接收,如由光电检测器接收。联接在光发射器 4 与光接收器 6 之间的光引擎 8 可以将光信号从光发射器 4 引导至光接收器 6。在一个示例中,光引擎 8 可以包括由具有给定折射率(如大约 1.46 的折射率)的给定材料形成的层。该给定材料可以是光学介质。在一个示例中,该给定材料可以被实现为二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )。光引擎 8 还可以包括由具有比该给定折射率高的折射率(如大约 2.05 的折射率)的材料形成的光波导 10。形成光波导 10 的材料也可以是光学介质。在一些示例中,光波导 10 可以由氮化硅形成( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )。在一些示例中,光波导 10 可以夹在光引擎 8 的给定材料的层之间。

[0019] 光波导 10 可以包括光栅耦合器 12,光栅耦合器 12 用于将穿过光引擎 8 的给定材料的光信号耦合到光波导 10 内。可以将光栅耦合器 12 实现为例如由与光波导 10 相同的材料形成的光栅元件(例如条)的周期性阵列。在一些示例中,光栅耦合器 12 可以具有大约 50 微米的长度,并且每个光栅元件可以具有大约 10 微米的宽度。在其它示例中,光波导 10 的宽度和/或每个光栅元件的宽度可以根据从光发射器 4 发射的光信号的波长变化。

[0020] 光引擎 8 的给定材料的第一层 14 可以包括用于光发射器 4 的对准座 16。对准座 16 可以被实现为例如槽(例如腔),该槽具有仅比光发射器 4 稍大(例如,约稍大 3-4 微米)的宽度。以此方式,光发射器 4 可以相对于光栅耦合器 12 的位置以特定的位置安置在对准座 16 中。光发射器 4 可以将光信号以相对于光波导 10 的纵轴 18 不倾斜的角度发射到光引擎 8 的给定材料的层 14 内。例如,在一些示例中,可以以与光波导 10 的纵轴 18 垂直的角度从光发射器 4 发射光信号。在其它示例中,可以以与光波导 10 的纵轴 18 平行的角度从光发射器 4 发射光信号。由光发射器 4 发射的光信号可以表示为箭头 20。

[0021] 该光信号可以被接收在嵌入在光引擎 8 的给定材料的层 14 中的光信号转向器 22 处。光信号转向器 22 可以被实现为例如被设置为将光从光发射器 4 重定向至光波导 10 的光楔。该光楔可以例如是从光引擎 8 的给定材料的层 14 中蚀刻得到的充满空气的槽。在一些示例中,可以将光信号转向器 22 实现为蚀刻在光引擎 8 的对准座 16 的表面上的光楔(例如槽)。在这种情况下,光信号转向器 22 可以接收与光波导 10 的纵轴 18 大体垂直发射的光,并且将朝向光波导 10 的光栅耦合器 12 的光信号倾斜至相对于与光波导 10 的纵轴 18 垂直的线成大约  $2^\circ$  至大约  $20^\circ$ (例如  $8^\circ$ ) 的角度。由光信号转向器 22 倾斜的光信号可以被表示为箭头 24。

[0022] 在其它示例中,可以将光信号转向器 22 实现为从光引擎 8 的给定材料的层 14 中蚀刻得到的光楔(例如槽)。在这种情况下,光楔可以与对准座 16 间隔开。在此示例中,光信号转向器 22 可以接收以与光波导 10 的纵轴基本平行的角度从光发射器 4 发射的光信号,并且将朝向光波导 10 的光栅耦合器 12 的光信号倾斜至相对于与光波导 10 的纵轴 18 垂直的角成大约  $2^\circ$  至大约  $20^\circ$ (例如,大约  $8^\circ$ ) 的角度。

[0023] 光栅耦合器 12 可以衍射被光信号转向器 22 倾斜的光信号,以使光信号穿过光波导 10。由于光波导 10 具有比光引擎 8 的给定材料的折射率大的折射率,所以光信号通过利用内部全反射(TIR)沿光波导 10 向光接收器 6 传播。通过光波导 10 传播的光信号由箭头 26 表示。

[0024] 通过利用系统 2,现成的光发射器可以下降到光引擎 8 内并且自动对准。此外,光发射器 4 可以将光信号发射给光接收器 6,而不需要精细调整光信号的发射角。

[0025] 图 2 图示可以被用作例如图 1 中图示的光引擎 8 和光发射器 4 的光引擎 100 和光

发射器 102 的俯视图。图 3 图示沿线 A-A 截取的光引擎 100 和光发射器 102 的剖面图。图 4 图示在没有光发射器 102 的情况下光引擎 100 的俯视图。图 5 图示沿线 B-B 截取的光发射器 102 的剖面图。为了简化说明,在图 2 至图 5 中采用相同的附图标记,来表示相同的结构。

[0026] 光引擎 100 可以被实现为层状光引擎。可以利用例如具有给定折射率(如大约 1.46 的折射率)的给定材料实现光引擎 100 的第一层 104。该给定材料可以被实现为光学介质。在一些示例中,该给定材料可以被实现为二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )。光引擎 100 还可以包括该给定材料的第二层 106。此外,光引擎 100 可以包括夹在给定材料的第一层 104 与第二层 106 之间的光波导 108。可以将光波导 108 实现为例如由具有比给定材料的折射率大的折射率(如,大约 2.05 的折射率)的材料形成的光波导。在一个示例中,光波导 108 可以由氮化硅( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )形成。光波导 108 可以包括光栅耦合器 109,光栅耦合器 109 可以例如以与图 1 图示的光栅耦合器 12 类似的方式实现。

[0027] 光引擎 100 的第一层 104 可以包括用于容纳光发射器 102 的对准座 110。该对准座 110 可以被形成于光引擎 100 的第一层 104 中的槽。对准座 110 可以相对于光波导 108 定位光发射器 102。可以将光发射器 102 实现为例如激光二极管阵列,如具有 K 个垂直腔表面发射激光器(VCSEL)的阵列。光发射器 102 可以包括金属接触件 112,该金属接触件可以例如由外部电路控制。光发射器 102 还可以包括用于发射光信号的 K 个光导 114。这 K 个光导 114 中的每一个可以通过植入物或者通过各个光导 114 的光增益来限定。每个光导 114 可以嵌在发光材料(共同被图示为 116)中。光发射器 102 还可以包括 n 型基板 118。

[0028] 可以独立地控制光发射器 102 的 K 个光导 114 中的每一个。此外, K 个光导 114 中的每一个可以沿与光波导 108 的纵轴 119 基本垂直的方向发射光信号,其中从光发射器 102 发射的光信号可以表示为箭头 120。

[0029] 光引擎 100 可以包括可从光引擎 100 的对准座 110 中蚀刻得到的光楔 122。光楔 122 可以例如用于实现图 1 中图示的光信号转向器 22。在一些示例中,光楔 122 可以是充满空气的槽。光楔 122 可以将光信号倾斜一倾角  $\theta$ ,并使得光信号向光引擎 100 的光栅耦合器 109 倾斜。

[0030] 图 6 图示图 3 和图 5 中图示的光楔 122 的放大图。为了简化说明,在图 2 至图 6 中采用相同的附图标记,来表示相同的结构。

[0031] 图 6 中图示的虚线 124 表示与光波导 108 的纵轴 119 平行的线。箭头 120 表示从光发射器 102 提供的光信号。光楔 122 可以具有倾角,该倾角可以被表示为以  $\alpha$  表示的倾角。公式 1 和公式 2 可以用来计算倾角  $\alpha$ 。

[0032] 公式 1 :  $n_2 \sin(\alpha - \theta) = n_1 \sin(\alpha)$

[0033] 公式 2 :  $\theta = \alpha - \sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2} \sin(\alpha)\right)$

[0034] 其中 :

[0035]  $\alpha$  是该倾角,其被表示为光楔 122 的表面 126 与平行于光波导 108 的纵轴 119 的线 124 之间的角,以及垂直于表面 126 的线 128 与由光发射器 102 提供的光信号 120 之间的角。

[0036]  $\theta$  是倾斜角,其可以被限定为与平行于光波导 108 的纵轴 119 的线 124 垂直

的线 130 与被光楔 122 倾斜的光信号之间的角,该光信号可以被表示为箭头 132,并且

$$\theta < 90^\circ - \sin\left(\frac{n_1}{n_2}\right);$$

[0037]  $n_1$ 是光楔 122 中的材料(例如,空气)的折射率;以及

[0038]  $n_2$ 是光引擎 100 的第一层 104 中的材料(例如,二氧化硅  $\text{SiO}_2$ )的折射率。

[0039] 在一个示例中,光楔 122 中的材料可以是空气,使得  $n_1$ 可以等于 1.0,并且光引擎 100 的第一层 104 中的材料可以是二氧化硅( $\text{SiO}_2$ ),使得  $n_2$ 可以等于大约 1.46。在一些示例中, $\theta$  可以从大约  $2^\circ$  至大约  $20^\circ$ (例如,大约  $8^\circ$ )的角度。相应地,可以容易地确定倾角  $\alpha$ 。

[0040] 返回参考图 2 至图 5,光楔 122 可以将光信号倾斜至一倾斜角,并且该光信号可以以该倾斜角(例如,大约  $8^\circ$ )提供给光栅耦合器 109,如箭头 132 所表示的。光栅耦合器 109 可以衍射光信号,以使光信号传输到光波导 108 中,使得该光信号可以沿由箭头 134 表示的方向传播通过光波导 108。通过利用光引擎 100 以及光发射器 102,在将光发射器 102 插入光引擎 100 中时,光发射器 102 自动地在光引擎 100 中定位和对准。此外,光引擎 100 的对准座 110 和光楔 122 可以减少和/或消除调整光发射器 102 的发射角的需要。

[0041] 图 7 图示可以被用作例如图 1 中图示的光引擎 8 和光发射器 4 的另一光引擎 200 和光发射器 202 的俯视图。图 8 图示沿线 C-C 截取的光引擎 200 和光发射器 202 的剖面图。图 9 图示在没有光发射器 202 的情况下光引擎 200 的俯视图。图 10 图示沿线 D-D 截取的光发射器 202 的剖面图。为了简化说明,在图 7 至图 10 中采用相同的附图标记来表示相同的结构。

[0042] 光引擎 200 可以被实现为层状光引擎 200。光引擎 200 的第一层 204 可以被实现为例如具有给定折射率(如大约 1.46 的折射率)的给定材料。该给定材料可以是光学介质。在一些示例中,该给定材料可以被实现为例如二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )。光引擎 200 还可以包括该给定材料的第二层 206。此外,光引擎 200 可以包括夹在给定材料的第一层 204 与第二层 206 之间的光波导 208。可以将光波导 208 实现为例如由具有比给定材料的折射率大的折射率(如,大约 2.05 的折射率)的材料形成的光波导 208。在一个示例中,光波导 208 可以由氮化硅( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )形成。光波导 208 可以包括光栅耦合器 210,光栅耦合器 210 可以例如以与图 1 图示的光栅耦合器 12 类似的方式实现。

[0043] 光引擎 200 的第一层 204 可以包括用于容纳光发射器 202 的对准座 212。该对准座 212 可以被形成成为光引擎 200 的第一层 204 中的 U 形槽。对准座 212 可以相对于光波导 208 定位光发射器 202。可以将光发射器 202 实现为例如激光二极管的阵列,如具有 K 个垂直腔表面发射激光器(VCSEL)的阵列。光发射器 202 可以包括金属接触件 214,该金属接触件可以例如由外部电路控制。光发射器 202 还可以包括 K 个用于发射光信号的光导 216。这 K 个光导 216 中的每一个通过植入物或者通过各个光导 216 的光增益来限定。每个光导 216 可以嵌在发光材料中。光发射器 202 还可以包括 n 型基板 218。

[0044] 可以独立地控制光发射器 202 的 K 个光导 216 中的每一个。此外, K 个光导 216 中的每一个可以沿与光波导 208 的纵轴 220 基本平行的方向发射光信号,其中从光发射器 202 发射的光信号可以表示为箭头 222。

[0045] 光引擎 200 可以包括例如可从光引擎 200 的第一层 204 中蚀刻得到的光楔 224。

光楔 224 可以例如用于实现图 1 中图示的光信号转向器 22。光楔 224 可以与对准座 212 间隔开。在一些示例中,光楔 224 可以是充满空气的槽。光楔 224 可以利用内部全反射 (TIR) 来使光信号倾斜一倾斜角  $\delta$ , 使得光信号向光波导 208 的光栅耦合器 210 倾斜。

[0046] 图 11 图示图 8 和图 10 中图示的光楔 224 的放大图。为了简化说明,在图 7 至图 11 中采用相同的附图标记来表示相同的结构。

[0047] 图 11 中图示的虚线 226 表示与光波导 208 的纵轴 220 平行的线。箭头 222 表示从光发射器 202 提供的光信号。虚线 228 表示与光楔 224 的表面 230 垂直的线。虚线 232 表示与光发射器 202 的纵轴 220 垂直的线。光楔 224 可以具有以  $\beta$  表示的倾角。公式 3 和公式 4 可以用来计算倾角  $\beta$ 。

[0048] 公式 3 :  $\beta + \Phi = 90 - \beta$

[0049] 公式 4 :  $\beta = 45^\circ - \frac{\Phi}{2}$

[0050] 其中 :

[0051]  $\beta$  是该倾角,其被定义为 (i) 平行于光波导 208 的纵轴 220 的线 226 以及从光发射器 202 发射的光信号 222 与 (ii) 垂直于光楔 224 的表面 230 的线 228 之间的角 ;并且

[0052]  $\Phi$  是倾斜角,其可以被定义为垂直于光波导 208 的纵轴 220 的线 232 与被光楔 224 倾斜的光信号之间的角,该光信号由箭头 234 表示。

[0053] 在一个示例中,倾斜角  $\delta$  可以从大约  $2^\circ$  至大约  $20^\circ$  的角度 (例如,大约  $8^\circ$ )。相应地,在这种示例中,相对于光波导 208 的纵轴 220,倾角  $\beta$  可以是大约  $35^\circ$  至大约  $44^\circ$ 。例如,如果倾斜角  $\delta$  是大约  $8^\circ$ ,那么倾角  $\beta$  可以是大约  $41^\circ$ 。

[0054] 返回参考图 7 至图 10,光楔 224 可以将光信号倾斜至一倾斜角,并且该光信号可以以该倾斜角 (例如,大约  $8^\circ$ ) 被提供给光栅耦合器 210,如由箭头 234 表示的。光栅耦合器 210 可以将该光信号衍射到光波导 208 中,使得该光信号可以沿由箭头 236 表示的方向传播通过光波导 108。通过利用光引擎 200 以及光发射器 202,在将光发射器 202 插入光引擎 200 中时,光发射器 202 自动地在光引擎 200 中定位和对准。此外,光引擎 200 的对准座 212 和光楔 224 可以减少和 / 或消除调整光发射器 202 的需要。

[0055] 图 12 图示光引擎 300 的另一示例。该光引擎可以包括给定材料的给定层 302,该给定材料的给定层 302 覆盖在另一材料的光波导 304 上。给定材料的给定层 302 可以包括对准座 306,对准座 306 用于容纳用于提供光信号 310 的光发射器 308 并且用于对准光发射器 308,使得光发射器 308 相对于光波导的纵轴 311 沿基本不偏斜 (例如,平行或垂直) 的方向提供光信号 310。给定层 302 还可以包括光信号转向器 312,光信号转向器 312 用于使光信号 310 倾斜一倾斜角,以提供倾斜的光信号 314。光波导 304 可以包括光栅耦合器 316,光栅耦合器 316 用于将倾斜的光信号 314 衍射到光波导 304 内。

[0056] 图 13 图示光引擎 350 的再一示例。光引擎 350 可以包括给定材料的给定层 352 和该给定材料的另一层 354。该光引擎还可以包括夹在给定层 352 与另一层 354 之间的光波导 356。给定层 352 可以包括用于对准光发射器 360 的对准座 358,使得光发射器 360 提供与光波导 356 的纵轴 366 基本垂直或基本平行的光信号 362。给定层 352 还可以包括用于以一倾斜角重定向光信号的光信号转向器 368,使得光信号 370 与光波导 356 的光栅耦合器 372 相交。



[0057] 当说明书或权利要求中提到“一个”、“第一”或“另一个”元件,或者其等效用语时,应当将其理解为包括一个或多个这种元件,既不要求也不排除两个或更多个这种元件。此外,前面已经描述的是示例。当然,不可能描述部件或方法的每种可能的组合,不过本领域普通技术人员可以认识到,可以有其它组合和变更。此外,本说明书旨在涵盖落入包括所附权利要求的本申请范围内的所有这些变更、改变和变化。



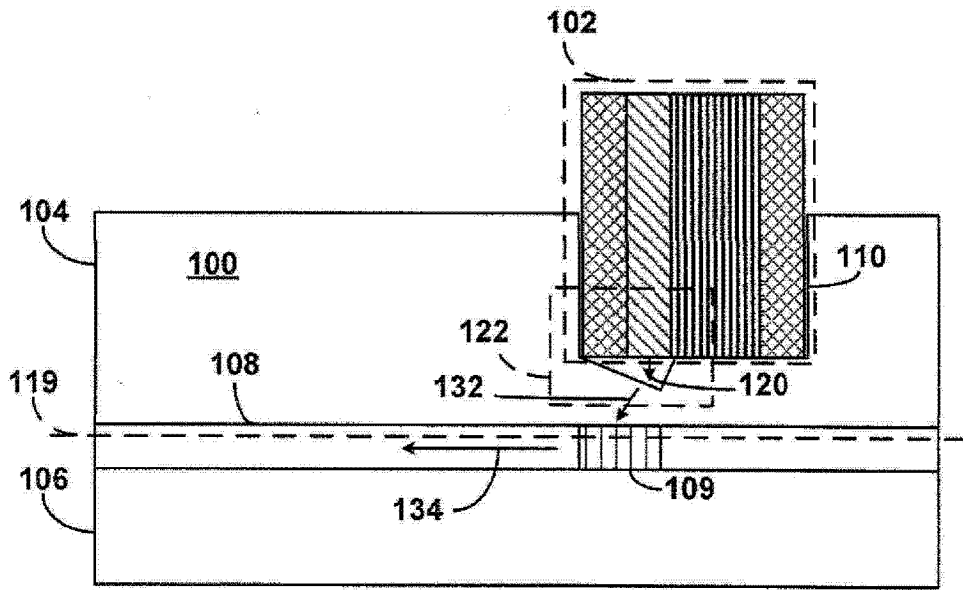


图 3

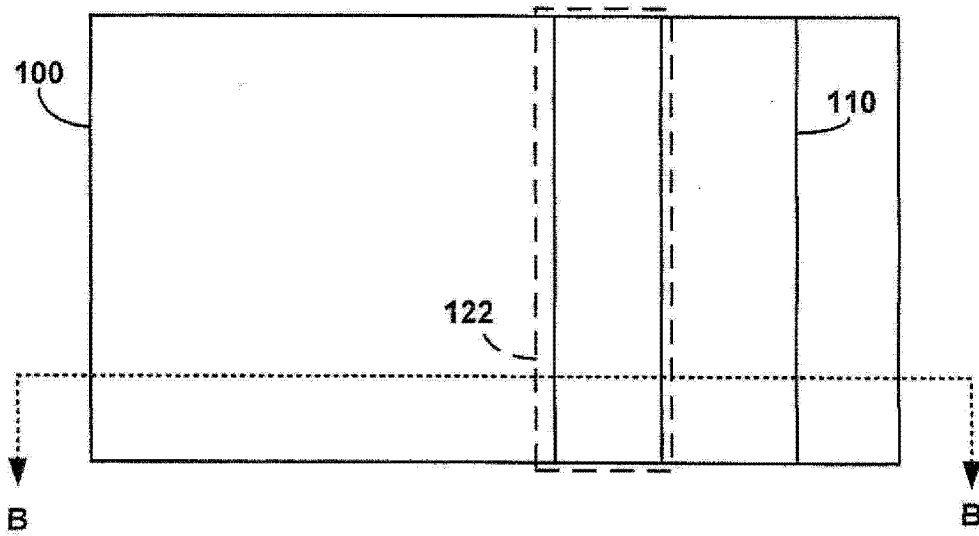


图 4

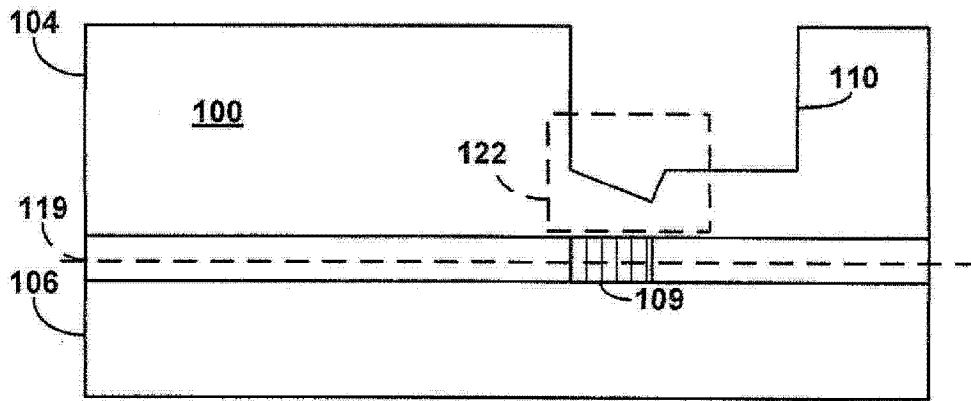


图 5

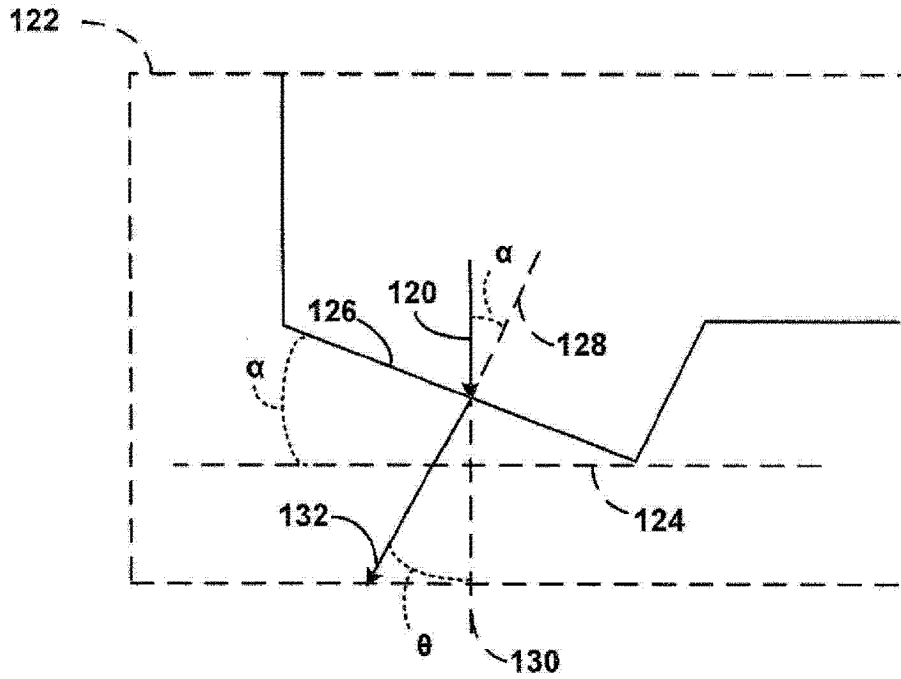


图 6

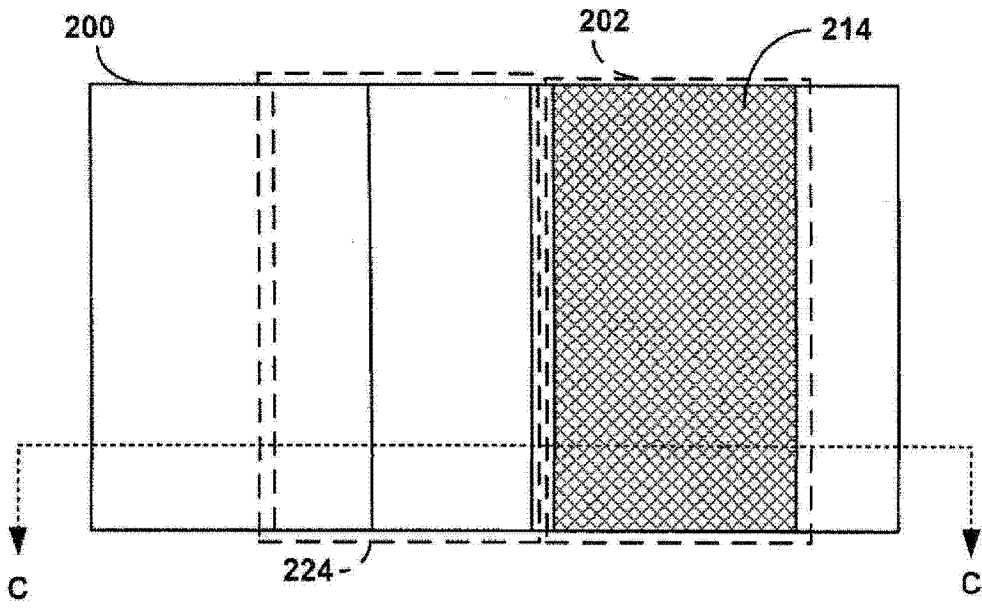


图 7

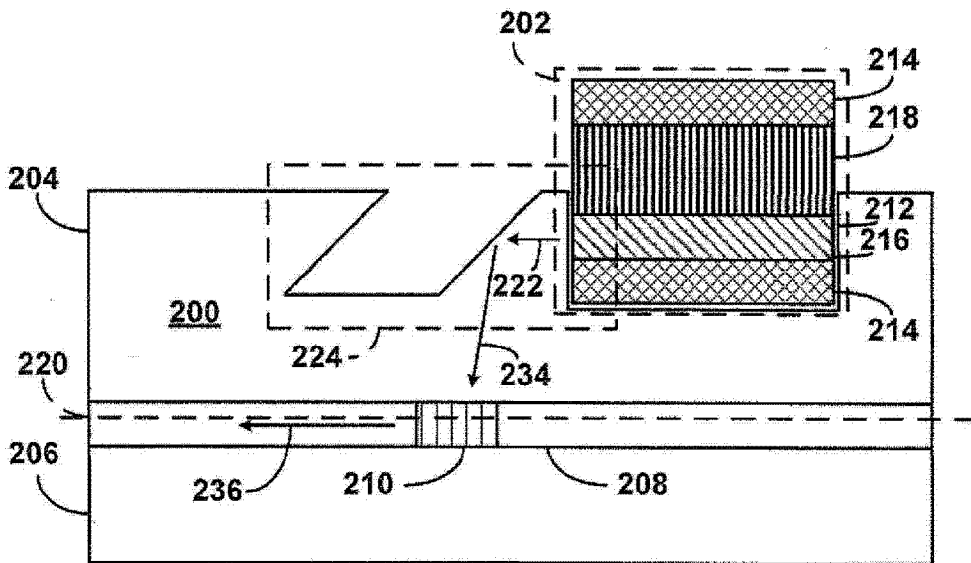


图 8

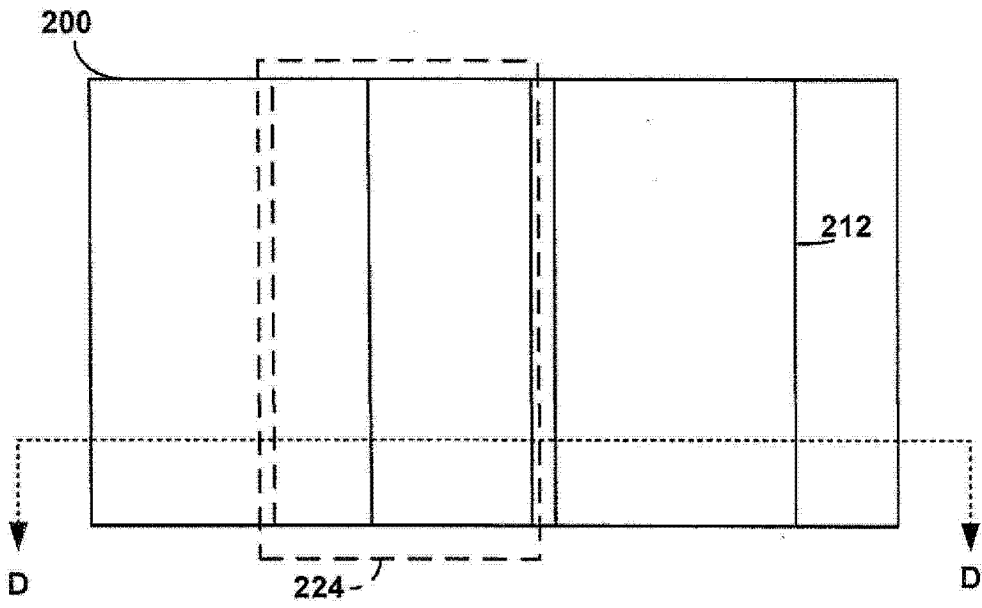


图 9

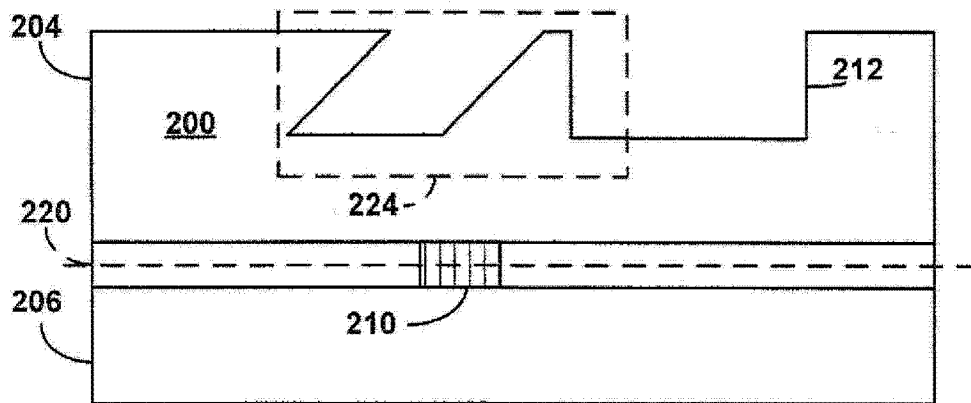


图 10

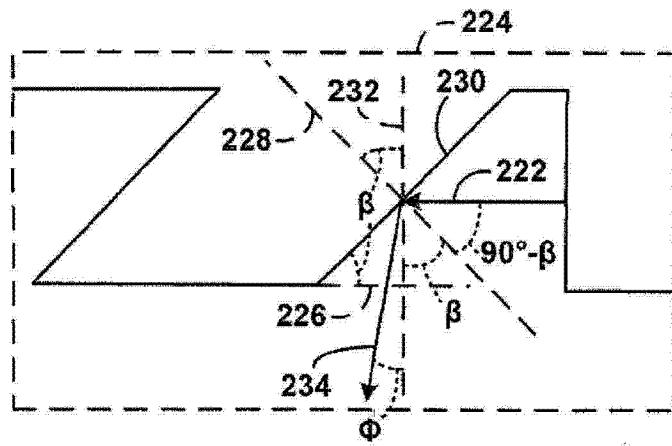


图 11

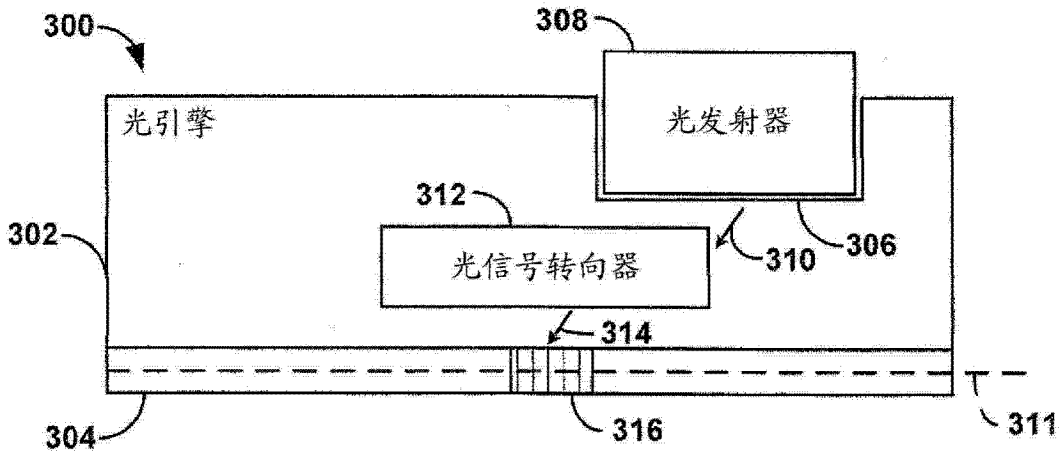


图 12

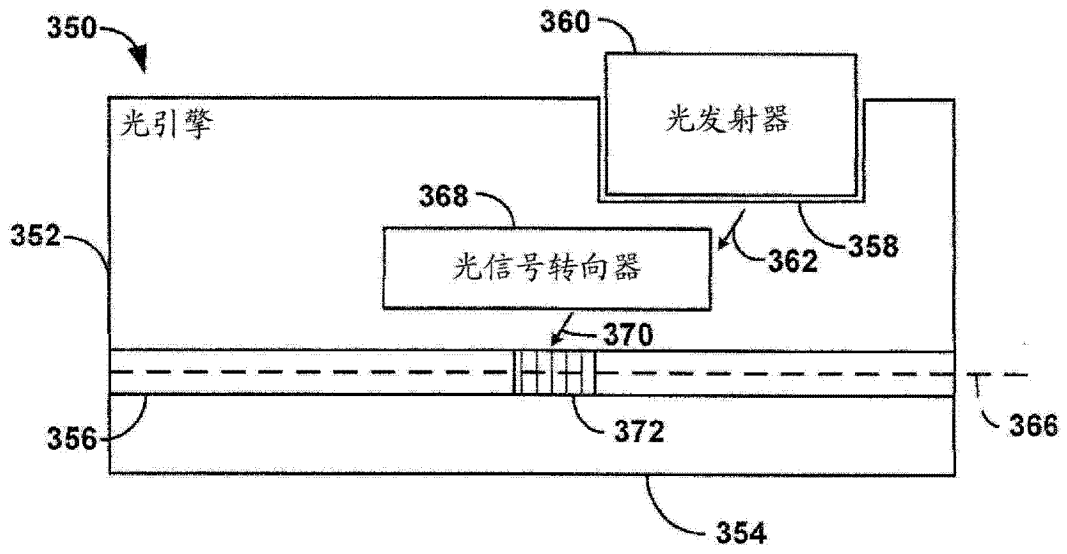


图 13