(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102375178 B
(45)授权公告日 2014.01.29

(21)申请号 201110218944.2

(22)申请日 2011.08.02

(30)优先权数据
12/852,371 2010.08.06 US

(73)专利权人 LSI 公司
地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 J·德卢卡 J·卡戈

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038
代理人 金晓

(51)Int.Cl.
G02B 6/122(2006.01)
G02B 6/13(2006.01)

(56)对比文件
US 2004/0240821 A1,2004.12.02, 说明书第0021至0025段,附图2.
US 2007/0079750 A1,2007.04.12, 说明书第0013、0014、0039段,权利要求14.
US 2002/0090163 A1,2002.07.11, 说明书第0045至0053段.
WO 2010/033122 A1,2010.03.25, 说明书全文.
CN 1307691 A,2001.08.08, 说明书全文.

审查员 黄金龙

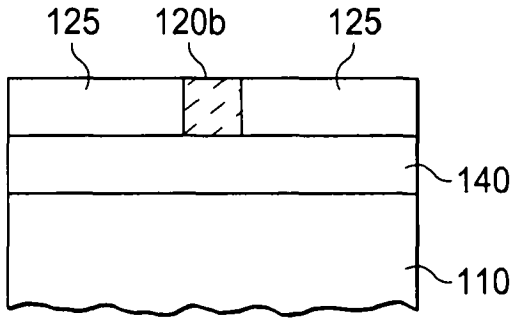
权利要求书1页 说明书10页 附图15页

(54)发明名称

光学器件及其形成方法

(57)摘要

一种光学器件包括基板和位于基板上的半导体层。光路包括半导体层,半导体层进一步包括波导芯层区域。芯层区域具有第一半导体区域,第一半导体区域具有第一类型形态和第一折射率。第一半导体区域位于半导体层的第二半导体区域附近,第二半导体区域具有第二类型形态和不同于第一折射率的第二折射率。



CN 102375178 B

1. 一种光学器件，包括：

基板；

位于所述基板上的光路，所述光路包括半导体层，所述半导体层包括波导芯层区域，所述波导芯层区域具有：

第一半导体区域，所述第一半导体区域具有第一类型形态和第一折射率，所述第一类型形态是非晶、多晶和块状晶体形态类型其中之一，以及

第二半导体区域，所述第二半导体区域具有第二类型形态和不同于所述第一折射率的不同的第二折射率，所述第二类型形态是非晶、多晶和块状晶体形态类型其中的不同的另一个。

2. 如权利要求 1 所述的光学器件，其中所述第一半导体区域具有第一同素异形状态，并且所述第二半导体区域具有不同于所述第一同素异形状态的第二同素异形状态。

3. 如权利要求 1 所述的光学器件，其中所述第一类型形态是所述非晶形态类型并且所述第二类型形态是所述多晶形态类型。

4. 如权利要求 1 所述的光学器件，其中所述波导芯层区域是谐振光路的一部分。

5. 如权利要求 1 所述的光学器件，进一步包括被设置用于加热所述波导芯层区域的加热元件。

6. 一种形成光学器件的方法，包括：

提供基板，所述基板具有位于其上的半导体材料层，所述半导体材料层包括第一区域和第二区域并能够设置用于接收输入光学信号，所述第一区域具有第一折射率，所述第二区域具有更大的第二折射率，所述第一区域具有第一类型形态，所述第二区域具有第二类型形态，所述第一类型形态是非晶、多晶和块状晶体形态类型其中之一，所述第二类型形态是非晶、多晶和块状晶体形态类型其中的不同的另一个；

改变所述半导体材料层的一部分的形态，由此改变所述一部分的折射率并改变包括所述第二区域的光路的传播特性。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其中所述第一类型形态是所述半导体材料的第一同素异形体，并且所述第二类型形态是所述半导体材料的不同于所述第一同素异形体的第二同素异形体。

8. 如权利要求 6 所述的方法，其中所述第一类型形态是所述非晶形态类型并且所述第二类型形态是所述多晶形态类型。

9. 如权利要求 6 所述的方法，其中所述第二区域位于波导环的光路中。

10. 如权利要求 6 所述的方法，其中所述改变是光照所述第二区域的结果。

光学器件及其形成方法

[0001] 本申请涉及由 Frank A.Baiocchi 等人于 2008 年 9 月 19 日提交、申请号为 PCT/US08/76976、名称为“Allotropic Change in Silicon Induced by Electromagnetic Radiation for Resistance Tuning of Integrated Circuits”的 PCT 申请，与本申请共同受让并且通过引用并入本文；还涉及由 John Delucca 等人提交、申请号为 12/852,378（代理人卷号为 L09-0675US1）、名称为“Modification of Logic by Morphological Manipulation of a Semiconductor Resistive Element”的美国专利申请，与本申请共同待决并且通过引用并入本文。

技术领域

[0002] 本申请主要涉及光学器件，并且更具体地涉及配置光路。

背景技术

[0003] 光电和光子器件包括光路，光学信号通过光路传输。包括折射率 (n) 和消光系数 (k) 在内的这些路径的光学特性决定了信号传播的速度以及由传播造成的损失。器件的性能特征相应地取决于传播速度和损失。

发明内容

[0004] 一个实施例提供了一种光学器件，其包括基板和位于基板上的光路。光路包括半导体层，半导体层包括波导芯层区域。芯层区域具有第一半导体区域，第一半导体区域具有第一类型形态和第一折射率。第一半导体区域位于半导体层的第二半导体区域附近，第二半导体区域具有第二类型形态和不同于第一折射率的第二折射率。

[0005] 另一个实施例提供了构造光学器件的方法。所述方法包括提供一种基板，具有位于其上的可设置用于接收输入光学信号的半导体材料层。材料层包括具有第一类型形态的半导体材料区域。将所述区域转化为不同于第一类型的第二类型形态。这种转化改变了包括所述区域的光路的传播特性。

附图说明

[0006] 现结合附图对以下的说明内容进行介绍，在附图中：

[0007] 图 1A-1C 示出了包括第一和第二形态的半导体材料的光路的一个实施例；

[0008] 图 2A-2C 示出了半导体层的一个实施例，其中波导芯层区域具有第一形态和第一折射率，并且波导覆层区域具有不同的第二形态和较低的折射率；

[0009] 图 3 是半导体层在光照之后的显微照片；

[0010] 图 4 是电熔丝承受电应力之后的显微照片；

[0011] 图 5A 和 5B 是分段的电熔丝在暴露于与图 4 中电熔丝所经受的相类似的电应力之后的显微照片；

[0012] 图 6 示出了作为波长的函数的 c-Si、a-Si 和 p-Si 的折射率；

[0013] 图 7 示出了光学谐振器，具有通过光学加热改变的部分；

[0014] 图 8 示出了光学谐振器，具有被设置用于通过电加热改变其一部分的电熔丝；

[0015] 图 9 示出了电熔丝、光路以及被设置用于进行加热的相交部分；

[0016] 图 10 示出了干涉仪，使其一部分通过光学加热修改；

[0017] 图 11 示出了干涉仪，具有被设置用于通过电加热改变其一部分的电熔丝；

[0018] 图 12A-12E 示出了通过控制半导体层各部分的形态以形成波导芯层区域从而在基板上界定出光路；

[0019] 图 13A-13C 示出了通过控制半导体层各部分的形态以形成波导覆层区域从而在基板上界定出光路；以及

[0020] 图 14 是一种用于形成光学器件（例如图 1A-1C 中的光学器件或者图 2A-2C 中的光学器件 200）的方法。

具体实施方式

[0021] 本公开得益于以下认知：可以改变半导体波导结构的光学性质以改变包括波导结构的光学器件的操作。已经可以例如使用激光照射改变某些类型的波导以形成光学元件譬如 Bragg 光栅。但是，这样的改变通常都局限于非半导体的光学波导，例如光纤、$LiNbO_3$ 和玻璃。如本文各个实施例中所述的改变半导体波导结构的能力提供了一种例如再加工、修复或调整包括半导体波导的光学器件的操作特性的手段。

[0022] 本公开给出了采用半导体材料用于光学波导的光学器件的不同实施例。实施例可以涉及各种半导体形态：块状晶体半导体，例如晶体半导体晶格的一部分或扩展或外延层；非晶半导体，例如具有比几个半导体键长更短的周期性；以及多晶半导体，例如具有相对于彼此任意取向的跨越多于几十个（例如 50 个）半导体键长的多个晶畴。

[0023] 本公开设想了用任意元素半导体或化合物半导体以每一种形态类型实现的实施例，所述元素半导体或化合物半导体包括但不限于 Si、Ge、GaAs、InP、SiC、InGaP、InGaAs 和 InAlGaP。半导体可以是掺杂或本征的。使用 Si 作为示例性的半导体材料来介绍各个实施例。这样使用 Si 作为示例性材料并不是将介绍的实施例限制为 Si。不同的实施例可以将非晶 Si 称为 a-Si，将晶体硅称为 c-Si，以及将多晶硅称为 p-Si。所属领域技术人员应该意识到，参照这些形式的 Si 介绍的原理也可以被扩展到本公开保护范围内的其他半导体。

[0024] 如本文中所用，同素异形体是指半导体材料的一种形式，其特征在于总体的键合特性。因此，块状晶体和多晶形态都是同一种同素异形体，原因在于半导体原子均以晶体排列键合。非晶形态是一种不同的同素异形体，原因在于半导体的键合通常都不像在晶体中一样有序。不同的实施例和权利要求可能会涉及第一类型的同素异形体和第二类型的同素异形体。第一和第二类型的同素异形体是互斥的。因此，第一类型的同素异形体可能是指晶体形态（块状晶体或多晶）或非晶形态，而第二类型的同素异形体就相应地是指非第一类型同素异形体的同素异形体。

[0025] 本文中介绍的各个实施例包括半导体层的一个或多个区域，其可以具有选自非晶、多晶和块状晶体的形态。例如而非限制性的，硅层区域可以是非晶硅 (a-Si)、多晶硅 (p-Si) 或块状晶体硅 (c-Si)。说明书和权利要求书可能会涉及第一类型形态、第二类型形态和第三类型形态。第一、第二和第三形态类型中的每一种都可以是非晶、多晶或块状晶体

中的任何一种。但是在单个实施例或单项权利要求中，只有一种前述形态例如非晶、多晶或块状晶体可以被唯一地指定用于第一、第二和第三类型中的每一种。因此，例如第一类型形态可以是非晶、多晶或块状晶体中的任何一种。第二类型形态可以是剩余两种形态类型中的任何一种。第三类型形态就是那种剩余的未指定形态类型。

[0026] 如本文中所用并且在权利要求中，半导体层包括基板上任何的均质半导体层以及源于均质层的半导体特征。半导体层明确地排除了形成在半导体层上的任何附加材料层，无论附加层是半导体还是其他材料。因此，例如操作晶圆上的外延层是半导体层，那么即使是特征具有不同的形态或者是非连续的，由外延层构成的半导体特征也是半导体层。但是，覆盖均质层的半导体区域或者是来源于此的特征都不包含在半导体层内。这样的排除区域通常可以通过它和下方均质层或特征之间离散的接触面加以识别。还可以从半导体层中排除的是在由半导体层构成单独的半导体特征之后添加的任何半导体或其他特征。因此，例如，如果单独的特征（譬如波导芯层）是由半导体层构成，那么即使是位于与波导芯层相同的层级，沉积在波导芯层上或者靠近波导芯层的材料也不是半导体层的一部分。

[0027] 注意力集中在将硅作为说明性的半导体材料，在硅光子网络运行期间，电磁辐射通过网络中的各种元件传播。硅在约 1.3μm 到约 6μm 的波长范围内具有对电磁辐射开放的透射特性（例如约≥ 50％的透射）。因此，这些波长在硅光子学中普遍使用。但是，在某些情况下例如在衰减或短传播距离的情况下，短于 1.3 微米的波长可能也是有效的。

[0028] 上述的每一种形态通常都具有复数折射率特性（折射率 n 和消光系数 k，取决于波长）。而且，例如电阻率的电特性对于每一种形态可能都有所不同。例如，在 1.12μm 的波长下，公开文献中报导的 c-Si 和 a-Si 的折射率分别是 3.54 和 4.09。因为介质中的光速取决于介质的折射率，所以可以预见光学信号行进通过 a-Si 会比通过 c-Si 更慢。正如以下进一步介绍的那样，折射率的差异可以被用于通过控制材料形态来构成波导，用于调整波导中的光路长度，或两者皆可。

[0029] 图 1A-1C 示出了通常标记为 100 的光学器件的平面图（图 1A）和截面图（图 1B 和 1C）。器件 100 可以是光子器件，例如对光学信号 130 进行光学处理的器件。器件 100 可以是或者非限制性地包括光学多路复用器、多路分配器、光学滤波器、光学谐振器、光学处理器、光学波导、光学 MEM（微电子机械系统）器件，例如镜阵列或其他类似的光学组件。给出图示的实施例作为可以出现在各个实施例中的光学器件中的元件的非限制性示例。

[0030] 基板 110 具有位于其上的芯层区域 120。芯层区域 120 可设置用于接收光学信号 130。基板 110 可以是任意合适的基板例如晶片。基板 110 的材料可以是半导体例如硅或锗，但非必须。例如可以使用玻璃、石英或蓝宝石基板。

[0031] 芯层区域 120 可以由均质半导体层构成。例如，一层（未示出）最初为具有均匀性质的连续层可以首先被设置在基板 110 上。在某些实施例中，可以通过选择性地移除其中的一部分来图案化该均质层，从而形成芯层区域 120。在其他的实施例中，可以通过使用本公开保护范围内的方法改变一部分均质层的形态和 / 或光学性质而形成芯层区域 120。芯层区域 120 可以被设置为用作光路中的组件，例如作为平面波导芯层。覆层区域 125 位于芯层区域 120 附近。

[0032] 本文中，光路是被设置用于约束光学信号例如光学信号 130 在基板 110 的平面内传播的固体介质。光路包括例如芯层区域 130 的芯层和例如覆层区域 125 的覆层。通常通

过芯层和覆层之间接触面处的全内反射而沿着芯层的方向引导光学信号。但是，本公开设想的实施例中覆层具有大于芯层的折射率。这样的实施例可以包括其中例如光路被设置用于衰减光学信号的情况。

[0033] 覆层区域 125 并不局限于任何特定的材料。覆层区域 125 可以是或者包括例如空气、氧化硅或半导体材料。当覆层区域 125 是半导体材料时，它可以是构成芯层区域 120 的相同材料层的一部分。

[0034] 在某些情况下，可能希望在靠近芯层区域 120 的介质的所有侧面，介质的折射率都低于芯层区域 120 的折射率，以使来自于芯层区域 120 的光能损失最小化。因此，与芯层区域 120 相比具有较低折射率的介电层 140 可以被设置在基板 110 和芯层区域 120 之间，由此用作芯层区域 120 的下覆层。介电层 140 如果存在则可以是与绝缘体上半导体 (SOI) 基板相关联的氧化物层、热氧化物或 CVD 氧化物，或者可以是基板 110，例如蓝宝石基板。

[0035] 芯层区域 120 包括具有第一类型形态和第一折射率 n_a 的区域 120a，以及具有第二类型形态和不同的第二折射率 n_b 的区域 120b。非限制性地考虑其中 n_b 大于 n_a 的实施例。光学信号 130 以比通过区域 120b 更快的速度通过区域 120a 传播。光学信号 130 通过芯层区域 120 的传播时间取决于区域 120a 和 120b 沿芯层区域 120 中光路（例如沿信号传播方向）的相对长度。任意所需长度组合的每一个区域 120a、102b 中的一个或多个可以被设置为沿着由光学信号 130 通过芯层区域 120 采用的路径。

[0036] 在各个实施例中，构成芯层区域 120 的半导体材料层的形态可以被可控地加以改变。可以进行所述改变以改变芯层区域 120 的光学特性。在不同的实施例中，正如以下进一步介绍的那样，改变传播特性可以包括改变传播的方向或速度，或者是改变由芯层区域 120 在光学信号 130 上产生的衰减。改变芯层区域 120 的传播特性可以包括改变芯层区域 120 附近的材料形态。例如，靠近芯层区域 120 的一部分半导体层（例如覆层区域 125 的折射率）可以被改变为增加或者减少光学信号 130 从芯层区域 120 到相邻的覆层区域 125 的损失的量。

[0037] 图 2A-2C 示出了总体标记为 200 的光学器件的实施例的平面图（图 2A）和截面图（图 2B-2C）。器件 200 包括波导 210，波导 210 依次包括芯层区域 215 和覆层区域 220a、220b。介质 225 可以是例如空气、氧化物或半导体材料。在某些实施例中，介质 225 是形成在基板 110 上的、构成芯层区域 215 以及覆层区域 220a 和 220b 的连续半导体材料层的一部分。在图示的器件 200 中，芯层区域 215 和介质 225 具有折射率 n_1。覆层区域 220a、220b 具有折射率 $n_2 < n_1$，由此限制去往波导 210 的一部分光学信号 130。

[0038] 先前通过引用并入的、Baiocchi 等人提交的、申请号为 PCT/US08/76976 的 PCT 申请（以下称为“′ 976 申请”）公开了改变半导体层的同素异形和 / 或形态类型的方法。在其中介绍的各个实施例中，相干（激光）能量可以被集中到一部分半导体层上，造成光照部分的部分熔化。例如，能量剂量和持续时间、焦点以及执行多次曝光的时间段可以确定导致光照半导体的非晶或多晶同素异形体形成的时间 - 温度曲线。因此，如′ 976 申请中所述，半导体例如硅中的块状晶体或多晶可以被可控地转化为非晶的同素异形体，并且随后被可控地改变为多晶的同素异形体。可以完成转化而不会对周围的介电层或下面的基板造成损坏。

[0039] 图 3 示出了单晶体硅基板 310，其中的一部分已经通过使用第一脉冲模式和 / 或光

照条件的激光照射基板 310 而被转化为非晶区域 320。接着，一部分非晶区域 320 已经通过使用第二脉冲模式和 / 或光照条件的激光照射基板 310 而被转化为多晶区域 330。通常，未改变的基板 310、非晶区域 320 和多晶区域 330 均具有不同的光学性质，并且具体地具有不同的折射率。

[0040] 本公开认识到半导体材料从一种形态类型转化为另一种形态类型也可以通过使用具有适当特性的电刺激加热要转化的半导体材料部分来实现。刺激可以是例如具有临时曲线的电流，被设置用于将所需量的能量在需要的时间段内注入需要进行转化的目标区域内。因此，例如转至图 2A，可以通过可控地将半导体材料的折射率从较高的第一值改变为较低的第二值，从而由连续的半导体材料层形成覆层区域 220a、220b。除了在′ 976 申请中介绍的光照加热以外，在某些实施例中，可以通过电刺激（例如被设置用于加热部分材料的电流）改变半导体材料的光特性。

[0041] 图 4 示出了电熔丝 410。电熔丝 410 被暴露给通常是充电器件模型 (CDM) 静电放电 (ESD) 事件中的电脉冲。例如，这样的事件的特征可以是在大约 1ns 的时间段内以 10^6A/cm^2 数量级的电流密度施加的 500V 电压。电熔丝 410 并不显示出明显的设计证据，但是电气性质例如电阻的增加与设计相一致。由此，电熔丝 410 可以被物理地和电力地加以改变而不会对其或周围的结构造成明显破坏。

[0042] 图 5A 和 5B 给出了结构类似于电熔丝 410 的电熔丝 510 如上所述经受电应力之后的 TEM 显微照片 500A（低倍放大）和 500B（高倍放大）。氧化物层 520 被设置在电熔丝 510 上。最初由 p-Si 构成的电熔丝 510 现在包括 p-Si 部分 530 和 a-Si 部分 540。尽管 a-Si 部分 540 的形态从晶体改变为非晶，但是电熔丝 510 显然只有很小的或者根本没有尺寸的改变。值得注意的是对氧化物层 520 没有明显的损坏。

[0043] 观测到的性质改变例如是电阻改变且对于电熔丝 410 或周围材料层只有很少或没有可观测到的损伤，这样的观测到的性质改变在不同的实施例中可以由很多种设计的脉冲特性获得。例如，脉冲电压可以具有落在几十伏到几千伏之间的范围内的值。类似地，脉冲可以具有处于亚纳秒到微秒之间的范围内的持续时间。电压和脉冲持续时间的有效组合应该取决于可由所属领域技术人员确定的被施加脉冲的结构的具体布局。在不同的实施例中，考虑设计结构的电阻、电容和电感可能是有利的。可以预见的是设计电熔丝的最终性质会与加入电熔丝内的总能量相关。因此可以预见的是通常随着设计脉冲的电压增大，脉冲持续时间将会减小，反之亦然。

[0044] 在不同的实施例中，图 6A 和 6B 中表现出来的电力感应的形态变化可以被应用于半导体光子器件和网络中。电极可以被安置在光学元件内以施加适当调节的电脉冲从而将全部或部分光学元件从晶体或多晶形态转化为非晶形态，或者是从非晶形态转化为多晶形态。这种转化被期望提供一种按所需方式改变半导体光子元件的光学和电气性质的手段，提供了一种用于电路设计、再加工或修整的手段。

[0045] 例如，图 6 示出了通常标记为 600 的曲线，将 c-Si、a-Si 和 p-Si 的折射率之间的关系作为用于光子应用的半导体材料形态的非限制性的示例示出。折射率被表示为通过材料传播的光的波长的函数。这些数据是由公开文献中的折射率数据推断得出，并且被非限制性地表示为硅的这些形态的光学特性的示例。

[0046] 在图 6 中，可以看出对于显示的波长范围中的所有波长，c-Si 都具有比 a-Si 和

p-Si 更大的折射率。而且，可以看出 a-Si 在小于约 1.58μm 时具有比 p-Si 更大的折射率，超过 1.58μm 时则顺序相反。

[0047] 图 6 中示出的关系可以用几种方式加以利用。例如：

[0048] 可以通过将一部分 c-Si 部分转化为 a-Si 和 / 或 p-Si 而将最初包括 c-Si 部分的光路改变为具有较短的光路长度。

[0049] 可以通过将一部分 a-Si 部分转化为 p-Si 而将最初包括 a-Si 部分的光路改变为对于小于约 1.58μm 的波长具有较短的光路长度。大于约 1.58μm 时，该部分应该具有较长的光路长度。

[0050] 可以通过将一部分 p-Si 部分转化为 a-Si 而将最初包括 p-Si 部分的光路改变为对于小于约 1.58μm 的波长具有较长的光路长度。大于约 1.58μm 时，该部分应该具有较短的光路长度。

[0051] 最初为块状晶体的硅层（例如埋置氧化物层上的外延层）可以通过将靠近目标芯层区域的一部分晶体层转化为 a-Si 和 / 或 p-Si 而具有在其中界定出的光路。

[0052] 以下的表 I 利用得自图 6 的数值比较了 a-Si 相对于 c-Si、p-Si 相对于 c-Si 以及 a-Si 相对于 p-Si 的折射率比较差异。对于 a-Si 和 p-Si 来说，相对于 c-Si 的折射率差异对于示出的所有波长都超过了 1%，并且对于 1.58μm 及以上的波长都超过了 10%。这种折射率的相对差异被认为在用这些材料构造的波导中造成了对光学信号的鲁棒性约束。

[0053] 表 I

[0054]

波长 (μm)	(a-c)/c	(p-c)/c	(a-p)/p
1.3	-1.7%	-5.2%	3.7%
1.4	-5.0%	-7.3%	2.5%
1.5	-8.5%	-9.5%	1.1%
1.55	-10.2%	-10.6%	0.4%
1.6	-12.0%	-11.7%	-0.3%
1.65	-13.8%	-12.9%	-1.0%

[0055] 以下的实施例示出了可以利用本文中公开的用于将半导体层的形态从第一形态转化为第二形态的实施例来改变光学性质的各种方式。所属领域技术人员应该意识到其他的光学器件也可以类似地从半导体形态的转化中受益，并且这些其他的光学器件也落在本公开的保护范围之内。而且，尽管以下的实施例可能是参照硅的各种形态加以介绍的，但是采用可选半导体材料的其他实施例也都落在本公开的保护范围之内。

[0056] 图 7 示出了通常标记为 700 的谐振器，其包括谐振环 710 和邻近的波导 720，它们最初通常都可以由 p-Si 构成。波导 720 被设置为使得光能可以从波导 720 被耦合至环 710，并且可以从环 710 被耦合至波导 720。在各个实施例中，谐振器 700 可以被应用作为逻辑电路元件的一部分，例如逻辑与门和逻辑与非门。所属领域技术人员熟知这些以及类似器件使用光学谐振器的常规实施方式。

[0057] 环 710 具有谐振频率，包括有谐振器 700 的电路的工作频率部分地取决于该谐振频率。谐振频率应该由多种因素决定，包括环 710 的尺寸、环 710 的介质例如 p-Si 的折射率、介质内的载流子浓度以及入射光学信号 730 的强度或功率。

[0058] 本文中的各个实施例提供了调节环 710 的谐振波长的手段。在某些实施例中，使用如′ 976 申请中所述的相干光源或非相干的强光源来实现这种调节。环 710 最初具有的光路长度 (OPL) 约等于周长 C(本示例中为 π *直径) 和折射率的乘积，或者是

[0059] OPL = nC

[0060] OPL 可以通过将分段 740 从 p-Si 转化为 a-Si 进行调节。在此情况下，环 710 的 OPL 将会增加，导致环 710 的谐振波长从 λ_1 变为更大的 λ_2。在另一个示例中，谐振器 700 最初由 c-Si 层 (例如外延层) 构成。分段 740 可以从 c-Si 被转化为 p-Si 以减小环 710 的 OPL，由此将谐振器 700 的谐振波长从初始值 λ_3 减小为第二值 λ_4。分段 740 的一部分可以随后被转化为 a-Si，由此增加 OPL 并将谐振波长从 λ_4 增大为另一个中间数值 λ_5。

[0061] 用这种方式，环 710 的谐振波长可以被调整 (调节) 为特定的期望值。这样的调整可以在谐振器是其一部分的光路工作时进行。可以预见到在某些情况下半导体材料中的载流子浓度和迁移率将会受到材料从一种形态向另一种形态转化的影响。实际情况下，可能难以预测可以由这些材料性质的相互作用导致的精确的谐振频率。调节谐振器 700 的能力提供了一种对这样的材料特性变化进行补偿从而得到谐振波长的准确的期望值的手段。

[0062] 图 8 示出了被设置为利用电熔丝结构作为加热元件进行调节的谐振器 800 的一个实施例。谐振环 810 包括若干个电熔丝结构 820。电熔丝结构 820 被设置用于加热环 810 的一部分，由此引发被加热部分的形态改变。

[0063] 在图 8 的实施例中，环 810 包括八个未改变的电熔丝结构 820a 以及三个改变的电熔丝结构 820b。每一个改变的电熔丝结构 820b 都在环 810 的光路中具有已经从环 810 形成时的第一形态改变为具有不同折射率的第二形态的相关联部分 830。正如参照谐振环 710 所述的那样，环 810 和部分 830 的形态可以被设置为不同的组合以提供环 810 谐振波长的可调节能力。

[0064] 图 9 示出了一个实施例，其中电熔丝 910 与具有相交区域 930 的谐振结构 920 相交。谐振结构 920 可以是例如谐振环。在图示的实施例中，电熔丝 910 和谐振结构 920 被形成在相同的半导体层 (例如多晶硅) 内。与包括区域 930 的谐振结构 920 相比，以更大的掺杂剂浓度掺杂电熔丝 910 在区域 930 以外的部分。更大的掺杂为区域 930 以外的电熔丝 910 提供了比谐振结构 920 更高的电导率。在电熔丝 910 的设计 (例如改变相交部分 930 的形态) 期间，这种结构被期望将电熔丝 910 的热量部分地向区域 930 局部化，由此将区域 930 确定为用于从一种形态转化为另一种的目标。局部化加热可以有利地增加期望目标层从一种形态被转化为另一种形态的可能性，并且还可以减少送入器件 100 内的总功率，由此降低对其造成损坏的可能性。

[0065] 在一个可选实施例中，加热元件例如区域 930 可以包括一个或多个跳线，例如被设置用于向其分路电流的导电迹线。在这样的实施例中，跳线替代了区域 930 以外的电熔丝 910。跳线的厚度和 / 或宽度和 / 或组成可以被选择用于将跳线的电阻限制在会对跳线进行明显加热的数值以下。跳线可以由非金属化或金属化的半导体构成，例如硅、例如硅化的多晶硅或者适量的耐火金属材料例如 W、Ti、TiN、Ta 或 TaN。限制对跳线的加热将会使得

跳线任何的化学反应或由此发出的外扩散限制为可忽略的水平。在此，可忽略的反应或扩散是指不会从设计过程中得到对设备性质不可接受的不利影响。跳线可以从侧面（例如在与目标区域相同的高度处）连接至待加热区域（例如区域 930），或者可以被设置为高于或低于目标区域并通过低阻连接（例如一个或多个触点或通路）连接。

[0066] 图 10 示出了干涉仪 1010，非限制性地表示为 Mach-Zehnder 结构。干涉仪 1010 接收输入光学信号 1020，该信号在第一路径 1030 和第二路径 1040 之间被分开。通过路径 1030、1040 的信号部分被重新组合以生成输出信号 1050。通常，输出信号 1050 的强度和相位特性取决于传输通过路径 1030、1040 的信号部分的相对相位延迟。依次通过每一条路径 1030、1040 的相位延迟部分地取决于构成路径 1030、1040 的介质的折射率。

[0067] 根据本文中介绍的不同实施例，第一路径 1030 中的分段 1060 可以从初始的第一折射率被改变为第二折射率。这种改变可以导致例如暴露于相干或高强光的结果。在一个实施例中，分段 1060 被从 p-Si 转化为 a-Si，由此减小了分段 1060 的折射率。第一路径 1030 的 OPL 因此被减小，相应地就减小了加到传播通过其中的输入光学信号 1020 部分上的相位延迟。因此，输出信号 1050 的相位和强度特性也将会改变。

[0068] 图 11 示出了被设置为通过电力电熔丝结构 1120 调节的干涉仪 1110 的一个实施例。干涉仪包括两个未改变的电熔丝 1120a。三个改变过的电熔丝 1120b 已经被操作用于改变第一路径 1030 中的分段 1130 的形态。例如，形态可以从晶体被改变为非晶。如前所述，改变将改变输出信号 1050 的相位和强度特性。

[0069] 尽管本文中介绍的不同实施例包括了具有不同折射率的两个区域，但是本公开的实施例并非局限于此。可以设想到的实施例包括那些具有三个或更多个不同折射率区域的情况。晶体、非晶或多晶区域可以被形成为具有确定用于为每一个区域提供所需平均折射率的厚度。因此，例如一个或多个区域可以被形成为具有的折射率是 c-Si 和 a-Si 的折射率的加权平均值。这些区域的折射率的加权可以由区域中 c-Si 和 a-Si 的相对比例确定。

[0070] 转至图 12A-12，示出了通过控制半导体层 1220 各部分的形态以在基板 1210 上界定出光路的方法 1200 的实施例。′ 976 申请中介绍了更多的工艺信息。层 1220 是半导体的第一形态例如 p-Si，而基板 1210 可以是例如氧化硅。图 12A 示出了最初形成时在其中没有界定出波导的层 1220。

[0071] 图 12B 示出了在层 1220 内形成芯层区域 1230。光源 1240 例如激光器在层 1220 上扫描。强度、焦点、占空比和照射时间段可以被控制用于将层 1220 中的被照射部分转化为构成层 1220 的半导体第二种不同的同素异形体。因此，例如被照射部分可以被转化为 a-Si。被照射部分由此就具有比未照射层 1220 更高的折射率。被照射部分因此即可用作波导的芯层区域 1230，而附近的未改变区域 1220 则用作覆层区域。

[0072] 图 12D 示出了通过随后用光源 1240 照射来改变芯层区域 1230。光源 1240 可以用被确定用于将芯层区域 1230 的被照射部分转化为 p-Si 的强度、焦点、占空比和照射时间段进行操作。因为层 1220 也是 p-Si，所以芯层区域 1230 的被照射部分就具有与层 1220 大体相同的折射率并停止用于限定光路 1250。换句话说，芯层区域 1230 的被照射部分被实质上清除。

[0073] 图 12E 示出了额外照射层 1220 之后的芯层区域 1230，由此形成了一部分新的芯层区域 1230。芯层区域 1230 因此被改变或再加工为具有不同的路径。这样的在光子器件

内改变光路方向的能力提供了特有的和创造性的光子器件再加工能力，以用于例如定制功能、改正布局错误或修复器件中被损坏的部分。

[0074] 图 13A-13C 示出了光学器件 1300 的一个实施例，包括有形成在基板 1310 上的光路。首先考虑图 13A，在图示的实施例中，半导体层 1320 被设置在基板 1310 上，并且介电层 1330 被可选地设置在两者之间。半导体层 1320 具有初始折射率。介电层 1340 也被设置在半导体层 1320 上。在某些实施例中，优选的可以在半导体层 1320 上设置氧化物层以保护半导体层 1320 以免在受热引发形态改变时氧化。例如，半导体层 1320 可以用 c-Si 作为外延层，其中介电层 1330 是埋置的氧化物层。介电层 1340 可以是一层或多层互连的电介质堆叠，或者可以是形成在半导体层 1320 上的具体用于保护半导体层 1320 的氧化物层。

[0075] 图 13B 示出了通过将半导体层 1320 的一部分转化为具有低于初始折射率的改变的折射率的形态而形成光路。光源 1350 加热半导体层 1320 的一部分，由此将被加热部分转化为具有较低折射率的形态。如图所示，已经形成有一个覆层区域 1360a，并且正在形成另一个覆层区域 1360b。覆层区域 1360a 和 1360b 可以用于将光学信号限定在两者之间的芯层区域。

[0076] 图 13C 示出了在部分 1360b 已经形成后的光学器件 1300。部分 1360a 和 1360b 限定出芯层区域 1370，其中可以通过用作覆层区域的折射率较低的 1360a 和 1360b 部分来引导光学信号 1380。

[0077] 尽管已经参照通常为复数折射率的实数部分 n 介绍了上述实施例，但是应该注意到复数折射率的虚数部分或消光系数 k 通常对于特定半导体的不同形态也会有所不同。消光系数表示光学信号的损失部分。因此，光学信号在光路中的损失或衰减程度可以通过将一部分光路从一种形态转化为另一种形态而加以改变。

[0078] 改变由光路提供的衰减可以用至少两种方式实施。在第一种方法中，将一部分光路例如芯层区域 120（图 1）从具有第一消光系数 k_1 的一种形态转化为具有不同的第二消光系数 k_2 的另一种形态。在第二种方法中，改变了一部分半导体（例如靠近光路的覆层区域 220b（图 2），譬如波导 210）。上述改变使得将光学信号限定在波导内的程度发生了变化。例如，如果波导 210 是 c-Si 而覆层区域 220a、220b 是 p-Si，那么光学信号 130 将良好地限定在波导 210 内。如果覆层区域 220b 的子部分被转化为 a-Si，那么子部分和波导 210 的折射率将只有约 2％的差异（参见表 I）。因此，光学信号 130 将被较差地限定，并且一部分信号将会损失在覆层区域 220 中。这第二种方法与第一种方法相比在某些情况下提供的优点是，波导 210 波长相关的传播特性的预期波动要小于芯层区域 120。

[0079] 本文中介绍的实施例并非本公开保护范围内光学元件和器件的实施例的穷举。所属领域技术人员应该意识到通过所述实施例说明的原理可以应用于其他的半导体光子器件中。光学网络构建模块例如衰减器、波导和电光调制器可以通过将半导体转化为更高或更低折射率的同素异形体或形态而构成。具体而非限制性地，电光调制器将被实现为明显地受益于利用同素异形或形态转换来调节或改变其各个部分的能力，原因在于这样的器件经常要使用类似于 Fabry-Perot 微腔的精确调节机构进行加工。所述领域技术人员应该意识到 Fabry-Perot 微腔的谐振波长以及因此微腔的透射率都强烈地依赖于腔室介质的折射率。腔室的谐振频率可以通过将一部分腔室从一种 Si 的同素异形体转化为另一种而被调整为与特定波长的入射辐射相匹配。

[0080] 转至图 14，示出了通常标记为 1400 的一种构造光学器件的方法。在步骤 1410，提供基板，基板具有设置在其上的半导体材料层。在此以及在权利要求中，“提供”是指器件、基板、结构元件等可以由实现所公开方法的个人或商业实体制造，或者因此从不同于个人或商业实体的来源获得，包括另外的个人或商业实体。材料层可设置用于接收输入光学信号，并且包括具有第一类型形态的半导体材料区域。

[0081] 在步骤 1420，半导体材料区域被转化为不同于第一类型的第二类型形态。转化例如可以通过用电磁辐射照射或者电加热完成。转化改变了包括所述区域的光路的传播特性。如本文中的各个实施例所述，形态的转化可以相对于波导芯层区域中或者是相对于靠近芯层区域的波导覆层区域中的一部分半导体材料进行。

[0082] 本申请所涉及领域的技术人员应该意识到可以对所述实施例进行其他和更多的增加、删除、替换和改变。

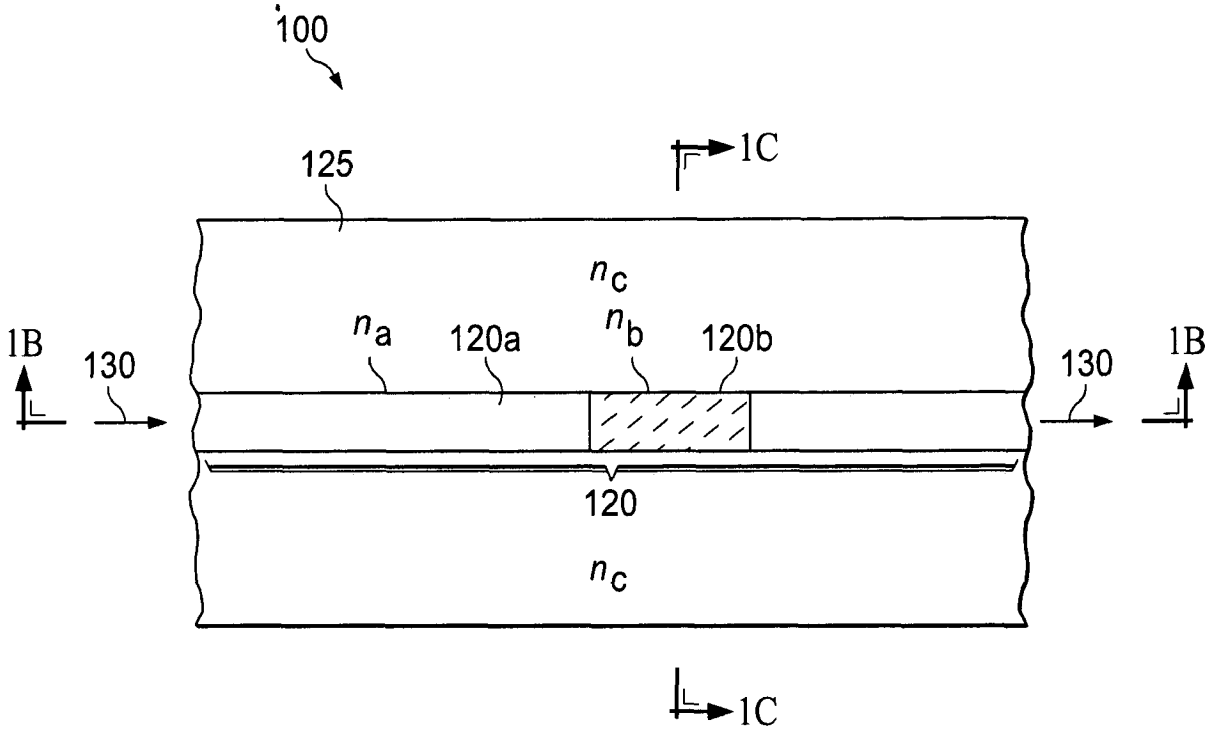

100
125
1C
n_c
n_a
120a
n_b
120b
1B
130
130
1B
120
n_c
1C

图 1A

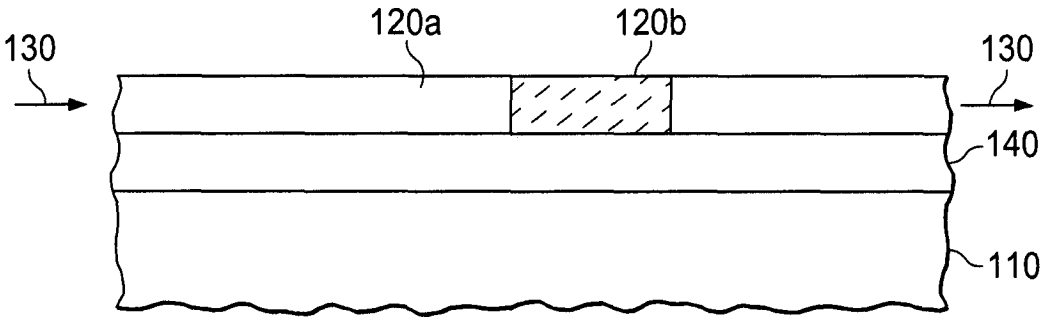

120a
120b
130
130
140
110

图 1B

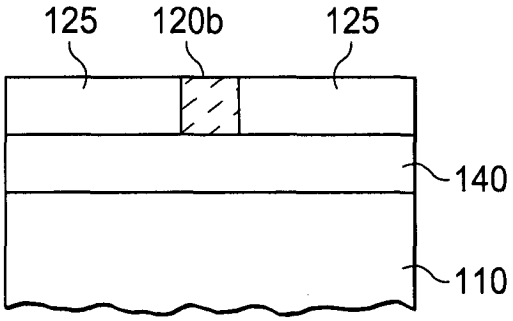

125
120b
125
140
110

图 1C

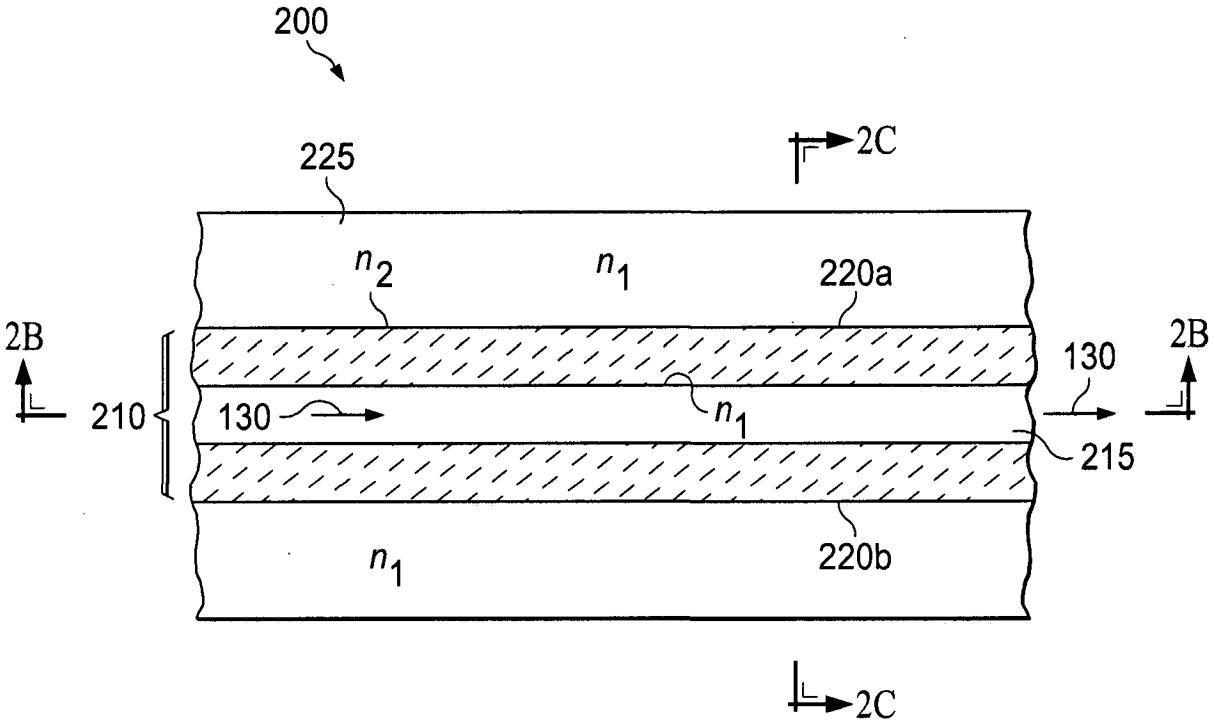

200
225
2C
n_2
n_1
220a
2B
130
2B
210
130
n_1
215
n_1
220b
2C

图 2A

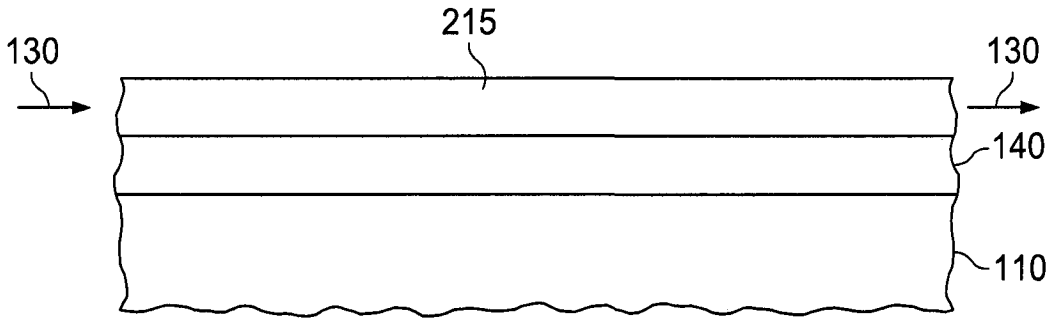

215
130
130
140
110

图 2B

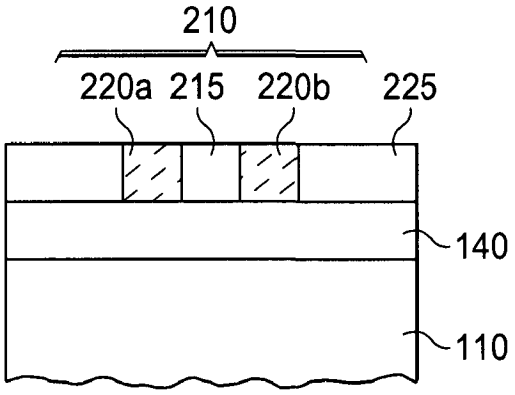


图 2C

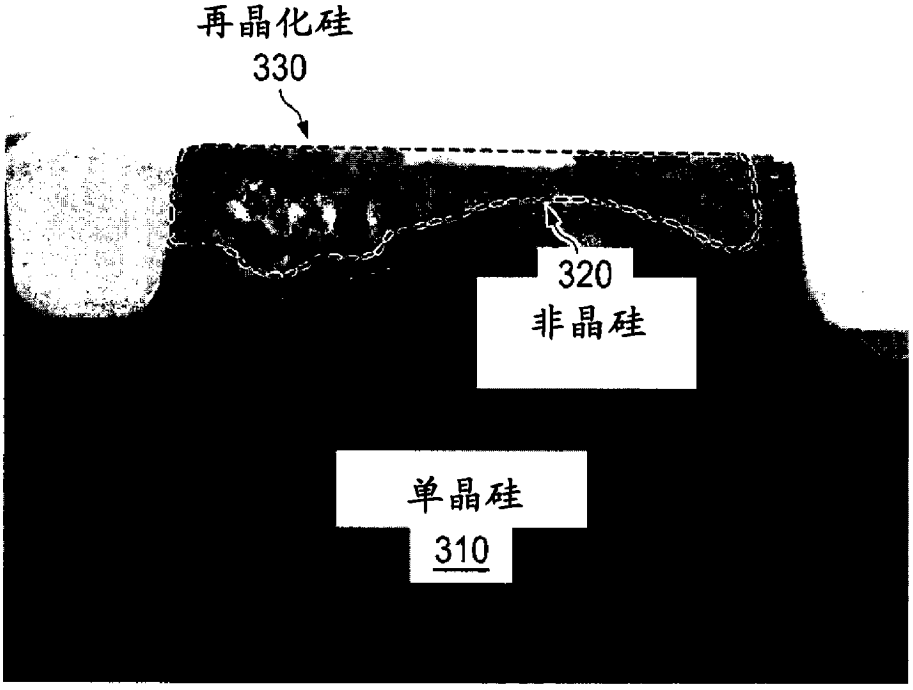


图 3

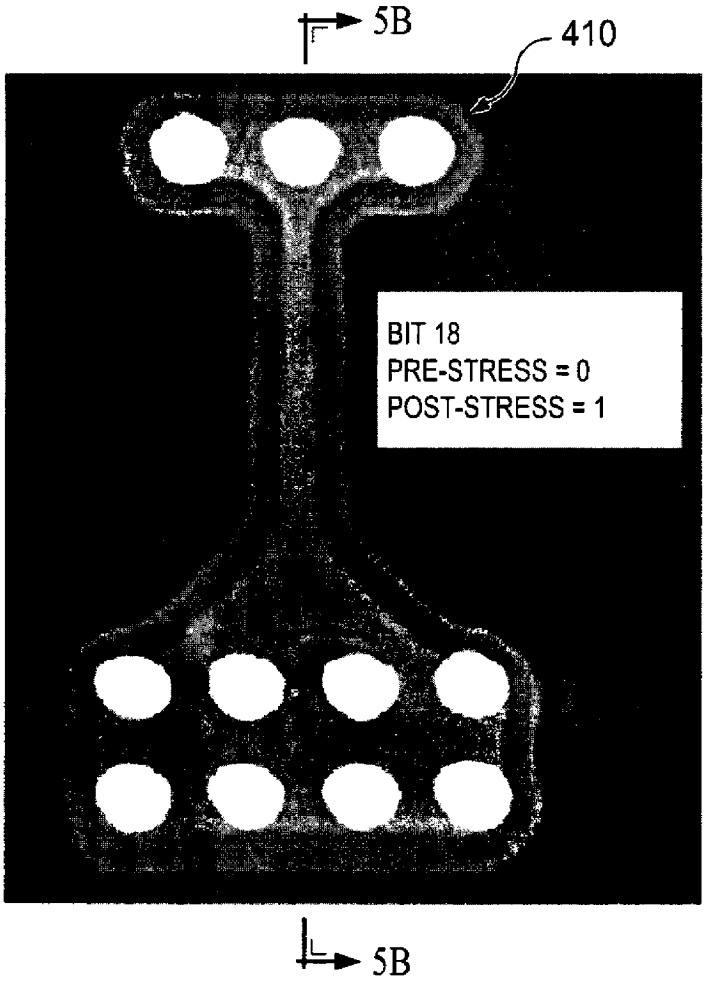


图 4

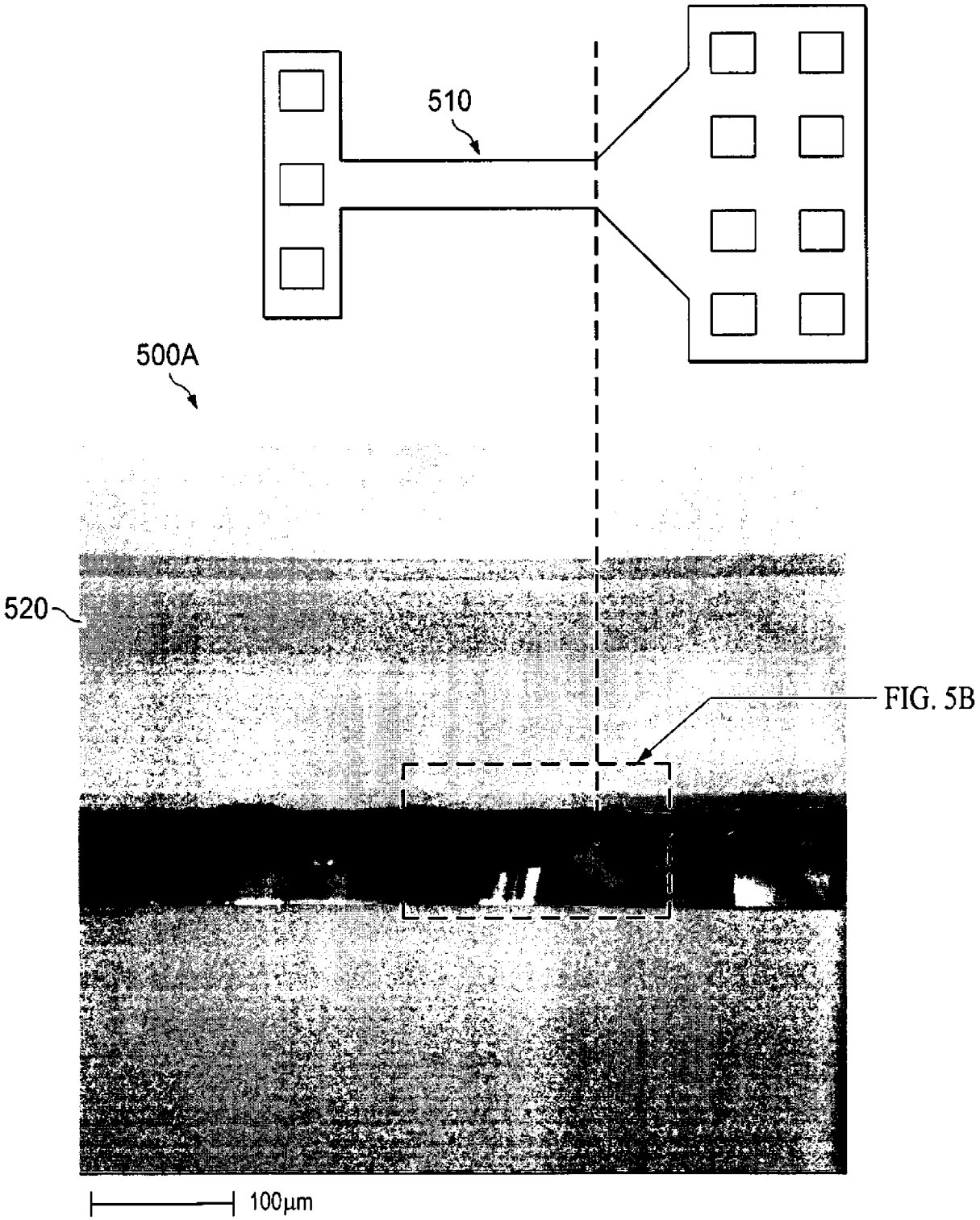


图 5A

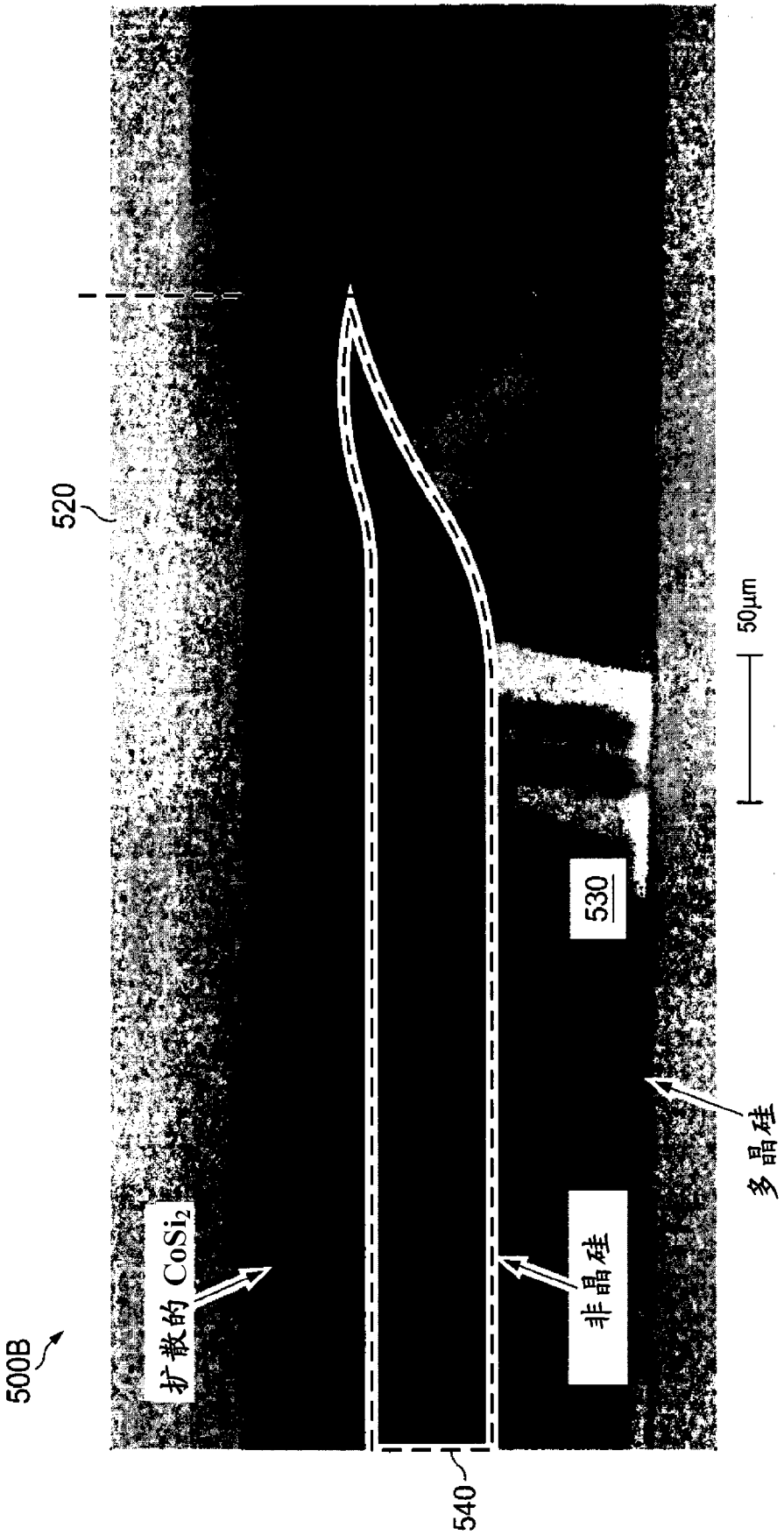


图 5B

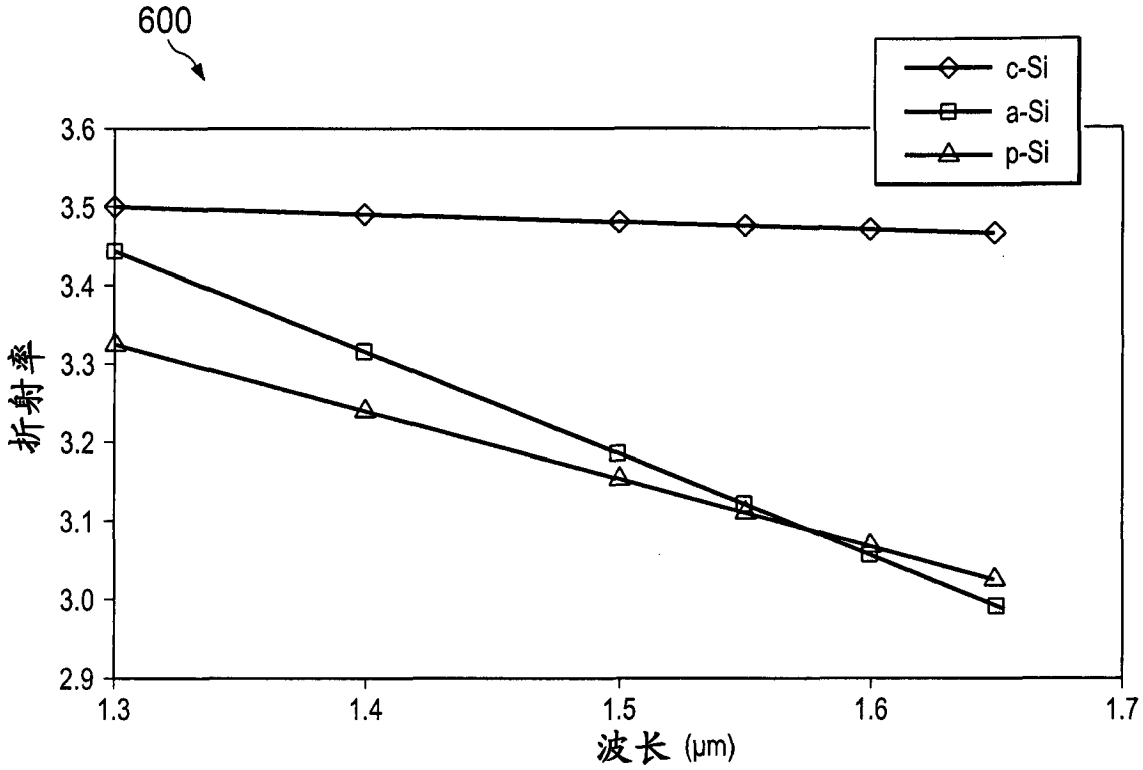


图 6

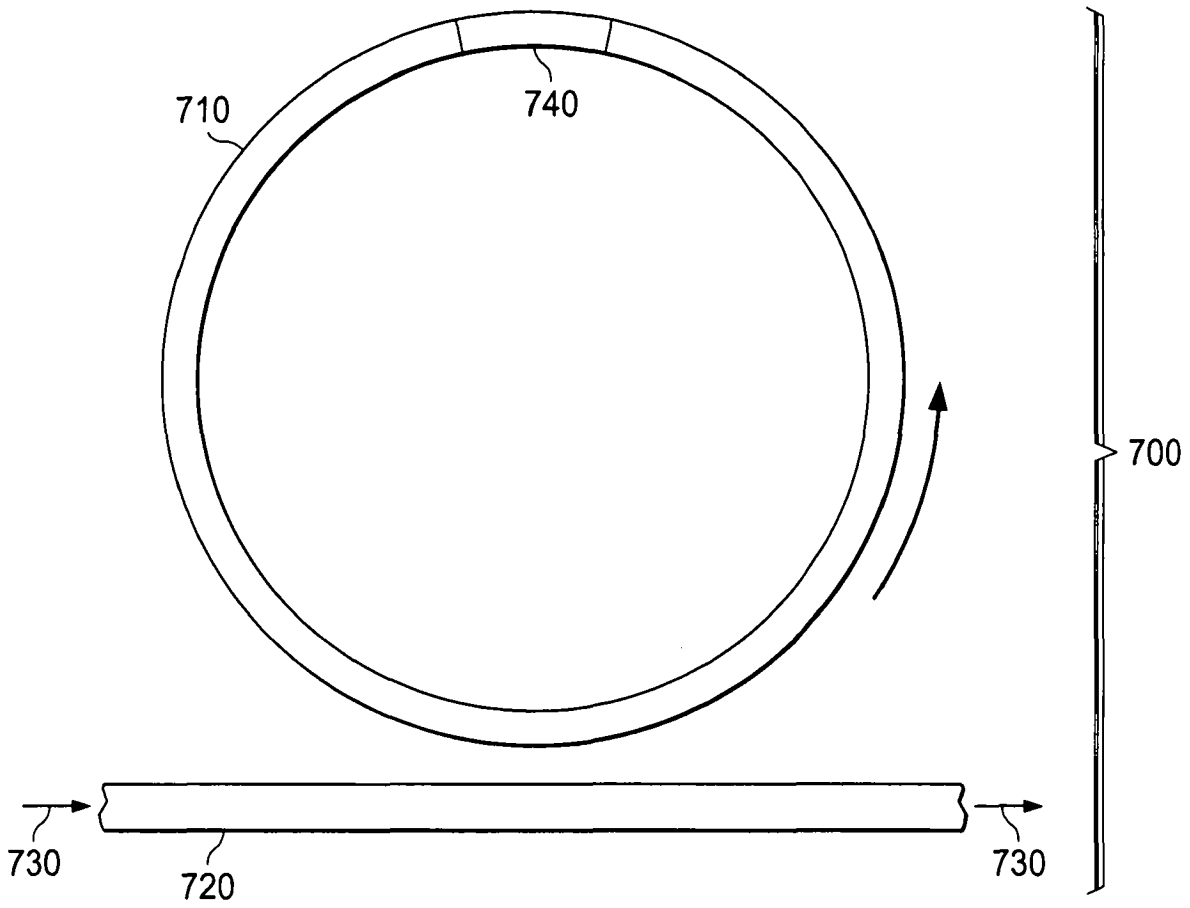


图 7

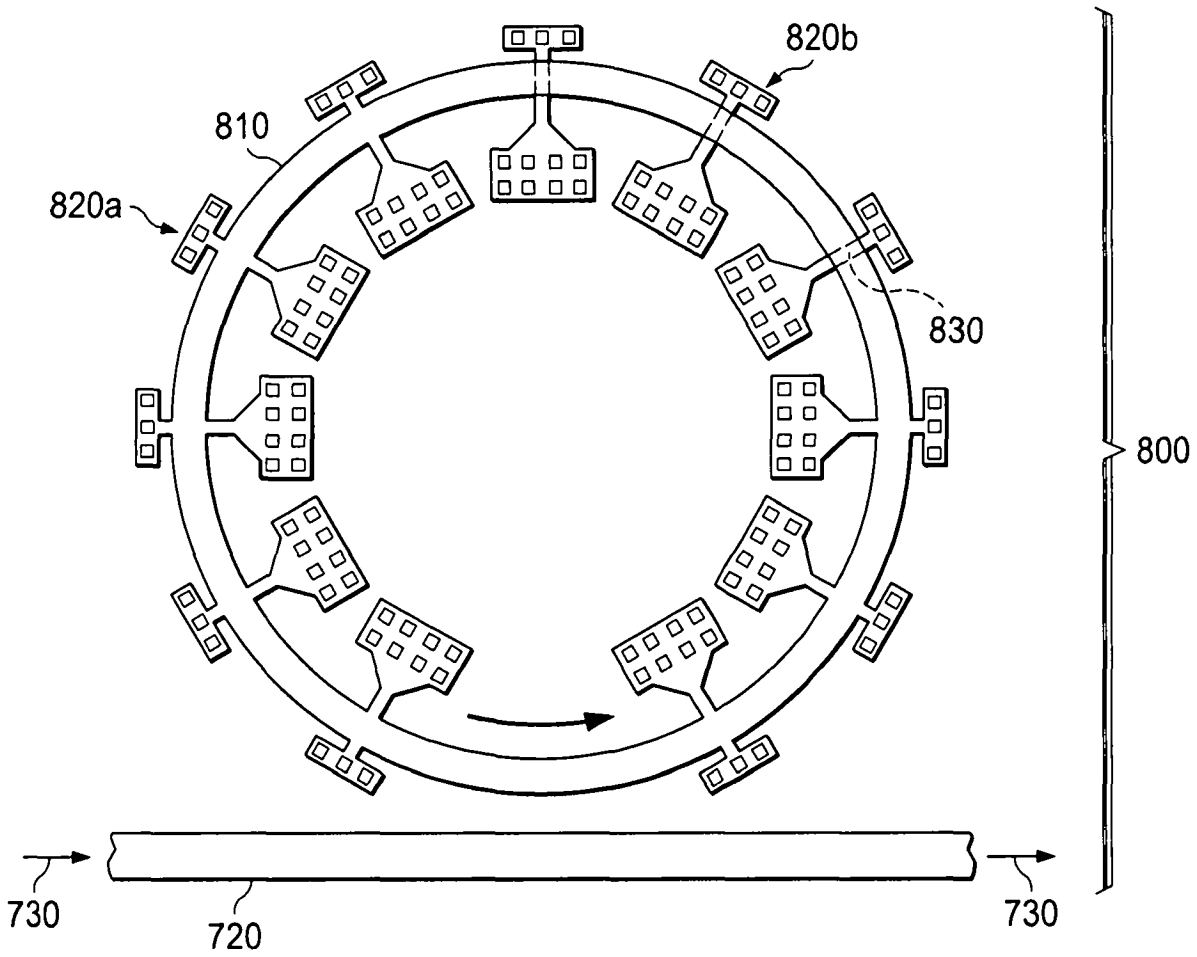


图 8

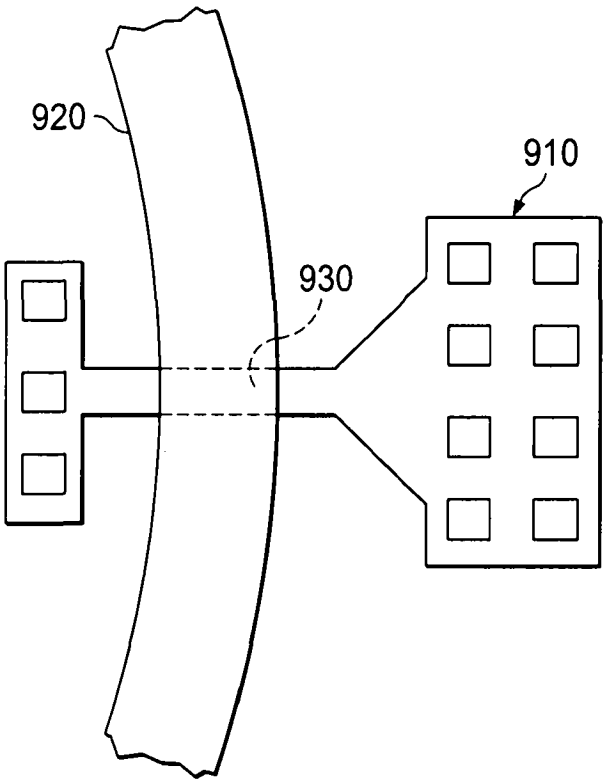

920
910
930

图 9

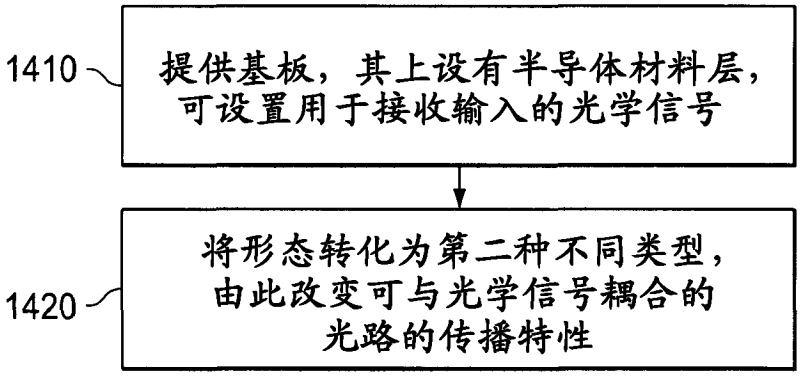

1410
提供基板，其上设有半导体材料层，可设置用于接收输入的光学信号
1420
将形态转化为第二种不同类型，由此改变可与光学信号耦合的光路的传播特性

图 14

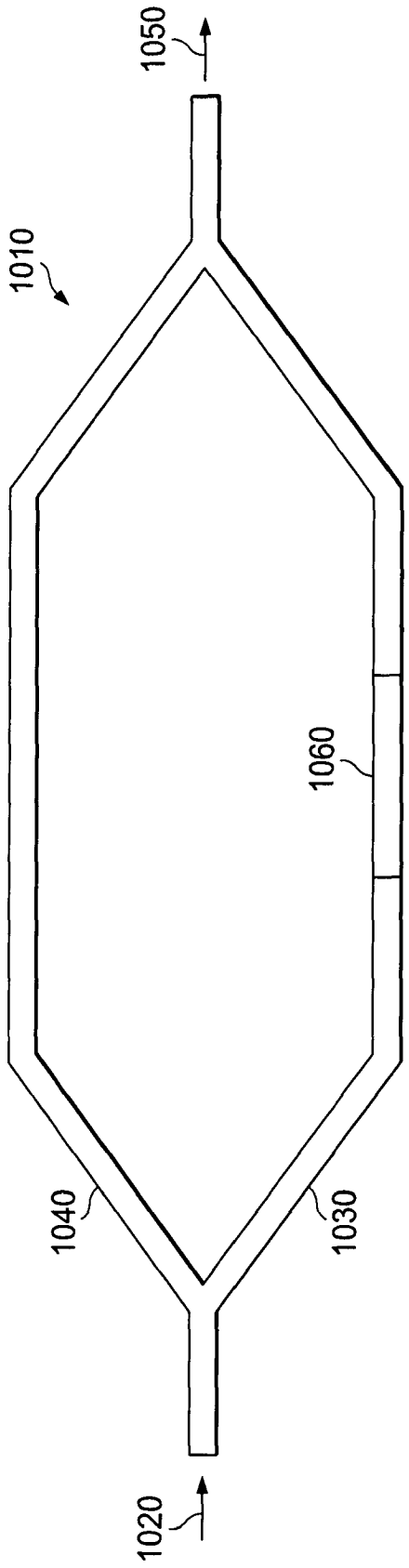

1050
1010
1060
1040
1030
1020

图 10

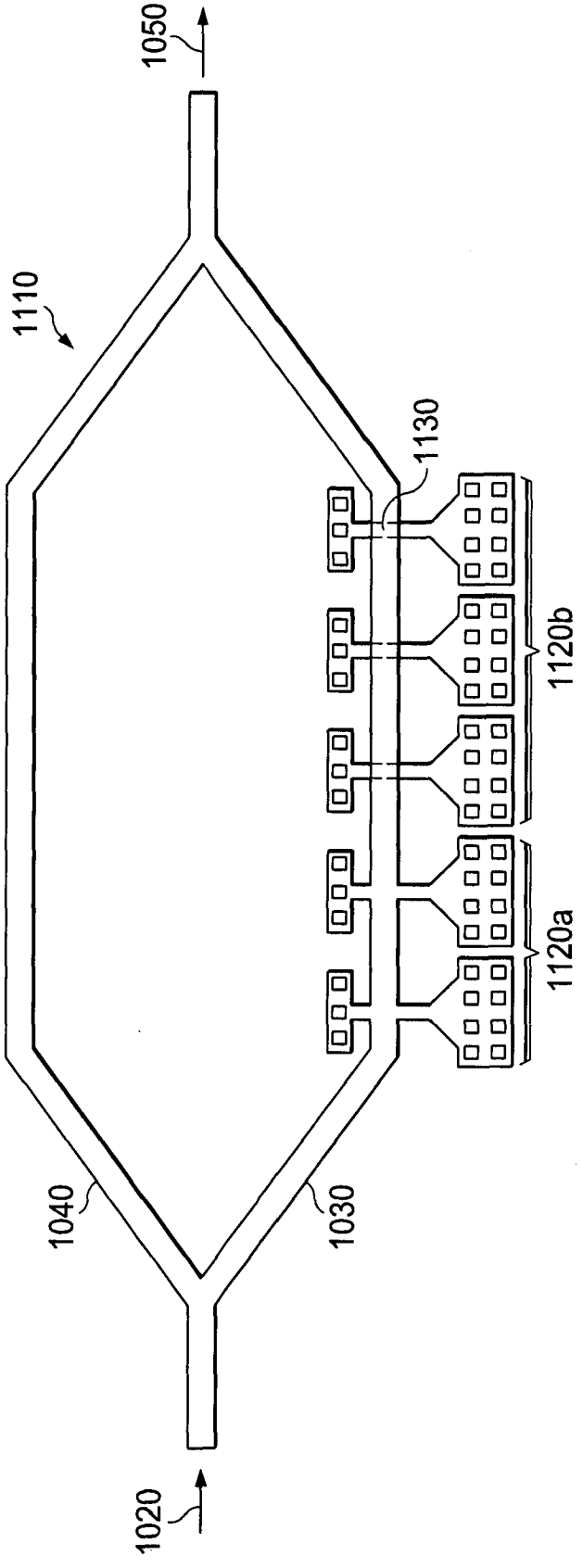

1050
1110
1130
1120b
1120a
1040
1030
1020

图 11

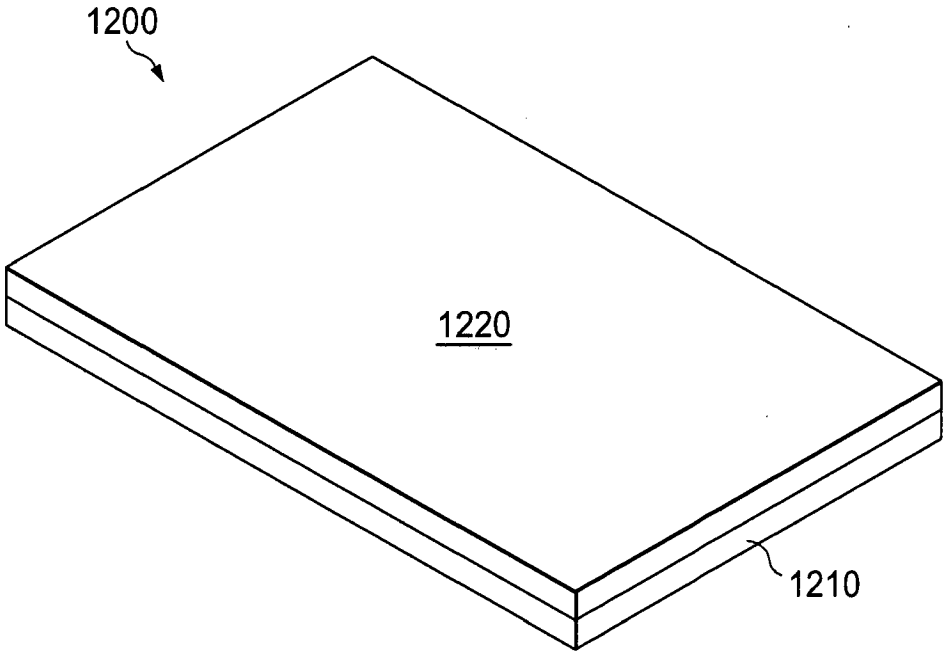


图 12A

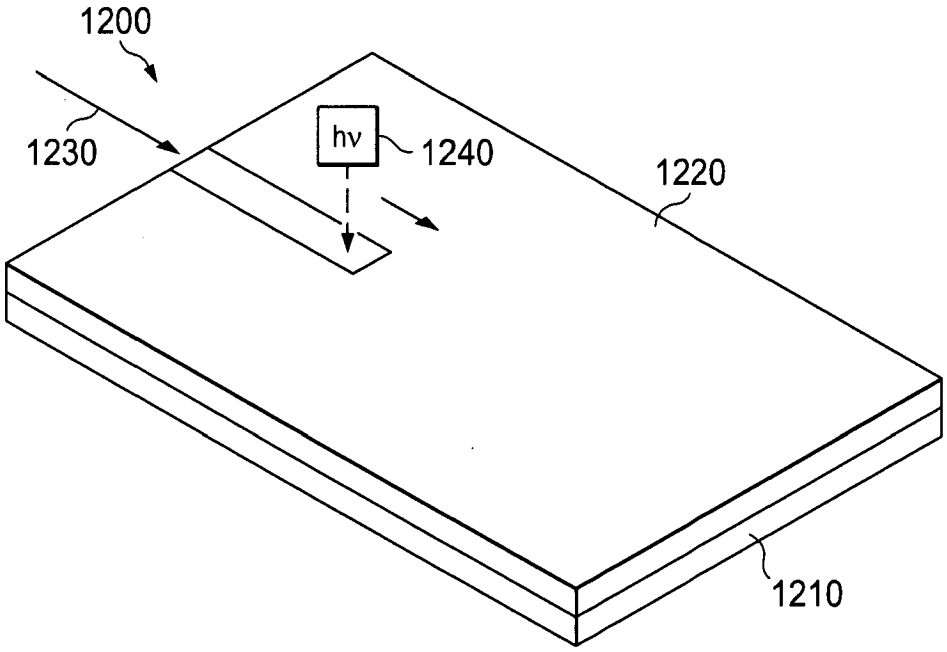


图 12B

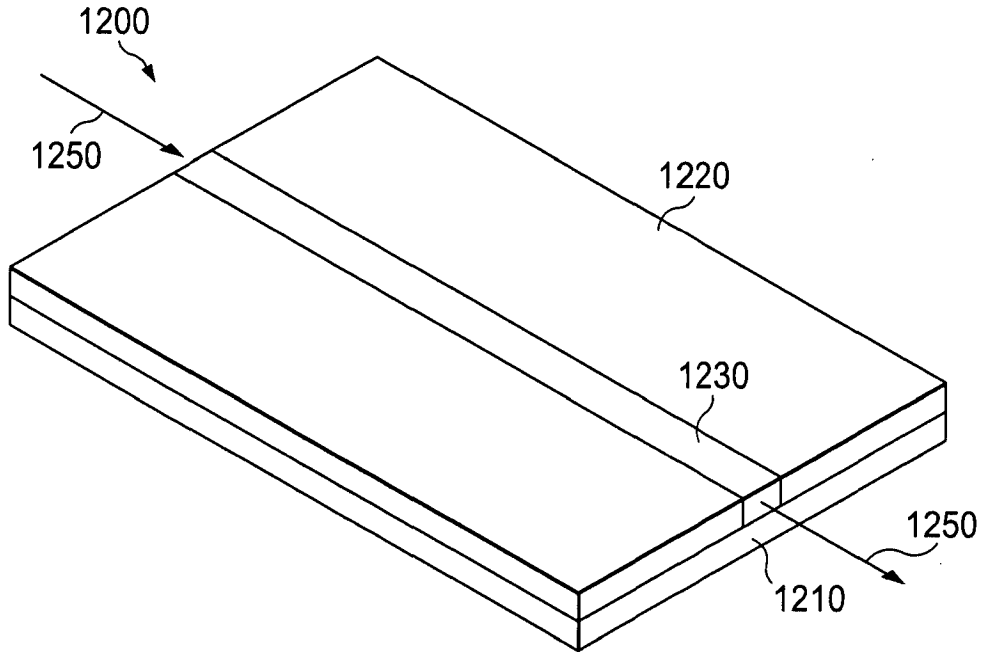


图 12C

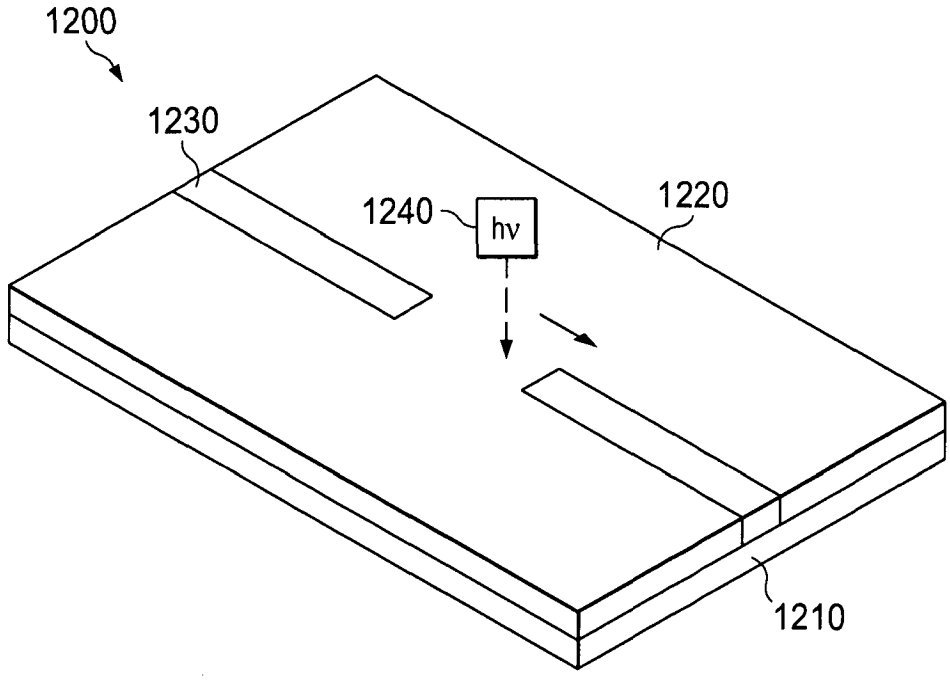


图 12D

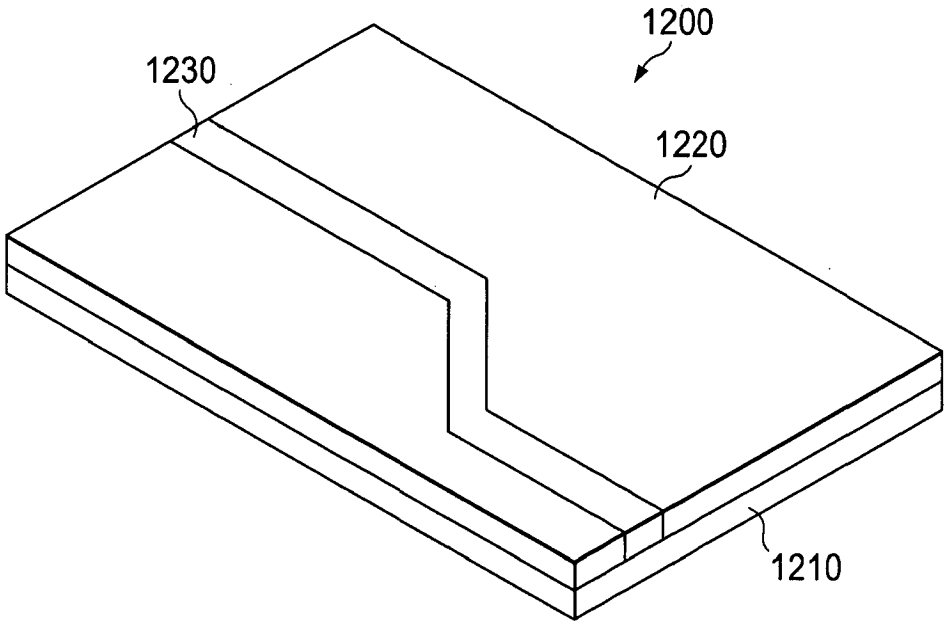


图 12E

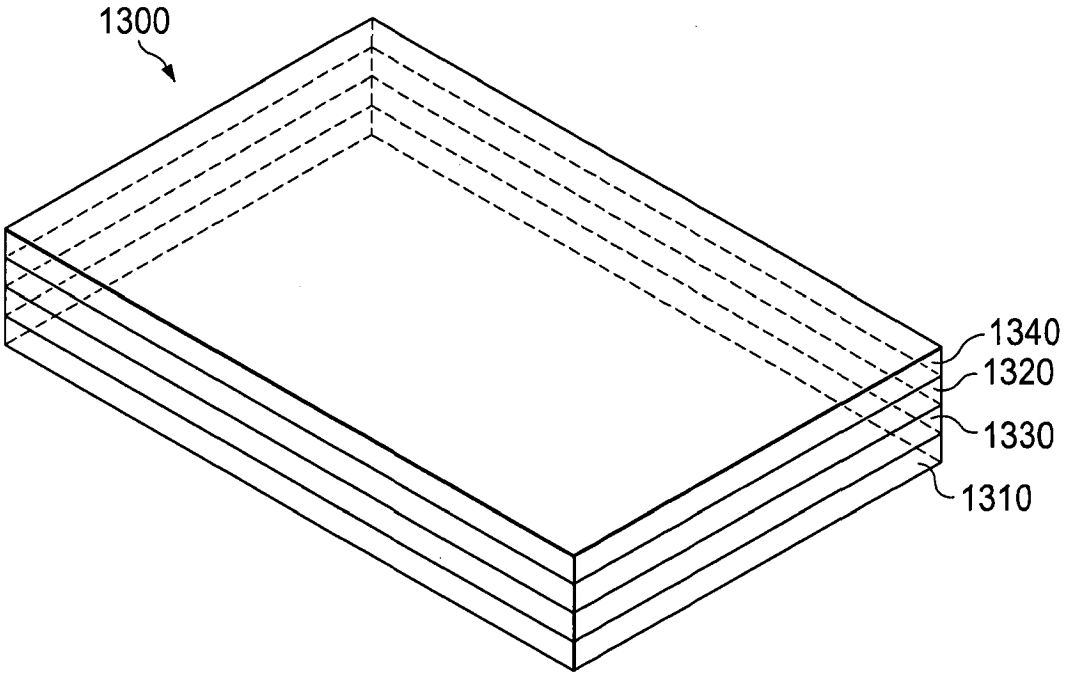


图 13A

14/14

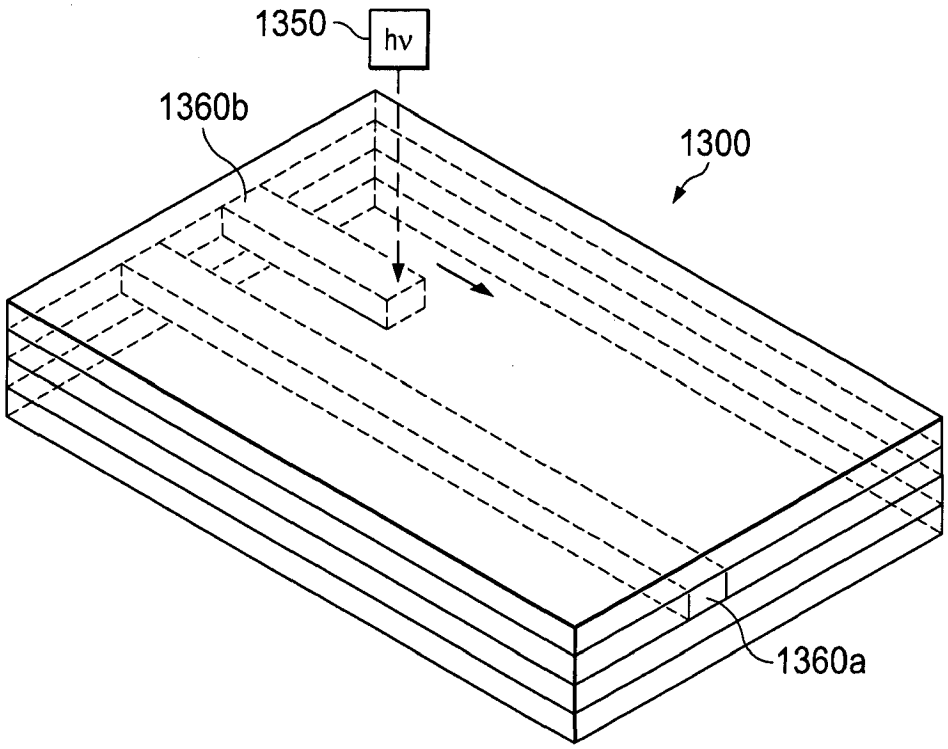


图 13B

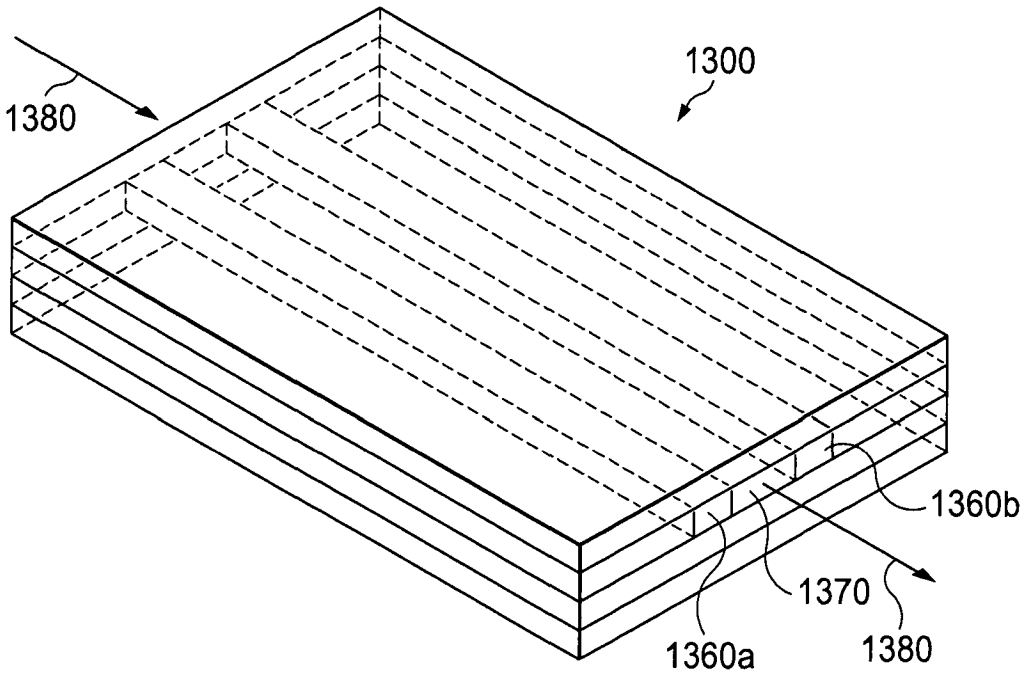


图 13C