



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102790356 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 09

(21) 申请号 201210148481. 1

(22) 申请日 2012. 05. 14

(30) 优先权数据

2011-110888 2011. 05. 17 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 小山泰史

(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 曹瑾

(51) Int. Cl.

H01S 5/20(2006. 01)

(56) 对比文件

WO 2008/012527 A1, 2008. 01. 31, 全文.

US 2011/0101250 A1, 2011. 05. 05, 全文.

审查员 于晓芳

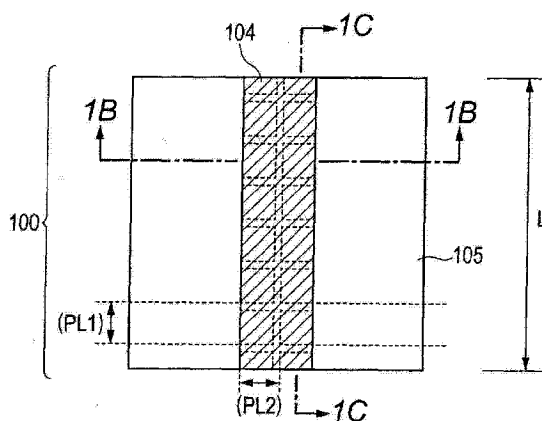
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

波导、包括波导的装置和波导的制造方法

(57) 摘要

本公开涉及波导、包括波导的装置和波导的制造方法。提供一种能够抑制由于制造过程等在初始阶段或操作中在半导体中导致的应变和缺陷,以实现诸如振荡特性的特性的改善和稳定化的波导以及该波导的制造方法。波导包括:由相对于波导模式的电磁波介电常数的实部为负的负介电常数介质构成的第一导体层和第二导体层;和与第一导体层和第二导体层接触并被设置在其间并包含半导体部分的芯层。至少第一导体层具有沿面内方向延伸的特定的凹凸结构。



1. 一种波导 (107), 包括 :

第一导体层 (103) 和第二导体层 (104), 由相对于波导模式的电磁波其介电常数的实部为负的负介电常数介质构成 ; 和

芯层 (102), 与第一导体层和第二导体层接触并被设置在二者之间, 并且包含半导体部分 (101),

其中, 至少第一导体层具有凹凸结构, 其中, 沿第一导体层的厚度方向凹陷的凹部 (110) 沿第一导体层的面内方向被布置在相邻的凸部 (109) 之间,

其特征在于, 以下要求中的至少一个被满足 :

1) 在凹凸结构中, 凹部沿与波导模式中的电磁波的传播方向垂直的、第一导体层的面内方向被布置在相邻的凸部之间 ;

2) 凹凸结构具有小于 $\lambda_g/2$ 的间距长度, 其中, $\lambda_g = \lambda/n_e$, λ 是电磁波的波长, 并且 n_e 是波导的等效折射率 ; 以及

3) 凹凸结构具有小于 $100\ \mu\text{m}$ 的间距长度, 并且凹凸结构具有在接近波导的端面时逐渐改变的疏密度。

2. 根据权利要求 1 的波导, 其中, 周期性地布置凹凸结构的凹部和凸部。

3. 根据权利要求 1 的波导, 其中, 凹凸结构的凹部至少被布置在要成为振荡模式的共振电场中的节点的位置。

4. 根据权利要求 1 的波导, 其中, 第二导体层具有沿第一导体层的面内方向延伸的凹凸结构。

5. 根据权利要求 1 的波导, 其中, 芯层具有用于通过载流子的子带间跃迁产生太赫兹波的多重量子阱结构。

6. 根据权利要求 1 的波导, 其中, 基板、第一导体层、芯层和第二导体层依次层叠。

7. 一种使用电磁波的装置, 包括 :

在权利要求 1 中限定的波导 ; 和

运算单元, 用于检测与样品交互的电磁波, 并基于检测信号计算样品的状态。

8. 一种根据权利要求 1 的波导的制造方法, 该方法包括 :

制备在其上表面上具有半导体层的第一基板 ;

通过具有沿第一导体层的面内方向延伸的凹凸结构的第一导体层, 将半导体层转移到第二基板的上表面上 ; 以及

在半导体层的上表面上形成第二导体层。

9. 一种制造包括通过根据权利要求 8 的方法制造的波导的振荡器的方法, 其中, 半导体层形成为具有电磁波增益的半导体层, 并且波导形成为振荡器的共振器。

波导、包括波导的装置和波导的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种波导及其制造方法。具体而言,本发明涉及用于从毫米波带到太赫兹波带(30GHz ~ 30THz)的频带中的电磁波(以下,也称为太赫兹波)的波导。

背景技术

[0002] 在太赫兹波的频带中,存在源自其结构和状态的生物材料、药品和电子材料等的许多有机分子的吸收峰。并且,太赫兹波很容易穿透诸如纸、陶瓷、树脂和布的材料。近年来,对于利用太赫兹波的这种特性的成像技术和感测技术进行了研究和开发。例如,期望将其应用于替代 X 射线装置的安全荧光透视检查装置和制造过程中的线上非破坏性检查装置等。

[0003] 作为电流注入型太赫兹波光源,使用基于半导体量子阱结构中的电子的子带间跃迁的电磁波增益的结构处于研究之中。Appl. Phys. Lett. 83, 2124 (2003) 提出了集成已知为低损失波导的双侧金属波导(以下,也称为 DMW)作为共振器的太赫兹波带量子级联激光器(以下,也称为 QCL)。通过将感应发射的太赫兹波引向在由约 10 μm 的厚度的半导体薄膜形成的增益介质上下设置金属的处于表面等离子体激元模的共振器结构,该元件通过优异的光束束缚和低损失传播获得约 3THz 的激光振荡。

[0004] 另一方面,已知多量子阱结构由于其被施加应变(strain)而改变特性。在 Sensors and Actuators, A, 143(2008), 230-236 中,报告了共振隧穿二极管(以下,也称为 RTD)由于被施加应变而改变特性。在 Sensors and Actuators, A, 143(2008), 230-236 中,观察到约 100MPa 的应力下的约两倍的负微分电阻变化。并且,公开了美国专利 No. 7693198 所述的具有波导的激光器件。

[0005] 在 Appl. Phys. Lett. 83, 2124 (2003) 中公开的 DMW 具有两个金属层夹着具有约 10 μm 的厚度的半导体薄膜的结构,并且,通过使用金属接合技术等将半导体薄膜转移到不同基板上制造 DMW。另一方面,众所周知,由于制造过程,层叠具有不同的晶格常数和不同的热膨胀系数的薄膜材料的结构易于在其中导致残余应力。因此,在常规的结构中,由于制造过程等导致的应变或缺陷可改变作为增益介质的半导体薄膜的特性以导致振荡特性的劣化或不稳定。

发明内容

[0006] 鉴于上述问题,提出本发明。根据本发明的波导包括:由相对于波导模式的电磁波其介电常数的实部为负的负介电常数介质构成的第一导体层和第二导体层;芯层,与第一导体层和第二导体层接触并被设置在二者之间,并包含半导体部分。至少第一导体层具有沿面内方向延伸的凹凸结构,此外,满足以下要求中的至少一个:(1)凹凸结构沿与波导模式的电磁波的传播方向垂直的方向布置,并具有多个凸部;(2)凹凸结构具有小于 $\lambda_g/2$ 的间距长度,其中, $\lambda_g = \lambda/n_e$, λ 是电磁波的波长,并且 n_e 是波导的等效折射率;和(3)凹凸结构具有小于 100 μm 的间距长度。

[0007] 此外,鉴于上述的问题,提出本发明。根据本发明的波导的制造方法包括:制备在其上表面具有半导体层的第一基板;通过具有沿面内方向延伸的凹凸结构的第一导体层将半导体层转移到第二基板的上表面上;和在半导体层的上表面上形成第二导体层。

[0008] 在根据本发明的波导中,可以使用具有设置在其中的易于塑性变形的凹凸结构的第一导体层作为接合层,并因此可在相对低温和相对低负载下转移半导体膜。并且,通过设计凹凸结构中的凹部和凸部的尺寸和配置以满足以下三个条件中的任何一个,可抑制诸如 DMW 的波导对于共振电场等的影响:(1)凹凸结构沿与波导模式的电磁波的传播方向垂直的方向布置,并具有多个凸部;(2)凹凸结构具有小于 $\lambda_g/2$ 的间距长度,其中, $\lambda_g = \lambda/n_e$, λ 是电磁波的波长,并且 n_e 是波导的等效折射率;和(3)凹凸结构具有小于 $100\ \mu\text{m}$ 的间距长度。这实现诸如振荡器的元件,该振荡器在保持共振结构等的同时通过减少成为要解决的问题的诸如活性层的半导体部分的由转移导致的残余应变,在诸如太赫兹波带的频带中稳定地工作。以这种方式,可以提供减少由于制造过程等导致的应变和缺陷、并且在诸如太赫兹波带的频带中稳定地工作的半导体元件和该半导体元件的制造方法。

[0009] 参照附图阅读示例性实施例的以下说明,本发明的其它特征将变得明显。

附图说明

[0010] 图 1A、图 1B 和图 1C 是示出根据本发明的实施例和例子 1 的元件的示意图。

[0011] 图 2A、图 2B、图 2C、图 2D、图 2E、图 2F 和图 2G 是示出根据本发明的实施例的元件的各种类型的变更例的示意图。

[0012] 图 3A、图 3B、图 3C 和图 3D 是示出根据本发明的元件的制造方法的例子的示意图。

[0013] 图 4A、图 4B 和图 4C 是示出根据本发明的例子 2 的元件的示意图。

[0014] 图 5A、图 5B 和图 5C 是示出根据本发明的例子 3 的元件的示意图。

[0015] 图 6A、图 6B 和图 6C 是示出根据本发明的例子 4 的元件的示意图。

[0016] 图 7 是示出使用根据本发明的实施例和例子的元件的应用例的示意图。

具体实施方式

[0017] 本发明涉及包含夹在用于限定波导的负介电常数介质的两个导体层之间的芯层的波导,其中,导体层中的至少一个具有沿面内方向延伸的凹凸结构。此外,满足以下要求中的至少一个:(1)凹凸结构沿与波导模式的电磁波的传播方向垂直的方向布置,并具有多个凸部;(2)凹凸结构具有小于 $\lambda_g/2$ 的间距长度,其中, $\lambda_g = \lambda/n_e$, λ 是电磁波的波长,并且 n_e 是波导的等效折射率;和(3)凹凸结构具有小于 $100\ \mu\text{m}$ 的间距长度。

[0018] 凹凸结构可以是沿厚度方向通过导体层的贯通沟槽、通过沿厚度方向下挖到导体层的中途获得的封闭(blind)的沟槽、或设置在导体层中的中空部分等。由沟槽或中空部分形成的凹部可为原样的空间,并且可以是填充有物质的空间。根据本发明,可通过易于塑性变形的导体层的凹凸结构实施低温低负载下的接合,并且,只要可以实施这种接合,就可以在导体层中形成任何类型的凹凸结构。根据本发明的波导可被用于电磁波的简单波导,并且,如后面的实施例和例子中描述的那样,波导的芯层可具有电磁波增益部分,以形成振荡器、电磁波检测元件、电磁波放大元件等。并且,为了进一步增强本发明的效果,导体层和芯层中的另一个可具有沿面内方向延伸的凹凸结构,使得可进一步抑制在芯层的半

导体部分中导致的应变和缺陷。

[0019] 以下参照附图描述根据本发明的实施例和例子的波导、包含该波导的元件、和该波导的制造方法。

实施例

[0020] 参照图 1A ~ 1C 描述包括根据本发明的实施例的波导的振荡器 100。图 1A 是平面图,图 1B 是沿图 1A 的线 1B-1B 切取的断面图,而图 1C 是沿图 1A 的线 1C-1C 切取的断面图。

[0021] 振荡器 100 是具有波导 107 作为共振器的激光器件,波导 107 包含具有电磁波增益的芯层 102、和作为相对于波导模式的电磁波其介电常数的实部为负的负介电常数介质的导体层的第一金属层 103 和第二金属层 104。振荡器 100 被安装在基板 105 上。在本实施例中,波导 107 是被称为 DMW 的光学波导,其中,作为彼此相邻的包层的第一金属层 103 和第二金属层 104 夹着芯层 102。第一金属层 103 与第二金属层 104 之间的距离小至 $\lambda_g/2$ 或更小、优选小至 $\lambda_g/10$ 或更小,其中, λ_g 是振荡模式中的振荡器 100 的波导波长。以这种方式,太赫兹波的频带中的电磁波在不存在衍射限制的表面等离子体激元模式中贯穿波导 107 传播。波导波长 λ_g 由 $\lambda_g = \lambda/n_e$ 表示,其中, λ 是电磁波的波长,并且 n_e 是波导 107 的等效折射率。并且,为了以 λ_g 的波导波长获得振荡模式,如在半导体激光技术领域已知的那样,作为电磁波的传播方向的波导 107 的纵向的长度 L 被设为 $\lambda_g/2$ 的整数倍。

[0022] 芯层 102 包含作为具有用于通过载流子的子带间跃迁产生太赫兹波的多量子阱结构的半导体部分的活性层 101,并且具有太赫兹波的频带中的电磁波增益。作为活性层 101,例如,共振隧穿结构或具有几百到几千个层的半导体多层结构的量子级联激光结构是合适的。本实施例被描述为使用共振隧穿结构(RTD)作为活性层 101 的情况。RTD 在负微分电阻区域中具有基于光子辅助隧穿现象的毫米波到太赫兹波的频带中的电磁波增益。在芯层 102 中,可分别在活性层 101 之上和之下设置用于连接活性层 101 与第二金属层 104 以及与第一金属层 103 的重度掺杂半导体层。

[0023] 如上所述,第二金属层 104 和第一金属层 103 分别位于芯层 102 之上和之下。从基板 105 侧依次层叠第一金属层 103、芯层 102 和第二金属层 104。芯层 102 与第一金属层 103 和第二金属层 104 机械接触和电接触。这允许作为活性层 101 的 RTD 通过在第一金属层 103 和第二金属层 104 之间施加的电压而被驱动。第一金属层 103 具有沿其面内方向延伸并且其中周期性地布置凹部和凸部的微细凹凸结构。这里使用的凹凸结构指的是例如在金属层的一部分中形成的沟槽、空穴、柱状结构、突起结构或不贯通金属层的凹陷结构。换句话说,第一金属层 103 具有在其中形成的沿面内方向延伸的凹凸结构的图案。例如,在图 1A ~ 1C 的情况下,凹凸结构中的凸结构 109 和凹结构 110 分别与厚度方向的金属部分和通孔对应。在这种情况下,第一金属层 103 由以矩阵图案布置的多个凸块形成。具有凹凸结构的图案的金属膜比平滑和连续的金属膜更易于塑性变形,因此,通过如在本实施例中那样使用第一金属层 103 作为接合层,可以实施低温低负载下的接合。

[0024] 特别地,本实施例的特征是凹凸结构。具体而言,其特征在于以下的三个特征:(1)凹凸结构沿与波导模式的电磁波的传播方向垂直的方向布置,并具有多个凸部;(2)凹凸结构的间距长度小于 $\lambda_g/2$,其中, $\lambda_g = \lambda/n_e$, λ 是电磁波的波长,并且 n_e 是波导的等

效折射率；和(3)凹凸结构的间距长度小于 $100\ \mu\text{m}$ 。通过设置这种结构，凹凸结构可被视为可忽略反射、散射、折射等对于波导模式中的电磁波的影响的结构。

[0025] 作为凹凸结构的图案，优选微细并且具有高的纵横比(高度方向的长度与横向的长度的比)的结构。这是由于，在这种结构中，应力易于集中，并且塑性滑移(slip)中的位错线(dislocation line)易于消失，因此，该结构变得更易于塑性变形。具体而言，优选各方向的凹凸结构的凹部和凸部的宽度和高度在约 $100\ \mu\text{m}$ ~ 约 $0.1\ \mu\text{m}$ 的范围中。上限是从可在半导体制造过程中形成的薄膜的厚度被估计为约 $100\ \mu\text{m}$ 的事实而确定的。下限是从波导 107 在第一金属层 103 的厚度大于或等于太赫兹波的表皮深度的深度(约 $0.2\ \mu\text{m}$)时用作等离子体激元波导的事实确定的。并且，当纵横比大于或等于 0.5 时，该结构更易于塑性变形。但是，本发明不限于此，并且只要在第一金属层 103 中形成凹凸结构的图案，就可期望实现一定程度的效果。

[0026] 优选凹凸结构的图案的尺寸为振荡器 100 的振荡模式中的波导波长 λ_g 或更小，并且一般地， $\lambda_g/2 \sim \lambda_g/20$ 的范围是合适的。这与根据本实施例的振荡器 100 操作的太赫兹波的频带中的 $100\ \mu\text{m} \sim 0.1\ \mu\text{m}$ 的范围等同，并且基本上与上述的范围一致。原因是，由于尺寸为波长的 $1/10$ 的结构可一般被视为可忽略反射、散射、折射等对于该波长的电磁波的影响的结构，因此可以减少凹凸结构对于共振电场的影响。并且，关于凹凸结构中的凹部和凸部的图案，可参照振荡模式中的共振电场周期性地布置凹部和凸部。例如，当在要成为共振电场中的节点的位置处布置凹凸结构中的凹部时，不管凹凸结构的尺寸如何，都可减少对于共振电场的影响，因此，有望改善振荡特性。例如，在图 1A ~ 1C 所示的情况下，在要成为振荡模式中的共振电场中的节点的位置处以 $\lambda_g/2$ 的间距周期性地布置凹结构 110。

[0027] 可使用通过使用金属接合技术等将在某基板上生长的半导体薄膜转移到另一基板上的薄膜转移过程，形成金属薄膜如在 DMW 结构中那样夹着半导体薄膜的结构。在该制造过程中，由于热膨胀系数差导致的热应力或接合界面周围的应力集中会在半导体薄膜中导致应变。例如，制造过程的热滞后可在半导体薄膜中导致约 $\pm 1\text{GPa}$ 的范围内的残余应力(约 $0.1 \sim 1\%$ 的范围内的残余应变)。在根据本实施例的元件中，使用具有设置在其中的易于塑性变形的微细凹凸结构的第一金属层 103 作为接合层，并因此可在低温下以低的负载实施上述的转移过程。并且，通过设计凹凸结构中的凹部和凸部的尺寸和布置，抑制 DMW 对于共振电场的影响。这使得能够在保持共振结构的同时减少作为要被解决的问题的活性层 101 的转移引起的残余应变。因此，可望实现在诸如太赫兹波带的频带中稳定地工作的元件。

[0028] 图 2A ~ 2G 是示出本实施例的元件的变更例的示图。根据本发明，该结构可如振荡器 200 或振荡器 300 那样使得在第一金属层 103 中形成多个沟槽(沿厚度方向挖到第一金属层 103 的中途的封闭(blind)的沟槽 210 和 310)的图案，或者可使得第一金属层如振荡器 400 那样具有多个中空部分 410 的图案。在振荡器 200 和振荡器 400 的结构中，与芯层接触的第一金属层是平滑的，并且不管布置和尺寸如何，都减少凹凸结构(包含凸部 209、309 或 409)对共振电场的影响。在这种情况下，当第一金属层的平滑部分比太赫兹波的表皮深度深时，对于共振电场的影响进一步减少。

[0029] 并且，如振荡器 500 和 700 那样，该结构可使得芯层不连续，并且，如振荡器 600 和振荡器 700 那样，该结构可使得第二金属层也具有布置于其中的凹凸结构。并且，当芯层不

连续时,通过在其中布置电介质或绝缘体的间隔件 513 或间隔件 713,元件变得在机械上更稳定。在图 2A ~ 2G 中,第一金属层具有凸部 509、609 或 709 和凹部 510、610 或 710,并且第二金属层具有凸部 611 或 711 和凹部 612 或 712。并且,当该结构使得通过将具有凸结构的金属层 803a 配入具有凹结构的金属层 803b 中形成第一金属层 803 时,该结构易于塑性变形,并因此可实施低温低负载下的接合。

[0030] 现在参照图 3A ~ 3D 描述波导的制造方法的例子。该制造方法包括通过具有凹凸结构的第一金属层在第一基板和第二基板上接合半导体层的步骤。具体而言,通过以下面的步骤制造在本实施例中描述的元件 100 和要成为元件的共振器的波导,可以减少由于制造过程等在初期或在操作中在半导体中导致的应变和缺陷。当半导体层包含具有电磁波增益的活性层时,制造包含波导作为共振器的振荡器 100。波导包含由彼此相邻的两个导体层构成使得其间的距离小于或等于波导波长 λ_g 的包层、和设置在导体层之间的半导体层的芯层。在包括以下步骤(A) ~ (D)的过程中制造波导:(A)制备在其上表面上具有半导体层 120 的第一基板 121 的步骤;(B)通过具有凹凸结构的第一金属层 123 在第一基板 121 和第二基板 122 上接合半导体层 120 的步骤;(C)使第一基板 121 与半导体层 120 分离的步骤;和(D)在第二基板 122 上的半导体层 120 的上表面上形成第二金属层 124 的步骤。

[0031] 如上所述,在本实施例中,即使通过作为包含不同类型的膜的材料的金属的层叠结构(导体层)/半导体部分/金属(导体层),也可在相对低温、相对低负载下转移半导体膜。因此,可以提供抑制由于制造过程等在半导体部分中导致的应变和缺陷的元件和该元件的制造方法。因此,根据本实施例,实现稳定地在太赫兹波的频带中工作的振荡器等。

[0032] 以下描述更具体的例子。

[0033] 例子 1

[0034] 现在参照图 1A ~ 1C 和图 3A ~ 3D 描述根据本发明的例子 1 的振荡器。在本例子中,作为具有用于通过子带间跃迁产生太赫兹波的多量子阱结构的活性层 101,使用按与 InP 基板匹配的晶格的基于 InGaAs/InAlAs 的共振隧穿二极管结构。活性层 101 具有从顶部依次层叠 n-InGaAs (50nm, $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、InGaAs (5nm)、AlAs (1.3nm)、InGaAs (7.6nm, *), InAlAs (2.6nm)、InGaAs (5.6nm, *), AlAs (1.3nm)、InGaAs (5nm) 和 n-InGaAs (50nm, $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 的半导体多层结构。在其厚度后面具有星号(*)的 InGaAs 层是要成为量子阱层的层,而没有星号(*)的基于 InAlAs 的材料要成为用于形成三重势垒共振隧穿结构的势垒层。不按与 InP 基板匹配的晶格的 AlAs 层比临界薄膜更薄,并且是高能量势垒。并且,在掺杂有高浓度载流子的顶部和底部的 n-InGaAs 层是用于对于共振隧穿结构注入/提取电子的发射极/集电极。被设置在发射极/集电极层与势垒层之间的 InGaAs (5nm) 层是用于防止作为掺杂材料的 Si 扩散的层。

[0035] 芯层 102 包含上述的活性层 101 和被设置在活性层 101 之上和之下并且掺杂有高浓度载流子的 n-InGaAs 层 ($1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)。掺杂层以相对较低的电阻连接芯层 102 与分别设置在芯层 102 之上和之下的第一金属层 103 和第二金属层 104。第一金属层 103 和第二金属层 104 中的每一个包含 Ti/Pd/Au 层叠膜。第一金属层 103 是 Ti/Pd/Au/Pd/Ti (分别具有 20nm/20nm/20200nm/20nm/20nm 的厚度),并且第二金属层 104 是 Ti/Pd/Au (分别具有 20nm/20nm/200nm 的厚度)。基板 105 是掺杂有高浓度载流子的 GaAs 基板,并且与第一金属层 103 机械和电气连接。振荡器 100 通过第二金属层 104、第一金属层 103 和基板 105 与电

源连接,并且,向其供给用于驱动的偏压电压。通过上述的结构,振荡器 100 在负微分电阻区域中基于光子辅助隧穿现象产生毫米波到太赫兹波的频带中的电磁波。

[0036] 波导 107 具有 Fabry-Perot 共振器结构,并且沿电磁波的传播方向包含至少两个端面。用于通过使用来自端面的反射导致电磁波成为驻波的波导 107 的传播方向(波导 107 的纵向)的长度 L 是确定振荡波长的因素。在本例子中,波导 107 的长度 L 是 1mm ,该长度为 λ_g 的 20 倍,并且波导 107 的宽度为 0.05mm 。因此,第二金属层 104 为 $1\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ 的矩形图案。

[0037] 在第一金属层 103 中形成周期性地布置凸部和凹部的微细的凹凸结构。在本例子中,凸结构 109 与金属部分对应,并且凹结构 110 与通孔对应。间距长度为凹部的长度与凸部的长度的和。与波导模式中的电磁波的传播方向平行的间距长度由 $PL1$ 表示,并且在面内与传播方向垂直的方向的间距长度由 $PL2$ 表示。

[0038] 凸结构 109 具有 Au 的凸块结构,该凸块结构在波导 107 的纵向上的宽度为 $24\mu\text{m}$ 、在波导 107 的横向的宽度为 $24\mu\text{m}$ (正方形形状)并且高度为 $20\mu\text{m}$ 。以 $25\mu\text{m}$ ($\lambda_g/2$) 的间距长度沿波导 107 的纵向布置 40 个凸结构 109,并且以 $25\mu\text{m}$ ($\lambda_g/2$) 的间距长度沿波导 107 的横向布置 2 个凸结构 109。以这种方式,凹凸结构被设置为沿与波导模式的电磁波的传播方向垂直的横向延伸。注意,在图 1A ~ 1C 中,为了便于理解结构的特性,减少凸结构 109 和凹结构 110 的数量。凹结构 110 被布置在要成为振荡器 100 的振荡模式中的共振电场中的节点的位置上。在本例子中,波导 107 的端面是开放端,并且距端面的 $\lambda_g/4$ 的位置是共振电场中的第一节点的位置。凹结构 110 可由真空、诸如空气的气体、或太赫兹波带中的低损耗材料(例如,诸如 BCB 的树脂或诸如 SiO_2 的无机材料)形成。第一金属层 103 与第二金属层 104 之间的距离为约 $1\mu\text{m}$ 。在本例子中的波导 107 中,电磁波在表面等离子体激元模式中通过活性层 101 的薄的本征半导体层传播。在本例子中,振荡频率为 0.3THz 时的波导的等效折射率被设计为约 20,并且振荡模式中的波导波长 λ_g 被设计为 $50\mu\text{m}$ 。因此,凸结构 109 的尺寸大致等于 $\lambda_g/2$,并且间距长度等于 $\lambda_g/2$,并且凹结构 110 的尺寸大致等于 $\lambda_g/50$ 。

[0039] 现在参照图 3A ~ 3D 描述根据本发明的振荡器 100 的制造方法。

[0040] (A)作为第一基板 121,制备具有在其上外延生长的半导体层 120 的 InP 基板。半导体层 120 与图 1A ~ 1C 所示的包含活性层 101 的芯层 102 对应。

[0041] (B)在第一基板 121 的上表面(上面设置半导体层 120 的表面)上形成通过光刻、真空沉积和电镀图案化的金属层(Ti/Pd/Au (分别具有 $20\text{nm}/20\text{nm}/20000\text{nm}$ 的厚度))。在第二基板 122 的上表面上形成通过光刻和真空沉积图案化的金属层(Ti/Pd/Au (分别具有 $20\text{nm}/20\text{nm}/200\text{nm}$ 的厚度))。使第一基板 121 和第二基板 122 的上表面相互面对,并且在通过 Ar 高频等离子体激活 Au 凸块和 Au 薄膜的表面之后,在室温下加压,使这些上表面相互接合。这里,在压力下接合而形成的 Ti/Pd/Au/Pd/Ti 层(分别具有 $20\text{nm}/20\text{nm}/20200\text{nm}/20\text{nm}/20\text{nm}$ 的厚度)要成为第一金属层 123。第一金属层 123 具有作为 $24\mu\text{m}$ 平方、高度 $20\mu\text{m}$ 的 Au 凸块的凸结构 129 和作为通孔的凹结构 130。第二基板 122 是导电 GaAs 基板,并与图 1A ~ 1C 所示的基板 105 对应。

[0042] (C)InP 基板通过研磨和盐酸蚀刻从整个基板被去除,以使半导体层 120 与第一基板 121 分离,以将其转移到第二基板 122 上。

[0043] (D) 半导体层 120 和第一金属层 123 通过光刻和干蚀刻成形。使用真空沉积和剥离以形成 Ti/Pd/Au (分别具有 20nm/20nm/200nm 的厚度) 的第二金属层 124。

[0044] 本例子中的元件也获得上述效果, 并且抑制由于制造过程等在初期阶段或操作中在半导体中导致的应变和缺陷, 并因此实现诸如振荡特性的特性的改善和稳定化。

[0045] 本发明不限于本例子的上述结构, 并且以下描述的变更例也是可能的。例如, 在本例子中, 上述的活性层 101 是在由 InP 基板上生长的 InGaAs/InAlAs 和 InGaAs/AlAs 形成的三重势垒共振隧穿二极管。但是, 本发明不限于这种结构和材料, 并且其它结构和材料的其它组合也可提供半导体元件。例如, 也可以使用具有双重势垒量子阱结构的共振隧穿二极管、具有四重或更多重的多重势垒量子阱结构的共振隧穿二极管、通过量子级联激光器获知的具有级联连接的多量子阱结构等。关于材料的组合, 也可以使用在 GaAs 基板上形成的 GaAs/AlGaAs、GaAs/AlAs 或 InGaAs/GaAs/AlAs, 在 InP 基板上形成的 InGaAs/AlGaAsSb, 在 InAs 基板上形成的 InAs/AlAsSb 或 InAs/AlSb, 在 Si 基板上形成的 SiGe/SiGe 等。可根据希望的频率等适当地选择结构和材料。

[0046] 并且, 在本例子中, 在假定载流子是电子的情况下进行描述。但是, 本发明不限于此, 并且也可使用正空穴(空穴)。并且, 可根据应用目的选择基板材料, 并且也可以使用诸如硅基板、砷化镓基板、砷化铟基板或磷化镓基板的半导体基板, 玻璃基板, 陶瓷基, 树脂基板等。并且, 作为第一金属层 103 和第二金属层 104, 可适当地使用金属(Ag、Au、Cu、Al 或 AuIn 合金等)或半金属(Bi、Sb、ITO、ErAs 等)。应当理解, 作为导体, 可以使用重度掺杂的半导体。并且, 作为间隔件 513 或 713, 适当地使用诸如 SiO₂、TEOS、多晶硅、SiNx、AlN 或 TiO₂ 的无机材料或诸如 BCB (苯并环丁烯)、SU-8 或聚酰亚胺的有机材料。并且, 也可使用重复生长的低导电本征半导体。这些变更例类似地适于其它的实施例和例子。

[0047] 例子 2

[0048] 现在参照图 4A ~ 4C 描述根据本发明的例子 2 的振荡器 900。活性层 901 使用在 Appl. Phys. Lett. 83, 2124 (2003) 中公开的量子级联激光器结构。包含活性层 901 的芯层 902 是约 10 μm 的厚度的半导体薄膜。关于第一金属层 903 和第二金属层 904 和其它部件, 使用在 Appl. Phys. Lett. 83, 2124 (2003) 中公开的结构。第二金属层 904 具有约 2.6mm×0.15mm 的矩形图案, 并且被设计为获得约 3THz 的振荡。注意, 在该结构中, 振荡频率为 3THz 时的波导 907 的等效折射率约为 3, 并且波导波长 λ_g 约为 30 μm。

[0049] 在本例子中, 在基板 905 上的第一金属层 903 中, 作为凸结构 909 之间的凹结构 910, 在距波导 907 的两个端面约 1.3mm 的位置(即在波导 907 的中间)形成 3 μm×150 μm 的沟槽。并且, 在第二金属层 904 中, 作为凹结构 912a 和 912b, 在分别距波导 907 的两个端面约 0.65mm 的位置形成 9 μm×150 μm 的矩形沟槽。凹结构 912a 和 912b 以外的部分是凸结构 901。如在本例子中那样, 不管凹结构 910 的位置如何, 只要形成凹结构 910 使其尺寸小于或等于 λ_g/2 (这里, λ_g 是波导波长) 就抑制对于共振电场的影响。并且, 凸结构 909 的尺寸大于或等于波导波长 λ_g, 因此, 波导 907 可实现优异的光束缚和低损失传播。因此, 通过本例子的结构, 可望同时实现波导 907 的振荡模式的稳定化和活性层中的应变的减少, 并因此有望获得振荡特性的改善和稳定化。

[0050] 例子 3

[0051] 现在参照图 5A ~ 5C 描述根据本发明的例子 3 的振荡器 1000。与例子 1 的情况类

似,芯层 1002 的活性层 1001 具有共振隧穿二极管结构,并且关于第一金属层 1003 和第二金属层 1004 和其它部件,使用与例子 1 相同的结构。第二金属层 1004 具有约 $1\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ 的矩形图案,并且被设计为获得约 0.3THz 的振荡。注意,在图 5A ~ 5C 中,凸结构 1009 和凹结构 1010 的数量减少。

[0052] 在本例子的基板 1005 上的第一金属层 1003 中,作为凸结构 1009,以 $1.5\mu\text{m}$ ($\lambda_g/20$) 的间距长度沿波导 1007 的纵向和横向布置 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 的矩形 Au 薄膜图案。在这种情况下,凸结构 1009 的宽度大致等于 $\lambda_g/50$,并且凹结构 1010 的尺寸大致等于 $\lambda_g/100$ 。当以这种方式使用尺寸小于或等于 $\lambda_g/2$ (特别是小于或等于 $\lambda_g/20$) 的凹凸结构时,结构中的反射、散射和折射等对于波长中的电磁波的影响是可忽略的,因此凹凸结构对于共振电场的影响减小,并且本例子的振荡器的设计灵活性变大。

[0053] 在本例子中的元件中,同样,抑制由于制造过程等在初期阶段或操作中在半导体中导致的应变和缺陷,并因此实现诸如振荡特性的特性的改善和稳定化。

[0054] 例子 4

[0055] 现在参照图 6A ~ 6C 描述根据本发明的例子 4 的振荡器 1100。芯层 1102 的活性层 1101 具有与例子 1 的情况类似的共振隧穿二极管结构,并且关于第一金属层 1103 和第二金属层 1104 和其它的部件,使用与例子 1 相同的结构。第二金属层 1104 具有约 $1\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ 的矩形图案,并被设计为获得约 0.3THz 的振荡。注意,在图 6A ~ 6C 中,凸结构 1109 和凹结构(狭缝) 1110 的数量减少。

[0056] 在本例子中,在波导 1107 的一个端面附近的区域 1120 中,作为沿面内方向延伸的凹凸结构,分别在第一金属层 1103 和第二金属层 1104 中布置大量的狭缝 1110 和 1112。狭缝 1110 和 1112 是 $2\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 的沟槽,并且在本例子中填充有 BCB。

[0057] 狭缝 1110 和 1112 被布置为使得其单位长度的数量向着端面逐渐增加。换句话说,波导 1107 的第一金属层 1103 和第二金属层 1104 中的凹部和凸部的疏密度随着接近波导的端面而逐渐改变。具体而言,狭缝 1110 和 1112 被布置成使得分别具有 $2\mu\text{m}$ 的宽度的狭缝 1110 和 1112 的每 $50\mu\text{m}$ 长度的数量以 $50\mu\text{m}$ 间距的增量增加到 1、2、5、10 和 25 个。在这种情况下, $L' = 250\mu\text{m}$ 。在本例子的结构中,在区域 1120 中,等效折射率向着端面逐渐减小,因此,该结构适于波导 1107 与外面之间的阻抗匹配,并且期望振荡器的提取效率的改善。这里使用的波导的外面指的是例如自由空间、传输线或具有低介电常数的电介质。并且,在本发明的另一变更例中,可通过部分改变第一金属层 1103 和第二金属层 1104 中的至少一个的凹部和凸部的疏密度,部分地改变波导的有效折射率。

[0058] 通过本例子的结构,可望同时实现波导 1107 的振荡模式的稳定化和活性层中的应变的减少,并因此期望振荡特性的改善和稳定化。并且,在 DMW 中,端面上的反射增加,并且射束图案由于波导与空间之间的模式不匹配而发散,因此,从应用的观点看,DMW 具有有效使用和射束路由的问题。通过根据本发明的结构,可以提供容易实现波导与外面之间的阻抗匹配的高度有效的波导。并且,可通过使用与用于计算样品等的状态的运算单元组合的上述波导,提供图 7 所示的装置。例如,使用波导作为振荡器,并且将样品放置在波导的端部。样品与从波导发送的电磁波交互作用,因此,对于发送的电磁波施加一些影响。向样品施加的电磁波被样品反射或透过该样品,该电磁波被检测器检测。然后,诸如个人计算机的运算单元基于检测信号计算样品的状态。具体而言,设想对于用于检查机器条件等的工

业检查装置的应用。

[0059] 虽然已参照示例性实施例说明了本发明,但应理解,本发明不限于公开的示例性实施例。以下的权利要求的范围应被赋予最宽的解释以包含所有的变更方式和等同的结构和功能。

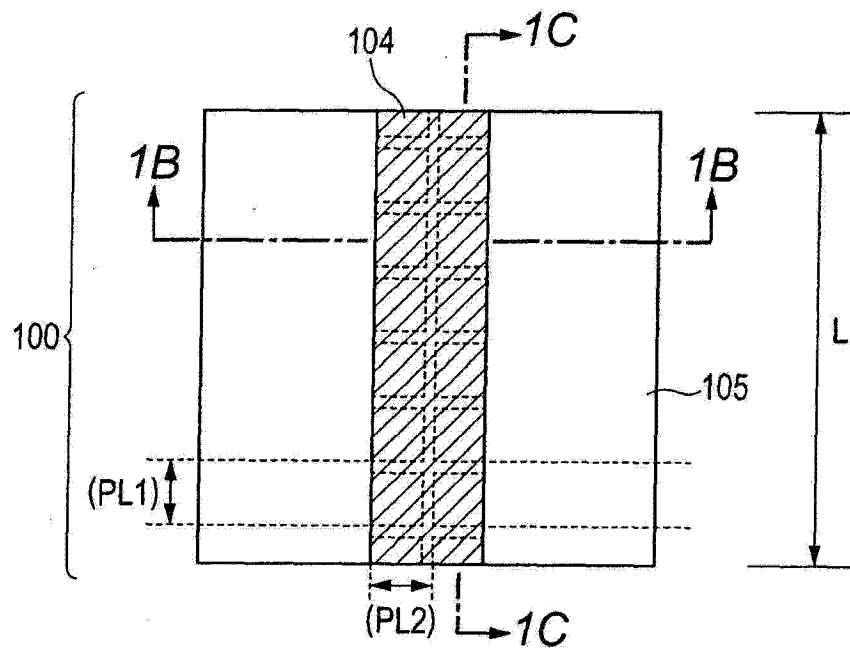


图 1A

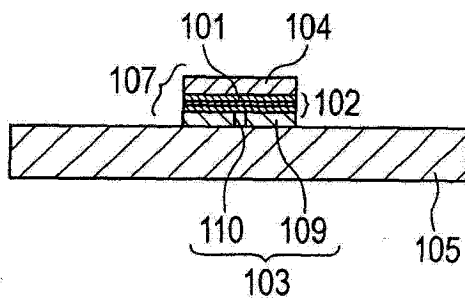


图 1B

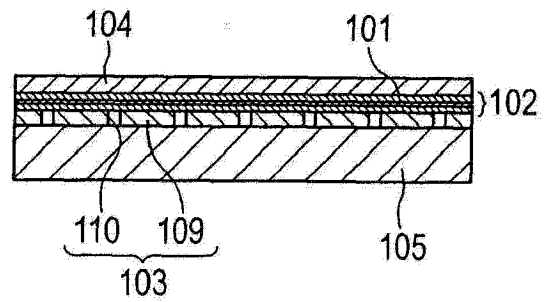


图 1C

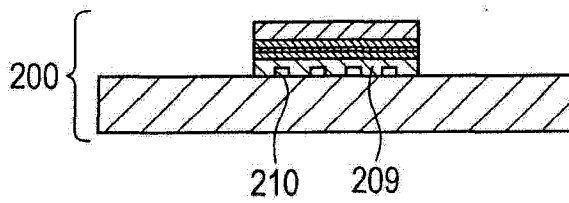


图 2A

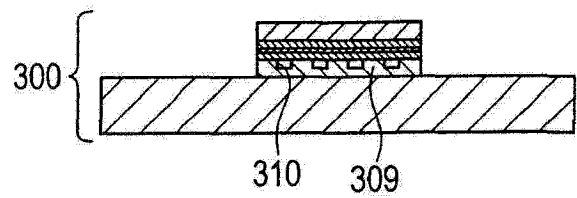


图 2B

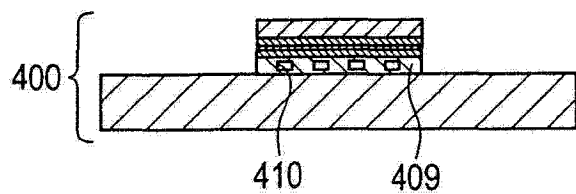


图 2C

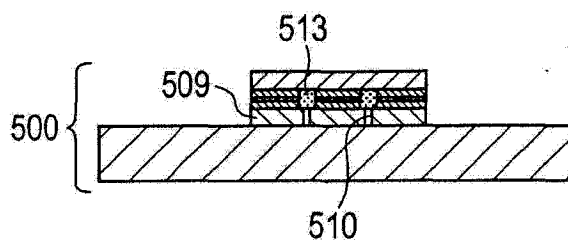


图 2D

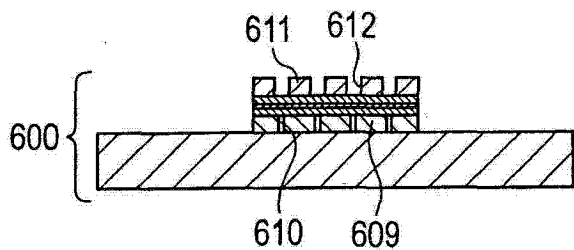


图 2E

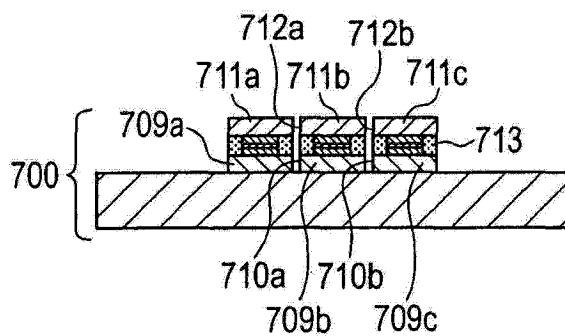


图 2F

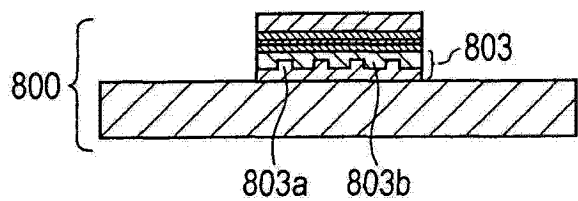


图 2G

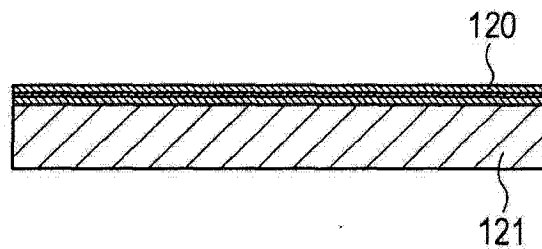


图 3A

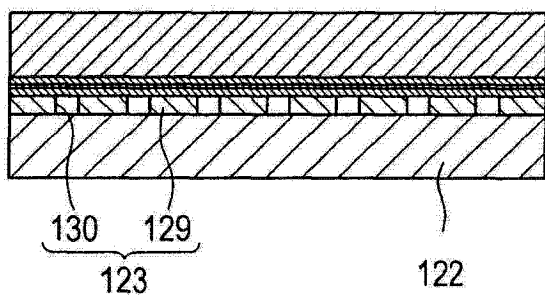


图 3B

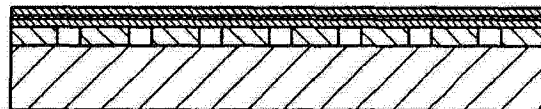


图 3C

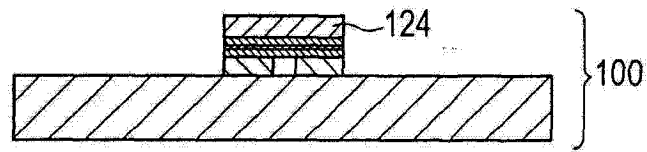


图 3D

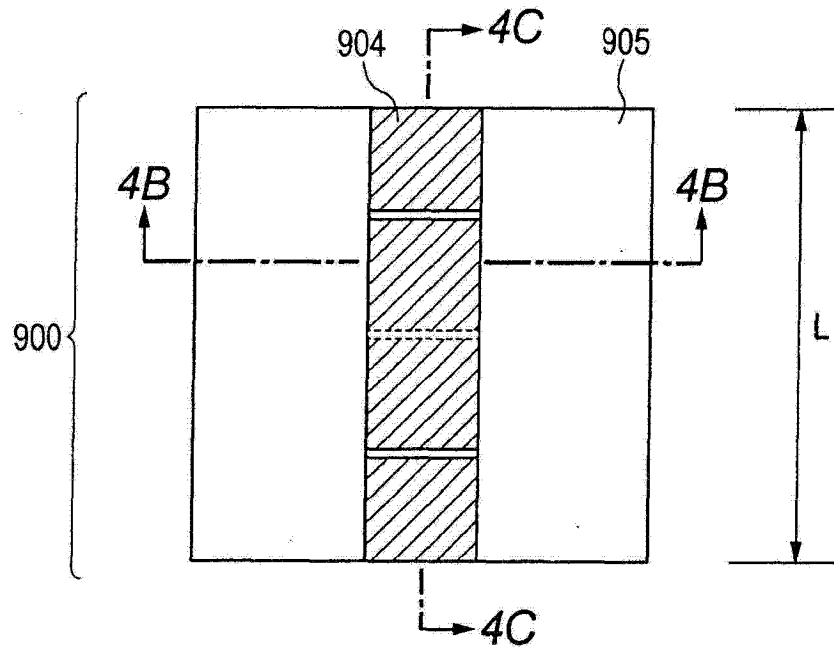


图 4A

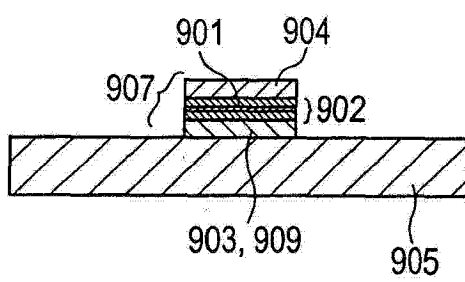


图 4B

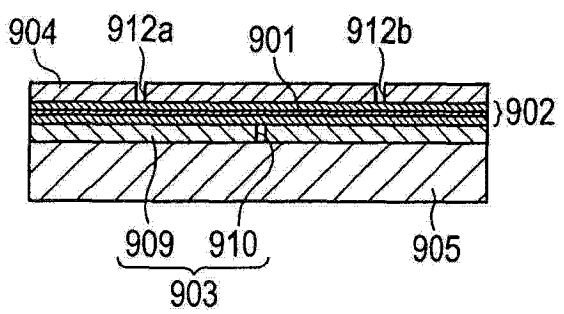


图 4C

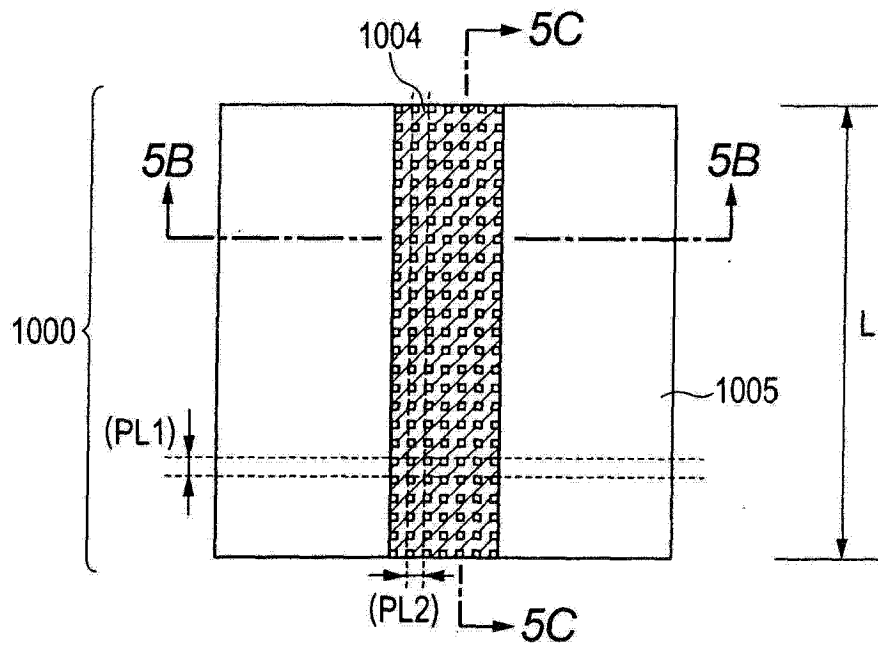


图 5A

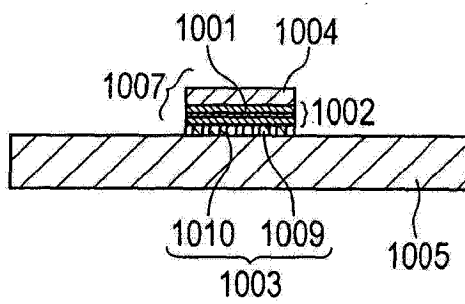


图 5B

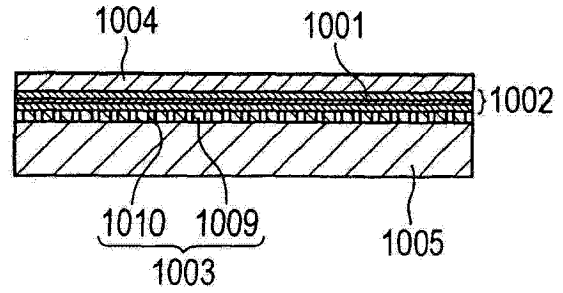


图 5C

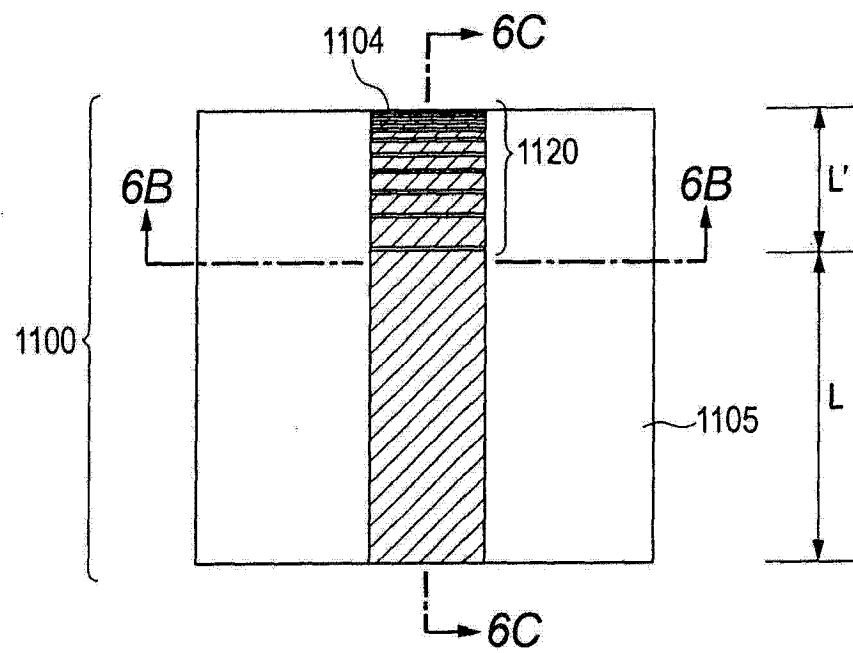


图 6A

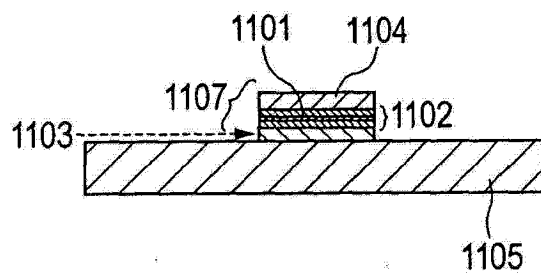


图 6B

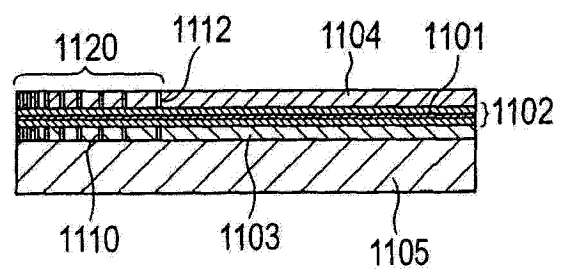


图 6C

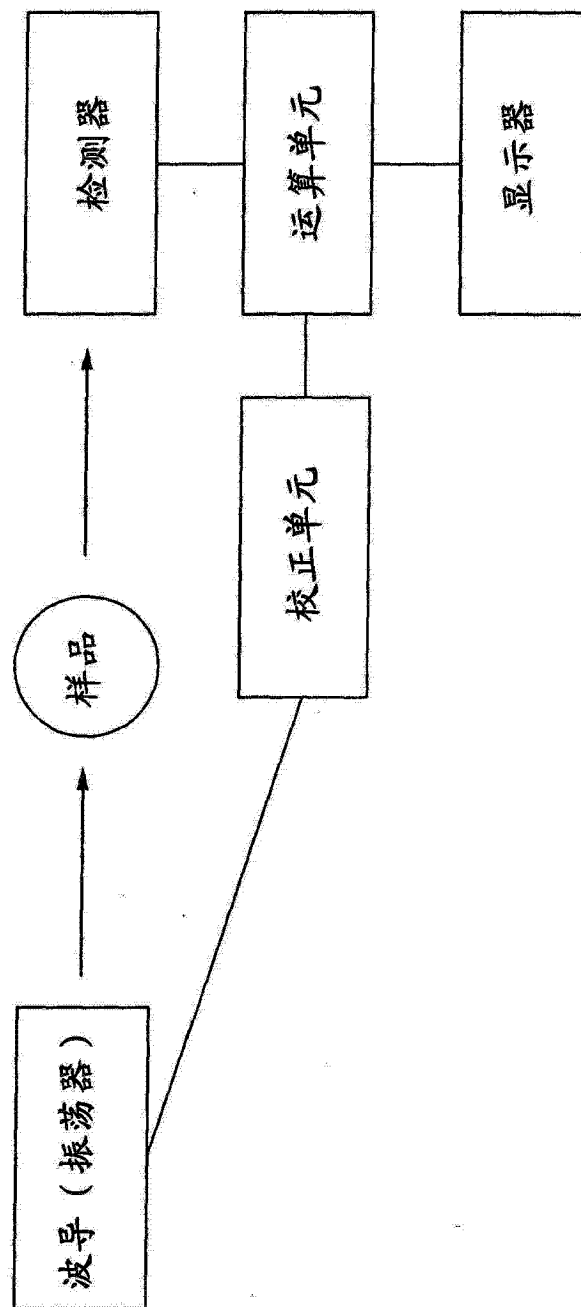


图 7