



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101083383 B

(45) 授权公告日 2010.09.29

(21) 申请号 200710108180.5

(22) 申请日 2007.05.30

(30) 优先权数据

2006-150923 2006.05.31 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 关口亮太 尾内敏彦

(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 王萍

(51) Int. Cl.

H01S 5/00 (2006.01)

H01S 5/10 (2006.01)

审查员 达文欣

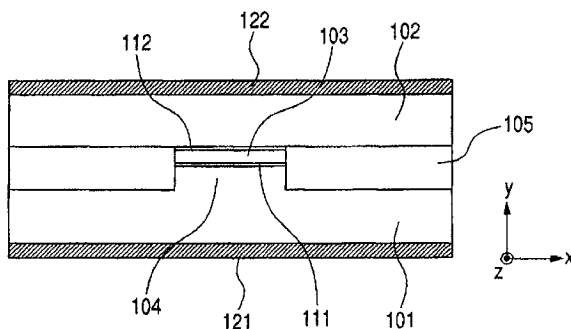
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 9 页

(54) 发明名称

激光器装置

(57) 摘要

一种激光器装置,包括:具有增益的增益介质;用于传播电磁波的波导;以及由所述波导构成的谐振结构。增益介质沿着电磁波的传播方向延伸,并在其厚度方向上于顶面和底面处被夹在由负介电常数介质制成的第一覆层和第二覆层之间。增益介质配备有在和电磁波的传播方向以及厚度方向垂直的宽度方向上与其至少一个侧面相邻的横向结构。该横向结构包括正介电常数介质,该介质在其厚度方向于其顶面和底面处被夹在负介电常数介质之间。波导由增益介质、横向结构、第一覆层和第二覆层构成。



1. 一种激光器装置,所述激光器装置包括用于传播电磁波的波导,所述波导具有用于谐振所述电磁波的谐振结构,

其中,所述波导由以下构成:

增益介质,其对要振荡的电磁波具有增益,

为所述增益介质设置的横向结构,

第一覆层和第二覆层,所述第一覆层和第二覆层中的每一个都是对于所述电磁波具有介电常数的负实部的负介电常数介质,

其中所述增益介质在电磁波的传播方向上延伸,并在其厚度方向上被夹在所述第一覆层和第二覆层之间,所述增益介质的顶面和底面分别与所述第一覆层和第二覆层电接触,

其中,所述横向结构在和电磁波的传播方向以及厚度方向垂直的宽度方向上与该增益介质的至少一个侧面相邻,该横向结构被这样配置,使得对于该电磁波的具有介电常数的正实部的正介电常数介质在其厚度方向上被夹在对于该电磁波具有介电常数的负实部的所述负介电常数介质之间,所述正介电常数介质的顶面和底面与所述负介电常数介质接触,并且

其中,由所述正介电常数介质保持的表面等离子体激元的波数小于由所述增益介质保持的表面等离子体激元的波数。

2. 如权利要求 1 所述的激光器装置,其中所述负介电常数介质包括金属和载流子掺杂的半导体中至少之一。

3. 如权利要求 1 所述的激光器装置,其中所述正介电常数介质包括介电材料。

4. 如权利要求 1 所述的激光器装置,其中波导沿电磁波的传播方向具有至少两个端面,以形成谐振结构,使得所述端面用于反射电磁波以产生驻波。

5. 如权利要求 4 所述的激光器装置,其中端面配备有阻抗变换结构,使得驻波的一部分被抽出到外部空间和外部传输线中之一。

6. 如权利要求 1 所述的激光器装置,其中第一覆层和第二覆层中至少之一配备有这样一部分,该部分在宽度方向上具有沿着电磁波的传播方向周期地改变的尺寸,以便利用布拉格反射把电磁波改变成驻波。

7. 如权利要求 6 所述的激光器装置,其中第一覆层和第二覆层中之一配备有至少一个开口,使得驻波的一部分被抽出到外部空间和外部传输线中之一。

8. 如权利要求 1 所述的激光器装置,其中基于光助隧道的共振隧穿二极管被用作增益介质。

9. 如权利要求 1 所述的激光器装置,其中增益介质具有电磁波的波长的十分之一或更小的厚度。

10. 如权利要求 1 所述的激光器装置,其中电磁波的频率包括从 30GHz 到 30THz 的频率范围的一部分。

激光器装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种激光器装置,具体地说,本发明涉及一种用于从毫米波带到兆兆赫波带(30GHz-30THz)的频带范围的电流注入型激光器装置。

背景技术

[0002] 作为一种新型的半导体激光器,至今已知一种被称为“量子级联激光器”的半导体激光器,其基于在传导带或价带的某个能带中的载流子的能级之间的跃迁(次能带之间的跃迁)。量子级联激光器的振荡波长取决于光学跃迁的两个能级之间的能隙。因而,振荡波长可以在一个宽的光谱范围(例如从中红外范围到兆兆波带)内被选择。首先,已经证明,这种激光器可以借助于使用具有在中红外范围内选择的4.2微米的振荡波长的结构来实现。近来,因为需要兆兆赫波带的电磁波源(据信其对于生物检测等是有用的),一种长波长的激光器得到了发展,其中振荡波长从中红外范围向更长的波长移动。

[0003] 长波激光器应当具有这样一种结构,其配备有用于在一个频率范围内产生增益的增益介质,并对增益介质实现光学限制;例如,增益介质可能具有最多为1微米到10微米量级的层厚,用于典型的长波激光器的增益介质具有振荡波长的1/10或更小的厚度。在常规的半导体激光器领域内,已知一种借助于导电覆层进行光学限制的方法,但是使用这种方法不能对具有小于光的衍射极限的厚度的增益介质进行光学限制。因此提出了用于振荡长波激光器的其它类型的光学限制方法。

[0004] 日本专利申请待审公开2000-138420披露了一种用于解决上述问题的方法。在这种方法中使用的覆层是一种负介电常数介质,其中介电常数的实部是负的。在这种方法中,由覆层引导的波导模是一种在负介电常数介质中由载荷子(其被称为“表面等离子体激元(surface plasmon)”)的极化振荡产生的电磁波。因为在表面等离子体激元中没有衍射极限,大部分的模可被限制到厚度为振荡波长的1/10量级的增益介质。借助于使用这种方法,实现了具有11.4微米振荡波长的激光器振荡,这向较长的波长移动了。

[0005] 在Benjamin S. Williams等;Appl. Phys. Lett., Vol. 83(2005), 2124中可以找到现有技术的一个例子。这个文献披露了一种用于在增益介质的顶部和底部处作为覆层安排介电常数的实部为负的负介电常数介质的方法。也是在这种方法中,由覆层引导的波导模是表面等离子体激元。和日本专利申请待审公开2000-138420中的情况相比,作为覆层的具有两种负介电常数介质的增益介质允许更多的模被限制到厚度为振荡波长的1/10量级的薄的增益介质。借助于使用这种方法,实现了具有大约100微米(3THz)的振荡波长的激光器振荡,这进一步向更长的波长移动了。

[0006] 不过,众所周知,在用于光学限制的常规方法中,对于比振荡波长薄得多的增益介质的表面等离子体激元的限制引起相对大的波导损失。这个波导损失增加激光器振荡的阈值,这又引起其它问题,例如伴随着增加的阈值电流密度而导致的功率消耗的增加,以及需要单独的冷却单元用于维持激光器振荡。因为较薄的增益介质增加激光器振荡的阈值,对于常规的长波导激光器,增益介质必须具有相对大的厚度。即,需要一种在量子级联激光器

中使用的、由包括数百到数千层的半导体多层膜构成的增益介质,但是这种增益介质相对昂贵,因而增加了常规的长波长激光器的成本。

[0007] 上述的问题在 100 微米或更长 (3THz 或以下) 的长波长激光器的情况下尤其严重,这种长波长激光器需要对具有振荡波长的 1/10 或更低的厚度的增益介质进行光学限制。

发明内容

[0008] 本发明的一种激光器装置包括:对于要被振荡的电磁波具有增益的增益介质;用于传播电磁波的波导;以及由波导构成的用于谐振电磁波的谐振结构。增益介质沿着电磁波的传播方向延伸,并在其厚度方向上于顶面和底面处被夹在第一覆层和第二覆层之间,每个覆层都是用于电磁波的具有介电常数的负实部的负介电常数介质的覆层。增益介质配备有在和电磁波的传播方向以及厚度方向垂直的宽度方向上与其至少一个侧面相邻的横向结构。该横向结构被这样配置,使得用于电磁波的具有介电常数的正实部的正介电常数介质在其厚度方向上于顶面和底面被处夹在用于电磁波的具有介电常数的负实部的负介电常数介质之间。波导由增益介质、横向结构、第一覆层和第二覆层构成。电磁波的频率一般包括从 30GHz 到 30THz 的频率范围的一部分。

[0009] 本发明的激光器装置包括第一覆层、第二覆层和横向结构,如上所述。因此,即使使用比振荡波长薄得多的增益介质,也可以使模强度的相对大的部分被限制于增益介质,因而波导损失减少,从而使得激光器振荡的阈值较低。

[0010] 由下面结合附图进行的示例实施例的说明可以清楚地看出本发明的其它特征。

附图说明

[0011] 图 1 是表示按照本发明的激光器装置的一个实施例的截面图;

[0012] 图 2 是表示作为对照例的常规的激光器装置的截面图;

[0013] 图 3A 和 3B 是比较按照本发明的一个实施例的波导损失与常规的例子波导损失的示意图;

[0014] 图 4A 和 4B 是比较按照本发明的一个实施例中的波数与常规的例子波数的示意图;

[0015] 图 5A 和 5B 是表示按照例子 1 的激光器装置的结构截面图;

[0016] 图 6A 和 6B 是表示按照例子 2 的激光器装置的结构截面图;

[0017] 图 7A 和 7B 是表示按照例子 3 的激光器装置的结构截面图;

[0018] 图 8A 和 8B 是表示按照例子 4 的激光器装置的结构截面图;

[0019] 图 9A 和 9B 是表示本发明的一个修改实施例的截面图;以及

[0020] 图 10 是表示本发明的另一个修改实施例的截面图。

具体实施方式

[0021] 下面说明按照本发明的激光器装置的一个实施例。按照本发明的激光器装置的一个实施例包括:对于要被振荡的电磁波(包括从 30GHz 到 30THz 的频率范围的部分)具有增益的增益介质;用于传播所述电磁波的波导;以及由用于谐振所述电磁波的波导构成的

谐振结构。所述增益介质沿着电磁波的传播方向延伸,并在其厚度方向上于顶面和底面处被夹在由负介电常数介质构成的第一覆层和第二覆层之间。所述增益介质配备有包括正介电常数介质的横向结构,在垂直于电磁波的传播方向以及厚度方向的宽度方向上与该增益介质的至少一个侧面相邻。横向结构被这样配置,使得正介电常数介质在其厚度方向上于顶面和底面处被夹在负介电常数介质之间。利用这种方式,所述波导由增益介质、横向结构、第一覆层和第二覆层构成。此外,第一覆层和第二覆层中之一可配备有至少一个开口,借以使得驻波的一部分被提取到外部空间或外部传输线。

[0022] 图 1 是表示本实施例的激光器装置的截面图。在图 1 中,激光器装置包括负介电常数介质 101 和 102,它们是针对要被振荡的电磁波的频率范围具有负实部的介电常数的物质。在从毫米波带到兆赫波带的频率范围内,负介电常数介质由包括载流子掺杂的半导体(例如 InAs, InP, GaAs 和 Si)、金属(例如 Ag, Au, Cu 和 Al)或这些材料的组合的材料构成。负介电常数介质一般也是导电材料,因此可以是透明的导电膜(例如 ITO)。在从毫米波带到兆赫波带的频率范围内,和其它材料相比具有介电常数的相对大的虚部对实部的比率 $\text{Im}(\epsilon)/\text{Re}(\epsilon)$ (其中 ϵ 是复数介电常数)的金属可以最大限度地减少导体损失。因此,负介电常数介质 101 和 102 可以由金属构成。

[0023] 如图 1 所示,这种激光器装置包括在其顶面和底面处被夹在负介电常数介质 101 和 102 之间的增益介质 103。增益介质一般是当载流子注入时产生增益的材料,并且为了实现从外部装置进行电流注入,增益介质 103 需要和负介电常数介质 101、102 电接触。因此,使用高浓度载流子掺杂的半导体作为电接触件 111 和 112。此处使用的术语“高浓度”指的是高于至少使介电常数的实部为负的浓度的浓度。此外,激光器装置包括电极材料 121 和 122。由外部电场施加单元(未示出)提供的电场被施加在电极材料 121 和 122 之间,从而对增益介质 103 进行电流注入。

[0024] 在上述结构中,负介电常数介质 101 和 102 以及电接触件 111 和 112 在毫米波带和兆赫波带中作为覆层。因而,对于由负介电常数介质 101、102 以及电接触件 111 和 112 引导的电磁波,允许没有衍射极限的表面等离子体激元作为波导模。这使得即使增益介质 103 具有与波长相比小得多的厚度(沿 y 方向的尺寸),也能存在波导模。在此,考虑到上述现有技术的描述,其中比波长小得多的尺寸指的是电磁波的波长的 $1/10$ 或更小的厚度。

[0025] 不过,在上面的情况下,表面等离子体激元受到在负介电常数介质 101、102 或电接触件 111、112 中的导体损失的严重影响。这不可避免地引起相当大的波导损失。因此在本发明中,按照下述方式来减少波导损失。即,波导损失的量近似地和在传播方向上的波导模的波数与由所使用的材料而引起的损失的乘积成比例。由所使用的材料引起的损失包括负介电常数介质 101、102 和电接触件 111、112 的导体损失。

[0026] 不过,取传播方向上波导模的波数为 β ,实际上可减小波数 β 。为了减小波数 β ,通过和具有较小的波数的表面等离子体激元耦合,可以形成耦合的波导模。波数 β 和波导模的等效折射率成比例。因而,波数 β 的减小相应于在实空间内波导模的横向扩展。这便是提供横向结构的原因,在所述横向结构中,正介电常数介质 105 在其顶面和底面处被夹在负介电常数介质 101 和 102 之间。一般地,当正介电常数介质 105 具有大于增益介质 103 的厚度的厚度时,由正介电常数介质 105 保持的表面等离子体激元的波数小于由增益介质 103 保持的表面等离子体激元的波数。因此,在本实施例中,负介电常数介质 101、102 中的

至少一个包括肋 104,其跨过增益介质 103 的整个宽度向着增益介质凸出。作为包括肋 104 和增益介质 103 并在传播方向上延伸的肋结构,形成第一和第二覆层以及横向结构。在图 1 中,只在增益介质 103 的下侧上形成向着增益介质凸出的肋 104。

[0027] 肋 104 具有图 1 所示的带形形状,但是所述肋可以具有其它形状,例如在图 9A 中的具有梯形形状的肋 904 或在图 9B 中的具有半圆柱形形状的肋 914。或者,可以如图 10 所示提供肋 104 和 114。即,负介电常数介质 101、102 两者都配备有肋 104 和 114,它们分别跨过增益介质 103 的整个宽度向着增益介质凸出。

[0028] 不过,为了更有效地实现上述的耦合,肋 104 可以具有等于或小于波长的宽度(沿 x 方向的尺寸)。此外,正介电常数介质 105 可以具有至少等于或大于增益介质 103 的厚度的宽度(沿 x 方向的尺寸)。当被更合适地设计时,波导模的束收敛部分 (beam waist) 可被扩展为等于或大于肋 104 的宽度。用这种方式,当模强度被限制于增益介质 103 时,可以进一步减小波数 β ,这对于减少波导损失和降低激光器振荡的阈值是有效的。

[0029] 当增益介质 103 具有与波长相比小得多的厚度时,上述效果尤其明显。因此,对增益介质 103 使用共振隧穿二极管可以把波导损失抑制到可以与使用常规介质获得的相比的程度。共振隧穿二极管的增益大致等于由量子级联激光器获得的增益或比该增益近似高一个量级(几十 cm^{-1}),此外,由于温度升高而引起的增益减小是小的,使得预期可以在室温下实现激光器振荡。因而,上述结构看来在包括从 0.1THz 到 10THz 的频率范围的从毫米波带到兆兆赫波带的频率范围内是有效的。

[0030] 进行了电磁场模拟以证实上述的效果。使用了按照波数空间平面波扩展方法的一种方法(见 Phys. Rev. B, Vol. 68, 245117(2003)),其是一种频率解算器,用于计算波导模的复数传播常数 $\gamma (= \beta + i\alpha)$,其中 i 是虚数的单位, α 是阻尼常数)。如本领域技术人员熟知的,通过使用由 Drude(德鲁德)给出的复数介电常数模型来确定具有负介电常数的材料。模拟在假设使用从 900 微米到 300 微米(对应于 0.3THz 到 1THz 的频率范围)的模拟波长范围的条件下进行,该范围被认为在共振隧穿二极管中提供大的增益,并假设负介电常数介质 101 和 102 由 Au 制成。电子松弛时间 τ 被设置为 0.05 微微秒,如 Benjamin S. Williams 等在 Appl. Phys. Lett., Vol. 83(2005), 2124 中描述的情况那样。在 0.3THz 到 1THz 的频率范围内, Au 的介电常数的实部是负的。电接触件 121 和 122 分别具有 50 纳米和 100 纳米的厚度,并且,假设使用 InGaAs 半导体材料系统,如上述情况那样,电子松弛时间 τ 被设置为 0.1 微微秒。此外,在假设增益介质 103 是由 i -InGaAs 材料系统形成的半导体多量子阱(共振隧穿二极管)的条件下进行模拟,并假设阱的厚度是 30 纳米。在 0.3THz 到 1THz 的频率范围内, i -InGaAs 的介电常数的实部是正的,其是背景介电常数 $\epsilon = 11.6$ 的渐进值。

[0031] 在模拟中使用的结构具有图 1 和图 2 所示的 x-y 截面,波导模的传播方向 z 呈现为是无限的。图 1 表示本实施例的横截面,而图 2 表示常规装置的横截面。此外,在图 1 的实施例的横截面中,肋 104 被设置为具有 4 微米的宽度,正介电常数介质 ($\epsilon = 1$) 105 被设置为具有 1 微米的厚度。在模拟中,沿 x, y 方向的尺寸分别是 3 微米和 90 微米,并且在两个方向上周期性边界条件是强加的。平面波扩展的基数被设置为沿 x 方向为 17,沿 y 方向为 61。

[0032] 下面说明模拟的结果。图 3A 表示波导损失(作为功率损失的值 α 的两倍)和频

率之间的关系。在图 3A 中的图例 a-1 和 a-2 分别对应于以下的条件。

[0033] (a-1)

[0034] 在本实施例的结构中,在频率为 0.3THz 下的波导损失估计为 79cm^{-1} 。这个损失是根据负介电常数介质 101 和 102(包括电接触件 111 和 112)的导体损失计算的。波导模的束收敛部分(沿 x 方向)大约为 8 微米。此时,模强度的限制估计为至少 40%或更多。

[0035] (a-2)

[0036] 在常规装置的结构中,在 0.3THz 的频率下的波导损失估计为 224cm^{-1} 。类似地,这个损失是根据负介电常数介质 101 和 102(包括电接触件 111 和 112)的导体损失计算的。

[0037] 图 3A 和图 3B 的频率相关性表示,在本实施例的结构中的波导损失在 0.3THz 到 1THz 的整个频率范围内被减小,这意味着本实施例的结构是有效的。

[0038] 图 4A 表示波数 β 和频率之间的关系,其支持上述的关于实现波导损失减少的原因。在较高的频率下,波导损失趋于增加,这和较高频率下增加的导体损失的趋势一致。

[0039] 接着,以相同的方式进行了电磁场模拟,其中如在常规装置的情况下那样使用具有波长的大约 1/10 的厚度的增益介质 103,以便证实获得了相同的效果。模拟是在假设使用 300 微米到 100 微米(对应于 1THz 到 3THz 的频率范围)的模拟波长范围的条件下进行的,这被认为在量子级联激光器中提供大的增益,并假设负介电常数介质 101 和 102 由 Au 制成。电子松弛时间 τ 被设置为 0.05 微微秒,如 Benjamin S. Williams 等在 Appl. Phys. Lett., Vol. 83(2005), 2124 中所述的情况。电接触件 121 和 122 分别具有 50 纳米和 100 纳米的厚度,并假设使用 GaAs 材料系统,电子松弛时间 τ 被设置为 0.1 微微秒,如在上述的情况中一样。此外,模拟是在下述假设下进行的:增益介质 103 是由微量载流子掺杂 (slightly carrier-doped) 的 n-GaAs 测量系统制成的半导体多量子阱(量子级联激光器),并且阱的厚度是 10 微米。在 1THz 到 3THz 的频率范围内, n-GaAs 的介电常数的实部是正的,其是背景介电常数 $\epsilon = 12.9$ 的渐进值。然后,把自由电子松弛时间 τ 设置为 0.1psec。

[0040] 在模拟中使用的结构具有图 1 和图 2 所示的 x-y 横截面,波导模的传播方向 z 呈现为是无限的。在图 1 的实施例的横截面中,肋 104 被设置为具有 4 微米的宽度,正介电常数介质 ($\epsilon = 1$) 105 被设置为具有 20 微米的厚度。在模拟中,沿 x, y 方向的尺寸分别是 30 微米和 20 微米,在两个方向上周期性边界条件是强加的。平面波扩展的基数被设置沿 x 方向为 17,沿 y 方向为 21。

[0041] 下面说明模拟的结果。图 3B 表示波导损失(作为功率损失的值 α 的两倍)和频率之间的关系。在图 3B 中的图例 b-1 和 b-2 分别对应于以下的条件。

[0042] (b-1)

[0043] 在本实施例的结构中,在频率为 0.3THz 下的波导损失为 17cm^{-1} 。对这个损失进行了进一步分析,得到了这样的结论:波导损失中的大约 9.6cm^{-1} 的量基于负介电常数介质 101 和 102(包括电接触件 111 和 112)的导体损失,其它损失是在增益介质 103 中的自由电子吸收损失。波导模的束收敛部分大约为 9 微米。

[0044] (b-2)

[0045] 在常规装置的结构中,在 3THz 的频率下的波导损失估计为 19cm^{-1} 。波导损失中的大约 6.0cm^{-1} 的量被认为基于负介电常数介质 101 和 102(包括电接触件 111 和 112)的导

体损失,其它损失被认为是在增益介质 103 中的自由电子吸收损失。这个结果几乎和现有技术中如 Benjamin S. Williams 等在 Appl. Phys. Lett., Vol. 83 (2005), 2124 中所述的波导损失的趋势一致。

[0046] 图 3B 的频率相关性表示大约在 1THz 到 2THz 的频率范围内,波导损失被减少,这意味着本实施例的结构是有效的。

[0047] 图 4B 表示波数 β 和频率之间的关系,其支持上述的关于实现波导损失减少的原因。不过,在大约 3THz 的频率上,波导损失饱和,而不是导体损失增加,这被认为是由于带状肋 104 的拐角引起的。这个增加是由于肋 104 的形状选择所致,并且在本发明中不是重要的。例如,如上已描述的,肋 104 可以具有梯形或半圆形的形状,以便消除拐角。在较高的频率下波导损失趋于减少,这和较低频率下增加的自由电子吸收损失的趋势一致。

[0048] 不过,在本发明的上述实施例中,如果增益介质 103 具有延伸到低于毫米波带的频率范围的增益,则可以产生寄生 RF 振荡。这可以按照下述方式来阻止。即,寄生 RF 振荡是由 RC 时间常数引起的。例如,在从增益介质 103 通过电极材料 121、122 到外部电场施加单元(未示出)的 RC 谐振电路中的时间常数也引起寄生 RF 振荡。因此,在模拟电路技术中,已知一种用于通过偏置 T 在电极材料 121 和 122 之间提供电场的方法,以及一种用于在电极材料 121 和 122 之间插入单独的电阻的方法,用于解决上述问题,因而可以增加这些元件。

[0049] 按照激光器装置的上述结构,即使使用厚度比振荡波长小得多的增益介质,大部分的模强度可被限制于增益介质,这减少了波导损失,导致激光器振荡的较低的阈值。此外,减少的阈值电流密度导致功率消耗的减少,并且导致简化或消除用于维持激光器振荡的冷却单元。作为一种增益介质,可使用可以相对低的成本得到的共振隧穿二极管。

[0050] (例子)

[0051] 下面借助于更加特定的例子详细说明本发明。

[0052] (例 1)

[0053] 图 5A 和 5B 是表示按照本发明的激光器装置的例 1 的横截面图。例 1 是通过金属压缩工艺制造的激光器装置。

[0054] 图 5A 是表示垂直于电磁波的传播方向的表面的横截面图。在图 5A 中,负介电常数介质 501 是沉积在硅衬底 500 上的 Au 薄膜,用于减小导体损失。负介电常数介质 502 由 Au 制成。在负介电常数介质 501 和负介电常数介质 502 之间提供有肋结构,其包括沿着电磁波的传播方向延伸的肋 504 和 514 以及增益介质 503。肋 514 用作为包括被形成在负介电常数介质 502 上的 Au 的电极材料,并通过和 Au 502 键合而被形成。类似地,肋 504 用作为包括被形成在负介电常数介质 501 上的 Au 的电极材料,并通过和 Au 薄膜 501 键合而被形成。

[0055] 在例 1 中,选择 InGaAs/InAlAs 系统的多量子阱作为增益介质 503,其是和 InP 衬底匹配的晶格。例如,可以选择具有下面的半导体多层膜结构的共振隧穿二极管:

[0056] 5.0/3.8/5.6/2.7/7.7/3.8/5.0

[0057] (其中每个数字是每个截面的厚度,单位为纳米;没有下划线的数字是关于 InGaAs 的阱的,有下划线的数字是关于 InAlAs 的势垒的)

[0058] 当每层不打算进行载流子掺杂(即不掺杂)时,在增益介质 503 处的自由电子吸

收损失可被忽略。

[0059] 根据被称为“光助隧道 (photo-assisted tunneling)”的现象,这个共振隧穿二极管在从毫米波带到兆赫波带的频率范围内具有增益。上述的共振隧穿二极管是一种负阻元件,在施加 0.3V 的电场时,其具有大约 50 k A/cm^2 的峰值电流密度。因此,共振隧穿二极管被认为在 0.3THz 到 1THz 的频率范围内具有大约 130 cm^{-1} 的增益 (见 Jpn. Jour. Appl. Phys., Vol. 40, 5251 (2001))。

[0060] 在负介电常数介质 501 中,和增益介质 503 接触的电接触件 511 例如由 n-InGaAs 半导体膜构成 (厚度为 100 纳米)。类似地,在负介电常数介质 502 中,和增益介质 503 接触的电接触件 512 例如由 n-InGaAs 半导体膜构成 (厚度为 50 纳米)。在这种情况下,也是为了减少导体损失,电接触件 511 和 512 可以是高浓度载流子掺杂层,例如其具有 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 或更高的电子浓度。增益介质 503 和电接触件 511、512 通过在 InP 衬底上外延生长半导体层被形成,但是在图 5A 中,InP 衬底已被除去。通过 Au 介质 501 和 502 进行电流注入,Au 介质 501 和 502 例如通过电缆与恒压源 (未示出) 相连。用这种方式,电极材料被这样设置,使得在其间可以合适地施加电场。

[0061] 在例 1 中,正介电常数介质 505 是空气,其形成和肋结构的一侧相邻的横向结构,使用另一种正介电常数介质 515 来提供要用空气填充的空间。例如,正介电常数介质 515 可以是 BCB,其是一种具有相对低的损耗和低的介电常数的材料。

[0062] 在图 5A 中,Au 介质 501 和 502 的厚度大于从毫米波带到兆赫波带的范围内电磁波的透入深度。例如,该厚度被设置为 300 纳米或以上。在例 1 中的肋 504 和 514 的宽度各为 4 微米,正介电常数介质 505 和 515 的厚度各为 1 微米。

[0063] 在例 1 中,激光器谐振腔是具有借助于切割而形成的端面的 Fabry-Perot 谐振腔。即,这种波导沿电磁波的传播方向至少具有两个端面以形成谐振结构,以便该端面用于反射电磁波以产生驻波。因此,如图 5B 所示 (该图是用于表示包括图 5A 的肋 514 的 x-z 平面的横截面图),沿传播方向的长度 L 是确定振荡波长的因素。因此,当表面等离子体激元波导模在要产生振荡的频率下具有波数 β 时,如在半导体激光器技术中熟知的,值 π/β 被设置为长度 L 的整数倍。例如,振荡波长被设置为 0.3THz,使得作为增益介质 503 的共振隧穿二极管的增益大于波导损失。在这种情况下,因为例如求得的 π/β 的值是 0.01cm,则沿传播方向的长度 L 可以为 0.1cm,其是通过 π/β 的值乘以 10 而获得的,以便实现激光器振荡。

[0064] 上述结构可以通过使用以下方法来实现。首先,例如通过使用分子束外延 (MBE) 在 InP 衬底上外延生长 n-InGaAs 层 512、InGaAs/InAlAs 多量子阱层 503 以及 n-InGaAs 层 511。在其表面上沉积 Ti/Au 504 作为电极,接着刻蚀该衬底以形成如上所述的宽度为 4 微米的肋。刻蚀通过使用光刻和利用 ICP (感应耦合等离子体) 的干式蚀刻进行。接着,通过压缩使硅衬底 500 上的电极 504 和 Au 薄膜 501 相互接合。接着通过使用盐酸进行湿式蚀刻,这选择性地除去 InP 衬底,并把呈肋形式的外延生长层转移到硅衬底 500 上。最后,使用剥离 (lift-off) 方法在通过除去 InP 衬底而被暴露的 n-InGaAs 层 512 的表面上形成肋形的金属膜 514。此外,使其表面上具有 Au 涂层的 Al 板 502 与金属膜 514 接触,并处于由 BCB 515 支撑的状态,从而形成气隙 505,这便完成了上述结构。

[0065] 当利用介电的各向异性液晶 (其中液晶分子沿其长轴和短轴具有不同的介电常

数)作为正介电常数介质 505 填充气隙 505 时,施加用于控制液晶分子的电场可以改变波导模的波数 β 。对于这种频率可调的激光器,例如,沿传播方向的长度 L 被这样设置,使得是前述的值 π/β 的 100 倍,从而使用多种谐振频率。

[0066] (例 2)

[0067] 图 6A 和图 6B 是用于说明按照本发明的激光器装置的例 2 的横截面图。例 2 是一种可以用简单方式制造的按照本发明的激光器装置。

[0068] 图 6A 是表示垂直于电磁波的传播方向的表面的横截面图。在图 6A 中,负介电常数介质 601 是 n-InP 衬底。为了减少导体损失,可以选择高浓度载流子掺杂的导电衬底,例如其电子浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 或更高。或者,可以选择高浓度载流子掺杂的厚的 n-InGaAs 衬底。在例 2 中,形成 Au 薄膜 600,以减少 n-InP 衬底 601 中的导体损失。负介电常数介质 602 由 Au 制成。例 2 的肋结构包括肋 604 和 614 以及增益介质 603。肋 614 通过沉积与 Au 介质 602 形成为一体,肋 604 通过刻蚀 n-InP 衬底 601 而被形成。也是在例 2 中,选择和 InP 衬底晶格匹配的 InGaAs/InAlAs 系统的多量子阱作为增益介质 603,以获得例如和例 1 相同的结构。

[0069] 在增益介质 603 侧上的电接触件 611 例如由 n-InGaAs 半导体层(厚度为 400 纳米)构成。类似地,在增益介质 603 侧上的电接触件 612 例如由 n-InGaAs 半导体层(厚度为 50 纳米)构成。如例 1 中那样,为了减少导体损失,电接触件 611 和 612 可以是高浓度载流子掺杂层,它们例如具有 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 或更高的电子浓度。Au 600 和 602 也用作电极材料,由此通过借助于电缆等与恒压源(未示出)相连的 Au 600 和 602 进行电流注入。用这种方式,电极材料被这样设置,使得在其间可以合适地施加电场。和增益介质 603 的一侧相邻地提供正介电常数介质 605,可以使用具有相对低的损失和低的介电常数的 BCB 作为正介电常数介质 605。

[0070] 在图 6A 中,n-InP 衬底 601 例如是具有 350 微米的典型厚度的衬底,即使最小的厚度也大于从毫米波带到兆兆赫波带的范围内的电磁波的透入深度。为了减少 n-InP 衬底 601 的导体损失,Au 薄膜 600 也被设置具有大于电磁波的透入深度的厚度,其例如是 300 纳米。肋 604 和 614 具有 8 微米的宽度,以便利制造,BCB 605 被设置具有 3 微米的厚度。或者,可以选择其它更合适的厚度组合。

[0071] 也是在例 2 中,使用的激光器谐振腔是具有借助于切割而形成的波导的端面的 Fabry-Perot 谐振腔。不过,特别是当应该从一个端面输出激光时,如图 6B 所示(该图是表示包括图 6A 的肋 614 的 x-z 平面的横截面图),可以提供用于增强和外部空间的耦合效率的阻抗变换结构 606,以降低反射率。为此,例如使用微波技术中熟知的四分之一波长阻抗变换器。即,阻抗变换结构 606 被这样配置,使得具有等于变换器的值 $\pi/2\beta$ 的宽度 d ,因而肋 604 和 614 具有这样的宽度,该宽度被缩短离开其端面的长度 d ,以减小和外部空间的阻抗失配。这可以应用于这样的情况,其中与外部高频传输路径例如微带线和共面波导的耦合效率应当被增强。与此相反,肋 604 和 614 可以具有被延长距其端面一个长度 d 的宽度,从而产生与外部空间较大的阻抗失配。

[0072] 上述结构例如可以使用以下方法来实现。即,如例 1 那样,通过使用 MBE 在 n-InP 衬底 601 上外延生长 n-InGaAs 层 611、InGaAs/InAlAs 多量子阱层 603 以及 n-InGaAs 层 612。然后如例 1 中那样对 InP 衬底 601 进行刻蚀以形成具有 8 微米的宽度的肋,从而可以

借助于剥离方法只在 n-InP 衬底 601 上形成 Cr/Au 电极 600。此外,对肋的外部涂覆 BCB 膜 605,使得具有 3 微米的厚度,使用光刻以及利用 CF_4 和 O_2 的干式蚀刻只在要变成肋的区域形成窗口,使得露出 n-InGaAs 层 612。在暴露的 n-InGaAs 层 612 上,沉积 Ti/Au 以形成电极 602,这便完成了该装置。当形成图 6B 的阻抗变换结构 606 时,可以利用光掩膜盖住肋结构的平面结构。

[0073] (例 3)

[0074] 图 7A 和 7B 是表示按照本发明的激光器装置的例 3 的横截面图。代替本发明的上述实施例中的激光器谐振腔,例 3 是一种具有分布式反馈 (DFB) 谐振腔的激光器装置。按照这种激光器装置,例如使用例 1 和例 2,尤其是在高速调制期间,可以稳定振荡波长。

[0075] 图 7A 是包括图 1 的肋的 y-z 平面的横截面图,肋 704 具有沿着传播方向周期地改变的宽度。因而,第一覆层和第二覆层中的至少一个具有这样的部分,该部分在宽度方向上具有沿着传播方向周期地改变的尺寸,从而使用布拉格反射把电磁波改变成驻波。于是,在增益介质 703 和电接触件 711 以及 712 中以相同方式具有相关的改变。在例 3 中周期地改变的形状是这样一种矩形,使得其在具有或没有宽度的情况下而改变(如图 7B 所示,其中矩形没有宽度的区域可以由正介电常数介质 705 代替)。显然,可以选择这样一种正弦波形状,使得肋 704 的宽度正弦地改变。这种结构可被认为是增益引导的 DFB 激光器和折射率引导的 DFB 激光器的混和类型,这在半导体激光器技术中是熟知的。在图 7A 中,部分 701、702、721 和 722 分别对应于图 1 中的负介电常数介质 101、负介电常数介质 102、电极材料 121 和电极材料 122。

[0076] 在例 3 中,激光器装置具有例如和例 1(图 5A,5B)类似的基本结构,相对于一个周期长度,具有的肋 704 的宽度的区域的长度例如根据占空比被设置为 95%。在基本结构中,如果增益介质 703 的增益比波导损失大得多,则可以选择较小的占空比。此时,如图 7B 所示(该图是用于表示包括图 7A 的肋 704 的 x-z 平面的横截面图),一个周期 707 的长度 a 是确定振荡波长的因素。因此,当在要被振荡的波长下表面等离子体激元波导模具有波数 β 时,值 π/β 可被设置为等于长度 a。例如,在 0.3THz 的振荡波长下,值 π/β 将近似等于 0.01cm。在例 3 中,周期 707 被重复 10 次,端面可被提供在更合适的位置。

[0077] 如上所述,在包括具有沿传播方向周期地改变的宽度的肋 704 的激光器装置中,振荡波长可被稳定。不过,用于稳定振荡波长的结构不限于上述的结构。例如,肋 704 可以具有固定的宽度,正介电常数介质 705 可以具有沿传播方向周期地改变的介电常数。

[0078] (例 4)

[0079] 图 8A 和 8B 是表示按照本发明的激光器装置的例 4 的横截面图。例 4 是一种激光器装置,其具有用于把例 3 的激光器输出引导到垂直于表面等离子体激元波导模的传播方向的结构。

[0080] 图 8A 是包括图 1 的肋的 y-z 平面的横截面图,肋 804 具有沿传播方向周期地改变的宽度。此外,负介电常数介质 802 具有开口 808,于是电极材料 812 也相应地具有开口 808。开口 808 用作为槽形天线,这在天线技术中是熟知的。即,根据负介电常数介质 802 的表面电位,肋 804 的电位沿传播方向以 π/β 为周期正负分布。相比之下,根据肋 804 的表面电位,负介电常数介质 802 的表面电位沿传播方向以 π/β 为周期正负分布。

[0081] 因此,沿着肋 804 在负介电常数介质 802 上的合适位置处的开口 808 使得能够得

到开口 808 的 +V 点和 -V 点之间的电偶极子。在 +V 点和 -V 点之间的距离可以比波长小得多,并且在例 4 中,开口 808 被配置具有沿垂直于传播方向的方向延伸的天线长度。图 8B 是包括例 4 的开口 808 的 x-z 平面的横截面图,表示开口 808 的形状。例 4 的开口 808 被形成二分之一波长天线的形状。按照典型的槽形天线的辐射图,沿垂直于表面等离子体激元波导模的传播方向的方向获得激光器输出。可以只提供一个开口 808,不过如例 4 中那样,可以沿传播方向以 $2a(=2\pi/\beta)$ 为周期按阵列形式设置多个开口 808,这是为获得从每个开口 808 发射的电磁场的相位同步所需的。在图 8A 中,部分 801、803、805、811、821 和 822 分别相应于图 7A 和 7B 的负介电常数介质 701、增益介质 703、正介电常数介质 705、电接触件 711、电极材料 721 和电极材料 722。

[0082] 上述的具有开口 808 的激光器装置实现一维的阵列结构。不过,这种激光器装置可以具有其它的结构。例如,多个肋 804 可以相互平行地排列,以便以等于表面等离子体激元的波长的节距传播表面等离子体激元波导模,这实现一种两维的阵列结构,其中以相同的方式使相位同步。

[0083] 虽然参照示例的实施例对本发明进行了说明,应当理解,本发明不限于披露的示例的实施例。下面的权利要求应当被给予最宽的解释,使得包括所有的这种改型和等同结构及功能。

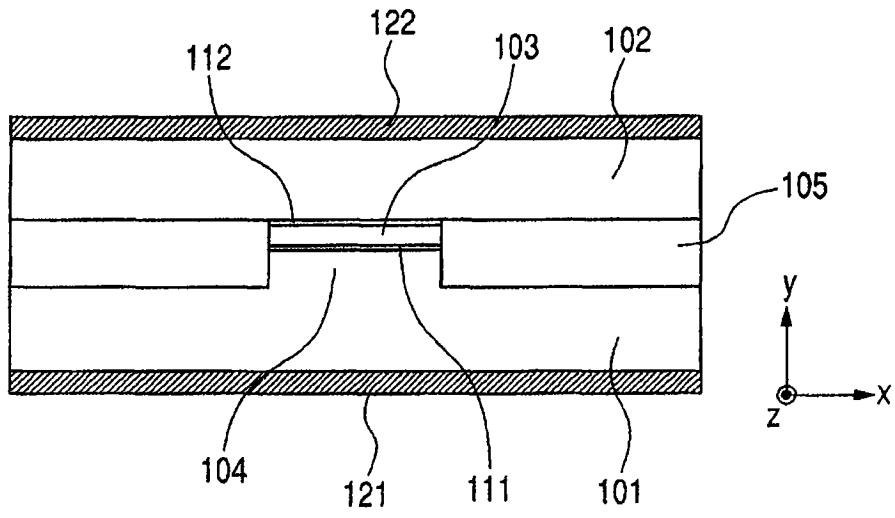


图1

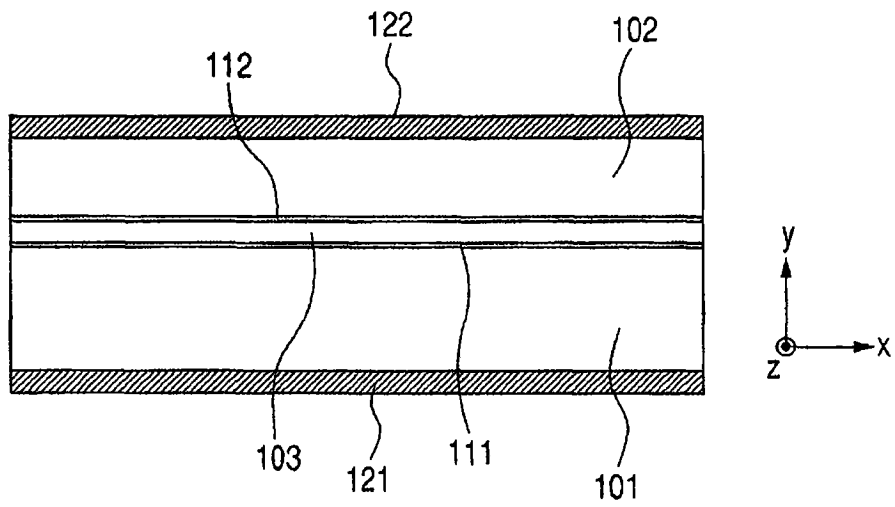


图2
现有技术

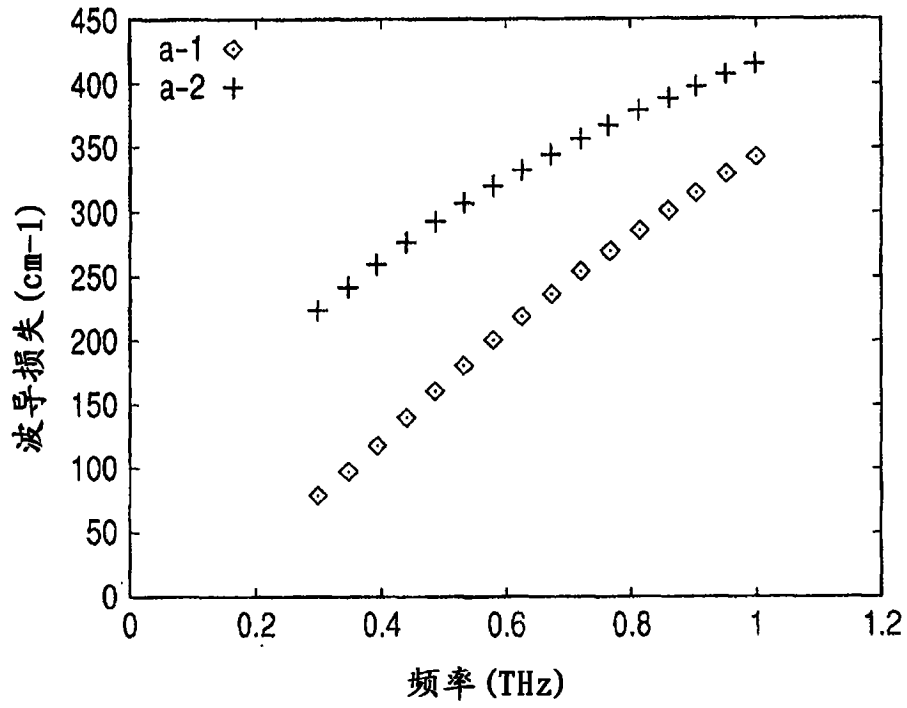


图 3A

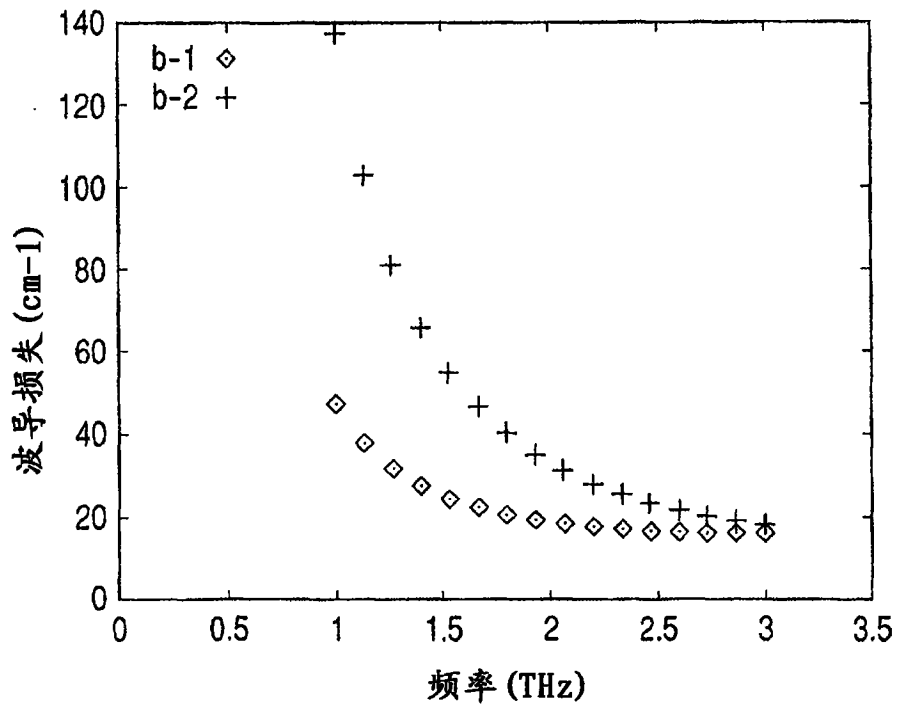


图 3B

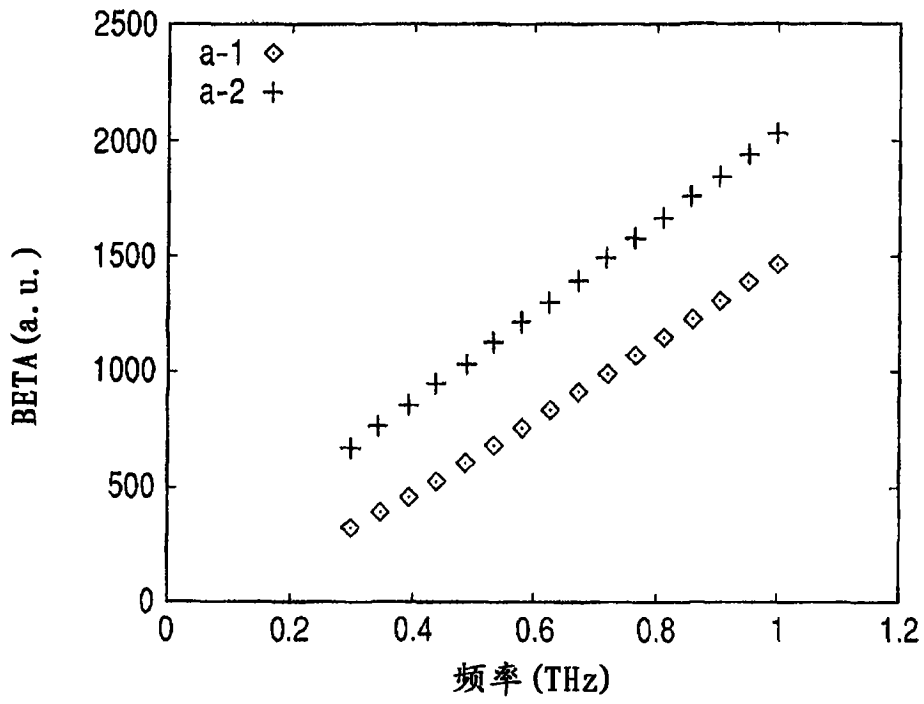


图 4A

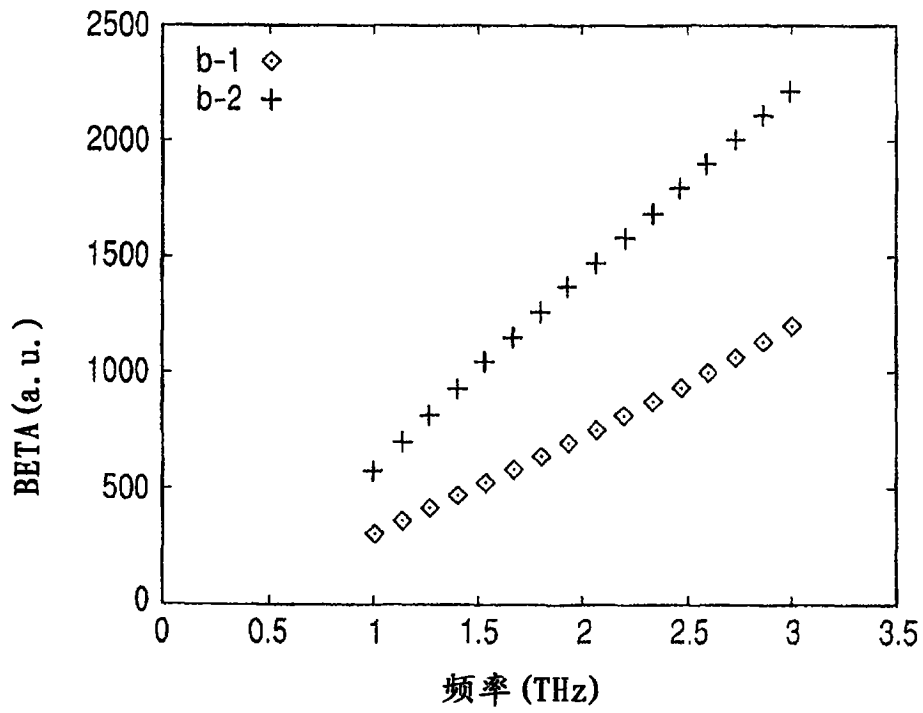


图 4B

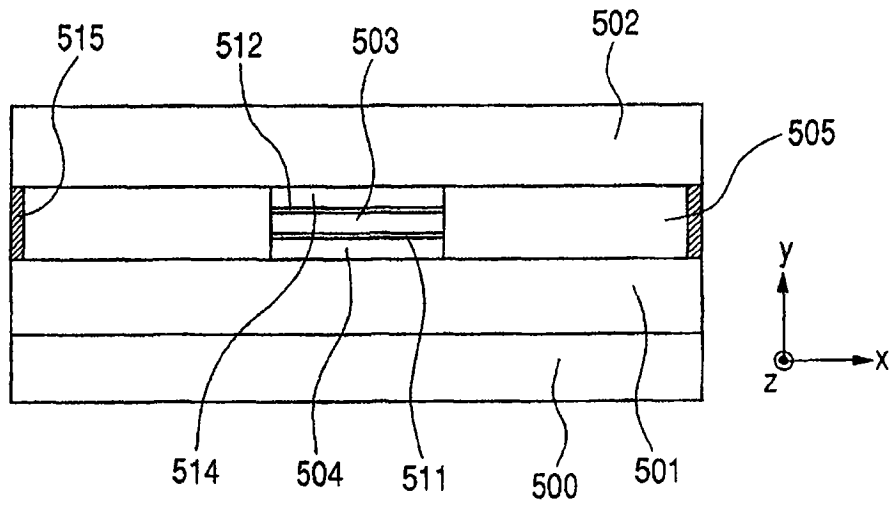


图 5A

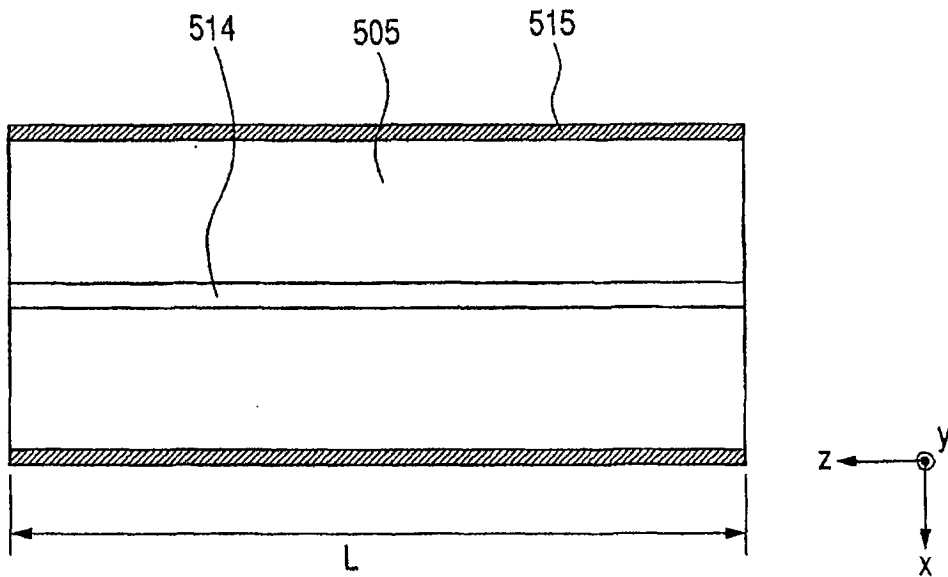


图 5B

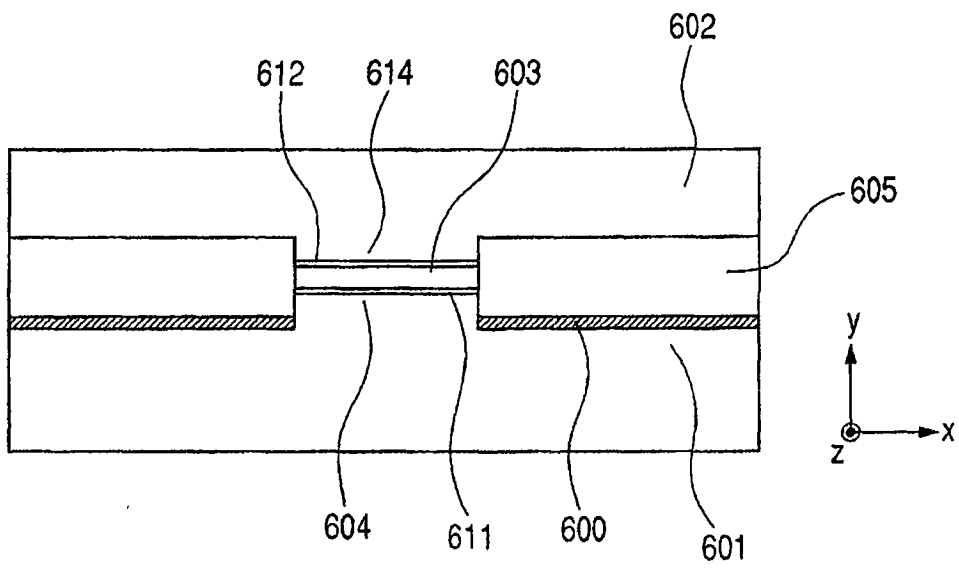


图 6A

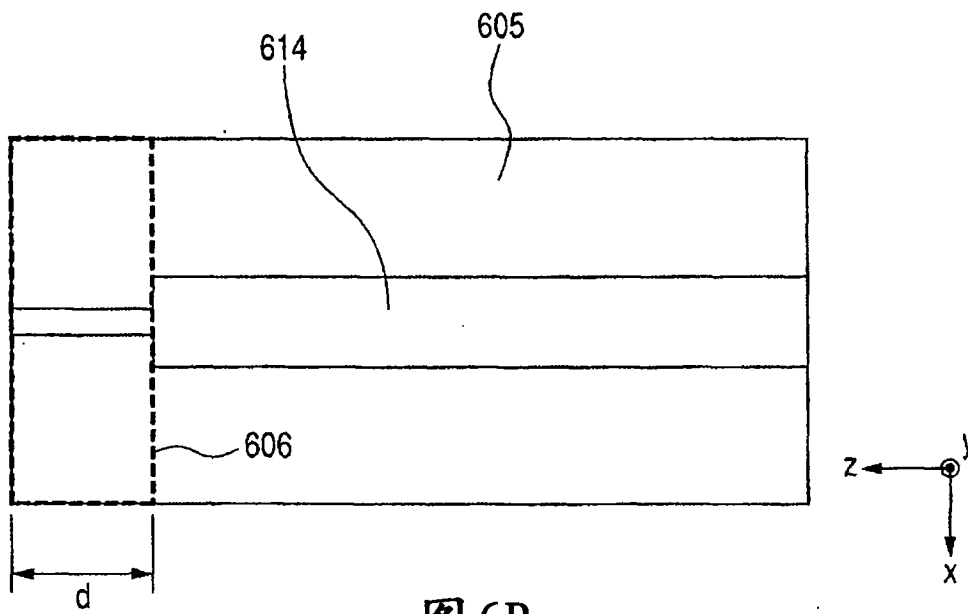


图 6B

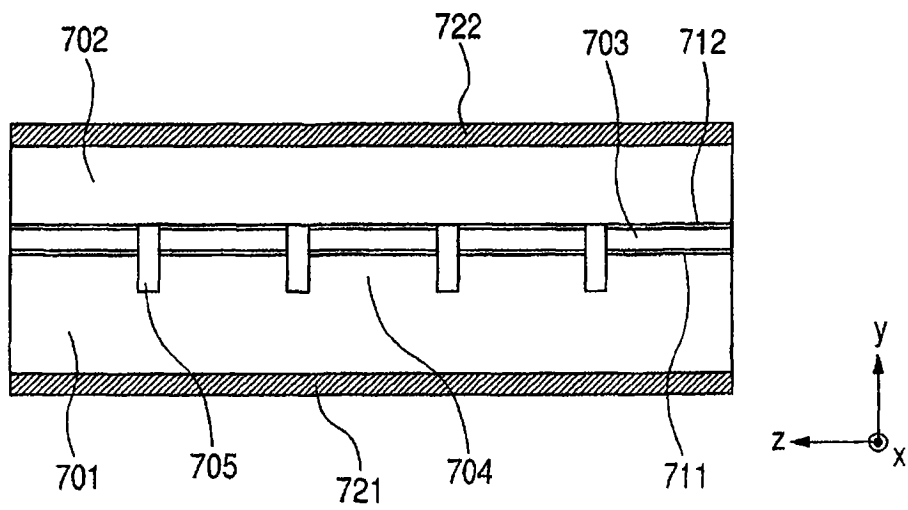


图 7A

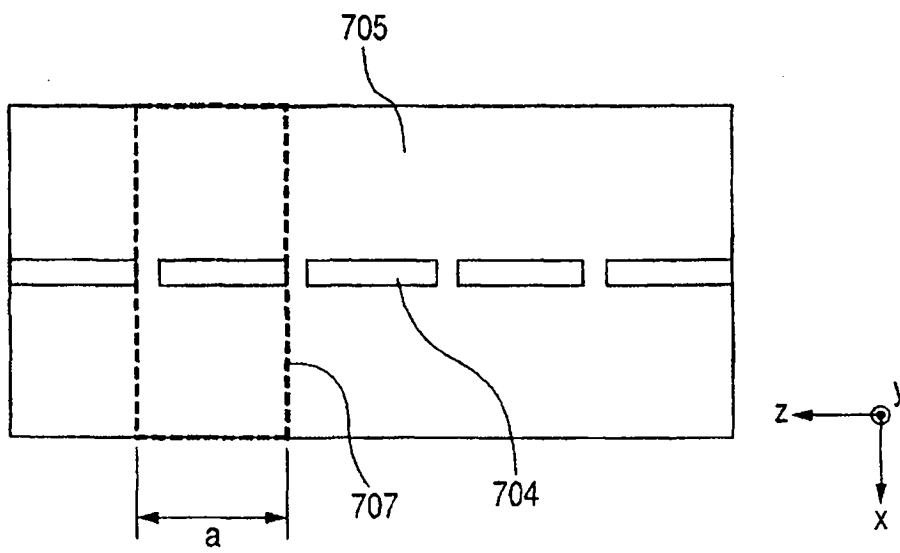


图 7B

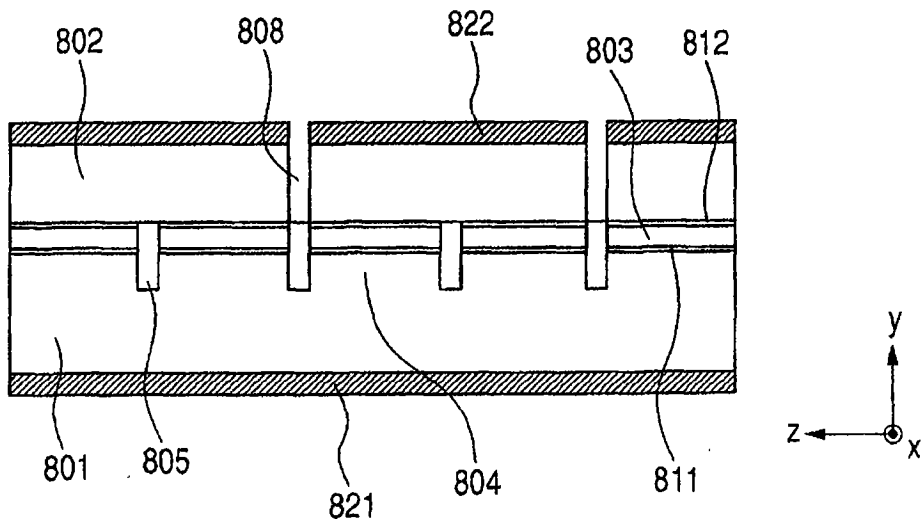


图 8A

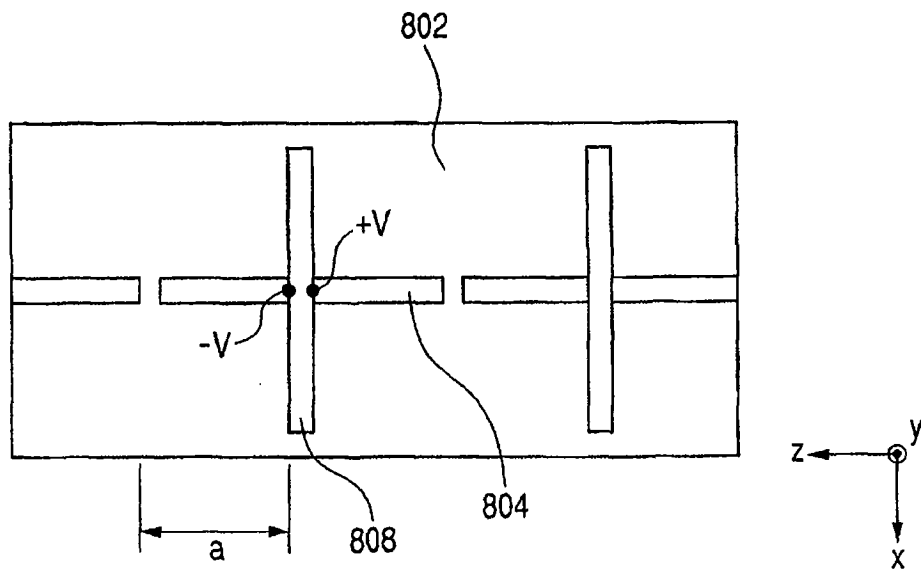


图 8B

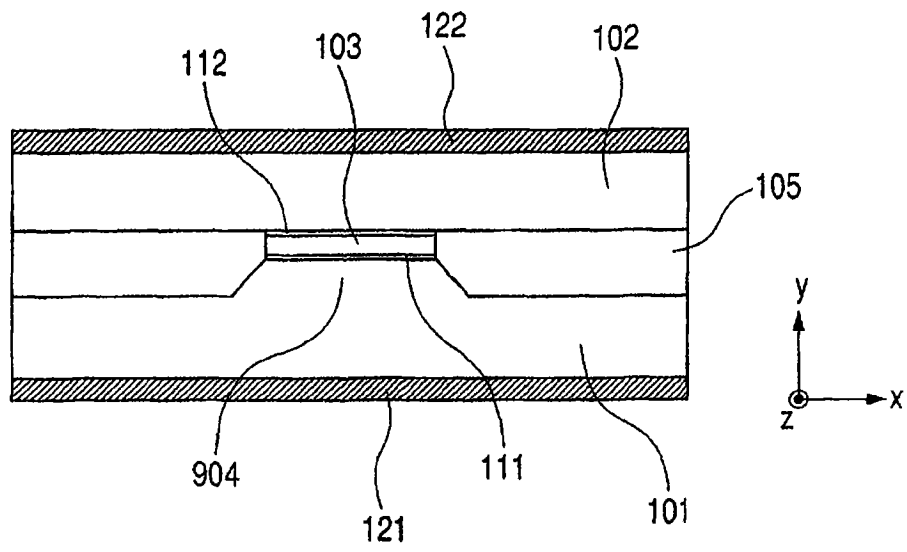


图 9A

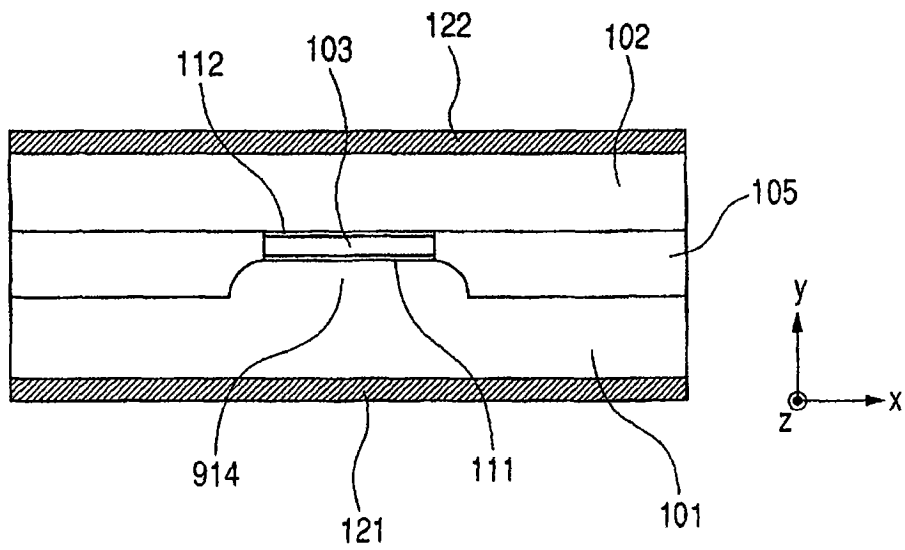


图 9B

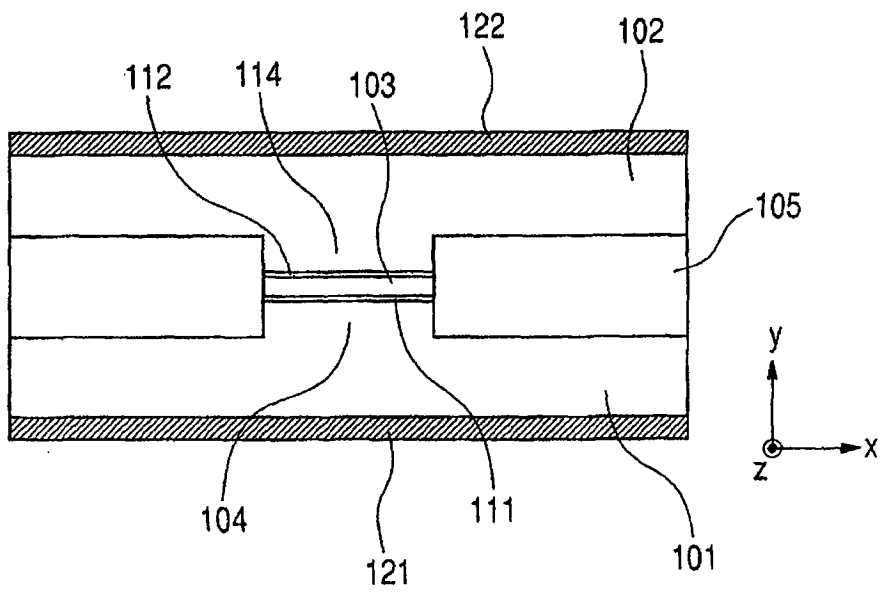


图 10