



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101718943 B

(45) 授权公告日 2013. 03. 27

(21) 申请号 200910204466. 2

(22) 申请日 2009. 09. 29

(30) 优先权数据

2008-261747 2008. 10. 08 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 片桐崇史

(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 罗银燕

(51) Int. Cl.

G02F 2/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1595233 A, 2005. 03. 16, 全文.

US 7339718 B1, 2008. 03. 04, 全文.

CN 1988298 A, 2007. 06. 27, 全文.

US 2005/0242287 A1, 2005. 11. 03, 全文.

审查员 薛松

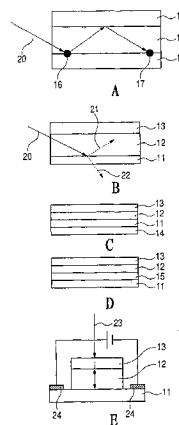
权利要求书 1 页 说明书 15 页 附图 8 页

(54) 发明名称

太赫波产生器

(57) 摘要

本发明提供一种改善太赫波产生效率的太赫波产生器。该太赫波产生器包括用于产生太赫波的产生层、用于传播入射产生层的激发光和由入射产生层的激发光产生的太赫波的波导层、以及用于在波导层中限制在波导层中传播的激发光和由入射产生层传播的太赫波的第一限制层。产生层、波导层和第一限制层被依次层叠。



1. 一种用于产生太赫波的太赫波产生器,包括
用于通过入射的激发光产生载流子的产生层,其中,被所述产生层反射的激发光再次入射所述产生层,
用于允许所述激发光穿过的波导层;
用于使得被所述产生层反射的激发光再次入射所述产生层的第一限制层;以及
用于调整被所述产生层吸收的激发光的吸收比的调整层,
其中,所述产生层、所述调整层、所述波导层和所述第一限制层被依次层叠。
2. 根据权利要求 1 的太赫波产生器,其中,在第一位置处入射所述产生层的激发光被反射,并且,被反射的激发光在与所述第一位置不同的第二位置处入射所述产生层。
3. 根据权利要求 1 的太赫波产生器,其中,
所述产生层由光电导半导体形成;
所述波导层由允许入射所述产生层的激发光和由入射所述产生层的激发光产生的太赫波穿过的材料形成;并且,
所述第一限制层由反射在所述波导层中传播的激发光和在该波导层中传播的太赫波的材料形成。
4. 根据权利要求 2 的太赫波产生器,还包括由反射在所述产生层中产生的太赫波的材料形成的第二限制层,
其中,所述第二限制层、所述产生层、所述调整层、所述波导层和所述第一限制层被依次层叠。
5. 根据权利要求 1 的太赫波产生器,其中,所述产生层具有从所述产生层产生的太赫波的波长的十分之一或更小的光学厚度。
6. 根据权利要求 4 的太赫波产生器,其中,所述第二限制层是用于向所述产生层施加电场的电极。
7. 根据权利要求 2 的太赫波产生器,其中,所述波导层的相对于所述激发光的折射率比所述产生层的相对于所述激发光的折射率小。
8. 根据权利要求 1 的太赫波产生器,其中,所述波导层包含用于传播所述激发光的第一波导层和用于传播所述太赫波的第二波导层。

太赫波产生器

技术领域

[0001] 本发明涉及用于产生太赫波 (terahertz wave) (在本说明书中具有 0.3THz ~ 30THz 范围内的频率的电磁波) 的产生器件。

背景技术

[0002] 太赫波 (在本说明书中具有 0.3THz ~ 30THz 范围内的频率的电磁波) 主要具有其以下的特性。

[0003] 首先,波长相对短,因此,如同 X 射线,太赫波可穿过非金属物质。另外,存在许多具有对太赫波的频带特有的吸收谱 (spectrum) 的生物分子和药品。并且,时域中的脉冲宽度相对短,因此,太赫波具有适合于多种成像的空间分辨率。

[0004] 作为利用上述特性的太赫波的应用,存在用于物质的内部的谱分析技术、作为 X 射线器件的安全替代品的透视成像器件、用于层状结构的非破坏性断层 (tomographic) 图像获取技术等。

[0005] 这里,用于产生太赫波的波源 (被构成为包含诸如飞秒 (femto-second) 激光器的光源和诸如光电导 (photoconductive) 天线的产生器件的太赫波产生装置) 可被分为两类。

[0006] 类型之一是用于产生具有单色 (单波长) 的太赫波的波源,包含产生连续波 (CW) 的波源和产生脉冲波的其他波源。这里,通过组合具有不同频率的两个光束以产生供给到光电导天线的拍频 (beating),产生连续波。

[0007] 另一类型是用于产生包含宽带频率成分的单循环 (monocycle) 太赫脉冲 (具有单峰) 的波源,在所述宽带频率成分中,具有不同波长的光束在保持相位关系 (处于匹配的峰位置的状态中) 时相互叠加。

[0008] 常规上,作为用于产生太赫脉冲的器件,适当地使用包含在光电导半导体中形成的一对天线型电极的光电导天线。

[0009] 首先,在施加有电压的电极之间照射飞秒激光脉冲光,并由此在半导体中产生载流子。然后,沿电场的方向 (施加的电压的方向) 对产生的载流子进行加速。然后,产生具有与载流子的加速度对应的强度的太赫脉冲,并将其辐射到自由空间。

[0010] 这种光电导器件由具有高速和高耐电压特性的半导体构成,诸如低温下在 GaAs 基板上生长的 GaAs (LT-GaAs)。

[0011] 另外,在 Applied Physics Letters, vol. 59, pp. 3357-3359, 1991 中公开了具有与光电导天线不同的形式的太赫脉冲产生器件。该器件使用硅 p-i-n 二极管。

[0012] 这里,上述器件的本征层 (intrinsic layer) (当被照射有激发光时产生载流子的绝缘层或 i 层) 的膜厚被调适为使得可充分地使激发光衰减的厚度。因此,几乎所有的被激发光激发的载流子可有助于产生太赫波,并可由此获得相对高的太赫波产生效率。

[0013] 另外,对照射有激发光的表面沿与表面垂直的方向 (沿膜厚的方向) 施加电压。在这种情况下,如果膜薄,那么,与沿膜表面方向施加电压的常规光电导天线相比,可有效

地施加高电场。

[0014] 在上述的 Applied Physics Letters, vol. 59, pp. 3357-3359, 1991 中公开的器件被配置为使得激发光入射 (enter) 二极管的表面。另一方面, Microwave Photonics, 2003. MWP 2003 Proceedings. International Topical Meeting on, pp. 179-182, 2003 公开了其中激发光沿与膜平行的方向从器件的端面入射 InAlAs/InGaAs/InGaAsP p-i-n 二极管的多层膜结构的太赫波产生器。

[0015] 该器件的结构的目的, 是通过具有不同波长的两个光束的光混频 (photomixing) (外差检测) 产生拍频, 使得可有效产生单色太赫波。当激发光在以 InGaAs/InGaAsP 层 (本征层或 i 层) 作为芯 (用于传播激发光的层) 的波导结构中传播时, 产生载流子。

[0016] 关于这种波导型二极管, 可相互独立地设计可吸收激发光的本征层的长度 (吸收长度) 和本征层 (i 层) 的膜厚。这里, 吸收长度是对产生太赫波的效率有贡献的参数。上述波导结构的情况下的吸收长度变成从激发光入射端的与膜平行方向的长度。另外, 本征层的膜厚可改变器件的操作速度。通过减小膜厚, 可增加速度。

[0017] 另外, 产生的太赫波在波导结构内传播, 由此, 不仅容易辐射到自由空间中, 而且容易与传输线连接。

[0018] 但是, 在上述的 Applied Physics Letters, vol. 59, pp. 3357-3359, 1991 中公开的光电导天线中, 被用于接收激发光的表面 (本征层或 i 层) 反射的光的能量不对太赫波的产生有贡献, 并由此出现能量损失。

[0019] 另外, 如果应产生具有较高功率 (power) 的太赫波, 那么需要增加要施加的电压和激发光的强度 (功率)。在这种情况下, 屏蔽 (screening) 效应限制了产生的太赫波的功率。

[0020] 这里, 屏蔽效应意味着当用激发光照射光电导半导体时出现的以下现象。它是随着要被照射的每单位面积的激发光的功率增加、所产生的太赫波的功率饱和的现象。

[0021] 另外, 考虑将 Microwave Photonics, 2003. MWP 2003 Proceedings. International Topical Meeting on, pp. 179-182, 2003 中公开的波导型二极管应用于产生太赫脉冲的器件的情况。在这种情况下, 如果应产生具有较高功率的太赫波, 那么需要增加要施加的电压和激发光的强度 (功率)。吸收层 (本征层或 i 层) 和芯 (用于传播激发光的层) 作为同一层被形成, 由此, 当激发光入射芯时需要会聚激发光。出于这种原因, 产生的太赫波的功率被上述的屏蔽效应限制。

[0022] 另外, 用于产生载流子的层 (吸收层) 和用于传播激发光的层 (芯) 作为同一层被形成, 由此, 激发光的传播被吸收层的透射率限制。由此, 传播效率受到限制。

发明内容

[0023] 根据本发明的用于产生太赫波的太赫波产生器包含用于通过入射的激发光产生载流子的产生层, 其中, 被产生层反射的激发光再次入射 (reenter) 产生层。

[0024] 根据本发明, 能够提供可改善太赫波产生效率的太赫波产生器。

[0025] 从参照附图对示例性实施例的以下描述, 本发明的进一步的特征将变得明显。

附图说明

- [0026] 图 1A、图 1B、图 1C、图 1D 和图 1E 是示出根据本发明实施例的太赫波产生器的示意图。
- [0027] 图 2A、图 2B 和图 2C 是根据例子 1 的电磁波产生器的一般结构图。
- [0028] 图 3A、图 3B、图 3C 和图 3D 是示出根据例子 1 的电磁波产生器的制造方法的示意图。
- [0029] 图 4 是示出根据例子 1 的电磁波产生器中的激发光的吸收特性的曲线图。
- [0030] 图 5A 和图 5B 是根据例子 2 的传输线集成传感器模块的一般结构图。
- [0031] 图 6A 和图 6B 是根据例子 3 的电磁波产生器的一般结构图。
- [0032] 图 7 是示出根据例子 3 的电磁波产生器中的群速度 (group velocity) 匹配的示意图。
- [0033] 图 8A 是根据例子 4 的断层成像装置的一般结构图。
- [0034] 图 8B 是根据例子 4 的电磁波产生器的一般结构图。
- [0035] 图 9A 和图 9B 是根据例子 5 的传输介质连接器的一般结构图。

具体实施方式

[0036] (第一实施例: 激发光再次入射产生层)

[0037] 参照图 1A 描述根据本实施例的用于产生太赫波的太赫波产生器。注意, 图 1A 是示意性地示出沿与太赫波传播方向垂直的方向切割的器件截面的截面图。这里, 根据本发明的太赫波产生器不限于该结构。

[0038] 根据本实施例的太赫波产生器具有以下的结构。首先, 产生层 11 是用于响应入射的激发光 20 产生载流子的层。关于产生层 11, 优选使用具有比激发光 20 的能量小的带隙能量的半导体的结构 (单层结构) 或包含该半导体的二极管结构 (多层的结构)。另外, 可对于产生层 11 使用半导体超晶格或超导体。具体而言, 在第二实施例的 (a-1) 中详细描述了该结构。并且, 优选产生层 11 的膜厚应为 $2\mu\text{m}$ 或更大。如果膜厚为该值, 那么激发光 20 不穿过产生层 11。因此, 能够反射激发光 20 而没有由于穿过所导致的损失。

[0039] 并且, 根据本实施例的太赫波产生器具有被产生层 11 反射的激发光 20 再次入射产生层的结构。

[0040] 因此, 激发光可通过用激发光的一次照射多次入射产生层, 并可由此有效地产生载流子。另外, 由于产生载流子的效率增加, 因此可以改善由于屏蔽效应导致的对太赫波产生效率的限制。

[0041] 这里, 通过反射的激发光 20 再次入射产生层 11 的位置, 根据本实施例的太赫波产生器被分类为下面描述的两类 (a) 和 (b)。

[0042] 注意, 在本说明书中, 包含于照射产生层 11 的光中的多个“光束 (与波阵面 (wavefront) 垂直的射束)”中的至少一个被称为“激发光”。但是, 它不应被解释为通过上述定义从本发明排除上述概念以外的概念。

[0043] (a) 反射的激发光在不同的位置处再次入射产生层。

[0044] 在第一位置 16 处已入射产生层 11 的激发光 20 被反射。然后, 反射的激发光在与第一位置 16 不同的第二位置 17 处入射产生层 11。

[0045] 这里, 为了将太赫波产生器配置为具有上述的功能, 优选将其构建如下。

[0046] 首先,太赫波产生器被构建为具有允许激发光 20 穿过的波导层 12。对于波导层 12,优选使用有机电介质材料(诸如塑料)或无机电介质材料(诸如氧化铝或石英)。具体而言,在第二实施例的(b-1)中进行了详细描述。

[0047] 然后,太赫波产生器被构建为具有用于使得在第一位置 16 处被产生层 11 反射的光能够入射第二位置 17 的第一限制(confinement)层 13。对于第一限制层 13,优选使用激发光 20 的频带中的复折射率(complex refractive index)的虚部(对能量损失有贡献)大的材料(表面反射型)。具体而言,可以使用金属或重掺杂的半导体。另外,对于第一限制层 13,优选使用激发光 20 的频带中的折射率(复折射率的实部)比波导层 12 的小的材料。在这种情况下,优选相对于第一限制层 13 将激发光 20 的入射角调适(adapt)为全内反射的角度或更大(全内反射型)。

[0048] 然后,产生层 11、波导层 12 和第一限制层 13 被依次层叠。

[0049] 注意,在第二实施例中详细描述了产生层 11、波导层 12 和第一限制层 13 的材料等。

[0050] 这里,优选如图 1A 所示的那样用激发光 20 照射波导层 12。在这种情况下,激发光 20 沿膜的表面方向(与膜厚方向垂直的方向)入射器件的端部。

[0051] 作为替代方案,可以从第一限制层 13 侧用激发光照射波导层 12。在这种情况下,例如,考虑在第一限制层 13 中形成窗口。该窗口由允许激发光 20 穿过的材料制成,由此使得激发光能够入射产生层。另外,对于第一限制层 13,优选使用半反射镜(half mirror)(对于激发光 20 具有 50%的透射率并对激发光 20 具有 50%的反射率)。但是,不用说,对于第一限制层 13,可以使用具有除 100%以外的反射率或除 100%以外的透射率的材料。

[0052] 优选用激发光照射波导层,因为当激发光穿过第一限制层 13 时不产生损失,但本发明自然不限于该结构。

[0053] (b) 反射的激发光在同一位置处再次入射产生层。

[0054] 参照图 1E 描述反射的激发光在同一位置处再次入射产生层 11 的情况。图 1E 是示意性地示出沿与太赫波传播方向垂直的方向切割的器件截面的截面图。

[0055] 在本实施例的器件中,首先,入射产生层 11 的激发光 23 被反射。然后,反射的激发光在同一位置处入射产生层 11。

[0056] 这里,为了将太赫波产生器配置为具有上述的功能,优选将其构建如下。

[0057] 首先,太赫波产生器被构建为具有允许激发光 23 穿过的波导层 12。具体而言,使用与上面在(a)中描述的相同的材料。

[0058] 然后,太赫波产生器被构建为具有第一限制层 13,所述第一限制层 13 用于允许激发光 23 穿过并用于反射已被产生层 11 反射的激发光。如上面在(a)中描述的那样,对于第一限制层 13 优选使用半反射镜。

[0059] 然后,产生层 11、波导层 12 和第一限制层 13 被依次层叠。

[0060] 在这种情况下,优选在器件的两端处设置电极 24,用于向产生层 11 施加电场。这里,当激发光 23 入射产生层 11 时产生的载流子沿施加电场的方向流动。另外,优选激发光 23 应沿垂直方向入射产生层 11。这是由于激发光 23 的入射方向可与电场施加方向垂直。由此,可以沿电场的方向加速载流子以产生太赫波。

[0061] 注意,太赫波作为脉冲串(pulse train)被产生(处于依次在照射定时上产生太

赫波脉冲的状态中)。

[0062] (第二实施例:激发光和太赫波在波导层中传播)

[0063] 参照图 1B、图 1C 和图 1D 描述根据本实施例的用于产生太赫波的太赫波产生器。注意,图 1C 是示意性地示出沿与太赫波传播方向垂直的方向切割的器件截面的截面图。另外,图 1B 是示意性地示出沿太赫波传播方向切割的器件截面的截面图。

[0064] 这里,根据本实施例的太赫波产生器具有不仅激发光在波导层中传播而且太赫波也在波导层中传播的结构。因此,不仅可改善载流子产生效率,而且可改善太赫波提取效率。

[0065] 根据本实施例的太赫波产生器具有以下的结构。

[0066] (a) 产生层

[0067] 首先,产生层 11 是用于响应入射的激发光 20 产生载流子的层。产生层 11 由光电导半导体形成。

[0068] (a-1) 材料

[0069] 优选产生层 11 应为在低温下生长的 GaAs (LT-GaAs)、InGaAs、AlGaAs 等的光电导半导体(单层结构)。另外,优选产生层 11 应为包含所述光电导半导体的结构(多层的结构)。该结构意味着包含具有比激发光的光子能量小的带隙能量的半导体的二极管结构(即,具有整流性能的结构)。例如,能够使用 p-i-n 二极管结构、金属-i-n 二极管结构、金属-i-金属二极管结构、肖特基势垒二极管结构等。这些结构可减少由通过被用激发光照射时向器件施加反向偏压所产生的载流子流动的电流。因此,即使产生层 11 具有小的电阻(resistance),也可有效地向载流子施加电场。这里,优选 i 层的材料应例如电阻比 LT-GaAs 低的 In GaAs 等,但是本发明不限于该结构。

[0070] (a-2) 激发光

[0071] 当激发光 20 入射产生层 11 时,产生太赫波。激发光 20 是从激光光源发射的相干(即具有相干性)脉冲光。另外,为了产生具有宽频带的太赫波,优选激发光 20 应具有几飞秒到几十飞秒的脉冲宽度。当用激发光 20 照射产生层 11 时,激发光 20 被产生层 11 吸收,使得产生载流子。

[0072] (a-3) 产生太赫波的方向

[0073] 这里,描述产生太赫波的方向。

[0074] 图 1B 示出从产生层 11 产生的太赫波包含沿两个方向产生的太赫波。一个是在波导层 12 侧产生的第一太赫波 21。另一个是在波导层 12 的相对侧产生的第二太赫波 22。

[0075] 太赫波的辐射具有强的指向性(directivity),并且满足以下的关系。

[0076] <式 1>

$$[0077] \quad n_{\text{opt}} \sin(\theta_{\text{opt}}) = n_{\text{THz}} \sin(\theta_{\text{THz}})$$

[0078] 这里, n_{opt} 和 n_{THz} 分别表示激发光 20 的折射率和产生的太赫波的频率处的波导层 12 的折射率。另外, θ_{opt} 和 θ_{THz} 分别表示激发光 20 的入射角、以及产生的太赫波束的中心轴和产生层 11 的法线之间的角度。

[0079] 因此,如果在 n_{opt} 和 n_{THz} 之间不存在明显的差异,那么激发光的波阵面的传播与太赫波的波阵面的传播相同。因此,基本上与被产生层 11 反射的激发光 20 的反射光同轴地辐射太赫波(第一太赫波 21)。然后,辐射的太赫波被封入(enclose)波导层 12 中,并且沿

与激发光 20 相同的方向传播。

[0080] 另外,太赫波还沿激发光 20 在被波导层 12 和产生层 11 之间的界面折射之后传播的方向传播(第二太赫波 22)。

[0081] 这里,激发光 20 包含被产生层 11 吸收的分量和被产生层 11 反射的分量。吸收的激发光产生载流子,所述载流子被加速,使得产生太赫波。

[0082] (a-4) 电场的施加

[0083] 优选向载流子施加电场。例如,考虑设置用于向产生层 11 施加电压的电极。当施加电场时,载流子被加速,使得产生太赫波。

[0084] 另外,优选沿膜厚方向向产生层 11 施加电场。在这种情况下,载流子的电场方向也变成膜厚方向(其与施加电场的方向相同)。因此,当激发光 20 沿水平方向(其与膜厚方向垂直)入射波导层 12 的端面时,激发光 20 被产生层 11 反射。另外,如在后面描述的那样,被产生层 11 反射的激发光 20 还被第一限制层 13 反射。激发光 20 重复这些反射,以在波导层 12 中传播。具体而言,能够采用如图 2A 所示的结构。因此,在产生层 11 的两侧设置一对电极,并且,施加不是击穿电压的范围中的反向偏压的电压,使得可以沿与层垂直的方向施加希望的电压。当然,还能够采用如图 2C 所示的那样相对于产生层 11 的膜厚方向沿水平方向施加电场的另一结构。在例子 1 中详细描述了这些结构。

[0085] 这里,如果沿膜厚方向向产生层 11 施加电场,那么太赫波的传播模式变成 TEM 模式或 TM 模式。

[0086] 这里,TEM 模式意味着横向电(TE)模式和横向磁(TM)模式两者都存在的光的传播状态。

[0087] TE 模式意味着电场变得与太赫波的传播方向(其与膜厚方向垂直)垂直的传播状态。另外, TM 模式意味着磁场变得与太赫波的传播方向垂直的传播状态。

[0088] (a-5) 表面电场

[0089] 如果半导体具有单层结构,那么即使没有电场也施加表面电场。由于能带在半导体的表面上弯曲使得产生能量的梯度,因此出现该现象。因此,可以加速载流子而无需用电极施加电场。

[0090] (b) 波导层

[0091] 然后,波导层 12 是用于传播入射产生层 11 的激发光 20 和由入射产生层 11 的激发光 20 产生的太赫波 21 的层。波导层 12 由允许激发光 20 和太赫波 21 穿过的材料形成。

[0092] (b-1) 材料

[0093] 波导层 12 可由对于激发光和太赫波具有高的透过性(transparency)的材料构成。对于波导层 12,优选使用有机电介质材料或无机电介质材料。作为有机电介质材料,例如,存在诸如高密度聚乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚环烯、Teflon(注册商标)和聚酰亚胺的塑料。另外,作为无机电介质材料,存在氧化铝、石英等。当然,本发明不限于这些材料。

[0094] 另外,能够使用具有比激发光的光子能量大的带隙能量的高电阻半导体。因此,激发光 20 可传播,而不在波导层 12 中产生载流子。并且,可以使用空气。例如,可以使用由金属等构成的中空结构(被金属包围的空气)。

[0095] (b-2) 折射率

[0096] 对于根据本实施例的太赫波产生器,优选波导层 12 相对于激发光的折射率应比产生层 11 相对于激发光的折射率小。满足该关系的材料例如为上述的材料。

[0097] 因此,当激发光 20 被产生层 11 反射时,激发光 20 在泄漏模式中传播,并由此可以比激发光 20 在产生层 11 内以全内反射传播的情况更有效地产生载流子。

[0098] 注意,泄漏模式意味着光在所述光的一部分被层吸收时通过反射而传播的状态。

[0099] 在这种情况下,当激发光入射波导层 12 时,优选激发光应通过用于会聚光的透镜入射波导层 12 的端面。因此,光可入射具有比产生层 11 的折射率小的折射率的波导层 12。

[0100] 这里,如果波导层 12 相对于激发光的折射率大于或等于产生层 11 相对于激发光的折射率,那么出现激发光 20 的全内反射。在这种情况下,激发光 20 被产生层 11 的表面稍微吸收,使得产生载流子。

[0101] (b-3) 模式滤波器 (mode filter)

[0102] 高次 (high order) 模式 (具有大量峰的光的传播状态) 导致太赫波的时间波形和谱波形的畸变。另外,当光入射波导层时,高次模式相对于层的表面具有大的入射角度,由此,产生层的反射率减小并且产生大的能量损失。

[0103] 因此,例如使用具有尽可能大的焦距的透镜,由此激发光相对于层的表面以尽可能小的角度被照射到波导层 12。因此,可以振荡低次模式 (具有少量峰的光的传播状态)。

[0104] 另外,作为用于选择性振荡激发光的低次模式的其它手段,考虑添加用于将波导层和限制层延长到器件的入射端的器件结构。高次模式具有比低次模式大的能量损失。因此,随着传播距离变长,高次模式可更容易消失。

[0105] 并且,如果通过透镜会聚激发光,那么在低次模式中焦斑的尺寸变得比在高次模式中小。因此,如果在焦点位置处设置与焦斑的尺寸对应的狭缝,那么可以选择低次模式。

[0106] (b-4) 膜厚

[0107] 波导层 12 的膜厚 T 是用于决定输出的太赫波的时间波形和谱特性的重要设计因素。

[0108] 为了抑制由多个模式之间的干涉导致的波形的畸变,优选在单模式中传播太赫波。可通过选择波导层 12 的膜厚 T 使得传播的太赫波的基本模式是 TEM 模式并且满足关系 $T \leq Jc/2f_{\max}n_{\text{THz}}$, 来实现这一点。这里, f_{\max} 表示产生的太赫波的频率分量的最大值,并且 c 表示光速。

[0109] (c) 第一限制层

[0110] 另外,第一限制层 13 是用于在波导层 12 中限制在波导层 12 中传播的激发光 20 和在波导层 12 中传播的太赫波 21 的层。第一限制层 13 由用于反射激发光 20 和太赫波 21 的材料形成。例如,可对于第一限制层 13 使用金属。已知的是,金属能以小的能量损失反射太赫波。

[0111] (c-1) 材料

[0112] 希望第一限制层 13 应由相对于太赫波具有高反射率的材料构成。

[0113] 用于获得高反射率的反射结构包含两种类型。一种是使用复折射率的有效虚部大的材料的反射的表面反射型,另一种是使用全内反射的全内反射型。在表面反射型的情况下,第一限制层 13 由金属或以高浓度掺杂杂质的半导体构成。在这种情况下,限制层还可用作向产生层施加电压的电极。另外,能够使用由电介质多层膜或光子晶体构成的周期结

构。另外,关于全内反射型,优选使用具有比波导层小的折射率并可透过太赫波的材料,该材料也可以是空气。

[0114] 如果在用于引导激发光的波导层 12 上层叠第一限制层 13,那么优选第一限制层 13 还应相对于激发光具有高反射率。在这种情况下,金属适合用于表面反射型,但是可以在金属表面上涂敷由电介质制成的高反射率膜,使得能获得更高的反射率。

[0115] (d) 层之间的关系

[0116] 并且,根据本实施例的太赫波产生器包含依次形成(层叠)的产生层 11、波导层 12 和第一限制层 13。

[0117] 因此,被产生层 11 反射的激发光进一步被第一限制层 13 反射,并再次照射产生层 11。因此,激发光通过被反复反射而在波导层 12 中传播,并由此可有效地使用激发光。

[0118] 另外,当激发光 20 照射产生层 11 时,照射的次数可以增加,从而导致可有效地增加产生的太赫波的总功率。因此,如果增加一次照射的面积,那么能够解决太赫波产生效率被屏蔽效应降低的问题。

[0119] 注意,如上所述,屏蔽效应意味着随着要被照射的每单位面积的激发光的功率增加、所产生的太赫波的功率饱和的现象。

[0120] (e) 器件长度

[0121] 这里,根据本实施例的太赫波产生器可被设计为具有足够大的器件长度(沿激发光的传播方向的器件长度)。因此,几乎所有的激发光的能量可对太赫波的产生作贡献,并可由此增加太赫波产生效率。另外,当要施加的电压和在一次反射中被产生层吸收的激发光的能量被控制为低时,还可放大太赫波。

[0122] (f) 第二限制层

[0123] 另外,图 1C 示出根据本发明的另一实施例的太赫波产生器,其包含被构建为具有用于反射第二太赫波 22 的材料的第二限制层 14。

[0124] 并且,太赫波产生器包含依次形成(层叠)的第二限制层 14、产生层 11、波导层 12 和第一限制层 13。

[0125] 因此,第二太赫波 22 可被第二限制层 14 反射并可在波导层 12 中传播。因此,可以有效使用第二太赫波 22。

[0126] (f-1) 用于反射激发光的材料

[0127] 另外,第二限制层 14 可由用于反射激发光的材料形成。因此,即使产生层 11 的膜厚太薄以至于激发光可穿过产生层 11,也可通过第二限制层 14 反射已穿过的激发光。因此,已穿过产生层 11 的光可再次照射产生层 11,并可由此增加在波导层 12 中传播的太赫波的功率。

[0128] 由于反射导致的太赫波的相位变化对太赫波产生效率大有贡献。如果第一限制层是如同金属的表面反射型并且第二限制层是全内反射型,那么仅在一个表面上出现基本上为 180 度的相位变化。然后,反射的太赫波和产生的太赫波相互抵消。因此,为了通过波导层 12 放大太赫波,优选将反射的太赫波和产生的太赫波的反射形式统一。

[0129] (f-2) 产生层的光学膜厚

[0130] 在这种情况下,优选产生层 11 的光学膜厚应小于或等于太赫波的波长的十分之一。因此,当第二太赫波 22 被第二限制层 14 反射时,第二太赫波 22 可被视为与第一太

赫波 21 的相位相同的相位传播的太赫波。这是因为,被产生层 11 反射的太赫波和被第二限制层 14 反射的太赫波的波形均是余弦波,由此,如果光学膜厚具有上述的长度,那么认为在其峰值之间存在很小的差异。

[0131] (g) 调整层

[0132] 优选根据本实施例的太赫波产生器应如图 1D 所示的那样在波导层 12 和产生层 11 之间包含调整层 15。调整层 15 是用于调整被产生层 11 吸收的激发光的吸收比(吸收率)的层。因此,激发光在波导层 12 和产生层 11 之间的边界处的反射率可被调整。

[0133] 具体而言,选择调整层 15 的膜厚和折射率,使得在波导层 12 和调整层 15 之间的边界处反射的激发光与在调整层 15 和产生层 11 之间的边界处反射的激发光干涉。因此,激发光在波导层 12 和产生层 11 之间的边界处的反射率(返回波导层的比率)可被调整,并可由此调整照射产生层 11 的激发光的一次的功率。

[0134] 例如,如果将激发光转换成太赫波的效率大,那么在一次照射时被产生层 11 吸收的激发光的吸收量可被减小,使得通过多次的照射产生太赫波。因此,可以防止上述的屏蔽效应,并可由此有效地产生太赫波。另外,如果转换效率小,那么应选择调整层 15 的膜厚等,使得增加吸收量。

[0135] 这里,调整层 15 的材料选自允许激发光和太赫波穿过的材料。

[0136] 注意,优选将调整层 15 构建为具有随着离激发光入射的波导层 12 的入射端距离增加而逐渐减小的膜厚。因此,在接近入射端的区域中,可通过将反射率设为大的来减小激发光的吸收量,并可由此防止屏蔽效应。另外,在远离入射端的区域中,可通过将反射率设为小的来增加激发光的吸收量,并可由此有效地将激发光转换成太赫波。

[0137] (h) 群速度匹配

[0138] 下面,描述用于获得接近单循环(单)脉冲的时间波形和具有小的条纹(fringe)(其是由光学干涉等产生的条带图案)的平坦谱特性的器件。这里,如同包含条纹的谱的波状谱的状态意味着这样的状态:作为时间波形的脉冲的相位相互移动,使得出现多个峰。

[0139] 可通过使在波导层中传播的太赫波的相位与当激发光入射时在产生层中新产生的太赫波的相位匹配,来实现单循环脉冲的时间波形。为此目的,在波导层中传播的激发光和太赫波之间,群速度应当一致(agree)。以下描述具体的结构。

[0140] 关于平行板波导模型,具有频率 f 的电磁波的群速度 v_g 一般由下式表达。

[0141] <式 2>

$$[0142] \quad v_g = \frac{c}{n} \sqrt{1 - \left(\frac{mc}{nfT} \right)^2}$$

[0143] 这里, n 和 T 分别表示波导层的折射率和膜厚, c 表示光速。并且, m 表示具有 0 或更大的整数值的模式次数(mode order)。考虑激发光的频率为太赫波的频率的几十到几百倍,为了在单模式中传播太赫波并使两个电磁波的群速度相互一致,例如可采用以下的方法。

[0144] (h-1) 选择低次模式

[0145] 第一种方法是使太赫波的 TEM 模式和激发光的低次模式之间的群速度匹配。在这种情况下,设计结构,使得在波导层的膜厚 T 中,太赫波在 TEM 模式的单模式中传播而激发

光在多模式（其是各种模式的光束混合并传播的状态）中传播。在 TEM 模式中传播的太赫波的群速度由使用波导层相对于太赫波的折射率 n_{THz} 的 c/n_{THz} 表达。另一方面，如果波导层的膜厚充分地比激发光的波长大（sufficiently larger），那么在波导层中传播的激发光的模式之中的相对低次模式的群速度基本上等于 c/n_{opt} （ n_{opt} 表示波导层相对于激发光的折射率）。这里，如果波导层由具有被视为彼此相等的 n_{THz} 和 n_{opt} 的材料制成，那么可在太赫波的 TEM 模式和激发光的低次模式之间匹配群速度。为了使得在低次模式中选择性振荡激发光，例如可通过延长波导层和限制层而使器件的入射端被提供有模式滤波器。

[0146] 以此方式，利用在多模式中传播的激发光的相对低次模式，由此，每单位器件长度的激发光的吸收率小。因此，作为通过利用高强度激发光具有高功率的产生器件，该结构是有效的。

[0147] (h-2) 第一波导层和第二波导层

[0148] 在单模式中传播太赫波并使两个电磁波的群速度匹配的另一方法是：在单模式中传播激发光，并使其基本模式和太赫波的 TEM 模式之间的群速度匹配。

[0149] 可例如如图 6A 所示的那样，通过将波导层 12 设计为具有包含用于传播激发光的第一波导层 205 和用于传播太赫波的第二波导层 206 的两层结构，来实现这一点。第一波导层是与产生层 11（图 6A 中的产生层 203）接触的层，并且，使得另一层是第二波导层。

[0150] 当激发光被照射到第一波导层时，可通过将第一波导层相对于激发光的折射率设为比第二波导层的折射率大，在第一波导层中限制激发光。另外，第一波导层的膜厚被最佳地设计，使得激发光以单模式传播。

[0151] 第二波导层的膜厚被设计为使得太赫波以 TEM 模式的单模式传播。

[0152] 当激发光在第一波导层中传播时，光子被产生层 11 部分吸收，使得产生太赫波。由于太赫波的波长充分地比第一波导层的膜厚大，因此产生的太赫波被限制在第二波导层中，而不被第一波导层影响。

[0153] 如上所述，包含激发光的电磁波和包含太赫波的电磁波均能以单模式传播，由此它们的群速度可相互精确地匹配。因此，该结构适合用于产生具有小脉冲宽度的单循环脉冲。

[0154] 因此，激发光和太赫波两者均能以单模式被控制，由此容易使激发光的群速度和太赫波的群速度匹配。因此，可产生具有小脉冲宽度的太赫波。

[0155] (i) 其它

[0156] (i-1) 天线部分

[0157] 优选根据本实施例的太赫波产生器包含用于将已在波导层 12 中传播的太赫波辐射到自由空间中的天线部分。

[0158] 因此，太赫波产生器的阻抗可与自由空间的阻抗匹配，由此，可以有效地将产生的太赫波辐射到自由空间中。另外，可以减少由太赫波的反射波产生的噪声。

[0159] (i-2) 传输线集成传感器模块

[0160] 描述使用上述根据本实施例的太赫波产生器作为太赫波的产生源的传感器器件。

[0161] 通过检测部分检测由于设置在太赫波传播路径中的物体导致的太赫波的上述传播状态的变化，并由此获得关于物体的形态的信息。

[0162] 由于电磁波产生器的高功率，因此，与常规的传感器器件相比，能够实现更微小量

的试样的测量、更高 S/N 比的测量和更高速度的测量。在例子 2 等中描述其细节。

[0163] (i-3) 断层摄影 (tomography) 装置

[0164] 描述使用上述根据本实施例的太赫波产生器作为太赫波的产生源的断层摄影装置。

[0165] 通过检测部分检测由于设置在太赫波传播路径中的物体导致的电磁波的传播状态的变化,并由此获得物体的截面结构。

[0166] 因此,由太赫波产生器产生的太赫波具有大的功率和小的脉冲宽度,由此,与常规的断层摄影装置相比,能够实现更高 S/N 比的测量、更高速度的测量和更大深度的测量。在例子 4 等中描述其细节。

[0167] < 例子 >

[0168] (例子 1 :被配置为包含调整层的产生器件)

[0169] 参照附图描述根据本例子的电磁波产生器 (或太赫波产生器) 。

[0170] 如图 2A ~ 图 2C 所示,根据本例子的器件是用于从对应于 $1.55 \mu\text{m}$ 的波长的频带中的激发光产生具有高功率的太赫脉冲的电磁波产生器。

[0171] 在 Si 基板 101 上,形成由 Ti/Au 制成的下部限制层 102 (或第二限制层), 并且,在该区域的一部分中,转印 (transfer) 由 InGaAs/InP-i-n 二极管构成的产生层 103。在产生层 103 上,形成由 Al_2O_3 制成的调整层 104, 并且,在调整层上,形成由苯并环丁烯 (benzocyclobutene, BCB) 制成的波导层 105 和由 Ti/Au 制成的上部限制层 106 (或第一限制层)。在产生层的上表面的一部分上,形成用于接触的 AuGe/Ni/Au 电极 107。因此,经由电极 107 和也用作电极的下部限制层 102, DC 电压源 108 向产生层 103 施加反向偏压的电压。作为典型的尺寸,整个基板具有 $1\text{cm} \times 2\text{cm}$ 的非常小的尺寸。调整层 104 的总膜厚为 $3 \mu\text{m}$, 并且,限制层 102 和 106 之间的距离为 $10 \mu\text{m}$, 使得具有 10THz 或更低的频率的太赫波仅以 TEM 模式传播。波导层的线宽度为 $20 \mu\text{m}$ 。注意,这些尺寸和材料仅是例子,并且不应被解释为限制本发明。

[0172] 参照图 3A ~ 图 3D 描述该器件的制造工艺。

[0173] 如图 3A 所示,通过 MOCVD 方法等,在具有半绝缘性能的 InP 基板 1 上生长具有 $1.0 \mu\text{m}$ 的厚度的 n^- -InP (杂质浓度为 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$)、具有 $0.5 \mu\text{m}$ 的厚度的 n^- -InGaAs (杂质浓度为 $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$)、具有 $0.5 \mu\text{m}$ 的厚度的 n-InP 和具有 $1.0 \mu\text{m}$ 的厚度的 n^- -InP (杂质浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)。然后, Zn 被扩散,并由此形成 p^+ 区域 (杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)。由此,形成由 InGaAs p-i-n 二极管构成的产生层 103。

[0174] 如图 3B 所示,在产生层的表面上形成 Cr/AuZn/Au 电极 (未示出), 然后, InP 基板 1 被机械抛光以具有约 $100 \mu\text{m}$ 的膜厚,并由此制造 $2\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ 的芯片。事先,在形成在 Si 基板 101 上的下部限制层 102 的部分区域中形成 AuSn 焊料 (未示出), 并且,芯片被操纵并被放在希望的位置上,然后通过热使芯片熔接 (fuse)。

[0175] 如图 3C 所示,去除 InP 基板 1。在这种情况下,用有机材料等保护芯片的外围,并且通过湿蚀刻工艺去除 InP 基板 1。

[0176] 如图 3D 所示,通过 RF 溅射、BCB 涂敷、光刻和剥离方法形成调整层 104、波导层 105、上部限制层 106 和电极 107。

[0177] 下面,描述调整层 104 的结构和效果。

[0178] 根据本例子的电磁波产生器的基本结构是包含在波导层 105 的两个表面上形成的上部限制层 106 和产生层 103 的非对称性三层板状 (slab) 结构。激发光被层之间的边界反射以在波导层中传播,并且,可通过在边界中插入电介质膜调整反射率。

[0179] 在根据本例子的电磁波产生器中,波导层 105 的膜厚比激发光的波长长,并且,在波导层 105 的一侧形成产生层 103。在这种情况下,为了增加太赫波产生效率,例如考虑增加器件长度。因此,在产生层 103 和波导层 105 之间插入调整层 104,以更强烈地将激发光的能量引向产生层 103。TE 模式的相对低次模式中的调整层 104 的最佳膜厚 d 可由下式表达。

[0180] < 式 3 >

$$[0181] \quad d = \frac{\lambda}{4\sqrt{n_t^2 - n_o^2}}$$

[0182] 这里, n_t 表示调整层 104 的折射率, n_o 表示波导层 105 的折射率, λ 表示激发光的中心波长。如果 n_t 为 1.75、 n_o 为 1.45 并且 λ 为 $1.55 \mu\text{m}$, 那么 d 等于 $0.395 \mu\text{m}$ 。在这种情况下,在图 4 中示出具有 2cm 的器件长度的器件的波长和吸收率之间的关系。从图 4 可以理解,吸收率增加,峰值在激发光的 $1.55 \mu\text{m}$ 的中心波长处,并且,在 $1.55 \mu\text{m}$ 的波长处获得超过 16dB 的吸收率。上部限制层 106 中的损失为 16dB 的吸收率中的约 1.8dB,并且足够小。如果不插入调整层 104,那么,为了获得 16dB 的吸收率,器件长度在 TM 模式中需要为 8cm 并在 TE 模式中需要为 50cm,这是不实际的。如上所述,调整层 104 在减小器件长度方面起着非常重要的作用。

[0183] 在根据本例子的电磁波产生器中,激发光的传播模式被设为 TE 模式,并且在波导层 105 和产生层 103 之间插入调整层 104。但是,该结构当然不应被解释为限制。如果改变结构材料或器件结构,那么可以插入适合于该结构的电介质层。例如,当波导层的膜厚被减小为等于激发光的波长时,入射产生层的激发光的能量变得如此大,以至于产生效率降低。在这种情况下,能在波导层和产生层之间的边界中插入高反射率层。另外,还可以在产生层和波导层之间插入具有沿纵向改变的膜厚的膜(例如,具有膜厚随着离开入射端而逐渐减小的结构),使得入射产生层的激发光的能量可被平均化。并且,还可以通过在波导层和上部限制层之间的边界中插入高反射率层,来减小上部限制层中的损失。

[0184] 如上所述,根据本例子的电磁波产生器包含其厚度充分地比激发光波长大的波导层,并且产生层的光接收面积直至 $4 \times 10^5 \mu\text{m}^2$ 。它比常规上常常使用的具有 $5 \mu\text{m}$ 的间隙宽度的光电导天线大三个数位 (digit)。因此,根据本例子的电磁波产生器对于使用具有高峰值功率的激发光来产生高功率太赫波特别有效。另外,根据本例子的电磁波产生器以 TEM 模式产生太赫波。这保证了与各种传输线的高连接效率。

[0185] (例子 2:传输线集成传感器模块)

[0186] 本例子是如图 5A 和图 5B 所示的使用根据例子 1 的电磁波产生器的传输线集成传感器模块,并且,传输线集成传感器模块是对于生物分子或药品的非常小量分析有效的装置。图 5B 示出根据本例子的器件的顶视图,图 5A 示出沿图 5B 中的线 5A-5A 切取的器件的截面。注意,产生部分 302 的附图标记与图 2A 中的那些对应。

[0187] 根据本例子的传输线集成传感器模块由具有不同功能的四个部分构成。即,传输线集成传感器模块包含用作用于在入射激发光的传播模式之中仅允许低次模式穿过的模式滤波器的入射连接部分 301、用于将激发光转换成太赫波的产生部分 302、用于在太赫

波和样品之间进行相互作用的传感器部分 303、和用于检测太赫波的时间波形的检测部分 304。

[0188] 入射连接部分 301 具有由 BCB 制成的波导层 105 被夹在由 Ti/Au 制成的上部限制层 106 (或第一限制层) 和下部限制层 102 (或第二限制层) 之间的结构。当来自光纤 305 的光入射波导层 105 时, 具有大的损失的高次模式光在入射连接部分 301 中衰减, 并且低次模式光与产生层 302 连接。以此方式, 低次模式光入射产生部分 302, 并由此能够抑制由激发光的高次模式与太赫波之间的群速度差导致的脉冲波形和谱波形的畸变的影响。

[0189] 产生部分 302 具有与根据例子 1 的电磁波产生器相同的结构。

[0190] 传感器部分 303 具有产生部分 302 的波导层 105、上部限制层 106 和下部限制层 102 被延长的结构。太赫波以 TEM 模式被发送。通过由 BCB 制成的具有约 $3\mu\text{m}$ 的膜厚的保护层 307 保护传感器部分, 并且, 仅在样品保持部分 312 的区域中露出上部限制层 106。当样品被放在样品保持部分 312 上时, 已穿过样品保持部分 312 的太赫波被调制有样品的物理性能信息, 并入射检测部分 304。通过样品保持部分的这种结构, 可以执行具有更高的定量性精度的测量。

[0191] 检测部分 304 具有与产生部分 302 基本上相同的结构。但是, 如果在长距离上沿太赫波的光轴方向产生载流子, 那么时间波形的分辨率可被劣化。因此, 优选直接从器件的端面向构成检测层 313 的 p-i-n 二极管的本征层供给探测光。在检测侧, 反射保护膜 104 也不是必需的。

[0192] 在上述的测量中, 能够使用作为已知技术的太赫时域谱方法 (THz-TDS)。即, 从光纤 305 经由入射连接部分 301 向产生部分 302 供给激发光, 并由此产生太赫波。另一方面, 与激发光同步的探测光以光学延迟被供给, 并通过纤维 306 入射检测部分 304。当供给探测光时, 载流子在检测层 313 的本征层中产生, 被沿上部限制层 106 已传播的太赫波的电场加速, 并且被电流表 317 检测。探测光的选通 (gate) 时间被光学延迟改变, 并且重复测量, 并由此可获得太赫波的时间波形。

[0193] 如上所述, 通过安装具有比以前都高的功率的太赫波源而不导致大的阻抗失配, 根据本例子的传输线集成传感器模块可实现高的 S/N 比和高速的测量。

[0194] (例子 3: 允许以单模式传播的产生器件)

[0195] 图 6A 和图 6B 所示的根据本例子的电磁波产生器可从与 $1.55\mu\text{m}$ 的波长对应的频带中的激发光产生对于太赫断层摄影测量有效的单循环太赫脉冲。

[0196] 根据本例子的电磁波产生器的特征在于, 波导层被分为两个区域, 并且, 分别在单模式中, 激发光可在第一波导层 205 中传播, 而产生的太赫波可在第二波导层 206 中传播。基板 201、下部限制层 202、产生层 203、调整层 204、上部限制层 207、电极 208、电压源 209 等的其它结构与根据例子 1 的电磁波产生器中的那些的结构类似。

[0197] 第一波导层 205 相对于激发光的折射率 n_1 被选择为比第二波导层 206 相对于激发光的折射率 n_2 大, 因此, 激发光的全内反射在第一波导层 205 和第二波导 206 之间的边界处出现, 并且被限制在第一波导层 205 中。为了以单模式传播激发光, 第一波导层 205 的膜厚应被减小为波长量级的值。可通过在产生层 203 和第一波导层 205 之间插入的调整层 204, 调整要被产生层 203 吸收的激发光的量。

[0198] 单循环的太赫脉冲具有从几 THz 延伸到几十 THz 的宽频带, 因此, 为了在所有的频

率区域中实现单模式,优选使用 TEM 模式。另一方面,在第一波导层 205 中传播的激发光的模式是 TE_0 模式或 TM_0 模式,并且其群速度通常比 TEM 模式的群速度低。为了在这种约束下使群速度匹配,例如,可以使用相对于太赫波的折射率 n_{THz} 比相对于激发光的折射率 n_2 大的材料作为第二波导层 206 的材料。由于太赫波和激发光在频率上大不相同,因此选择这种材料是相对容易的。

[0199] 图 7 示出第一波导层 205 由 InP ($n_1 = 3.167$) 制成并且第二波导层 206 由 Al_2O_3 ($n_2 = 1.746, n_{\text{THz}} = 3.09$) 制成的情况下群速度相对于各层的膜厚的关系。从二次模式被遮断 (cut off) 时的膜厚可以理解,在第一波导层 205 的膜厚为曲线图中的“A”或更小的情况下,太赫波以单模式传播,并且,在第二波导层 206 的膜厚为曲线图中的“B”或更小的情况下,激发光以单模式传播。在要作为单模式的膜厚的范围内,以 TEM 模式传播的太赫波的群速度为恒定值 c/n_{THz} 。相反,以 TE_0 模式传播的激发光的群速度可以为 c/n_2 至 c/n_1 的范围内的值。因此,如果第一波导层 205 的膜厚被选择为由曲线图中的“X”表示的值,那么群速度可相互匹配。即使太赫波的频率改变,由于由曲线图中的“A”表示的膜厚的边界值沿横向移动,因此,也可以在宽的频带之上维持群速度的匹配条件。作为典型的尺寸,第一波导层 205 的膜厚为 $0.3 \mu\text{m}$,第二波导层的膜厚为 $8 \mu\text{m}$ 。如果具有 $0.3 \mu\text{m}$ 的膜厚的 SiO_2 ($n = 1.44$) 层作为调整层 204 被插入,那么在 $500 \mu\text{m}$ 的器件长度的情况下激发光的吸收率变为 10dB 或更大。

[0200] 如上所述,根据本例子的电磁波产生器以单模式控制包含激发光和太赫波两种电磁波,并使得两种电磁波的群速度相互匹配,并由此对于产生具有用于断层摄影测量等的小脉冲宽度的单循环脉冲是有效的。

[0201] (例子 4:断层摄影装置)

[0202] 以下,描述根据本例子的太赫断层成像装置。本例子与图 8A 所示的使用根据例子 3 的电磁波产生器的断层成像装置有关,其对于诸如药品内部的非破坏性检查的工业或医学应用是重要的装置。

[0203] 图 8A 所示的断层成像装置具有基于作为已知技术的太赫时域谱方法 (THz-TDS) 的结构。例如,具有 $1.56 \mu\text{m}$ 的中心波长的飞秒光脉冲从由具有掺杂的铒的纤维激光器构成的飞秒脉冲光源 401 被辐射,并被分束器 402 分成两个光脉冲。光脉冲中的一个激发电磁波产生器 404 以产生太赫波。另一方面,分割的光脉冲中的另一个通过由例如周期性极化 (poled) 铌酸锂 (PPLN) 制成的波长转换器 403 被转换成具有 780nm 的中心波长的第二谐波,并且通过包含多个平坦反射镜和驱动镜的组的光学延迟单元 407 被提供有时间延迟。具有给定的时间延迟的光脉冲入射包含由 LT-GaAs 制成的光电导天线的检测部分 408。

[0204] 由电磁波产生器 404 产生的太赫波被两个抛物柱面镜 (parabolic mirror) 405 和 406 会聚。试样 411 被放在光会聚位置处。在试样 411 中,反射的太赫波经由两个抛物柱面镜 409 和 410 入射检测部分 408。在检测部分 408 中,产生与光脉冲的入射时间点上的太赫波的幅度成比例的电流信号。

[0205] 使用光学延迟单元 407,在执行测量的同时逐个改变光学延迟,并由此可获得太赫波的时间序列波形。时间序列波形包含试样 411 的内部结构的信息。通过分析时间序列波形,能够获得已被照射太赫波点附近的沿深度方向的试样的一维信息。并且,通过使用扫描台 (stage) 412,沿基本上与光轴垂直的方向扫描试样 411,并由此可获得试样 411 的截面

图像。

[0206] 如上所述,根据本例子的断层成像装置对于以非破坏性方式获得试样的内部结构是有效的装置。另外,根据本发明的电磁波产生器 404 可产生具有高功率的太赫波,并由此可以增加沿深度方向的可测量距离且可改善 S/N 比。

[0207] 图 8B 示出本例子的电磁波产生器 404 的细节。电磁波产生器 404 包含以下四个部分。即,电磁波产生器 404 包含用于将激发光有效连接到产生部分 502 的入射连接部分 501、具有与根据例子 3 的电磁波产生器相同的结构的产生部分 502(图中的产生部分 502 的附图标记与图 6A 对应)、用于防止由产生部分 502 产生的太赫波的反射并用于有效连接到天线部分 504 的阻抗转换部分 503、和用于有效地将太赫波辐射到自由空间中的天线部分 504。

[0208] 入射连接部分 501 由芯和包层 (clad) 结构的电介质波导结构构成。产生部分 502 的第一波导层(在图 6A 中由 205 表示)由具有 $0.3\ \mu\text{m}$ 的膜厚的 InP 薄膜构成,使得激发光以单模式传播,由此难以使激发光直接与诸如透镜的普通连接系统连接。在本实施例中,设想形成渐细 (tapered) 波导 507,在所述渐细波导 507 中,通过延长产生部分 502 的第一波导层(在图 6A 中由 205 表示)形成的 InP 芯的宽度沿向着入射端面的方向逐渐减小,并由此可增加入射端面上的模式直径。

[0209] 阻抗转换部分 503 是用于有效连接适于宽频带和高效率渐细隙缝天线 506 的共面带状线 505 与产生部分 502 的微带线型输出端的电路。因此,阻抗转换部分 503 可以根据产生部分 502 的波导层的结构和天线部分 504 的结构来使用适当的结构。

[0210] 根据本例子的器件包含使用具有宽频带和高效率的渐细隙缝天线 506 的天线部分 504,但该结构当然不应被解释为限制。例如,能够使用偶极、螺旋、F 型天线,或蝴蝶结天线。另外,可以集成诸如喇叭天线或各种阵列天线的三维天线。

[0211] (例子 5:传输介质连接器)

[0212] 参照图 9A 和图 9B 描述根据本例子的传输介质连接器。这是使用根据例子 3 的电磁波产生器的传输介质连接器。传输介质连接器是用于诸如内窥镜手术的太赫波的医学应用的重要装置。为了以高效率将太赫波连接到传输介质 607,图 9A 所示的纤维连接器包含用于有效地将来自光纤 606 的激发光连接到产生部分 602 的入射连接部分 601、以及对于产生部分 602 提供的具有上部限制层 604 和下部限制层 605 的阻抗转换部分 603,所述产生部分 602 具有与根据例子 3 的电磁波产生器相同的结构(图中的产生部分 502 的附图标记与图 6A 对应)。

[0213] 在本实施例中,传输介质 607 如作为其截面的图 9B 所示的那样包含由两个平行金属导线 608 和电介质包层 609 构成的平行线,但是,该结构当然不应被解释为限制。例如,可以使用诸如电介质纤维、单线导线、中空波导等的各种传输介质。

[0214] 如上所述,本发明的电磁波产生器具有输出端,所述输出端具有波导结构,由此,它可经由简单的阻抗转换部分与各种传输介质连接。

[0215] 虽然已参照示例性实施例描述了本发明,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,以包含所有这样的修改以及等同的结构和功能。

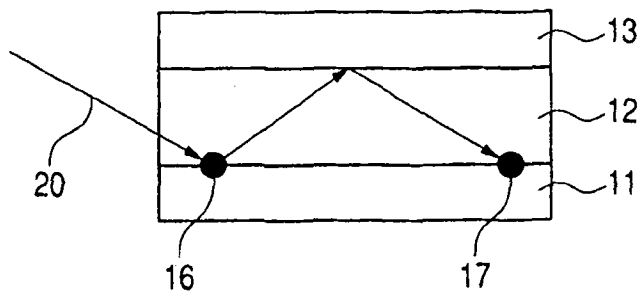


图 1A

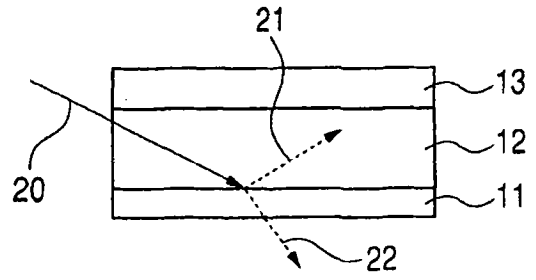


图 1B

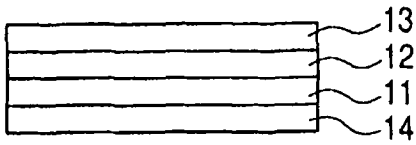


图 1C

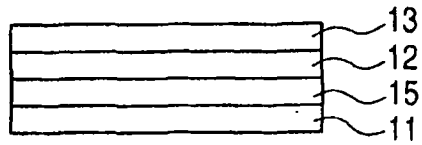


图 1D

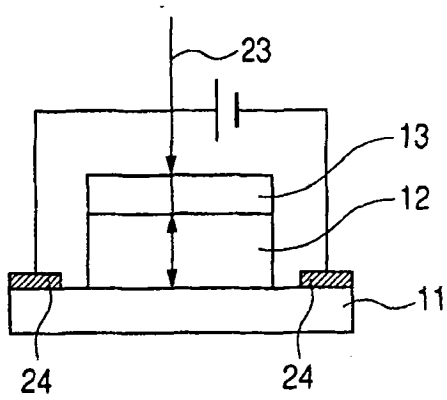


图 1E

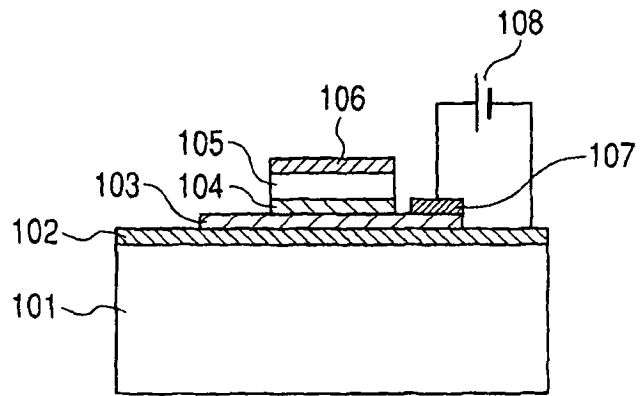


图 2A

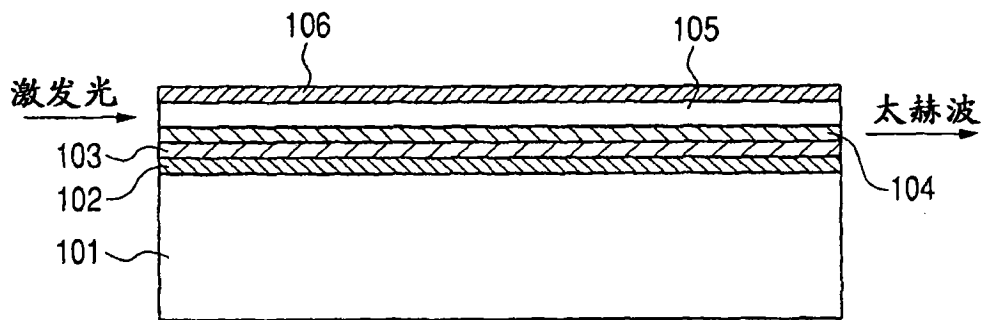


图 2B

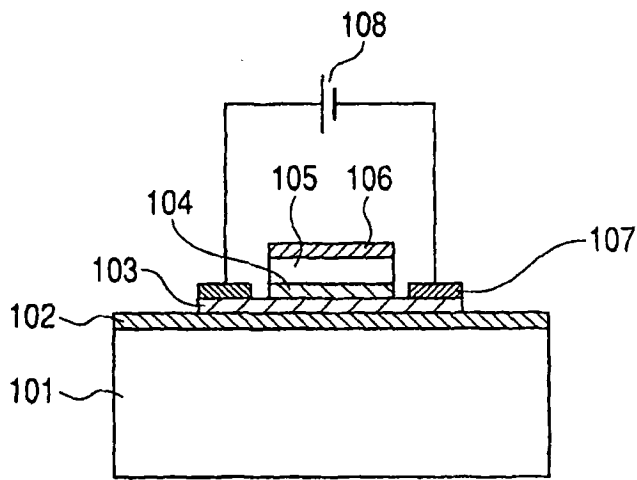


图 2C

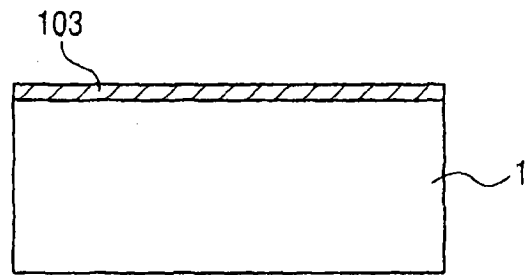


图 3A

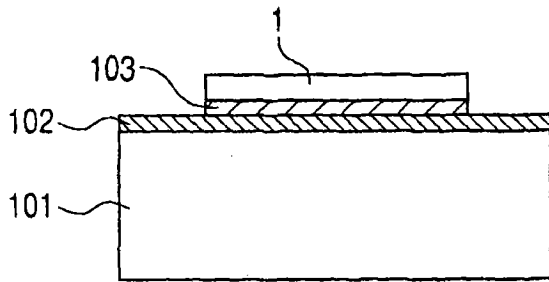


图 3B

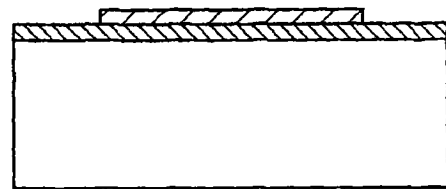


图 3C

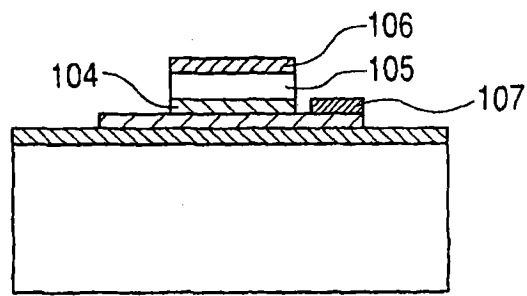


图 3D

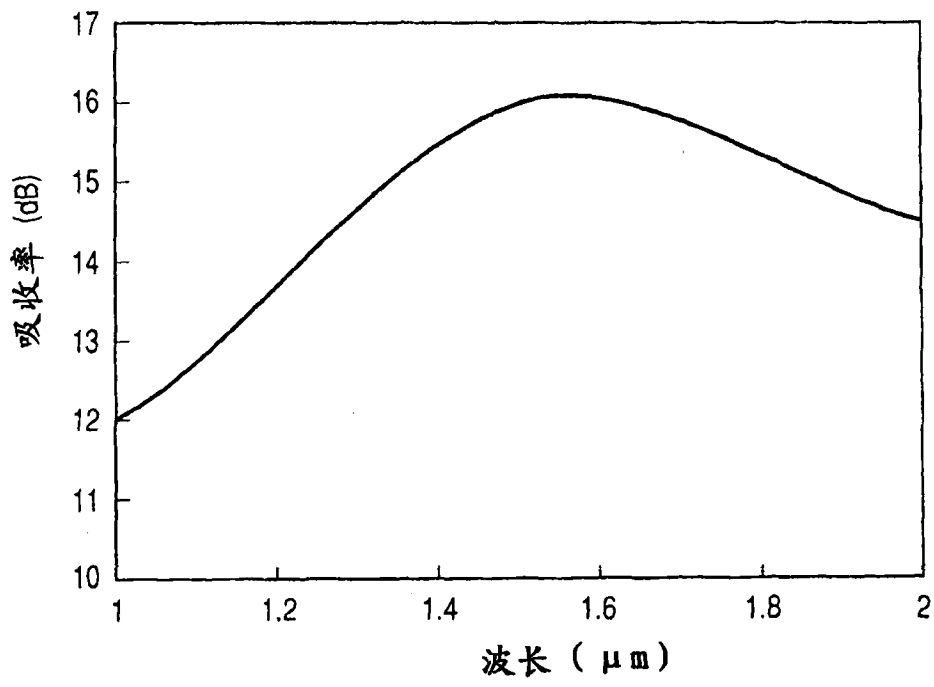
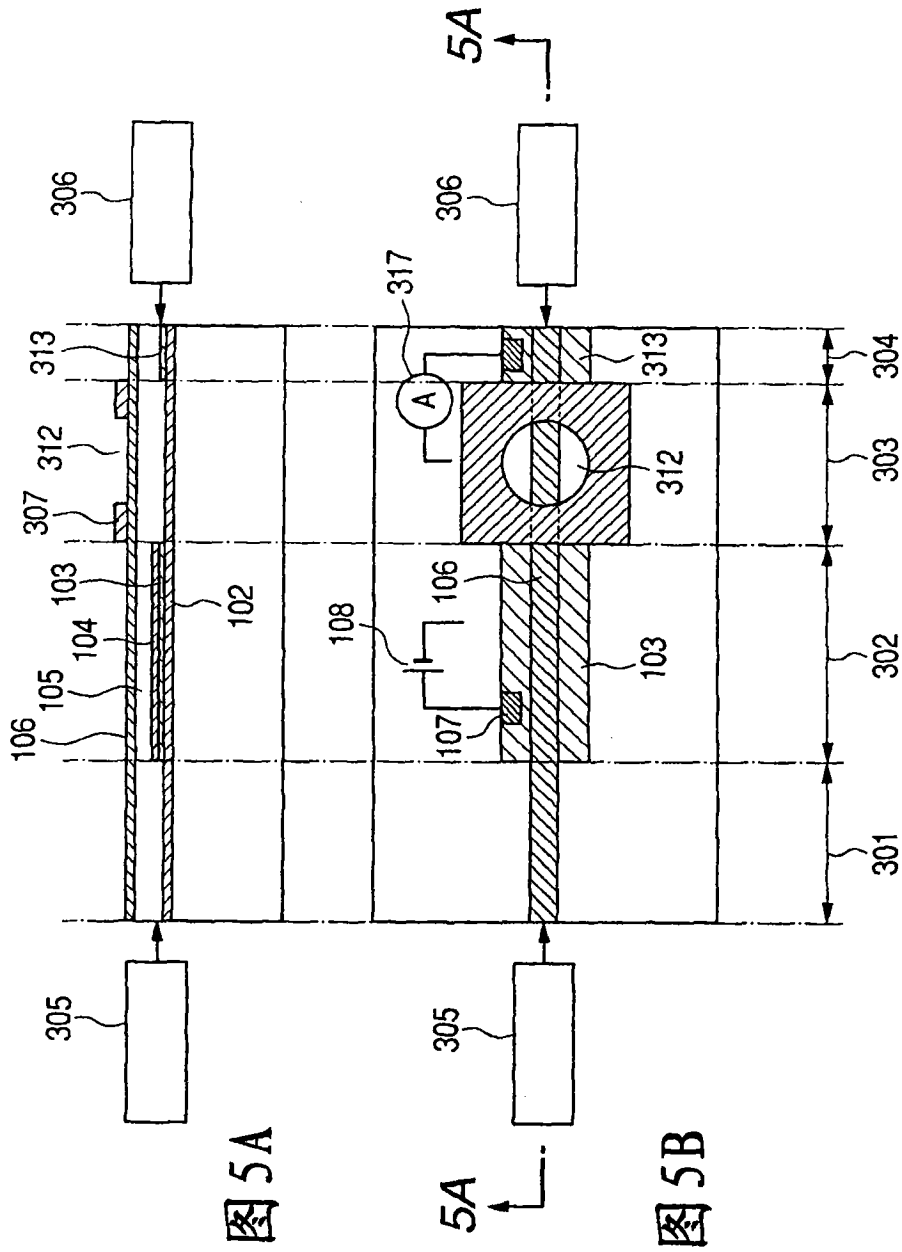


图 4



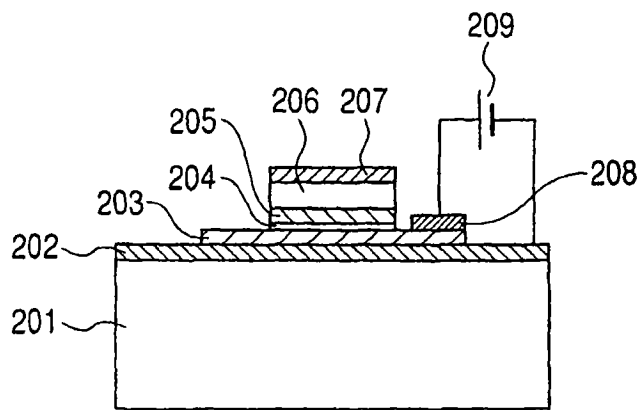


图 6A

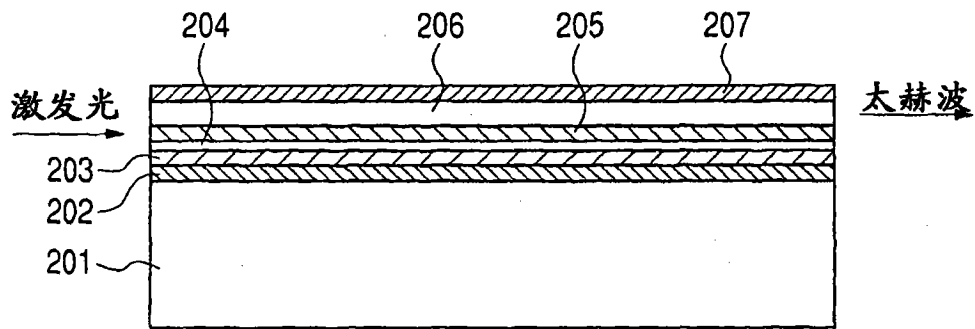


图 6B

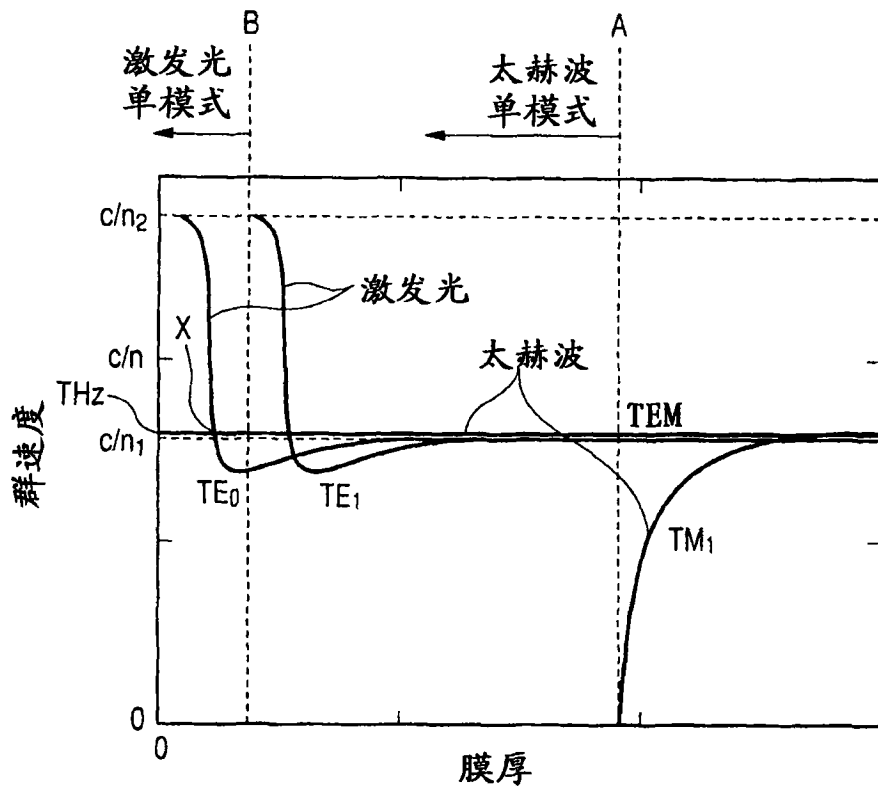


图 7

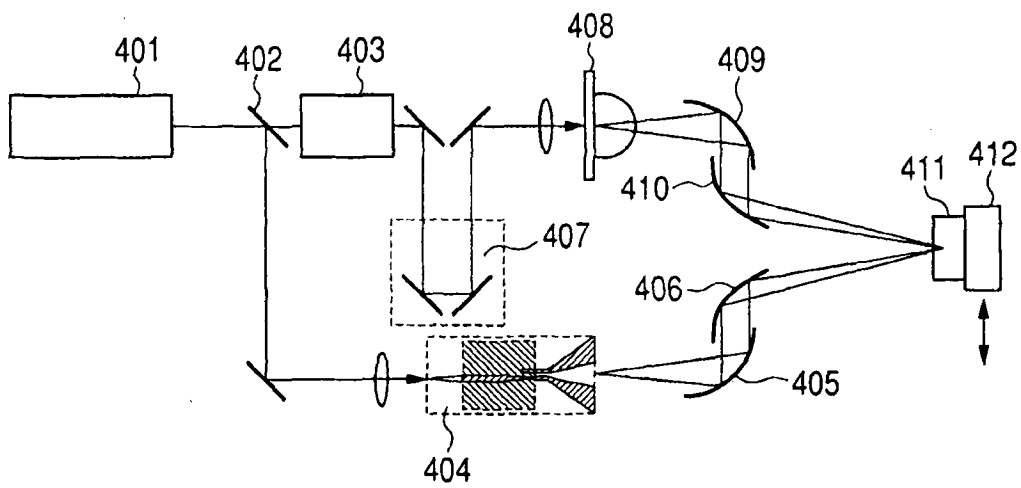


图 8A

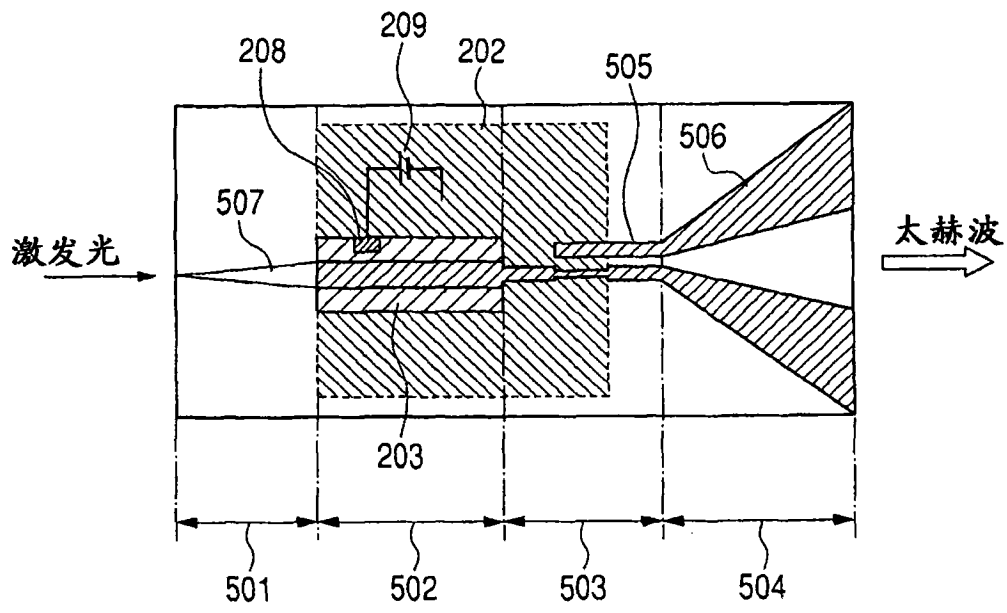


图 8B

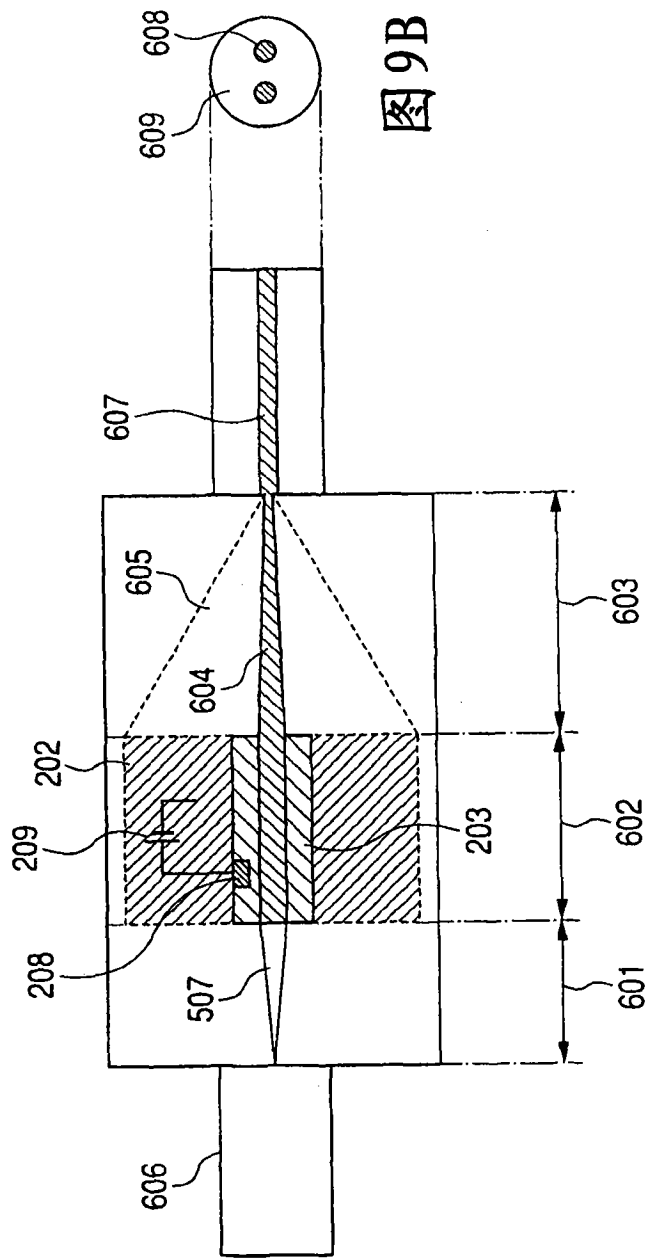


图9A