[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02F 1/377 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200380108926.2

[45] 授权公告日 2008 年 8 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 100409098C

[22] 申请日 2003.12.22
[21] 申请号 200380108926.2
[30] 优先权
[32] 2003. 1.16 [33] JP [31] 8780/2003
[86] 国际申请 PCT/JP2003/016488 2003.12.22
[87] 国际公布 WO2004/063809 日 2004.7.29
[85] 进入国家阶段日期 2005.7.18
[73] 专利权人 松下电器产业株式会社
地址 日本大阪府
共同专利权人 日本碍子株式会社
[72] 发明人 水内公典 山本和久 今枝美能留 川口龙生 吉野隆史
[56] 参考文献
JP7 - 122809A 1995.5.12
CN1381762A 2002.11.27
JP2002 - 365680A 2002.12.18
Ferroelectric domain inversion by electron beam on LiNbO3and Ti:LiNbO3. Restoin, C. et al. Journal of Applied Physics, Vol. 80 No. 11. 2000
Intracavity second - harmonic generation with a periodicallydomain - inverted LiTaO3 device. KITAOKA, Y. et al. Optics Letters, Vol. 21 No. 24. 1996
审查员 任志伟
[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 夏 青

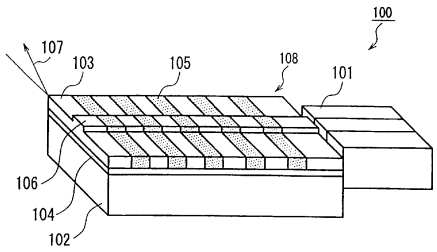
权利要求书 2 页 说明书 21 页 附图 6 页

[54] 发明名称

光学波导设备、采用它的相干光源和具有它的光学装置

[57] 摘要

一种光学波导设备包括由非线性光学材料组成的基板和具有与该非线性光学材料相同成分的周期性的畴反转结构。 该畴反转结构具有依赖于该畴反转结构的折射率分布。



1、一种光学波导设备，包括：

由非线性光学材料组成的基板，和

形成在该基板上、具有与该基板相同成分的周期性的畴反转结构，其中，

该畴反转结构具有依赖于该畴反转结构的折射率分布。

2、如权利要求 1 所述的光学波导设备，其中，该畴反转结构是通过在该基板的偏振方向上施加电压而形成的。

3、如权利要求 1 所述的光学波导设备，其中，由非线性光学材料组成的该基板是切余基板。

4、如权利要求 3 所述的光学波导设备，其中，该基板具有相对于该基板表面倾斜 1° 到 10°范围内的切余角。

5、如权利要求 1 所述的光学波导设备，其中，该基板是薄膜，具有经由粘结层粘合到该基板的一个面的光学衬底。

6、如权利要求 5 所述的光学波导设备，其中，至少该基板的表面或者背面提供有凸起，并且该畴反转结构在该凸起处以条状方式形成。

7、如权利要求 1 所述的光学波导设备，其中，该非线性光学材料是掺 Mg 的 $LiNb_{(1-x)}Ta_xO_3$，其中 $0 \leqslant x \leqslant 1$。

8、如权利要求 1 所述的光学波导设备，其中

该非线性光学材料是掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 晶体，

相位匹配波长与布拉格反射波长调谐，并且

该布拉格反射波长 λ 满足关系 $\lambda_1<\lambda<\lambda_2$，此时 $\lambda_1=635+48\times n(nm)$，$\lambda_2=1.02\times\lambda_1(nm)$，其中 n=0,1,2，或者，当 λ 大于由上面等式得到的值时，$\lambda_1=774+40\times n(nm)$, $\lambda_2=1.02\times\lambda_1$（nm），其中 n=0,1,2,3,4……。

9、如权利要求 1 所述的光学波导设备，其中，

该非线性光学材料是掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 晶体，

相位匹配波长与布拉格反射波长调谐，并且

该布拉格反射波长 λ 满足关系 $\lambda_1<\lambda<\lambda_2$，此时 $\lambda_1=613+48\times n(nm)$，$\lambda_2=1.02\times\lambda_1(nm)$，其中 n=0,1,2，或者 $\lambda_1=754+40\times n(nm)$，$\lambda_2=1.02\times\lambda_1$（nm），其中 n=0,1,2,3,4……。

10、如权利要求 1 所述的光学波导设备，其中，

该畴反转结构由波长转换部分和分布式布拉格反射器部分组成，并且

该波长转换部分的相位匹配波长等于该分布式布拉格反射器部分的布拉格反射波长，并且该波长转换部分的相位匹配波长和该波长转换部分的布拉格反射波长之差为至少 5nm。

11、一种相干光源，包括半导体激光器和如权利要求 1-10 中任一所述的光学波导设备，其中从该半导体激光器发射的光束进入该光学波导设备。

12、一种光学装置，包括如权利要求 11 所述的相干光源。

光学波导设备、采用它的相干光源和具有它的光学装置

技术领域

本发明涉及一种用于光学信息处理和光学应用测量控制领域的光学波导设备、采用它的相干光源和具有它的光学装置。

背景技术

对于用于记录和再现光学信息的装置来说，通过使用具有更短波长的光源可以实现高密度。例如，对于通用的致密盘装置来说使用的是 780nm 的近红外光，而在数字通用磁盘（DVD）中使用的是 650nm 的红色半导体激光器，数字通用磁盘实现了更高密度的信息再现。此外，为了实现高密度的下一代光盘装置，具有更短波长的蓝色激光光源一直在迅猛发展中。例如，已经研制出一种采用非线性光学材料的波长转换器，用于小且稳定的蓝色激光光源。

例如，采用周期性畴反转结构(periodically domain-inverted structure)的 QPM（准相位匹配）-SHG（二次谐波发生）元件能够实现高效率波长转换。然而，由于转换波长的容差极其狭窄，故应该将激发光源的波长固定到相位匹配波长，以便获得稳定的光源性能。为了提供小的光源，必须采用半导体激光器作为基本光源。然而，由于这种半导体激光器具有宽的增益并且振荡波长容易波动，因此一种用于稳定波长的技术将具有重要的意义。这里，相位匹配波长指的是基波的波长，该基波是在周期性畴反转结构中所传输的基波被转化为谐波的情况下的基波。

一种通过采用QPM-SHG元件和半导体激光器来提供稳定光源的技术是在这种 QPM-SHG 元件中整体结合 DBR（分布式布拉格反射

器）光栅。这种方法包括采用具有波长选择性的 DBR 光栅，以便通过光反馈将半导体激光器的振荡波长固定到 DBR 光栅的反射波长。

具体说，对于光学波导型 QPM-SHG 元件来说，在该光学波导上形成 DBR 光栅结构。这种 DBR 光栅可以通过蚀刻、光刻胶-光栅等方法在光学波导上形成。在这种构造中，通过将反射光束从 DBR 光栅反馈到半导体激光器，该半导体激光器的振荡波长就能够固定到这个反射波长。

对于在 SHG 元件上形成 DBR 光栅的方法来说，有人提出了使用用于准相位匹配的周期性畴反转结构作为 DBR 光栅。对于该周期性畴反转结构来说，使用了 Ti 扩散的 $LiNbO_3$。已知当 Ti 热扩散进 $LiNbO_3$ 晶体时，扩散部分的偏振将会反转。由于与此同时扩散部分的折射率增加，因此它也起到了具有周期性变化折射率的折射率光栅的作用。因此，该畴反转结构可以用于 DBR 光栅。并且半导体激光器的振荡波长能够通过调谐(harmonize)DBR 反射波长和相位匹配波长而得到固定。由此，能够实现具有稳定输出的波长转换器。也即是，可以提供一种具有半导体激光器以及与其相互集成的 SHG 元件的短波长光源。

类似的方法应用于 KTP 晶体。当 KTP 晶体经过与 Rb 的离子交换处理时，偏振发生反转，同时，离子交换部分的折射率增加。利用这种现象来形成畴反转结构，并且由此可以形成 QPM 结构和 DBR 光栅。以这种方式。提供短波长光源。

例如，JP H06(1994)-194708 中公开了用来形成这种 DBR 光栅的方法。

然而，上述畴反转结构由于其伴随有晶体成分的改变而在折射率以及畴反转结构方面产生了变化。原因是，在形成畴反转结构时采用了金属扩散或者离子交换。然而，这种在晶体成分方面的改变可以导致晶体本身的劣化，并且它可以引起例如晶体劣化和抗光学损坏的降

低这样的问题。因而，这种结构不能用于能够实现高效率地传输高输出光的光学波导设备中。

例如，能够采用通过对 $LiNbO_3$ 晶体进行 Ti 扩散形成的周期性畴反转结构作为 DBR 光栅，由于其伴随着折射率的增加。然而，通过在 $LiNbO_3$ 基板上进行 Ti 扩散得到的畴反转不会提供畴反转的足够深度。特别是，形成周期不超过 3μm 的畴反转结构是很难的，这个周期是约 400nm 或者更小的波长所需要的。此外，当扩散 Ti 时，光学波导中的杂质浓度增加了，并且对光学损坏的抵抗力会降低。结果，在输出至少是几豪瓦时输出是不稳定的。

在用 Rb 对 KTP 晶体进行离子交换的方法中，通过 Rb 离子交换可以提供一种畴反转结构以及折射率的改变。然而，由于 Rb 作为杂质进入晶体中，因此与 Ti 扩散的情况类似，难于提供高输出。此外，由于用 Rb 离子交换导致离子交换部位和未交换部位之间在光栅常数上具有大的差别，因此在晶体的反转部位可能出现形变等，由此增加了光学波导的传输损耗。

近来，用于在非线性光学晶体中畴反转的技术得到进一步发展。上述通过原始离子交换或者金属扩散形成畴反转的方法已经由一种通过图案电极来施加高电场脉冲产生畴反转结构的方法所取代。具体地说，一种通过图案电极将高电压脉冲施加到铁电物质上的方法能够形成均匀的畴反转结构并且不会改变晶体的组成，以及还能够以高长宽比(aspect ratio)形成畴反转形状。当以这种方法形成畴反转结构的时候，通过稍稍改变晶体中原子的分布，非线性偏振的方向就会反转，并且这不会伴随有晶体结构和晶体成分的改变。由于不会混入杂质，就不会出现例如晶体劣化或者对光学损坏抵抗力的劣化这样的问题。高度的非线性和对光学损坏的高抵抗力得以实现，并且因而可以提供具备高效率和高输出的光学波导设备。然而，由于晶体成分没有改变，因此折射率不会发生改变，因而它不能用作 DBR 光栅。

由于在畴反转结构中晶体成分没有改变，就不会出现光学变化，因而该畴反转结构就不能象现有技术中一样用作折射率光栅结构。也即是，当在晶体结构中，其畴反转部分和未畴反转部分没有差别的时候，就不会出现光学差别。因此，不会形成折射型光栅结构。

发明内容

考虑上述问题，本发明的一个目的是提供一种如本发明所述的光学波导设备、采用该设备的相干光源和具有该设备的光学装置，其将提供高效且稳定的短波长光源。

根据本发明的光学波导设备包括：由非线性光学材料制成的基板，和形成在该基板上、由与该基板的成分相同的成分制成的周期性畴反转结构，其中该畴反转结构具有依赖于该结构的折射率分布。由此，能够实现高度的非线性和对光学损坏的高抵抗力，使得能够实现具有高效和高输出的 DBR 光栅，并且因而将它用作例如波长转换器。

另外优选的是，通过在该基板的偏振方向上施加电压形成该畴反转结构。由此，由于不会出现晶体成分的改变，因此能够实现具备高效和高输出的光学波导设备。

另外优选的是，由该非线性光学材料制成的该基板是切余基板。由此，不管通过施加电场所形成的它的畴反转结构，形成了因折射率改变的 DBR 光栅。

另外优选的是，该基板的切余角相对于该基板表面倾斜范围在 1° 到 10° 。由此，增加了来自 DBR 光栅的反射率。

另外优选的是，该基板具有一个薄膜形式的光学衬底，经由粘结层粘合到该基板的一个面。由此，增加了来自 DBR 光栅的反射率。

另外优选的是，在至少该基板的表面或者背面上形成凸起，并且该畴反转结构在该凸起上形成为条形。这样提供脊型光学波导设备，其中所形成的晶体畸变不会受到畴反转的影响，并且因而能够保持折

射率的变化。结果，能够实现高的 DBR 反射，并且该 DBR 光栅具有高的效率。

另外优选的是，该非线性光学材料是掺 Mg 的 $LiNb_{(1-x)}Ta_xO_3$，其中 $0 \leqslant x \leqslant 1$。由此，形成该畴反转结构。

另外优选的是，该非线性光学材料是掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 晶体，其中该相位匹配波长与布拉格反射波长调谐，并且该布拉格反射波长 λ 满足关系 $\lambda_1<\lambda<\lambda_2$，以及关系 $\lambda_1=635+48\times n(nm)$ 且 $\lambda_2=1.02\times\lambda_1(nm)$，其中 n=0,1,2，或者，当 λ 大于由上面等式得到的值时，$\lambda_1=774+40\times n(nm)$ 且 $\lambda_2=1.02\times\lambda_1(nm)$，其中 n=0,1,2,3,4…。结果，该布拉格反射波长 λ 和该相位匹配波长彼此调谐，并且因此能够产生谐波。

另外优选的是，该非线性光学材料是掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 晶体，其中相位匹配波长与布拉格反射波长调谐，并且该布拉格反射波长 λ 满足关系 $\lambda_1<\lambda<\lambda_2$，以及关系 $\lambda_1=613+48\times n(nm)$ 且 $\lambda_2=1.02\times\lambda_1(nm)$，其中 n=0,1,2，或者 $\lambda_1=754+40\times n(nm)$ 且 $\lambda_2=1.02\times\lambda_1$（nm），其中 n=0,1,2,3,4……。结果，该布拉格反射波长 λ 和该相位匹配波长彼此调谐，并且因此能够产生谐波。

另外优选的是，该畴反转结构由波长转换部分和分布式布拉格反射器（DBR）部分组成，其中该波长转换部分的相位匹配波长等于该分布式布拉格反射器部分的布拉格反射波长，并且该波长转换部分的相位匹配波长和该波长转换部分的布拉格反射波长之差为至少 5nm。结果，该布拉格反射波长 λ 和该相位匹配波长彼此调谐，并且因此能够产生谐波。

根据本发明的相干光源具有半导体激光器和如上所述的光学波导设备，以及从该半导体激光器发出的光束进入该光学波导设备。这样，能够实现一种相干光源，它能够发出高效且稳定的短波长光束。

根据本发明的光学装置具有上述相干光源。以这种方式，能够实现一种具有高输出的相干光源的光学装置。

附图说明

图1是显示采用本发明第一实施例中的光学波导设备的相干光源的构造的透视图；

图2A是显示形成周期性畴反转结构的过程的示意图；

图2B是显示形成周期性畴反转结构的过程的示意图；

图2C是显示形成周期性畴反转结构的过程的示意图；

图2D是显示形成周期性畴反转结构的过程的示意图；

图3A是显示形成脊型光学波导结构的过程的示意图；

图3B是显示形成脊型光学波导结构的过程的示意图；

图3C是显示形成脊型光学波导结构的过程的示意图；

图4是显示采用了第一实施例中的光学波导设备的相干光源的另一构造的例子的透视图；

图5是显示采用第二实施例中的光学波导设备的相干光源的构造的例子的透视图；以及

图6是显示第三实施例中的光学装置的构造的示意图。

具体实施方式

通常，铁电物质中的畴反转是由于晶体结构的改变引起的。然而，由于仅仅是晶体结构反转，而在该畴反转结构中没有结构上的和/或者成分的改变，因而在折射率等方面不会产生改变。有报告指出，当通过施加电场使偏振反转的时候，内电场剩余，使得折射率因电光效应而暂时性地改变。然而，这个折射率的改变是暂时性的，这样它随时间而消失。此外，该折射率的改变是不稳定的，具体说它在大约100℃的相对低温的工艺中消失。

然而，本发明人发现，当在非线性光学材料上形成畴反转结构时，依赖于该结构的周期性折射率的变化可以永久地保持。基于此，本发明人完成了本发明中的光学波导设备。

以下，更具体地描述一些实施例。

（第一实施例）

下面将描述本发明第一实施例中的光学波导设备以及使用该设备的光源。图 1 是显示采用本发明第一实施例中的光学波导设备的相干光源的示意图。第一实施例中的相干光源 100 具有半导体激光器 101 和作为光波长转换器的光学波导设备 108。

光学波导设备 108 是通过将掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 晶体的切余(offcut)薄膜层 103 经由粘结层 104 粘贴到 LN 基板 102 上而构成的。在薄膜层 103 上，形成条状凸起 106。具有这个凸起 106 作为脊形波导的光学波导设备 108 是所谓的脊型波导结构。在该薄膜层 103 上，形成了周期性畴反转区域 105。由于薄膜层 103 是由切余基板制得的，因此该畴反转区域 105 的偏振方向 107 相对于薄膜层 103 的表面是倾斜的。对于半导体激光器 101 来说，例如，采用法布里-珀罗（Fabry-Perot）型 AlGaAs 半导体激光器。畴反转区域 105 具有大约 2.8μm 的畴反转周期，并且相位匹配波长为大约 820nm。畴反转区域 105 具有周期的折射率分布，并且表现出 DBR 光栅的特性。

从半导体激光器 101 发射的光束进入光学波导设备 108，以进行畴反转区域 105 的波长选择并且反馈到半导体激光器 101 中。由此，从该半导体激光器 101 发射的光就固定到 820nm 波长，这个波长是畴反转区域 105 的 DBR 反射波长之一，其在该半导体激光器 101 振荡增益附近。以这种方式，该相干光源 100 就发射出高效率和稳定的短波长光束。如上所述，通过调谐具有 DBR 光栅性质的畴反转区域 105 中的相位匹配波长和 DBR 反射波长，就能够将该半导体激光器 101 发射的光束的波长稳定地转换。

接下来，参照图 2A-2D 和图 3A-3C 描述一种用来制造光学波导设备 108 的方法。图 2A-2D 是显示形成周期性畴反转结构的过程的

示意图，图 3A-3C 是显示形成脊型光学波导结构的过程的示意图。

首先，如图 2A 所示，在掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 基板 201 上形成 Ta 等金属膜 202，作为 5°切余(5°-offcut)的基板。为了获得均匀变化的折射率，该 $LiNbO_3$ 基板上 Mg 的摩尔浓度优选在 4.8 到 6 摩尔%范围内。在这个掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 基板 201 中，Mg 的摩尔浓度是例如 5 摩尔%。该 5°切余的基板指的是 C 轴相对于晶体表面倾斜 5°的基板。

接下来，如图 2B 所示，使形成于该掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 基板 201 上的金属膜 202 经过光干蚀处理，以便在基板 201 上形成具有周期性图案的梳状电极 203 以及与该梳状电极 203 成对的条形电极 204。

接下来，如图 2C 所示，在掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 基板 201 以及形成其上的梳状电极 203 和条形电极 204 上形成绝缘膜 205、例如 SiO_2 膜。

接下来，如图 2D 所示，在梳状电极 203 和条形电极 204 之间在该掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 基板 201 的偏振方向上施加脉冲电压，以使在该掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 基板 201 上按照梳状电极 203 的图案形状形成周期性畴反转结构 206。以这种方式形成了具有畴反转结构的基板 200。

接下来，参照下面图 3A-3C 解释制造具有如图 1 的脊型光学波导结构的光学波导设备 108 的方法，其使用了基板 200。图 3A-3C 是显示基板 200 沿图 2D 中'A'方向的截面图。首先，如图 3A 所示，在如图 2D 所示结构的绝缘膜 205 的一个表面上粘贴 LN 基板（=$LiNbO_3$）207。在图 2D 中，相对于基板 201 倾斜设置的畴反转结构 206 具有仅仅大约几度的倾斜度。因此，尽管该畴反转结构 206 相对于基板 201 实际上倾斜了几度，但是为了方便起见，在图 3A-3C 每一幅图中图示为平行的。

接下来，如图 3B 所示，将掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 基板 201 磨蚀到几微米厚。由此，该畴反转结构 206 其表面暴露出来。

接下来，如图 3C 所示，使该畴反转结构 206 进一步经过成脊处

理(ridge-process)，以便形成脊型光学波导。以这种方式，就制造出如图 1 所示的光学波导设备 108。在图 3C 中，与图 1 中各个元件相对应的元件用圆括号内的符号表示。

作为光学波导型 SHG 元件的光学波导设备 108 具有高转换效率和出色的抗光学损坏力。其原因如下。

首先，与普通的光学波导设备不同，该光学波导设备 108 形成时没有为了增加它的光学波导的折射率而注入杂质。该光学波导设备 108 的脊型波导是一个不含有杂质的整块的掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 晶体。因此，该光学波导设备 108 具有高的非线性和高的抗光学损坏力，由此提供高效和高输出的光波长转换器。

关于具有如上述方法制得的周期性畴反转结构的光学波导设备 108，对于在 815nm 波长附近的光来说，在实际的测量中可观察到具有选择性的反射。在另一个检测中，观察到以 400nm 波长的间隔的类似的反射，因而发现，波长依赖于畴反转周期。

此外，尽管光学波导设备 108 具有通过施加电场形成的畴反转结构 206，但是还形成了引起折射率改变的 DBR 光栅。这些因素之一在于采用切余基板作为基板 201。如上所述，切余基板指的是晶体的 C 轴相对于该基板表面是倾斜的基板。该晶体的 C 轴和该基板表面所形成的角度成为切余角。常规的光学波导设备一直是通过采用具有 Z 切(Z-cut)或者 X 切(X-cut)的晶体取向的基板形成的。在第一实施例中，使用掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 的切余基板来制造光学波导设备 108。在通过将电场施加到该切余基板而形成畴反转区域 105 的情形中，如此形成的畴反转区域 105 在相对于光学波导设备 108 的表面倾斜的深度方向上沿偏振方向生长为针形。由于在以倾斜方向上生长该畴反转的同时在该晶体中出现非对称形变，且形变在反转部分和未反转部分的交界处残留，所以认为由此导致了折射率的变化。也即，使在畴反转部分和未畴反转部分的交界处的一定的晶体畸变保持，以产生折射率

方面的差别，从而显然地形成折射率光栅结构。另一方面，在采用类似的方法形成相对于 Z 切和 X 切基板的畴反转时，基本上不会形成周期性的折射率分布。

当切余角在 1°到 10°范围内时，可观察到大的 DBR 反射。可以使用 10°到 30°范围内的切余角作为 DBR 光栅结构，因为在这个范围可以观察到折射率的改变。因此，可以工作的切余角范围为 1°到 30°，但是特别优选的范围是 1°到 10°。

这里所用的切余基板包括切余 X 基板，切余 Y 基板和切余 XY 基板。切余 X 基板是基本上 X 切的基板，其中该基板表面平行于 Y 轴并且 C 轴相对于基板表面倾斜一个角度 θ。至于切余 Y 基板，其基板表面和 X 轴是互相平行的，并且基板表面和 C 轴相互间倾斜一个角度 θ。切余 XY 基板不是这些基板中的任何一种（也即，基板面既不平行于 X，也不平行于 Y）。在这些基板中，切余 Y 基板在其加工为周期性畴反转结构时在折射率方面具有最大的变化并且具有最大的布拉格反射。切余 XY 基板在折射率方面的变化和在布拉格反射方面次之，切余 X 基板第三。特别地，切余 XY 基板是优选的，因为光学波导设备 108 的传输损耗在基板表面与 X 轴和 Y 轴倾斜至少 5°的位置趋于减小。

此外，以上述方法制造的光学波导设备 108 中的 DBR 光栅结构是热稳定的。例如，当基波进入光学波导设备 108（通过在长度为 10mm 的 5°切余基板上形成周期为 2.8μm 的畴反转结构而制得的）中的时候，对于波长为 820nm 的基波来说可以观察到至少 90%的反射率。

此外，将该光学波导设备 108 退火以检查在反射率方面的变化。该退火在 400℃和 600℃温度下进行至少 5 小时，并且随后测量反射率。结果表明，在退火之前和之后，对于任何样品，关于 DBR 反射波长和反射率，在反射率方面没有变化。这表示在该畴反转结构 105

中形成的折射率光栅是显著的稳定。即使将该样品保持在一个未受控制的环境下几个月，仍然未发现该光学波导设备 108 的反射波长和反射率性能有变化，由此表明形成了永久稳定的折射率光栅。

该畴反转区域 105 起到折射率光栅作用的因素之一在于如图 1 所示的光学波导结构。也即，如上所述，畴反转区域 105 形成为薄膜，以用作光学波导。具体地说，通过将薄膜层 103 制造成厚度大约为 3-4μm，该光学波导设备的功能将表现得更为有利。由于膜厚的减小，来自 DBR 光栅的反射率增加了。这个原因可能在于，晶体在畴反转部分的形变由于膜厚的减小而得以加强，由此增加了折射率的变化。薄膜层 103 的厚度优选为 10μm 或者更小。更优选地，该厚度为 5μm 或者更小，以便增加畴反转区域 105 的折射率的变化。

通过将光学波导设备 108 制造为成脊处理过的波导，与形成为畴反转结构的质子交换波导那种情形相比来说，来自 DBR 光栅的反射率增加了。通常，采用这种质子交换波导来作为畴反转结构的光学波导，因为其能够形成低损耗和均匀的波导。然而，在一个观测中，在使如此形成的畴反转结构经受质子交换的时候，DBR 光栅的反射率减小了很多，这很可能是因为，由于畴反转所形成的晶体畸变在进行质子交换的时候松懈下来了。

由于光学波导设备 108 是通过磨蚀和成脊加工所得到的，因此该畴反转区域 105 不会遭受任何化学处理。因此，所形成的晶体畸变将不会受到畴反转结构的影响，并且因而在折射率方面的变化可以保持。这是有利的，因为能够实现高的 DBR 反射，并且提高了 DBR 光栅的效率。

即使是质子交换波导，在制造中使用了切余基板的时候，也观察到 DBR 反射。因此，尽管 DBR 反射由于质子交换而减小的很多，但是，根据上述制造过程，在质子交换波导中还是能够形成具有畴反转结构的 DBR 光栅。

作为非线性光学晶体的掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 用作构成 DBR 光栅的基板（薄膜层 103）也是有利的。当通常使用的 $LiNbO_3$ 基板是切余基板的时候，难以形成一个均匀的光栅。如果是畴反转结构，那么难以形成 DBR 光栅。对于非线性光学晶体来说，可以使用掺 Mg 的 $LiNbO_{(1-x)}Ta_xO_3(0\leq x\leq 1)$。例如，任一下列晶体同样可以用作非线性光学晶体：掺 Mg 的 $LiTaO_3$，掺 Mg 的 $LiNbO_3$，掺 Mg 的 $LiTaO_3$ 和掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 的混合晶体，掺 Mg 的化学计算的 $LiNbO_3$，掺 Mg 的化学计算的 $LiTaO_3$，和掺 Mg 的化学计算的 $LiNbO_3$ 和掺 Mg 的化学计算的 $LiTaO_3$ 的混合晶体。

对于相当的 $LiNbO_3$ 晶体，Mg 的掺杂量为大约 4.8 摩尔%到大约 6 摩尔%是有利的。当掺杂量超过 6 摩尔%，畴反转的形成会受阻。当掺杂量小于 4.8 摩尔%，基板 201 对于光学损坏的抵抗力会下降很多。对于化学计算的 $LiNbO_3$ 来说，Mg 的掺杂量优选为至少 1.5 摩尔%。

当光从该相干光源 100 中输出的时候，优选的是，从半导体激光器 101 发出的光进入光学波导设备 108，并且从半导体激光器 101 发出的光的增益峰值波长和来自畴反转区域 105 的 DBR 反射的波长基本上彼此相等。当所述波长相差很大的时候，该半导体激光器的振荡波长将不会固定到 DBR 反射波长。在一个试验中，要求这两个波长的差不超过 5nm。更优选的是，该差不超过 2nm，因为所述输出变得稳定。

当形成光学波导设备 108 的时候，可以用粘结剂将作为薄膜的非线性光学材料粘贴到 LN 基板 102。或者，也可以使用例如直接粘合的技术。

上面的描述是关于该光学波导设备 108 具有使用了畴反转结构的 DBR 光栅结构的情形。可以将这种因畴反转结构引起的折射率方面的变化应用到其它设备，例如各种光栅设备、相位调制器、开关、波

长选择光栅、波长分割/组合设备等、以及偏振器等，还有如下配置的光学波导设备等，即提供了局部的折射率分布给它的波导。该畴反转结构可以形成为任意形状，它是有效的。

或者，第一实施例中的相干光源 100 可以通过将光学波导设备 108 直接粘合到半导体激光器 101 的方式来配置。或者，除了光学波导设备 108 和半导体激光器 101 之外，可以使用透镜光学系统来配置。通过如上所述配置，可以将光学波导设备 108 和半导体激光器 101 更为容易地进行光学耦合。

下列描述是关于波长条件，针对的是在由半导体激光器 101 和光学波导设备 108 组成的相干光源 100 中获得谐波输出的情形。将法布里-珀罗半导体激光器 101 固定到由畴反转结构提供的 DBR 反射波长，并且稳定地振荡。此外，通过由温度控制来调谐 DBR 反射波长和相位匹配波长，能够获得稳定的谐波。

对于具有这些半导体激光器 101 和光学波导设备 108 的高效相干光源 100 的形成来说，必须要将光学波导设备 108 的相位匹配波长的 DBR 反射波长相互调谐。由于相位匹配波长和 DBR 反射波长各自都是依赖于该畴反转结构的周期性结构的值，因此对于光学波导设备 108 的相位匹配波长以及 DBR 反射波长的调谐来说，存在一定的规则。具体说，已经发现，当从位于 DBR 反射波长和相位匹配波长之间的一个调谐点偏移时，可以获得一个最佳条件，这个调谐点是基于从晶体的色散特性获得的条件计算出的。

考虑理由如下。由于光学波导设备 108 具有的结构是通过将该晶体本身处理为脊型波导状态的，这与常规技术不同，所以该光学波导中的 DBR 条件变得与相位匹配条件不同。

下面是为了在室温（0℃到 100℃）左右获得相干光源 100 的最佳输出波长的一个试验的结果。首先，针对 DBR 光栅具有与相位匹配波长调谐的奇数阶的 DBR 反射波长这一情况，DBR 反射波长 λ 满足

下面条件。

DBR 反射波长 λ 满足 $\lambda_1<\lambda<\lambda_2$。这里，$\lambda_1=635+48\times n(nm)$，$\lambda_2=1.02\times\lambda_1(nm)$，其中(n=0,1,2)。当 DBR 反射波长 λ 大于由上面等式得到的值的时候，$\lambda_1=774+40\times n(nm)$，$\lambda_2=1.02\times\lambda_1$（nm），其中(n=0,1,2,3,4……)。这里，根据光学波导设备 108 的脊部分的宽度和厚度情况，λ 取 λ_1 和 λ_2 之间的一个值。

也即，DBR 反射波长 λ 和相位匹配波长彼此调谐时的波长每隔约 40nm 出现。DBR 光栅的阶是第 15，并且每隔奇数阶获得一个反射。由于该畴反转结构对于将基波转换为二阶谐波的非线性光栅具有第一阶周期性结构，因此在转换效率取最大值的点，畴反转部分相对非畴反转部分的占空比为 50%。得到误差为 1%到 2%的精确测定数据。对于光学波导设备 108 来说其余的条件基本上是相对于基波的单模条件，并且因此其不会对波导的形状有很大的依赖。

通过改变光学波导设备 108 的温度，能够精确地调谐该 DBR 反射波长和相位匹配波长。相位匹配波长和 DBR 反射波长两者都具有温度依赖性。例如，相位匹配波长的温度依赖性是 0.06nm/℃，DBR 反射波长的温度依赖性是 0.026nm/℃。因此，通过利用因温度变化引起的波长波动，能够精确地调谐相位匹配波长和 DBR 反射波长。在一个替换方法中，在光学波导设备 108 上形成一个电极结构，将电压施加其上以便改变光学波导设备 108 的执行折射率，用于使 DBR 反射波长和相位匹配波长互相调谐。

光学波导设备 108 具有 12mm 的长度、大约 2.8μm 的畴反转周期、以及大约 820nm 的相位匹配波长。相位匹配波长和 DBR 反射波长基本上互相调谐。然而，由于 DBR 光栅具有大约 90%的反射率，因此几乎所有的光束都发生反射。光波长转换器的转换效率在 DBR 光栅的反射较多的时候会降低。此外，当反馈到半导体激光器 101 的功率过大的时候，半导体激光器 101 可能会因为其端面的损坏而遭受毁

坏。因此，优选将 DBR 光栅的反射率抑制到 10%或者更低。

通过控制畴反转区域 105 的占空比来控制该 DBR 光栅的反射率。也即是说，通过将畴反转区域 105 的宽度偏移 0.1μm，能够控制 DBR 光栅的反射率，因此 DBR 光栅的反射率能够在不会降低光波长转换器的转换效率的情况下得到调整。

类似地，对于偶数阶 DBR 波长来说，同样能够使 DBR 反射波长和相位匹配波长互相调谐。在这种情况下，DBR 反射波长 λ 满足关系 $\lambda_1<\lambda<\lambda_2$，这里，$\lambda_1=613+48\times n(nm)$，$\lambda_2=1.02\times\lambda_1(nm)$，其中(n=0,1,2)。或者，该 DBR 反射波长满足关系 $\lambda_1<\lambda<\lambda_2$，其中 $\lambda_1=754+40\times n(nm)$，$\lambda_2=1.02\times\lambda 1$（nm），其中(n=0,1,2,3,4……)。

然而，在这种情况下，因畴反转区域 105 的占空比为 50%时不会出现反射，所以必须将该占空比偏离 50%。当考虑到相对 SHG 的转换效率的时候，能够通过使占空比为 40-49%并且抑制反射率到 10%或者更小而提高该效率。在这种情况下，可以避免由于限制了布拉格反射的反射程度以及占空比从 50%偏离引起的转换效率的降低。如果在即使抑制了 SHG 输出的情况下想要更稳定的特性，那么能够通过将占空比控制在 30%到 40%的范围内来增加反射率。尽管转换效率降低了，但是能够增加反馈到半导体激光器 101 的光，从而抑止了半导体激光器 101 的振荡波长因扰动而引起的波动。

或者，可以这样形成光学波导设备 108，使得薄膜层 103 的凸起 106 与 LN 基板 102 一侧也即与粘结层 104 接触。图 4 中示出了一个具体的例子。图 4 是显示采用了第一实施例中的光学波导设备的相干光源的另一配置的例子的示意图。通过将切余掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 晶体薄膜层 303 经由粘结层 304 粘合在 LN 基板 302 上而构造出光学波导设备 308。薄膜层 303 具有条形凸起 306，并且形成有周期性的畴反转区域 305。布置 LN 基板 302 和薄膜 303，使得凸起 306 布置在光学波导设备 308 的内部，面对着 LN 基板 302。相干光源 300 由光学

波导设备 308 和发射光到光学波导设备 308 的半导体激光器 301 构成。如此配置的光学波导设备 308 能够提供用于与图 1 中的光学波导设备 108 类似的光学波导的高效和高输出的 DBR 光栅结构，并且它能够用于波长转换器。此外，该相干光源 300 能够发出高效且稳定的短波长光，正如图 1 中的相干光源 100 所实现的一样。

（第二实施例）

下面的描述涉及本发明第二实施例中的光学波导设备和采用该设备的相干光源。图 5 是显示采用第二实施例中的光学波导设备的相干光源的示意图。

如图 5 所示，第二实施例中的相干光源 100a 具有光学波导设备 108a，它代替了第一实施例中的光学波导设备 108，并且该光学波导设备 108a 的畴反转区域 105 分为 DBR 部分 112 和波长转换部分 111。半导体激光器 101 是与第一实施例类似的法布里-珀罗 AlGaAs 半导体激光器。然而，与第一实施例不同的是，畴反转区域 105 具有大约 2.7μm 的畴反转周期和大约 810nm 的相位匹配波长。

DBR 部分 112 和波长转换部分 111 两者都具有周期性的畴反转结构，但是其周期各不相同。对波长转换部分 111，选择一个用于相位匹配基波和谐波的周期结构，并且因而通过畴反转结构的非线性光栅来进行波长转换。DBR 部分 112 通过折射率光栅来反射（布拉格反射）一定波长的基波。

在这个结构中，在如第一实施例所提到的条件下，将相位匹配波长和 DBR 反射波长互相调谐，以提供具有稳定输出的相干光源。

也即，能够将针对 DBR 光栅的畴反转结构和针对波长转换的畴反转结构彼此分开。由于 DBR 光栅的第一阶周期小到大约 0.2μm，因此通过使用畴反转光栅作为 DBR 光栅，可以获得高阶光栅。因此，通过针对 DBR 和波长转换单独设计畴反转，可以优化其各自的设计。

在这种情况下，应该注意的是半导体激光器 101 的增益峰值波长、DBR 反射波长和相位匹配波长之间的关系。下面描述所述各个波长之间的这个关系。

DBR 部分 112 的 DBR 反射波长和波长转换部分 111 的相位匹配波长互相调谐；波长转换部分 111 的 DBR 反射波长和 DBR 部分 112 的 DBR 反射波长之差是 5nm 或者更多；并且，DBR 部分 112 的 DBR 反射波长和半导体激光器 101 的增益峰值波长基本上互相调谐。

通过满足上述条件的设计，能够将该设计优化。如上所述，由于畴反转区域 105 伴随着折射波长的改变，所以也会因波长转换部分 111 的畴反转光栅引起 DBR 反射。当将由半导体激光器 101 发出的光束固定到来自波长转换部分 111 的 DBR 反射波长的时候，由于来自相位匹配波长的差，该波长不再会转换。来自 DBR 部分 112 的 DBR 反射波长与半导体激光器 101 的增益峰值调谐，并且来自 DBR 反射波长和来自波长转换部分 111 两者之差为 5nm 或者更多，且将半导体激光器 101 固定到来自 DBR 部分 112 的 DBR 反射波长。当 DBR 部分 112 的 DBR 反射波长和波长转换部分 111 的 DBR 反射波长彼此很接近的时候，那么将半导体激光器 101 的光束固定到哪个波长是不清楚的，由此引起具有这两个波长的多模振荡。这会产生噪音大大增加的问题。从这一点看，所希望的是，将波长转换部分 111 的相位匹配波长和 DBR 反射波长彼此分开至少 5nm。因此，优选将相位匹配波长设置在一个波长，该波长与第一实施例所提到的相位匹配波长和 DBR 反射波长彼此调谐的条件下的那个波长具有增加至少 5nm 的差。

此外，当半导体激光器 101 的增益峰值接近于波长转换部分的 DBR 反射波长时，它将会固定到 DBR 反射波长，并且因此可能不会出现波长转换。因此，优选 DBR 部分 112 的 DBR 反射波长和半导体激光器 101 的增益峰值波长之差不超过 5nm。更优选的是，DBR 部

分 112 的 DBR 反射波长和半导体激光器 101 的增益峰值波长之差不超过 2nm，因为振荡得到进一步的稳定。

这里，DBR 部分 112 是设在光学波导设备 108a 的入射部分附近的，以便尽可能地缩短离开半导体激光器 101 的距离。当半导体激光器 101 通过来自 DBR 部分 112 反射的光束被固定的时候，来自 DBR 部分 112 的光反馈到半导体激光器 101。通常，半导体激光器 101 中的噪音因从外部返回的光而大大地增加。因此，当光返回到半导体激光器 101 的时候，激光器将具有外部谐振器结构以及内部谐振器结构，也即，激光器具有组合谐振器结构。

因此，当 DBR 部分 112 设在光学波导设备 108a（与半导体激光器 101 相反）的出口附近的时候，该组合谐振器的谐振器长度将各不相同，并且谐振器长度会在环境温度改变等影响下直接发生改变。结果，谐振器结构将是不稳定的并且振荡噪音将会增加。

另一方面，当半导体激光器 101 和光学波导设备 108a 直接粘合在一起并且 DBR 部分 112 设在光学波导设备 108a 的入射端部一侧（半导体激光器 101 一侧）的时候，半导体激光器 101 的发射端面和 DBR 光栅的反射端面基本上能够彼此调谐，由此避免了因组合谐振器结构引起的噪音。

如上所述，需要将 DBR 部分 112 布置在光学波导设备 108a 的入射端面附近，并且该 DBR 光栅构成入射端面。第一实施例可以同样地实施。类似地，当把相位匹配光栅用作 DBR 光栅时，优选将半导体激光器 101 直接粘合。另外优选的是，畴反转区域 105 也构成光学波导设备 108a 的入射端面。

通过调制半导体激光器 101 的驱动电流，相干光源 100a 的输出可以因输出调制是湍流的。也即，当由于驱动电流之故半导体激光器 101 产生温度变化的时候，半导体激光器 101 的谐振器长度就会改变，并且因而半导体激光器 101 的振荡波长会改变。换句话说，当调制半

导体激光器 101 的输出的时候，振荡波长会同时得到调制。

对于非线性光学晶体，同样可以使用掺 Mg 的 $LiNb_{(1-x)}Ta_xO_3(0\leq x\leq 1)$。例如，任一下列晶体同样可以用作非线性光学晶体：掺 Mg 的 $LiTaO_3$,掺 Mg 的 $LiNbO_3$，掺 Mg 的 $LiTaO_3$ 和掺 Mg 的 $LiNbO_3$ 的混合晶体，掺 Mg 的化学计算的 $LiNbO_3$，掺 Mg 的化学计算的 $LiTaO_3$，和掺 Mg 的化学计算的 $LiNbO_3$ 和掺 Mg 的化学计算的 $LiTaO_3$ 的混合晶体。

光学波导设备 108a 具有窄的波长容差，因而，即使波长波动小到不超过 0.1nm，转换效率也会改变很多。因此，在半导体激光器 101 的输出调制中，由于半导体激光器 101 的输出和波长的调制，谐波输出发生改变，由此形成复杂的输出波形。结果，很难在需要稳定的波形调制光波长转换器的输出。为了避免这一点，使用法布里-珀罗标准具半导体激光器作为该半导体激光器 101。或者，可以使用具有相位调制部分的半导体激光器。通过在半导体激光器 101 中加入相位调制部分（未示出）并且将调制电流施加到该相位调制部分，就可以抑制在对半导体激光器的输出进行调制的时候出现的波长波动，并且便于波长转换器的输出调制。在第一实施例中，通过在半导体激光器 101 中加入相位调制部分，可以获得类似的效果。

（第三实施例）

下面描述本发明的光学装置的一个实施例。该光学装置的例子包括光学拾取装置。图 6 是显示第三实施例中的光学拾取系统的构造的示意图。第三实施例中的光学拾取装置 400 具有相干光源 401、作为会聚光学系统的透镜 402 和 404、分束器 403 和光电探测器 405。对于相干光源 401 来说，可以使用图 1、4 和 5 中所示的第一和第二实施例中任一相干光源 100、300 和 100a。

如图 6 所示，从相干光源 401 发出的光束 407 通过作为光学会聚

系统的透镜 402、分束器 403 和作为光学会聚系统的透镜 404，会聚到光盘 406 的表面。这样会聚的光束在光盘 406 的表面发生反射，再次通过透镜 404，并且它相对分束器 403 改变传播方向，从而被导入光电探测器 405。通过使用光电探测器 405 探测由光盘 406 所反射的光束，就能够读出写在光盘 406 上的信息。还可以将相干光源 401 发出的光束 407 会聚到光盘 406 上，由此将信息写入光盘 406。

如上所述，由于相干光源 401 是第一和第二实施例中的任一相干光源 100、300 和 100a，因此，它能够发出具有 410nm 波长的短波长光束。因此，能够实现高密度的光学信息记录。

由于相干光源 401（相干光源 100、300 或者 100a）将光限制在几个微米宽和厚的光学波导设备中，因此该光学波导具有显著增强的功率密度。因此，在该光学波导的传输方向上产生一个温度分布。由于该温度分布，会产生一个用来将基波转换为谐波的相位匹配条件的分布。结果，相位匹配条件将难以建立，并且相干光源 401（相干光源 100、300 或者 100a）的输出可能会劣化。然而，由于采用了具有高导热性的金属的粘结层 104、304、104a，因此提高了光学波导的导热性，并且因而减小了光学波导的温度分布。这样就提供了一个高输出的相干光源 401（相干光源 100、300 或者 100a）。在第三实施例的光学拾取装置 400 中，能够提供 50mW 或者更大的短波长光束，该光束可以对两层的磁盘写入，这对于低输出是困难的。此外，它能够实现高速写入。

对于具有第一到第三实施例中的相干光源 100、300 和 100a 的光学装置来说，例如，可以使用例如激光扫描显微镜以及上述光学拾取系统装置这样的相干光学系统装置。

根据本发明，由于来自半导体激光器的光的进入，因此可以稳定该半导体激光器的波长，并且因而能够提供一种能够实现具备高输出和稳定输出的相干光源的光学设备。

工业实用性

在光学信息处理和光学应用测量控制领域，使用例如本发明的光学波导设备、采用它的相干光源和具有它的光学装置。

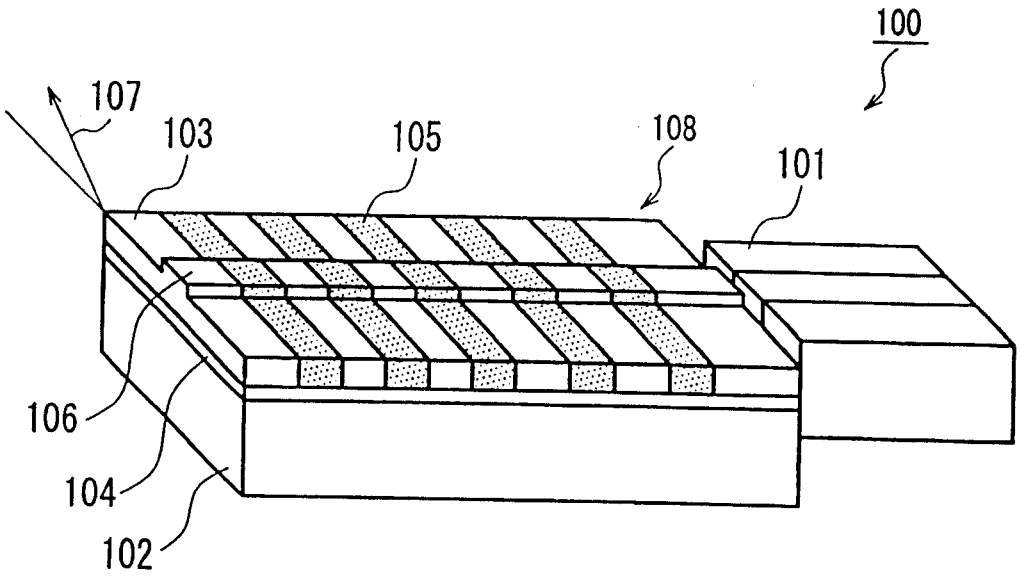


图1

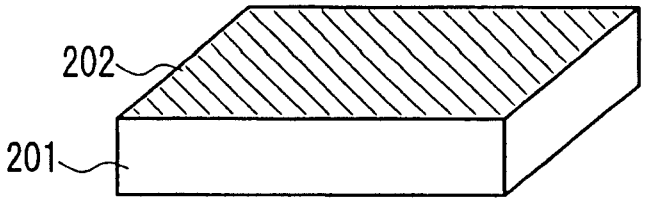


图2A

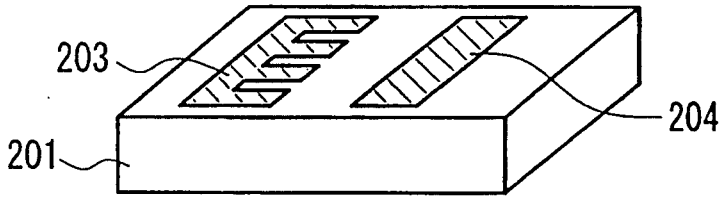


图2B

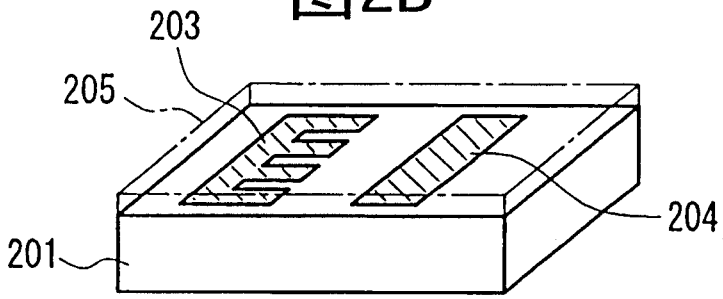


图2C

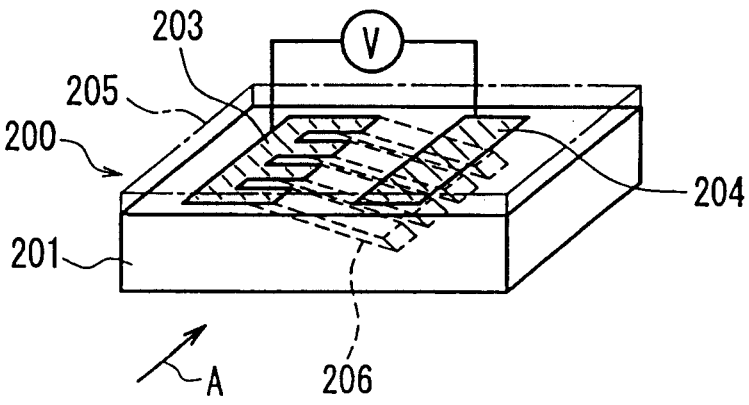


图2D

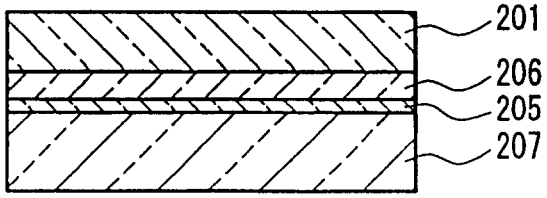


图3A

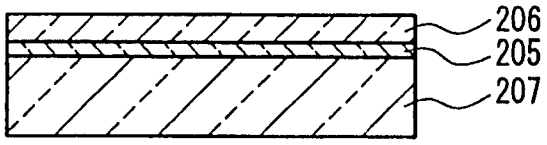


图3B

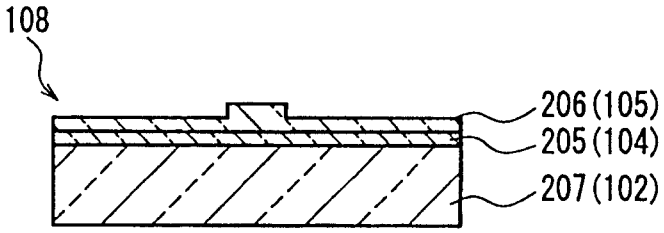


图3C

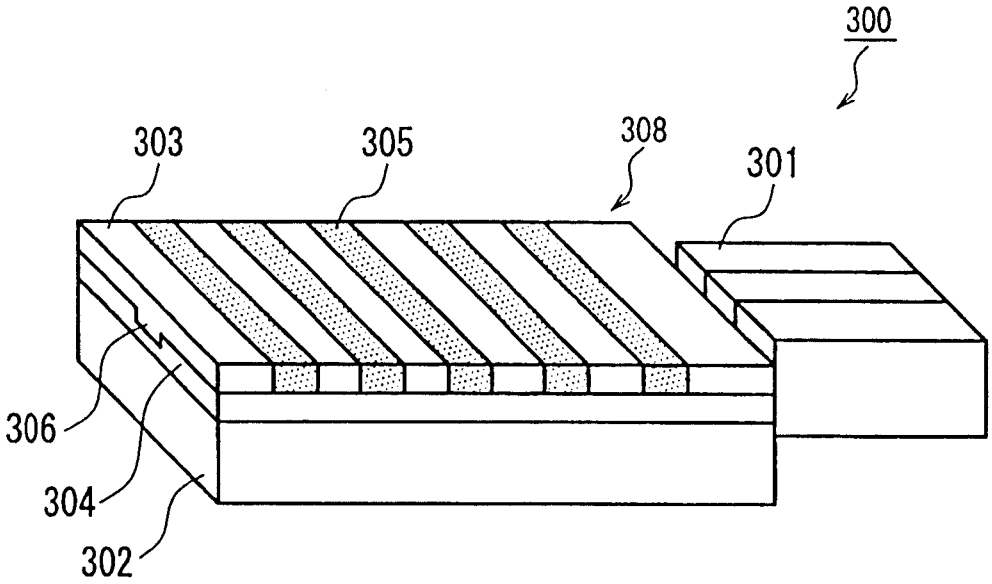


图4

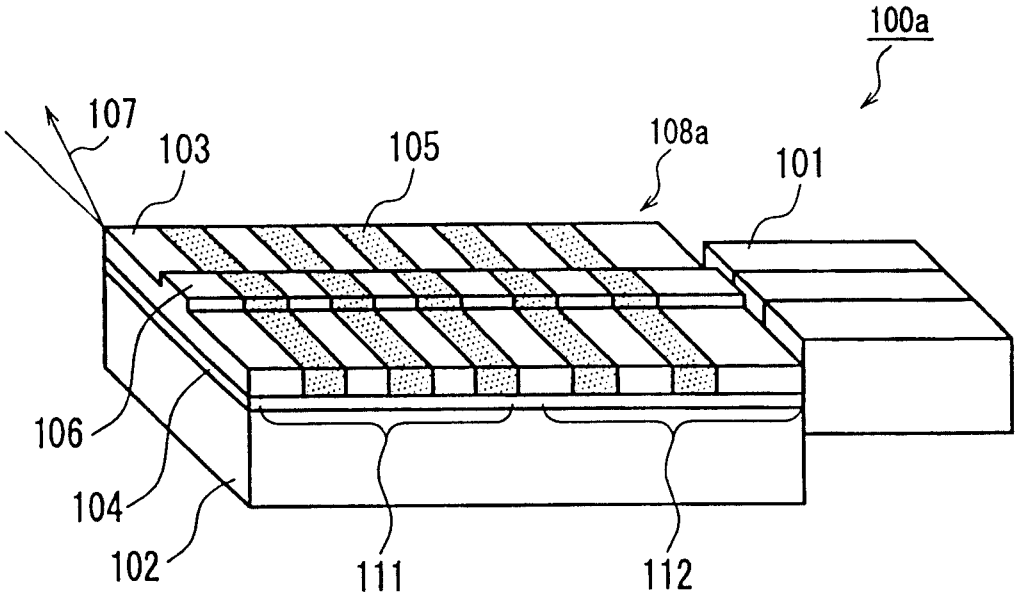


图5

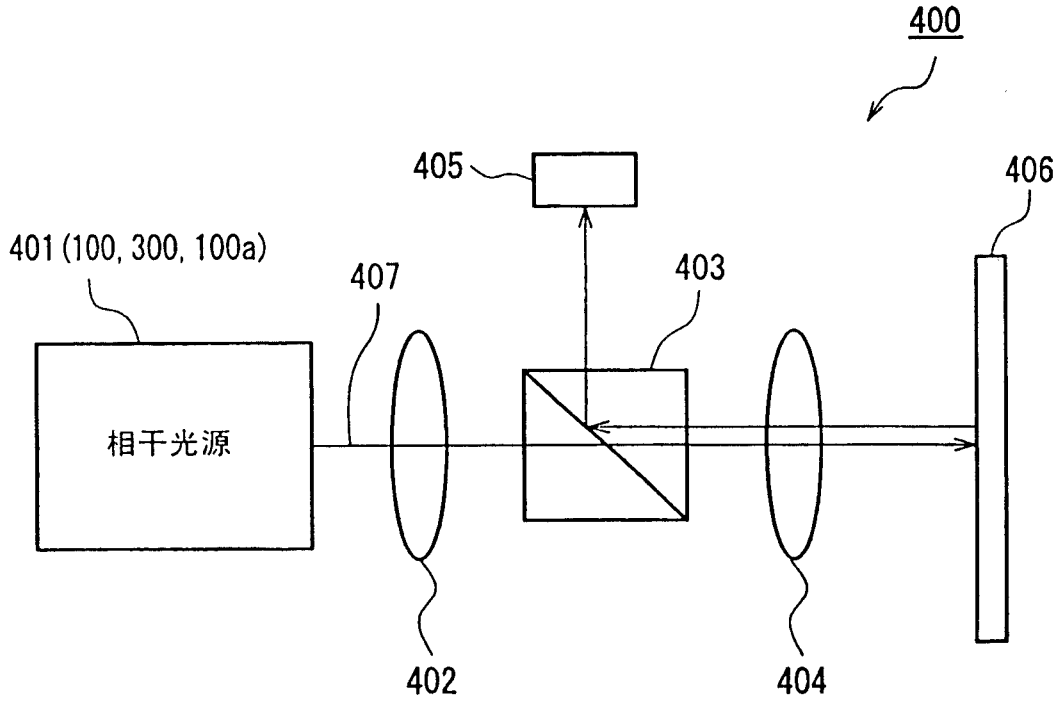


图6