

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 8 月 8 日 (08.08.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/148673 A1

- (51) 国际专利分类号:
H01S 5/10 (2006.01) *H01S 5/06* (2006.01)
H01S 3/082 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/084333
- (22) 国际申请日: 2018 年 4 月 25 日 (25.04.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201810113412.4 2018 年 2 月 5 日 (05.02.2018) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路
866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人: 何建军 (HE, Jianjun); 中国浙江省杭州市
西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
郭嘉 (GUO, Jia); 中国浙江省杭州市西湖区余
杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限
公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO.,
LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区玉古路
147 号黄鸿年科技综合大楼 215 室 / 林
超, Zhejiang 310013 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

(54) Title: TUNABLE SEMICONDUCTOR LASER BASED ON HALF-WAVE COUPLED PART REFLECTORS

(54) 发明名称: 基于半波耦合部分反射器的可调谐半导体激光器

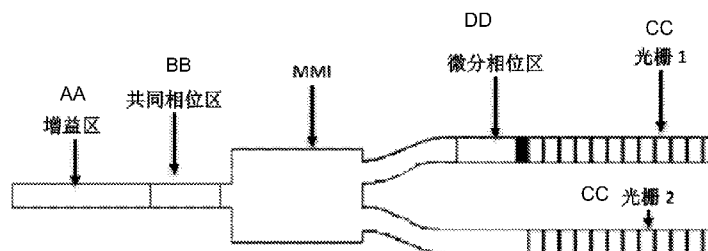


图 1

AA Gain zone
BB Common phase zone
CC Optical grating
DD Differential phase zone

(57) Abstract: Disclosed is a tunable semiconductor laser based on half-wave coupled part reflectors. The tunable semiconductor laser comprises two resonant cavities, wherein one of the resonant cavities is mainly composed of an optical waveguide, a first part reflector and a second part reflector, and the other of the resonant cavities is mainly composed of a further optical waveguide, a further first part reflector and a further second part reflector. The two resonant cavities are arranged along the same straight line and are coupled to each other, and the two second part reflectors in the two resonant cavities are connected by means of a common coupling waveguide. The present invention has the best single-mode selection, and an emitted wavelength can be switched between a series of channels; an optical grating needs not to be manufactured, and the structure is simple; the coupler has a high freedom degree in design and a great manufacturing tolerance, and can realize wide digital tuning.

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于半波耦合部分反射器的可调谐半导体激光器。包括两个谐振腔, 一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成, 另一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成; 两个谐振腔沿同一直线排列并相互耦合, 两个谐振腔中的两个第二部分反射器之间通过一个公共的耦合波导连接。本发明具有最佳的单模选择, 发射波长可在一系列信道上切换, 无需制作光栅, 结构简单, 在耦合器的设计上具有很高的自由度, 制作容差大, 可以实现大范围的数字式调谐。

LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。
- 黑白; 提交的国际申请包含彩色或灰度, 并且可
通过PATENTSCOPE下载

基于半波耦合部分反射器的可调谐半导体激光器

技术领域

本发明涉及半导体激光器,尤其是涉及一种基于半波耦合部分反射器的可调谐半导体激光器。

背景技术

波长可调谐激光器是波分复用技术中的一个关键技术,在城域网和远程光通信领域中也具有广泛的应用。随着光通信技术的快速发展,可调谐半导体激光器也在不断的向低成本、低功耗、小型化和集成化的方向发展。从实际应用出发,要求可调谐半导体激光器可大范围调谐,成本低廉,工作稳定,易于操作。

目前在光通讯领域中使用最为广泛的波长可调谐激光器有两种方案:一种是基于光栅的激光器,如分布反馈激光器(DFB)和分布反射光栅激光器(DBR)。这类激光器的制造中都需要制作光栅、刻蚀光栅、二次外延等步骤,大大增加了器件的成本。

另一种可调谐激光器的方案是利用两个长度相异的谐振腔之间的耦合来实现,其波长调谐范围可以利用 Vernier 效应显著增加。这种类型激光器的一种实现形式是基于调制光栅 Y 型(MG-Y)可调谐半导体激光器,被报道于"High-speed direct modulation of widely tunable MG-Y laser", *IEEE Photonics Technology Letters*, 17(6) (2005): 1157-1159. 其结构示意图如图 1, 这种 MG-Y 可调谐半导体激光器包含一个增益区,一个共同相位区,一个 MMI 耦合器,一个微分相位区以及两个光栅,结构十分复杂;该激光器实现单模稳定工作和波长调谐需要调节共同相位区、微分相位区和光栅上的注入电流,这种多电极协调的调谐算法十分复杂,不利于激光器驱动电路的设计和激光器高效批量化生产,而且高昂的成本阻止了应用的推广。

为了提供廉价的可调谐半导体激光器,何建军于 2006 年提出了一种基于 V 型腔结构的半导体激光器,详见“V 型耦合腔波长可切换半导体激光器”,授权公告号: CN100463312B, 其结构示意图如图 2。它通过两个长度相异的谐振腔之间的耦合来实现波长的调谐或者切换,通过优化两个谐振腔之间的耦合系数能够实现很高的边模抑制比,其波长调谐通过调节某一臂注入电流来实现,调节范围可以利用 Vernier 效应而显著增加。除此之外,这种激光器还具有工艺简单,成本低,波长切换方便,等方面的优势。但是对于这种激光器,其耦合腔的一

端为部分反射结构，该结构制作质量的好坏直接影响激光器的单模特性，所以这种激光器对于设计和制作的要求均较高，在一定程度上影响了其成品率。此外，由于采用具有弯曲波导的 V 型波导结构，引入了一定损耗，且不利于和其它器件集成。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明的目的在于提供一种基于半波耦合部分反射器的可调谐半导体激光器。

本发明采用的技术方案是：

本发明包括两个谐振腔，一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成，另一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成；两个谐振腔沿同一直线排列并相互耦合，两个谐振腔中的两个第二部分反射器之间通过一个公共的耦合波导连接。

所述两个谐振腔的第二部分反射器均为具有固定分光比的分光器件，一部分光经反射回到自身谐振腔，一部分光经过耦合波导进入另一个谐振腔。

第一种实施方式是：所述两个谐振腔的第二部分反射器均由一个渐变锥形波导、两个 45 度转角镜和一个多模干涉器构成，一个渐变锥形波导、一个多模干涉器和由两个 45 度转角镜构成的转角镜组合沿同一直线布置，渐变锥形波导的一端与光波导连接，渐变锥形波导的另一端与多模干涉器的一端连接，多模干涉器的另一端与由两个并排连接布置的 45 度转角镜构成的转角镜组的一端连接，转角镜组的另一端与耦合波导连接；

通过渐变锥形波导和多模干涉器共同将从光波导传输来的光束扩宽并分成三部分，其中两侧的两部分光分别经两个 45 度转角镜反射回自身谐振腔的原光波导，另一部分光经耦合波导进入另一个谐振腔。进入另一个谐振腔后再依次经转角镜组、多模干涉器、渐变锥形波导、光波导、第一部分反射器。

第二种实施方式是：所述两个谐振腔的第二部分反射器均由一个渐变锥形波导和两个 45 度转角镜构成，一个渐变锥形波导和由两个 45 度转角镜构成的转角镜组合沿同一直线布置，渐变锥形波导的一端与光波导连接，渐变锥形波导的另一端与由两个并排连接布置的 45 度转角镜构成的转角镜组的一端连接，两个 45 度转角镜组合的另一端与耦合波导连接；

通过渐变锥形波导将从光波导传输来的光束扩宽并分成三部分，其中两侧的两部分光分别经两个 45 度转角镜反射回自身谐振腔的原光波导，另一部分光经耦合波导进入另一个谐振腔。进入另一个谐振腔后再依次经转角镜组、渐变锥形波导、光波导、第一部分反射器。

本发明中通过耦合波导连接两个特殊结构的谐振腔实现了一定的交叉耦合系数和 180° 奇数倍的耦合相位，使得激光器具有最佳的单模选择性。

所述的两个谐振腔具有不同的光学长度，使得两个谐振腔同时只有一个谐振频率在增益谱内重合，两个谐振腔均通过施加电流或电压改变有效折射率从而实现波长的调谐。通过改变一个谐振腔内部分波导的有效折射率可以使激光器的发射波长在一系列信道上切换。

具体实施中，将所述谐振腔中的光波导、第一部分反射器、第二部分反射器形成的总光学长度(考虑折射率)不同。

优选地，所述光波导光学长度 (考虑折射率)不同。

所述的 45° 转角镜均为 45° 深刻蚀转角镜。

第一种电极布置方式是：一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成，另一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成；其中一个谐振腔的光波导和第二部分反射器上共设一个电极，另一个谐振腔的光波导和第二部分反射器上共设一个电极，对这两个电极施加电压或电流均提供增益，改变电压或电流均以改变所述半导体激光器的输出波长。

第二种电极布置方式是：一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成，另一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成；其中一个谐振腔的光波导和第二部分反射器上共设一个电极，另一个谐振腔的光波导和第二部分反射器上共设一个电极，对该两个电极施加电压或电流均提供增益，改变电压或电流均以改变所述半导体激光器的输出波长；

所述耦合波导上设置一个电极，改变该电极电压或电流均以改变两个谐振腔之间的耦合关系，进而调节所述半导体激光器的单模选择性。

第三种电极布置方式是：一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成，另一个谐振腔主要由光波导、第一部分反射器、第二部分反射器组成；两个谐振腔的第二部分反射器上共设一个电极，对该电极施加电压或电流均提供增益，对该电极电压或电流施加外调制信号以对所述半导体激光器进行调制；两个谐振腔的光波导的光学长度不同并且分别设一个电极作为调谐区电极，对其中一个调谐区电极施加电压或电流并调节而实现所述半导体激光器的输出波长在调谐范围内的数字式改变，对另一个调谐区电极施加电压或电流并调节而实现对所述半导体激光器的输出波长进行细调。

所述的两个谐振腔中的第一部分反射器采用一个深刻蚀空气槽或者通过解理端面形成。

通过设计部分反射器和中段耦合波导的尺寸可以使两个光学谐振腔之间满足一定的耦合关系，包括耦合强度关系和耦合相位关系，使激光器达到最佳的单模效果。

所述的第一个光学谐振腔其谐振频率对应一系列等间隔工作信道，所述第二个谐振腔具有不同的光学长度使得它在激光器材料的增益谱范围内只有一个谐振频率与第一个谐振腔的谐振频率重合。所述两个谐振腔中的光波导至少有一部分用来施加电压或电流使得它的有效折射率发生改变从而使得激光器的频率在一系列分立的工作信道上切换。

所述两个谐振腔耦合端的部分反射器均具有特定的透射率和反射率，透射光进入另一个谐振腔实现交叉耦合，反射光回到原谐振腔实现自耦合，为实现最佳单模特性，该器件应具有较低的损耗，且反射率应大于透射率。

所述两个耦合端的部分反射器和中段耦合波导组成激光器的耦合器，理论上该耦合器最好是一个半波耦合器，即交叉耦合和自耦合之间具有 180° 或其奇数倍的相位差，通过设计中段耦合波导的尺寸可以精确调节该相位差。

所述耦合端的部分反射器的一种实现方式是基于多模干涉和全内反射原理，每个部分反射器由一段渐变波导、一个多模干涉器、两个 45° 转角镜和一个耦合波导组成，光在多模干涉器内分为三束，中路光束通过中段耦合波导进入另一个谐振腔，上下两路光束经两个 45° 转角镜，通过两次全内反射回到原谐振腔。

本发明与背景技术相比，具有的有益效果是：

- 1、本发明无需制作光栅，使得制作工艺相对简单，降低了制作成本。
- 2、调谐时由于利用了谐振腔之间的游标效应，增大了激光器的调谐范围；从调谐控制机制上来讲，本发明提出的激光器只需要单电极调谐，波长控制上相对容易很多。
- 3、其耦合器的设计，参数选取具有更高的自由度，可以实现更精确的耦合关系，从而可以获得最佳的边模抑制比，具有较高的制作容差。
- 4、结构简单，易于与其他器件集成。

附图说明

图 1 是背景技术中基于调制光栅 Y 型 (MG-Y) 可调谐半导体激光器的结构示意图。

图 2 是背景技术中 V 型耦合腔波长可切换半导体激光器的结构示意图。

图 3 是本发明的一个实施方式示意图，(a)为其整体结构图，(b)为半波耦合部分反射器的结构放大图。

图 4 是两个谐振腔谐振频率位置关系示意图。

图 5 是不同归一化强度交叉耦合系数下激光器的各模式阈值。

图 6 是不同耦合相位下主边模阈值差和归一化强度交叉耦合系数的关系

图 7 是 MMI 耦合器原理示意图。

图 8 是本发明第 1 个实施例中使用的部分反射器结构示意图。

图 9 是本发明第 1 个实施例中使用的部分反射器输出端口强度分布与标准 1×3 、 1×2 MMI 耦合器的对比示意图。

图 10 是本发明第 1 个实施例中使用的部分反射器透射率和反射率随多模干涉区长度的变化关系图。

图 11 是本发明第 1 个实施例中的使用的电极分布方式示意图。

图 12 是本发明第 1 个实施例实测单电极波长调谐效果图。

图 13 是本发明第 1 个实施例实测各信道光谱叠加图。

图 14 是本发明第 2 个实施例中的使用的电极分布方式示意图。

图 15 是本发明第 2 个实施例实测单电极波长调谐效果图。

图 16 是本发明第 3 个实施例中的使用的电极分布方式示意图。

图 17 是本发明第 3 个实施例实测边模抑制比随耦合波导电极电流的变化关系图。

图 18 是本发明第 4 个实施例中使用的半波耦合部分反射器结构示意图。

图 19 是本发明第 4 个实施例中使用的部分反射器透射率和反射率随渐变锥形波导长度的变化关系图。

图中：第一部分反射器 101/201、光波导 102/202、第二部分反射器 103/203、耦合波导 3、45 度转角镜 104/105/204/205、渐变锥形波导 106/206、多模干涉器 107/207、长腔电极 108/109、短腔电极 208/209、耦合腔电极 4、耦合波导电极 5。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

如图 1 所示，本发明具体实施包括两个谐振腔，一个谐振腔主要由光波导 102、第一部分反射器 101、第二部分反射器 103 组成，另一个谐振腔主要由光波导 202、第一部分反射器 201、第二部分反射器 203 组成；两个谐振腔沿同一直线排列并相互耦合，两个谐振腔中的两个第二部分反射器 103、203 之间通过一个公共的耦合波导 3 连接。两个谐振腔的第二部分反射器 103、203 均为具有固定分光比的分光器件，一部分光经反射回到自身谐振腔，一部分光经过耦合波导 3 进入另一个谐振腔。

一种实施方式的第二部分反射器 103/203 均由一个渐变锥形波导 106/206、两个 45 度转角镜 104、105/204、205 和一个多模干涉器 107/207 构成。另一种实施方式的第二部分反射器 103/203 仅由一个渐变锥形波导 106/206 和两个 45 度转角镜 104、105/204、205 构成。

具体实施中,将所述谐振腔中的光波导 102/202、第一部分反射器 101/201、第二部分反射器 103/203 形成的总光学长度(考虑折射率)不同。

其中第二部分反射器 103、203 和中间连接的耦合波导 3 构成了用于选模的半波耦合器,由于结构上的对称性,第一反射器 101、201 均可以作为激光器的输出端口。

所述两段光波导 102 和 202、部分反射器中多模干涉器 107 和 207、渐变锥形波导 106 和 206 均采用浅刻蚀工艺,只有在所述的第一部分反射器 101、201 为深刻蚀反射面时和 45° 转角镜 104、105、204 和 205 处使用深刻蚀工艺。

本发明实施原理如下:

根据具体的设计要求,设定第一谐振腔中,光波导 102 长度为 L_{11} ,有效折射率为 n_{11} ,设定第二部分反射器 103 的长度为 L_{12} ,有效折射率为 n_{12} ,这两个结构组成了激光器的一个谐振腔,该谐振腔的谐振频率间隔 Δf 为:

$$\Delta f = \frac{c}{2(n_{11}L_{11} + n_{12}L_{12})}$$

同样的,第一部分反射器 201、光波导 202 和第二部分反射器 203 组成第二谐振腔,其谐振频率间隔 $\Delta f'$ 为:

$$\Delta f' = \frac{c}{2(n_{21}L_{21} + n_{22}L_{22})}$$

其中, L_{21} 为第二谐振腔中光波导 202 长度, n_{21} 为其有效折射率, L_{22} 为第二谐振腔中第二部分反射器 203 的长度, n_{22} 为其有效折射率。一般在设计时,两段谐振腔的等效光学长度略有差别,所以其谐振频率间隔也会有微小的差别,这使得在工作物质的增益谱内,两者只有一个峰恰好重合(如图 4 所示)。两个谐振腔相邻的互相重合的谐振峰之间的间隔即为组合腔的自由光谱范围(FSR),其大小为:

$$\Delta f_c = \frac{\Delta f \Delta f'}{|\Delta f - \Delta f'|}$$

由此,本发明通过改变其中一段波导的折射率,改变其谐振频率,从而使两个谐振腔的重合频率改变,激光器的工作频率跳变一个信道。由于激光器的

工作频率为两个谐振腔的重合频率，因此一个较小的频率变化就会导致激光器工作频率跳变一个信道，这样就显著增加了激光器工作波长的调节范围。

对于本发明的耦合腔激光器，从阈值方程分析其单模特性。

对于两个谐振腔，假设从波导 102 耦合到波导 202、波导 102 返回到波导 102、波导 202 耦合到波导 102、波导 202 返回波导 202 的振幅耦合系数分别记为 C_{12} 、 C_{11} 、 C_{21} 和 C_{22} ，由于结构上的对称性， $C_{12}=C_{21}$ ，假设耦合中没有损耗，则有 $|C_{11}|^2+|C_{12}|^2=1$ ， $|C_{22}|^2+|C_{21}|^2=1$ ，假设第一部分反射器 101、201 的反射率分别为 r_1 、 r_2 ，则激光器的阈值工作条件可表示为：

$$r_1 r_2 \left(C_{11} + \frac{C_{21} C_{12} r_1 r_2 e^{2(g'+ik')L'}}{1 - C_{22} r_1 r_2 e^{2(g'+ik')L'}} \right) e^{2(g+ik)L} = 1$$

式中， k 和 g 为光波导 102 的传播常数和增益系数， k' 和 g' 为光波导 202 的传播常数和增益系数， i 为虚数单位， L 为第一谐振腔的光学长度， L' 为第二谐振腔的光学长度。

为了说明耦合系数的影响，采用以下公式计算归一化强度交叉耦合系数：

$$\chi = \frac{|C_{21}|^2}{|C_{11}|^2 + |C_{21}|^2} = \frac{|C_{12}|^2}{|C_{12}|^2 + |C_{22}|^2}$$

假设 $n=n'=3.215$ ， $L=466\mu\text{m}$ ， $L'=518.31\mu\text{m}$ ， $r_1=r_2=0.823$ ，则在 1550nm 附近，归一化强度交叉耦合系数分别为 0.1 和 0.5 时，各个模式的阈值增益 G 如图 5 所示，当归一化强度交叉耦合系数为 0.1 时，阈值最低的模式出现在两个腔谐振峰重合的 1550 nm 处，与两边阈值次低的模式之间的阈值差异约为 7.2cm^{-1} ，但是当归一化强度交叉耦合系数为 0.5 时，两个模式的阈值差仅为 1.2cm^{-1} 。所以在本发明中归一化强度交叉耦合系数一般应小于 0.1。

除了强度耦合系数外，交叉耦合与自耦合间的相位差同样对激光器的单模选择性有重要影响。理论上，对于此类双耦合腔选模的激光器，其耦合器最好是一个半波耦合器，即耦合相位为 180° 或其奇数倍，图 6 为不同耦合相位下主边模阈值差和归一化强度交叉耦合系数的关系，当耦合相位偏离最佳耦合相位时，激光器的最大主模边模阈值差异将会随之减小。

所述半波耦合器的作用是控制两个谐振腔的相互耦合关系，其中，第二部分反射器 103、203 可精确控制交叉耦合和自耦合之间的强度关系，中段耦合波导 3 可精确控制两个谐振腔之间的耦合相位差，因此在设计上具有更高的自由度，可实现最佳的单模输出特性。

一个实施例中可以控制交叉耦合关系的第二部分反射器 103、203 是通过一

个与两个 45° 全内反射深刻蚀面转角镜相连的多模干涉 (multimode interference, MMI) 耦合器实现的。多模干涉耦合器的基本原理是多模波导中各阶模的干涉形成的自映像效应, 即, 在多模波导中, 多个导模互相干涉, 沿着波导的传播方向, 在周期性的间隔处会出现输入场的一个或多个复制的映像。MMI 耦合器可以实现分光比可调的分束器。如图 7 所示为一个典型 1×3 MMI 功分器, 由输入单模波导、多模干涉区和输出单模波导三部分组成。使用模式传输分析方法 (MPA) 可以获得不同位置处的光场分布。

设多模干涉区宽度为 W_{mmi} , 长度为 L_{mmi} , 在干涉区中, 各导模的有效宽度可以近似为基模的有效宽度 W_{ev} , 对于 TE 模式, 有:

$$W_{\text{ev}} \approx W_{\text{mmi}} + \frac{\lambda}{\pi} (n_r^2 - n_c^2)^{-\frac{1}{2}}$$

其中, n_r 为波导芯层的有效折射率, n_c 为波导包层的有效折射率, λ 为工作波长。

可得基模和一阶模的拍长:

$$L_\pi \approx \frac{4n_r W_{\text{ev}}^2}{3\lambda}$$

当输入波导位于多模干涉区的中心输入时, 在传播方向 $z = \frac{3L_\pi}{4N}$ 处, 可以得到

N 个输入光场的像, 第 i 个像的成像位置 x_i 及相位 φ_i 为:

$$x_i = (2k - N) \frac{W_{\text{ev}}}{N}$$

$$\varphi_i = (N - j) \frac{\pi}{N}$$

式中, $j=1, 2, \dots, N$, j 表示输入光场的像的序数, N 表示输入光场的像的总数。为了实现一部分光反射回原谐振腔 (自耦合), 一部分耦合进入另一个谐振腔 (交叉耦合), 本发明基于 MMI 耦合器原理进行了一些变化, 图 8 是其中的一种实现方式: 输入波导 102 与该谐振腔的光波导相连, MMI 耦合器的中间输出口 3 通过中段耦合波导与另一个谐振腔的 MMI 耦合器相连, MMI 耦合器的上下两路端口转变为反射结构将光反射回原谐振腔, 本实施例中使用 45° 深刻蚀全反射转角镜实现, 上端口光先后经过转角镜 104、转角镜 105 两次全反射, 从转角镜 105 返回; 下端口光先后经过转角镜 105、转角镜 104 两次全反射, 从转角镜 104 返回, 两束光经过多模干涉区后耦合进入输入波导 102。

在实际设计中,为得到最佳的单模效果,自耦合强度一般要大于交叉耦合强度,所以实际设计的 MMI 耦合器长度一般介于 $1\times 3\text{MMI}$ 耦合器和 $1\times 2\text{MMI}$ 耦合器之间,使三个端口的分光比不同,即通过转角镜 104、105 的反射光较强,通过端口 3 的透射光较弱。使用光束传输方法(BPM)或有限差分方法(FDTD)仿真结果表明,该结构可以实现任意的自耦合和交叉耦合强度比例,图 9 为使用 FDTD 算法仿真得出的不同多模干涉区长度下输出端面的场强分布情况, L_{mmi1} 为优化后的长度, L_{mmi2} 和 L_{mmi3} 分别对应 $1\times 3\text{MMI}$ 耦合器和 $1\times 2\text{MMI}$ 耦合器多模干涉区长度, $L_{\text{mmi2}} < L_{\text{mmi1}} < L_{\text{mmi3}}$ 。

图 10 为使用 FDTD 算法仿真得出的在输出波导宽度 $W_{\text{out}}=3\text{ }\mu\text{m}$ 下该结构的透射率和反射率随多模干涉区长度 L_{mmi} 的变化关系。在图示的 L_{mmi} 取值范围内,透射率和反射率随 L_{mmi} 变化较小, L_{mmi} 改变 $1\text{ }\mu\text{m}$,透射率和反射率的变化均小于 0.01。由于在实际制作中,该结构的主要制作误差来源于套刻不准引起的多模干涉区长度的变化,而这一变化对耦合器性能的影响较小,因此该结构具有较高的制作容差。

本发明所述的各区域中应至少有一段有源量子阱区,对其注入电流以提供光增益,两段直波导中应至少有一段区域可以注入电流改变其材料的折射率,从而实现波长调谐。图 11 为第 1 实施例中使用的电极分配方式,电极 108、电极 208 分别为长腔电极和短腔电极,改变其电流可以实现不同方向的波长调谐,电极 4 为耦合腔电极,主要用于提供增益,并通过微调其电流,改变耦合器的折射率,从而优化激光器的单模性。

本发明具体实施例如下:

实施例 1

如图 3(a)和图 3(b)所示,一个谐振腔主要由光波导 102、第一部分反射器 101、第二部分反射器 103 组成,另一个谐振腔主要由光波导 202、第一部分反射器 201、第二部分反射器 203 组成。

两个谐振腔中,第二部分反射器 103/203 均由一个渐变锥形波导 106/206、两个 45 度转角镜 104、105/204、205 和一个多模干涉器 107/207 构成,一个渐变锥形波导 106/206、一个多模干涉器 107/207 和由两个 45 度转角镜 104、105/204、205 构成的转角镜组合沿同一直线布置,渐变锥形波导 106/206 的一端与光波导 102/202 连接,渐变锥形波导 106/206 的另一端与多模干涉器 107/207 的一端连接,多模干涉器(107/207)的另一端与由两个并排连接布置的 45 度转角镜(104、105/204、205)构成的转角镜组合的一端连接,两个 45 度转角镜(104、105/204、205)组合的另一端与耦合波导(3)连接。

通过渐变锥形波导 106/206 和多模干涉器 107/207 共同将从光波导 102/202 传输来的光束扩宽并分成三部分，其中两侧的两部分光分别经两个 45 度转角镜 104、105/204、205 反射回自身谐振腔的原光波导 102/202，另一部分光经耦合波导 3 进入另一个谐振腔。进入另一个谐振腔后再依次经过两个 45 度转角镜组合 204、205/104、105、多模干涉器 207/107、渐变锥形波导 206/106、光波导 202/102、第一部分反射器 201/101。

谐振腔的电极布置如图 11 所示，两个谐振腔的第二部分反射器 103、203 上共设一个电极 4，对该电极施加电压或电流均可以提供增益，对电压或电流施加外调制信号可以对所述半导体激光器进行调制。

两个谐振腔的光波导 102、202 的光学长度不同并且分别设一个电极 108、208 作为调谐区电极，对其中一个调谐区电极施加电压或电流并调节而实现所述半导体激光器的数字式波长调谐范围的改变，对另一个调谐区电极施加电压或电流并调节而实现对所述半导体激光器的输出波长进行细调。

由此搭建形成的半导体激光器的实测调谐效果如图 12 所示，仅扫描一个电极即可实现大范围数字式调谐效果。

本实施例器件采用图 11 的电极分配方式，谐振腔长度设计为 100GHz 信道间隔，两个谐振腔长度差为 5%，调节长腔电极 108 上的电流，当电流从 30mA 到 130mA 变化，波长有规律地从 1538.0nm 到 1564.4nm 切换，实现了 34 个信道约 27nm 范围内的数字式调谐，即实现了半导体激光器大范围的波长调谐。实测各信道光谱叠加如图 13 所示，共有 34 个信道数，所有信道的 SMSR 均在 35dB 以上，最佳信道的 SMSR 可达 40dB 以上。由此可见，本实施例能够更好的边模抑制比。

实施例 2

如图 3(a)和图 3(b)所示，一个谐振腔主要由光波导 102、第一部分反射器 101、第二部分反射器 103 组成，另一个谐振腔主要由光波导 202、第一部分反射器 201、第二部分反射器 203 组成。

两个谐振腔中，第二部分反射器 103/203 均由一个渐变锥形波导 106/206、两个 45 度转角镜 104、105/204、205 和一个多模干涉器 107/207 构成，一个渐变锥形波导 106/206、一个多模干涉器 107/207 和由两个 45 度转角镜 104、105/204、205 构成的转角镜组合沿同一直线布置，渐变锥形波导 106/206 的一端与光波导 102/202 连接，渐变锥形波导 106/206 的另一端与多模干涉器 107/207 的一端连接，多模干涉器(107/207)的另一端与由两个并排连接布置的 45 度转角镜(104、

105/204、205)构成的转角镜组合的一端连接,两个45度转角镜(104、105/204、205)组合的另一端与耦合波导(3)连接。

通过渐变锥形波导106/206和多模干涉器107/207共同将从光波导102/202传输来的光束扩宽并分成三部分,其中两侧的两部分光分别经两个45度转角镜104、105/204、205反射回自身谐振腔的原光波导102/202,另一部分光经耦合波导3进入另一个谐振腔。进入另一个谐振腔后再依次经过两个45度转角镜组合204、205/104、105、多模干涉器207/107、渐变锥形波导206/106、光波导202/102、第一部分反射器201/101。

谐振腔的电极布置如图14所示,其中一个谐振腔的光波导102和第二部分反射器103上共设一个电极109,另一个谐振腔的光波导202和第二部分反射器203上共设一个电极209,对这两个电极施加电压或电流均可以提供增益,改变电压或电流均可以改变所述半导体激光器的输出波长。

由此搭建形成的半导体激光器的实测调谐效果如图15所示,由于该布置方式下改变单个电极的电流可以改变更大范围内谐振腔的折射率,所以扫描一个电极可以实现更大范围的数字式调谐效果。

本实施例中的谐振腔长度设计为100GHz信道间隔,两个谐振腔长度差为5%,调节电极109上的电流,当电流从50mA到200mA变化,波长有规律地从1539.3nm到1570.6nm切换,实现了40个信道约31nm范围内的数字式调谐,即实现了半导体激光器在更大范围波长调谐。

实施例3

如图3(a)和图3(b)所示,一个谐振腔主要由光波导102、第一部分反射器101、第二部分反射器103组成,另一个谐振腔主要由光波导202、第一部分反射器201、第二部分反射器203组成。

两个谐振腔中,第二部分反射器103/203均由一个渐变锥形波导106/206、两个45度转角镜104、105/204、205和一个多模干涉器107/207构成,一个渐变锥形波导106/206、一个多模干涉器107/207和由两个45度转角镜104、105/204、205构成的转角镜组合沿同一直线布置,渐变锥形波导106/206的一端与光波导102/202连接,渐变锥形波导106/206的另一端与多模干涉器107/207的一端连接,多模干涉器(107/207)的另一端与由两个并排连接布置的45度转角镜(104、105/204、205)构成的转角镜组合的一端连接,两个45度转角镜(104、105/204、205)组合的另一端与耦合波导(3)连接。

通过渐变锥形波导106/206和多模干涉器107/207共同将从光波导102/202传输来的光束扩宽并分成三部分,其中两侧的两部分光分别经两个45度转角镜

104、105/204、205 反射回自身谐振腔的原光波导 102/202，另一部分光经耦合波导 3 进入另一个谐振腔。进入另一个谐振腔后再依次经过两个 45 度转角镜组合 204、205/104、105、多模干涉器 207/107、渐变锥形波导 206/106、光波导 202/102、第一部分反射器 201/101。

谐振腔的电极布置如图 16 所示，其中一个谐振腔的光波导 102 和第二部分反射器 103 上共设一个电极 109，另一个谐振腔的光波导 202 和第二部分反射器 203 上共设一个电极 209，对这两个电极施加电压或电流均可以提供增益，改变电压或电流均可以改变所述半导体激光器的输出波长。

耦合波导（3）上设有一个电极 5，调节该电极电压或电流可以改变两个谐振腔之间的耦合关系，进而调节所述半导体激光器的单模选择性。

由此搭建形成的半导体激光器的实测单电极调谐效果与实施例 2 相同。特别地，固定电极 109 和 209 的电流使所述半导体激光器工作在一个输出信道下，调节耦合波导电极 5 的电流，该信道的边模抑制比的变化如图 17 所示，当电极 5 电流为 14mA 时，该信道实现 37.5dB 的最佳边模抑制比。

实施例 4

如图 3(a)所示，一个谐振腔主要由光波导 102、第一部分反射器 101、第二部分反射器 103 组成，另一个谐振腔主要由光波导 202、第一部分反射器 201、第二部分反射器 203 组成。

该实施例中，半波耦合部分反射器的结构如图 18 所示。两个谐振腔中，第二部分反射器 103/203 均由一个渐变锥形波导 106/206、两个 45 度转角镜 104、105/204、205 构成，一个渐变锥形波导 106/206 和由两个 45 度转角镜 104、105/204、205 构成的转角镜组合沿同一直线布置，渐变锥形波导 106/206 的一端与光波导 102/202 连接，渐变锥形波导 106/206 的另一端与两个并排连接布置的 45 度转角镜 104、105/204、205 的一端连接，两个 45 度转角镜 104、105/204、205 的另一端与耦合波导 3 连接。

通过渐变锥形波导 106/206 将从光波导 102/202 传输来的光束扩宽并分成三部分，其中两侧的两部分光分别经两个 45 度转角镜 104、105/204、205 反射回自身谐振腔的原光波导 102/202，另一部分光经耦合波导 3 进入另一个谐振腔。进入另一个谐振腔后再依次经两个 45 度转角镜组合 204、205/104、105、渐变锥形波导 206/106、光波导 202/102、第一部分反射器 201/101。

图 19 为对第二部分反射器 103/203 使用 FDTD 算法仿真得出的在输出波导宽度 $W_{out}=1\mu m$ 下该结构的透射率和反射率随渐变波导长度 L_{taper} 的变化关系。

该结构同样可以实现特定的透射率和反射率，且透射率和反射率随渐变波导长度的波动更小，具有更高的制作容差。

以上措施为描述性质的，任何与其精神相似的方案都属于专利的保护范围。

权 利 要 求 书

1、一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器，其特征在于：包括两个谐振腔，一个谐振腔主要由光波导（102）、第一部分反射器（101）、第二部分反射器（103）组成，另一个谐振腔主要由光波导（202）、第一部分反射器（201）、第二部分反射器（203）组成；两个谐振腔沿同一直线排列并相互耦合，两个谐振腔中的两个第二部分反射器（103、203）之间通过一个公共的耦合波导（3）连接。

2、根据权利要求 1 所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器，其特征在于：所述两个谐振腔的第二部分反射器（103、203）均为具有固定分光比的分光器件，一部分光经反射回到自身谐振腔，一部分光经过耦合波导（3）进入另一个谐振腔。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器，其特征在于：所述两个谐振腔的第二部分反射器（103/203）均由一个渐变锥形波导（106/206）、两个 45 度转角镜（104、105/204、205）和一个多模干涉器（107/207）构成，渐变锥形波导（106/206）的一端与光波导（102/202）连接，渐变锥形波导（106/206）的另一端与多模干涉器（107/207）的一端连接，多模干涉器（107/207）的另一端与由两个并排连接布置的 45 度转角镜（104、105/204、205）构成的转角镜组的一端连接，转角镜组的另一端与耦合波导（3）连接；通过渐变锥形波导（106/206）和多模干涉器（107/207）共同将从光波导（102/202）传输来的光束扩宽并分成三部分，其中两侧的两部分光分别经两个 45 度转角镜（104、105/204、205）反射回自身谐振腔的原光波导（102/202），另一部分光经耦合波导（3）进入另一个谐振腔。

4、根据权利要求 1 或 2 所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器，其特征在于：所述两个谐振腔的第二部分反射器（103/203）均由一个渐变锥形波导（106/206）和两个 45 度转角镜（104、105/204、205）构成，渐变锥形波导（106/206）的一端与光波导（102/202）连接，渐变锥形波导（106/206）的另一端与由两个并排连接布置的 45 度转角镜（104、105/204、205）构成的转角镜组的一端连接，两个 45 度转角镜（104、105/204、205）组合的另一端与耦合波导（3）连接；通过渐变锥形波导（106/206）将从光波导（102/202）传输来的光束扩宽并分成三部分，其中两侧的两部分光分别经两个 45 度转角镜（104、

105/204、205) 反射回自身谐振腔的原光波导 (102/202), 另一部分光经耦合波导 (3) 进入另一个谐振腔。

5、根据权利要求 1~4 任一所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器, 其特征在于: 所述的两个谐振腔具有不同的光学长度, 使得两个谐振腔同时只有一个谐振频率在增益谱内重合, 两个谐振腔均通过施加电流或电压改变有效折射率从而实现波长的调谐。

6、根据权利要求 3 或 4 所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器, 其特征在于: 其中一个谐振腔的光波导 (102) 和第二部分反射器 (103) 上共设一个电极, 另一个谐振腔的光波导 (202) 和第二部分反射器 (203) 上共设一个电极, 对这两个电极施加电压或电流均提供增益, 改变电压或电流均以改变所述半导体激光器的输出波长。

7、根据权利要求 3 或 4 所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器, 其特征在于: 其中一个谐振腔的光波导 (102) 和第二部分反射器 (103) 上共设一个电极, 另一个谐振腔的光波导 (202) 和第二部分反射器 (203) 上共设一个电极, 对该两个电极施加电压或电流均提供增益, 改变电压或电流均以改变所述半导体激光器的输出波长; 所述耦合波导 (3) 上设置一个电极, 改变该电极电压或电流均以改变两个谐振腔之间的耦合关系, 进而调节所述半导体激光器的单模选择性。

8、根据权利要求 3 或 4 所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器, 其特征在于: 两个谐振腔的第二部分反射器 (103、203) 上共设一个电极, 对该电极施加电压或电流均提供增益, 对该电极电压或电流施加外调制信号以对所述半导体激光器进行调制; 两个谐振腔的光波导 (102、202) 的光学长度不同并且分别设一个电极作为调谐区电极, 对其中一个调谐区电极施加电压或电流并调节而实现所述半导体激光器的输出波长在调谐范围内的数字式改变, 对另一个调谐区电极施加电压或电流并调节而实现对所述半导体激光器的输出波长进行细调。

9、根据权利要求 1 所述的一种基于半波耦合部分反射器的半导体激光器, 其特征在于: 所述的两个谐振腔中的第一部分反射器 (101/201) 采用一个深刻蚀空气槽或者通过解理端面形成。

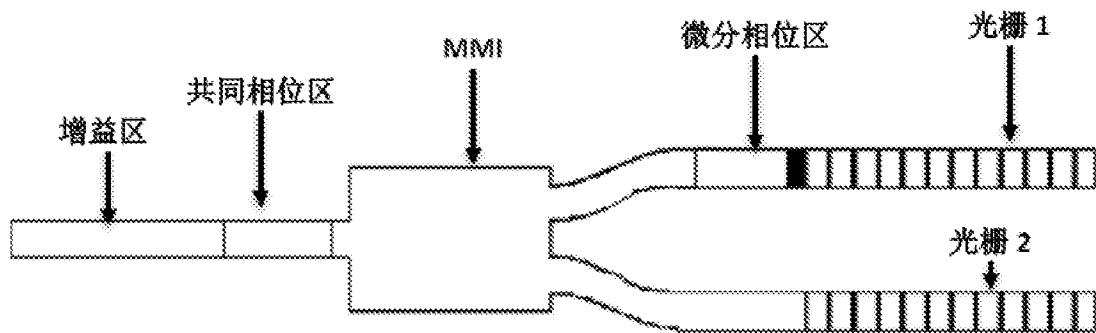


图 1

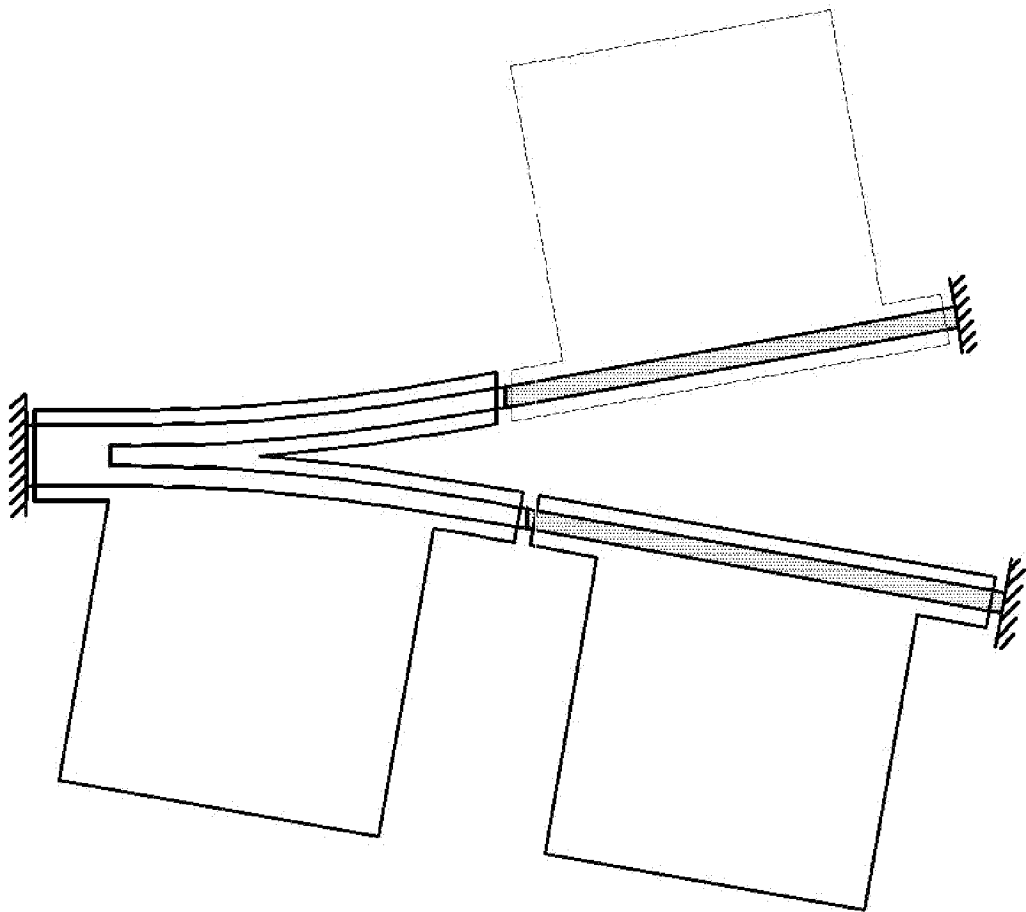
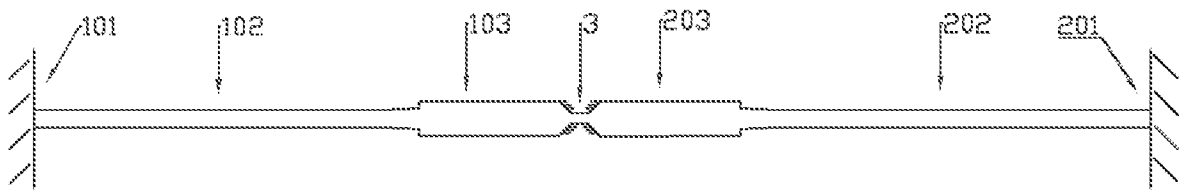
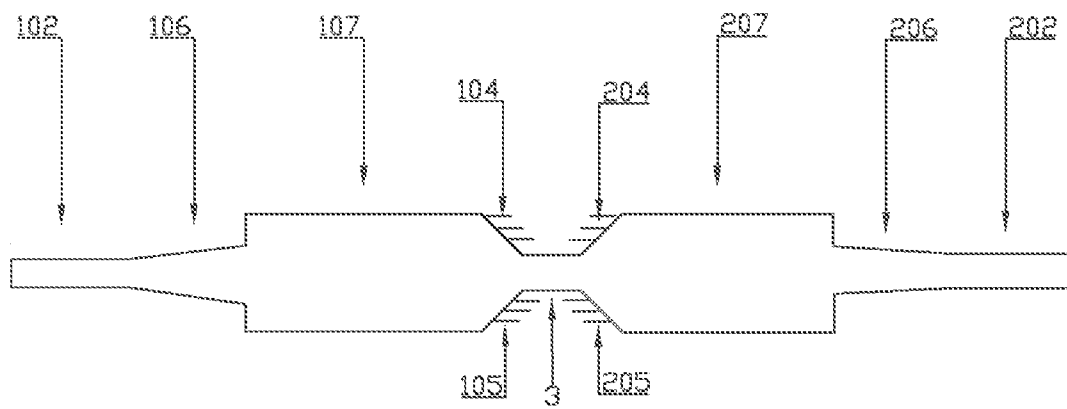


图 2



(a)



(b)

图 3

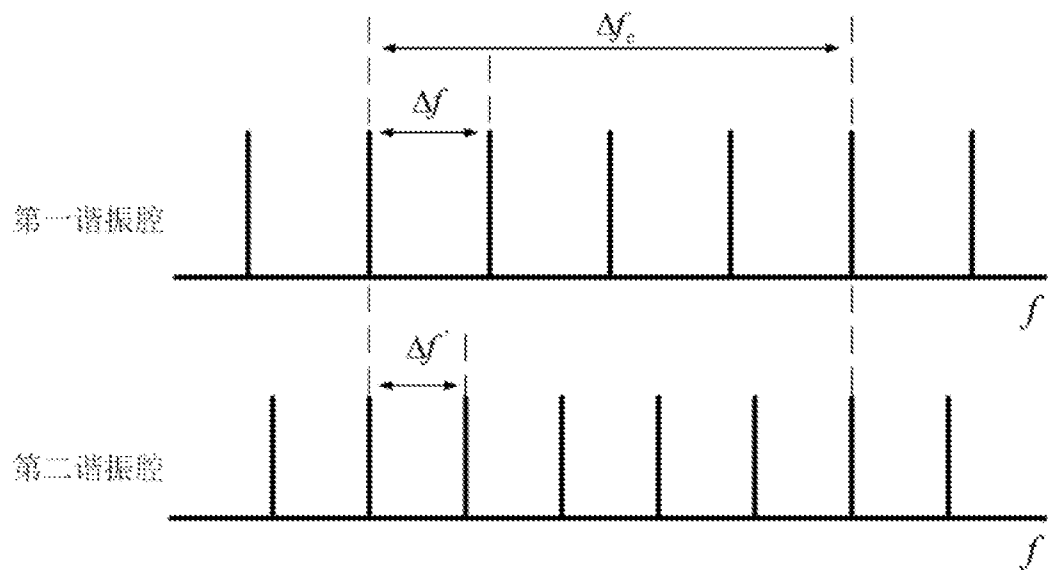


图 4

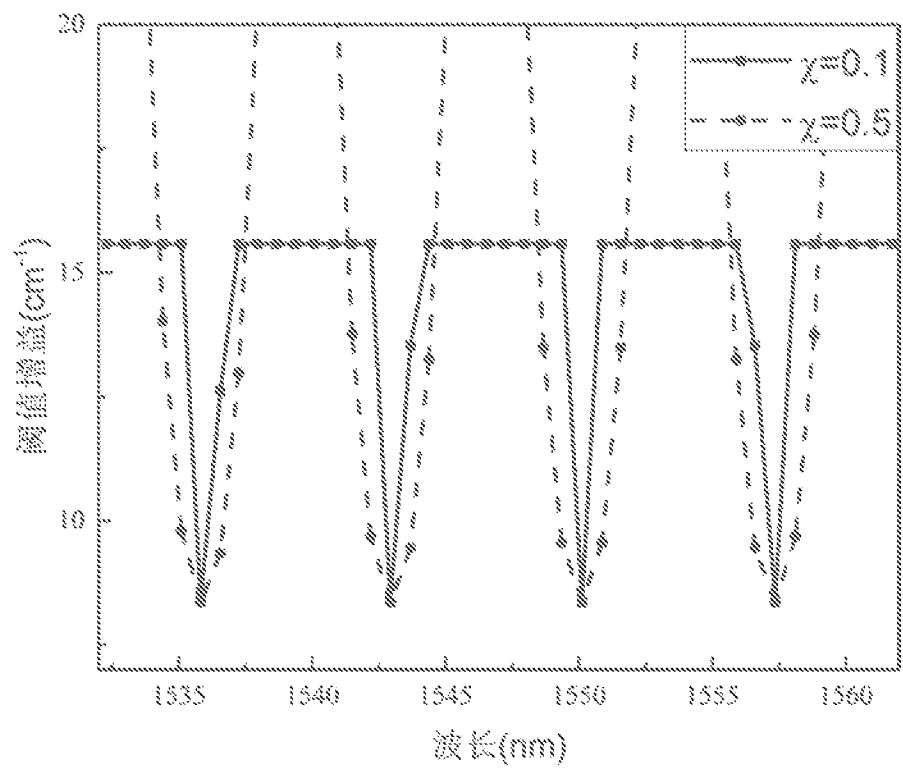


图 5

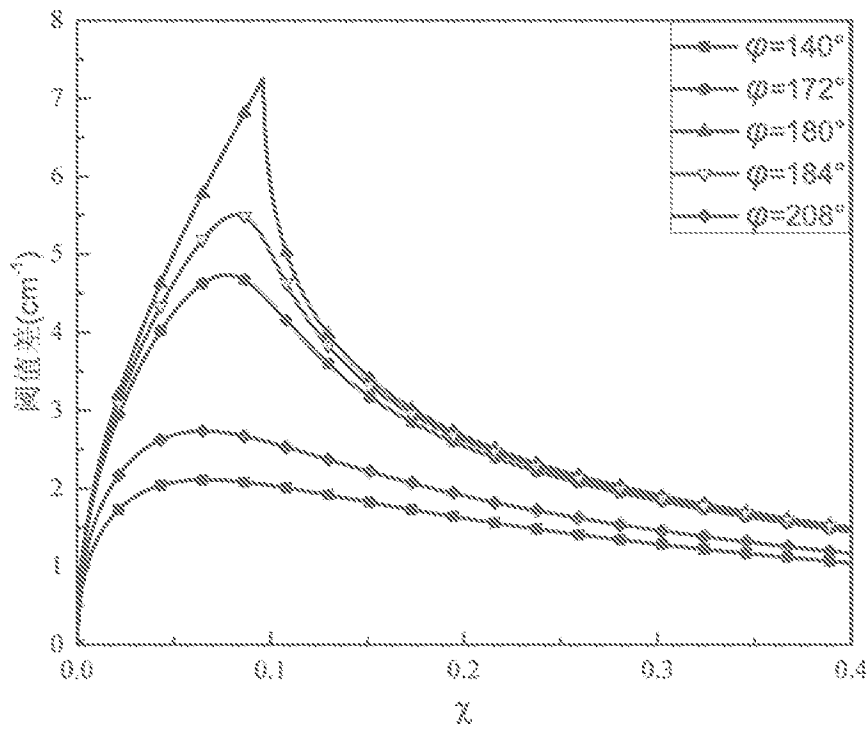


图 6

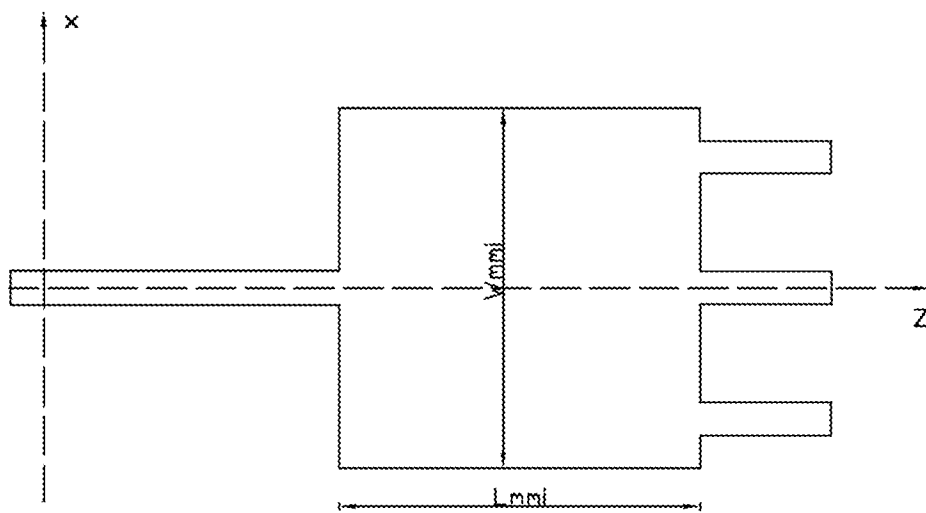


图 7

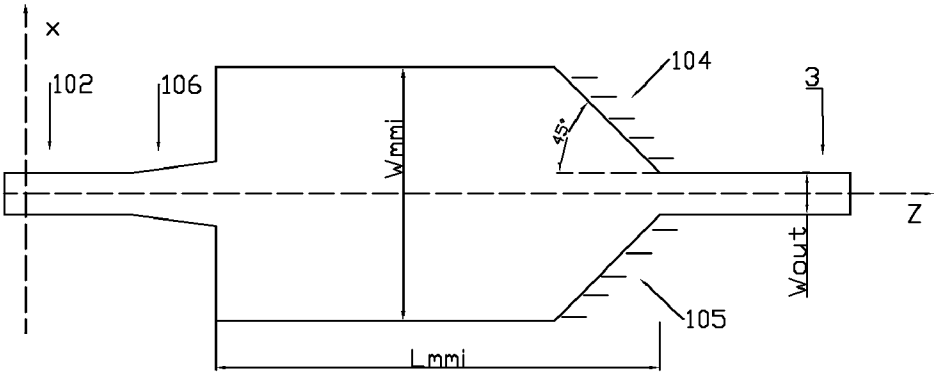


图 8

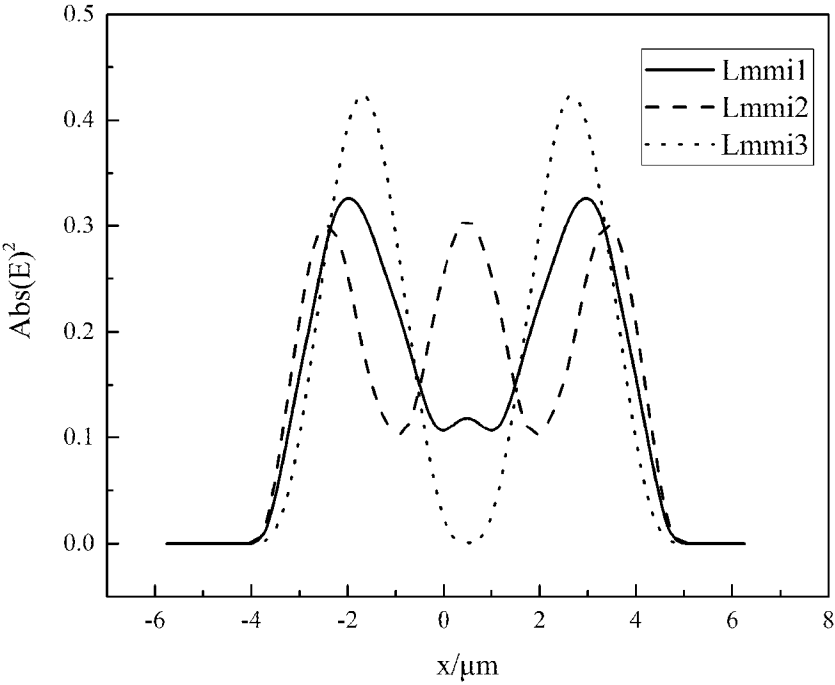


图 9

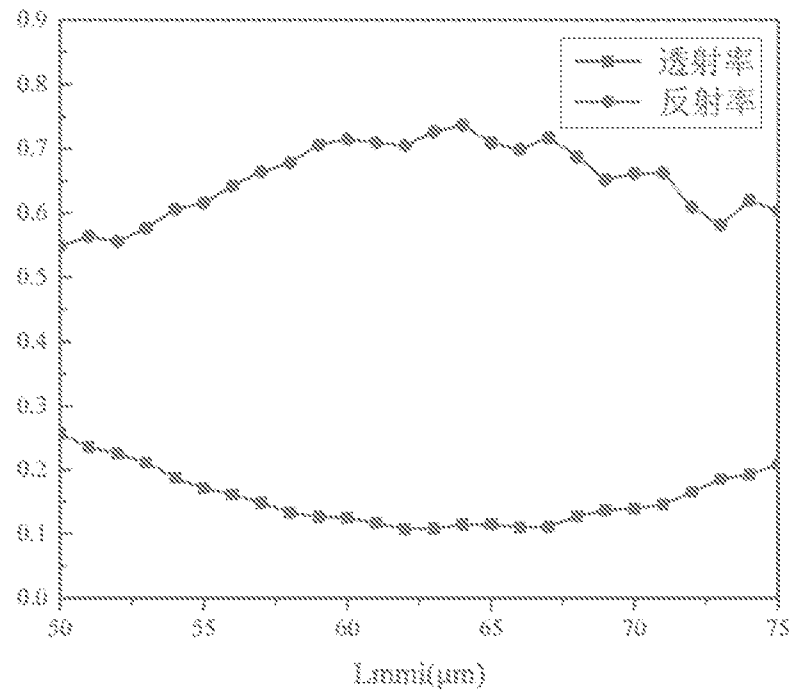


图 10

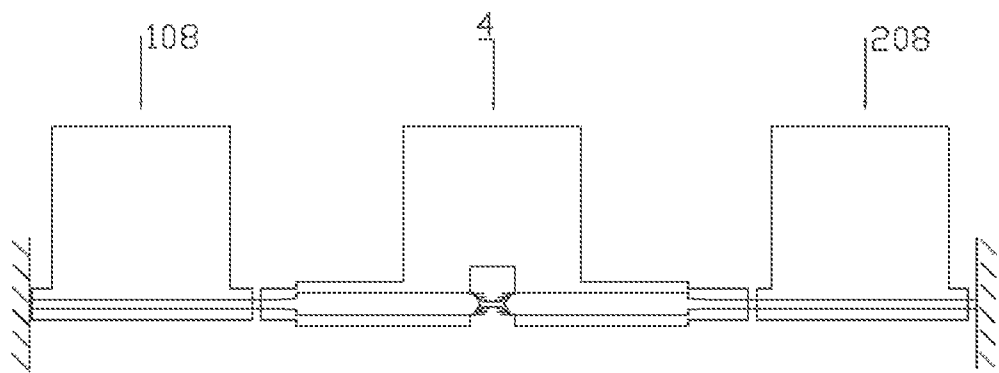


图 11

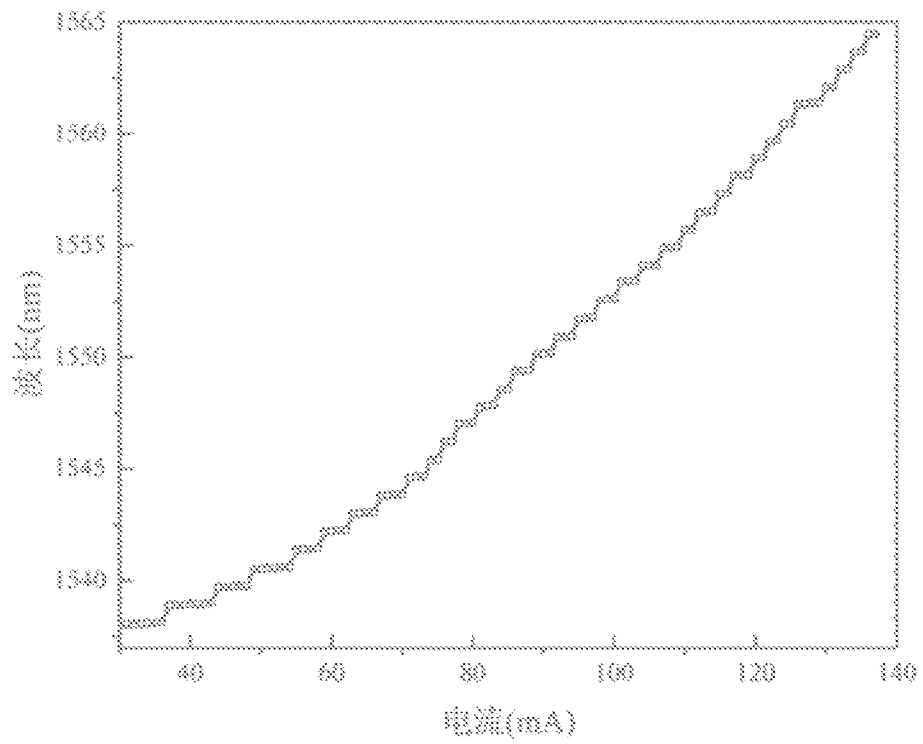


图 12

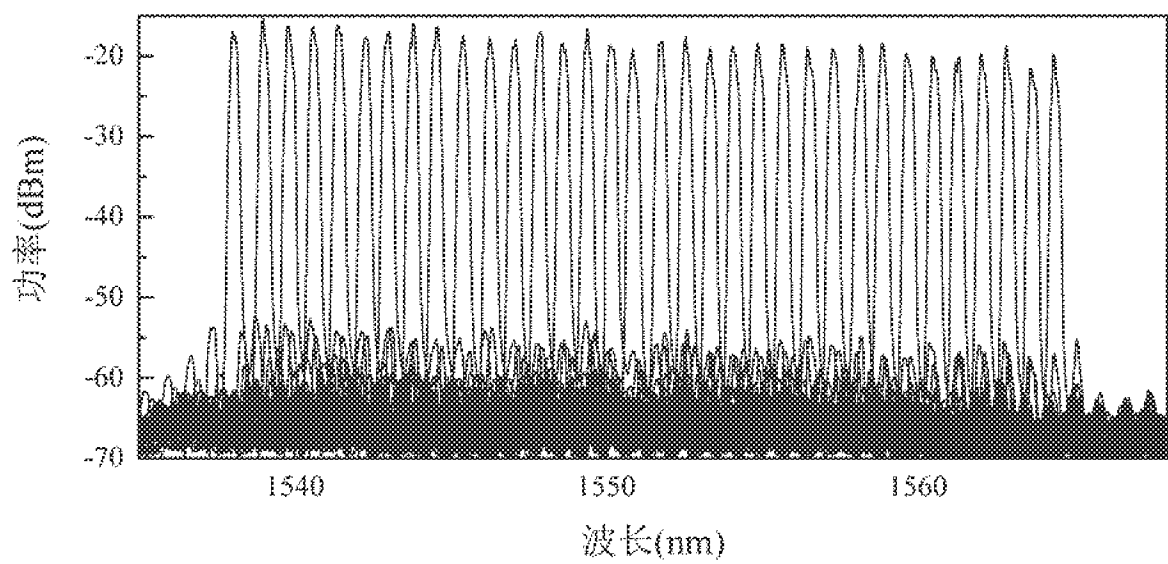


图 13

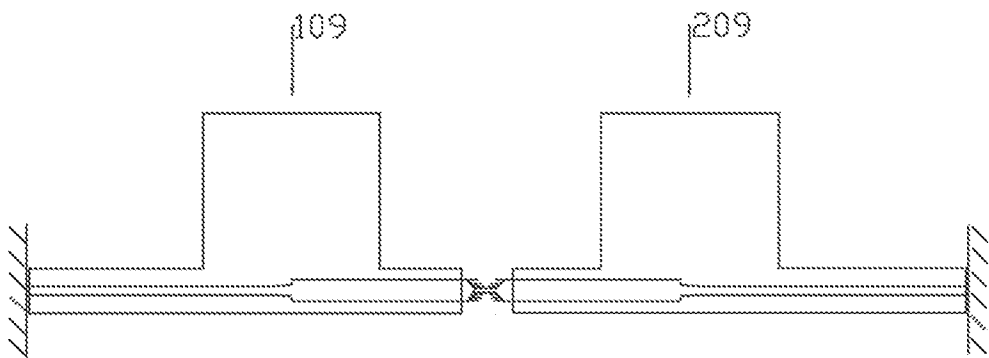


图 14

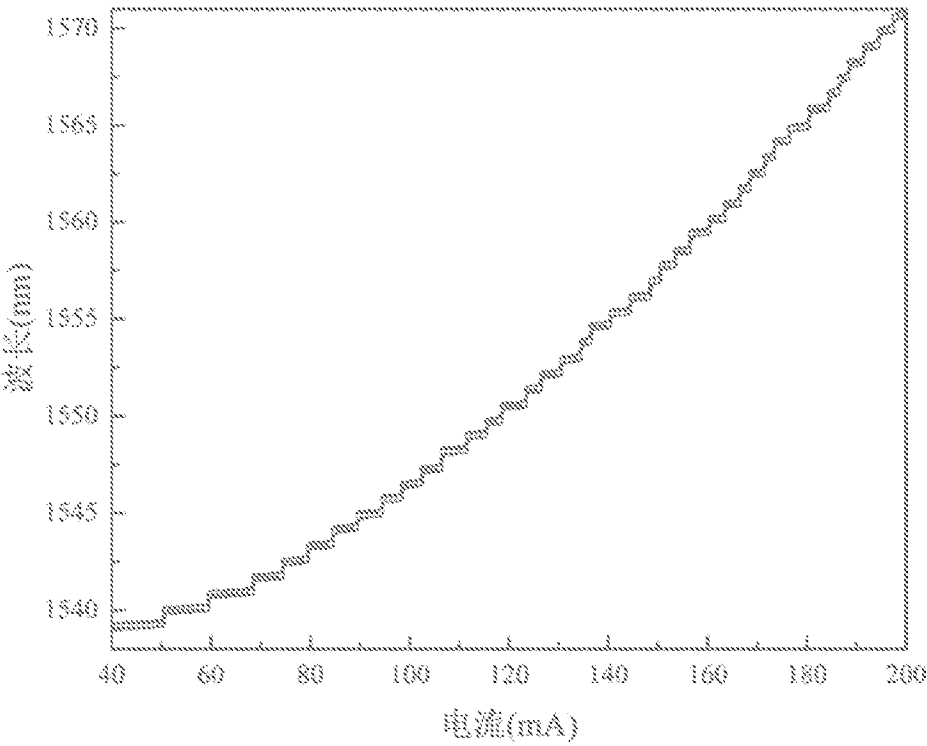


图 15

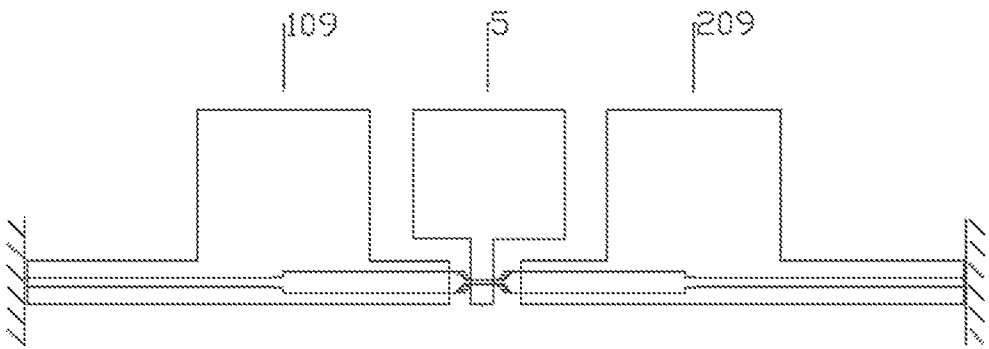


图 16

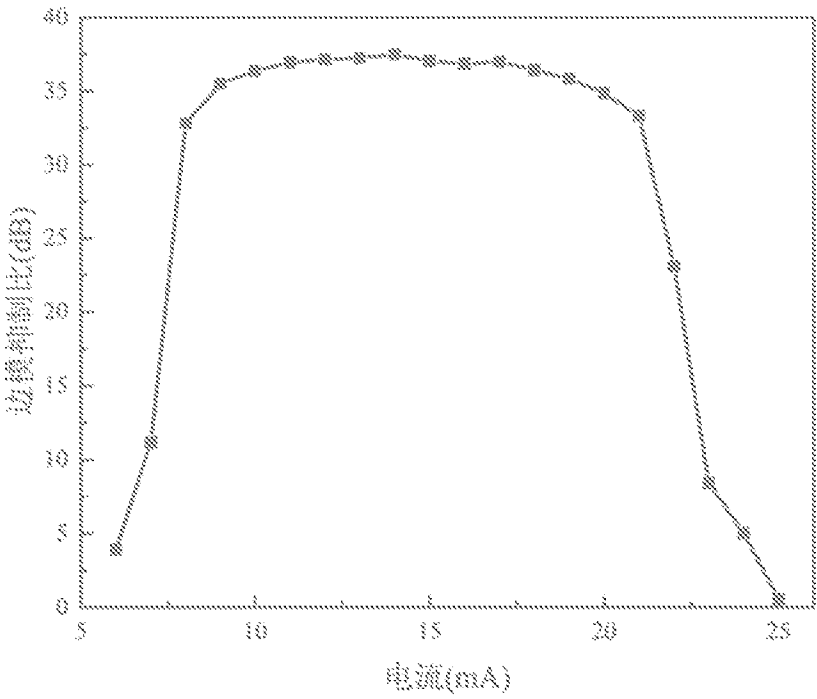


图 17

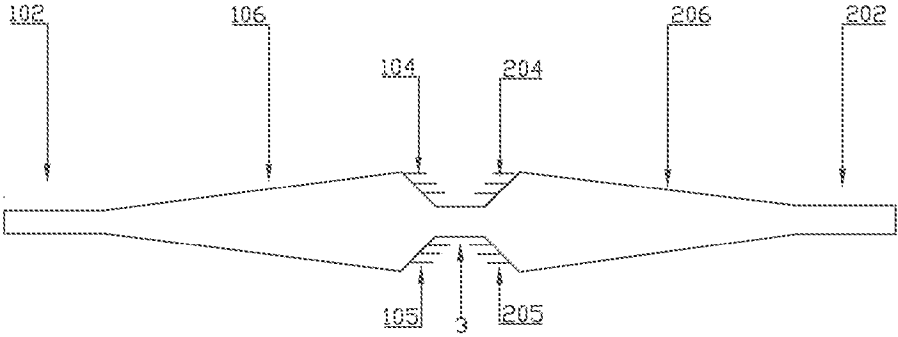


图 18

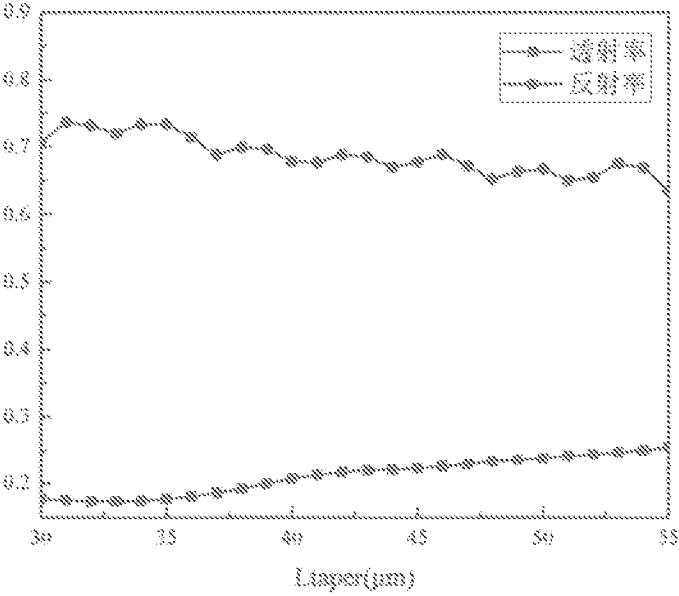


图 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/084333

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S 5/10(2006.01)i; H01S 3/082(2006.01)i; H01S 5/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT; CNKI: 半导体激光, 激光二极管, 调谐, 游标效应, 半波, 耦合腔, 串联, semiconduct laser, LD, laser diode, tun+, vernier effect+, half wave+, coupl+ cavity, serie+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 101859981 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 13 October 2010 (2010-10-13) description, paragraphs [0035]-[0068], and figures 2-5	1, 2, 5, 9
X	US 2005249256 A1 (LIGHTIP TECHNOLOGIES INC.) 10 November 2005 (2005-11-10) description, paragraphs [0023]-[0038] and [0050], and figures 2-5	1, 2, 5, 9
A	CN 103259187 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 21 August 2013 (2013-08-21) entire document	1-9
A	US 6043104 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 28 March 2000 (2000-03-28) entire document	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 June 2018

Date of mailing of the international search report

21 August 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/084333

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	101859981	A	13 October 2010	None	
US	2005249256	A1	10 November 2005	CA2521731	09 November 2006
CN	103259187	A	21 August 2013	CN 103259187	B 13 January 2016
US	6043104	A	28 March 2000	US 6075799	A 13 June 2000
				JP 3535669	B2 07 June 2004
				JP H1075016	A 17 March 1998

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/084333

A. 主题的分类

H01S 5/10(2006.01)i; H01S 3/082(2006.01)i; H01S 5/06(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H01S

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS;CNTXT;VEN;USTXT;WOTXT;EPTXT;CNKI:半导体激光, 激光二极管, 调谐, 游标效应, 半波, 耦合腔, 串联, semiconduct laser, LD, laser diode, tun+, vernier effect+, half wave+, coupl+ cavity, serie+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 101859981 A (浙江大学) 2010年 10月 13日 (2010 - 10 - 13) 说明书第[0035]-[0068]段, 附图2-5	1, 2, 5, 9
X	US 2005249256 A1 (LIGHTIP TECHNOLOGIES INC.) 2005年 11月 10日 (2005 - 11 - 10) 说明书第[0023]-[0038]、[0050]段, 附图2-5	1, 2, 5, 9
A	CN 103259187 A (浙江大学) 2013年 8月 21日 (2013 - 08 - 21) 全文	1-9
A	US 6043104 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 2000年 3月 28日 (2000 - 03 - 28) 全文	1-9

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 6月 8日

国际检索报告邮寄日期

2018年 8月 21日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

邓泽微

传真号 (86-10)62019451

电话号码 86- (512) -88996650

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/084333

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	101859981	A	2010年 10月 13日	无	
US	2005249256	A1	2005年 11月 10日	CA2521731	2006年 11月 9日
CN	103259187	A	2013年 8月 21日	CN 103259187	B 2016年 1月 13日
US	6043104	A	2000年 3月 28日	US 6075799	A 2000年 6月 13日
				JP 3535669	B2 2004年 6月 7日
				JP H1075016	A 1998年 3月 17日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)