

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01S 5/183 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02810122.7

[45] 授权公告日 2006年7月5日

[11] 授权公告号 CN 1263209C

[22] 申请日 2002.3.8 [21] 申请号 02810122.7

[30] 优先权

[32] 2001. 3.15 [33] US [31] 09/809,236

[32] 2001. 3.15 [33] US [31] 09/809,239

[86] 国际申请 PCT/IB2002/000683 2002.3.8

[87] 国际公布 WO2002/075868 英 2002.9.26

[85] 进入国家阶段日期 2003.11.17

[71] 专利权人 洛桑生态综合技术联合公司

地址 瑞士洛桑

[72] 发明人 E·卡彭 V·伊亚科夫勒夫

A·西尔布 A·鲁德拉

审查员 刘文治

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 肖春京 黄力行

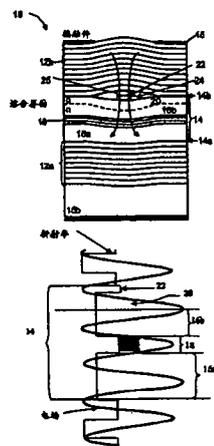
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 9 页

[54] 发明名称

垂直腔表面发射激光器及其制造方法

[57] 摘要

本发明提供了一种电泵激 VCSEL 及其制造方法。这种 VCSEL 包含一夹在顶部和底部 DBR 叠层之间的活性腔体材料，顶部 DBR 至少有一个 n-半导体层。该器件在活性腔体材料结构表面和顶部 DBR 叠层的 n-半导体层之间确定一个孔区。该结构表面是由台面的顶面形成的，台面至少包含 p^{++}/n^{++} 隧道结的上 n^{++} 层和台面之外的 p-型层表面。结构表面与 DBR 叠层的 n-半导体层的表面由于它们的变形而相熔合，从而在各熔合表面之间的台面附近产生一个空气隙。活性区被电流孔确定，电流孔包含被空气隙包围的台面，因而可以限制电流流向活性区，而空气隙使得 VCSEL 中的折射率产生横向变化。



1. 一种垂直腔表面发射激光器件结构，它包含一夹在顶部和底部分布式布拉格反射器叠层之间的半导体活性腔体材料结构，该顶部分布式布拉格反射器包含至少一个 n-型半导体层；且确定一活性区，以根据加在器件接触件上的直流电压产生光，其中：
- 5 - 所述活性腔体材料包含一夹在顶部和底部隔离区之间的多量子阱层叠层，该顶部隔离区的末端是一 p-层和一在 p-层顶部的 p^{++}/n^{++} 隧道结，每个 p^{++} -和 p-层呈现为一 p-型层，至少隧道结的上 n^{++} -层是从下面的 p-型层引出的台面，活性腔体材料的一个结构表面是由该台面的上表面、侧表面和台面之外的 p-型层上表面形成的；
- 10 - 活性区是由包含被空气隙包围的台面的一电流孔确定的，空气隙处在活性腔体材料的结构表面和顶部分布式布拉格反射器叠层最下面的 n-型层的表面之间。
2. 如权利要求 1 所述的器件结构，其中所述隧道结是处于该器件结构驻波光场的最小点，且其厚度为 20-50 纳米左右。
3. 如权利要求 1 所述的器件结构，其中活性腔体材料还包含至少位于顶部隔离区内的处在台面之外的腔体材料内的电流限制区。
4. 如权利要求 3 所述的器件结构，其中所述限制层是一离子注入层。
- 20 5. 如权利要求 1 所述的器件结构，还包含至少一个夹在顶部和底部分布式布拉格反射器之间的附加活性区，顶部和底部分布式布拉格反射器上将形成附加的电接触件，以使电流在活性腔体材料结构和分布式布拉格反射器叠层间流通，所述至少一个附加活性区是由一被空气隙包围的附加的台面确定的，所述空气隙处在活性腔体材料的结构表面和顶部分布式布拉格反射器叠层的 n-型半导体层表面之间，所述至少两个活性区以阵列形式排列。
- 25 6. 如权利要求 5 所述的器件结构，其中至少两个台面的高度不相同，所述至少两个活性区可用于使通过两个活性区内的分布式布拉格反射器发射的光各有不同的波长。
- 30 7. 如权利要求 6 所述的器件结构，其中所述至少一个附加的台面的末端是在隧道结的 n^{++} 层顶部的一个附加 n-型层，其厚度不超过 VCSEL 结构内发射波长的 1/8。

8. 如权利要求 7 所述的器件结构, 其中附加 n-型层是由一定数量的层对组成的, 每一对具有化学组成不同的两个层。

9. 如权利要求 8 所述的器件结构, 其中具有多个这种附加的台面, 其中每一个所包含的附加 n-型层的厚度与其它附加的台面的不一样。

5 10. 如权利要求 9 所述的器件结构, 其中由每两个局部相邻活性区确定的活性腔体材料厚度值之差是相等的, 从而为通过夹在每两个局部相邻活性区之间的分布式布拉格反射器发射的光提供相等的波长间隔。

10 11. 一种垂直腔表面发射激光器件结构的制造方法, 该包括以下步骤:

(i) 生长半导体活性腔体材料, 它包括一夹在底部和顶部隔离区之间的多量子阱层叠层, 顶部隔离区的末端是一 p-层和一生长在 p-层顶部的 p^{++}/n^{++} 隧道结, 每个 p^{++} -和 p-层呈现为一 p-型层;

15 (ii) 对步骤 (i) 形成的活性腔体材料进行蚀刻, 以形成一个至少包含从下面 p-型层引出的隧道结的上 n^{++} 层的台面, 从而产生该活性腔体材料的结构表面, 该活性腔体材料的结构表面是由台面的上表面、侧表面和台面之外的 p-型层的上表面形成的;

20 (iii) 在活性腔体材料结构表面和第一分布式布拉格反射器叠层最下面的 n-型层的平表面之间施加晶片熔合, 从而围绕台面的结构表面变形并确定电流流过的孔区, 孔区包括由各变形的结构表面间的空气隙包围的台面并确定器件的一活性区;

(iv) 在与结构表面相对的活性腔体材料表面上形成第二个分布式布拉格反射器叠层;

25 (v) 在垂直腔表面发射激光器件结构上形成欧姆接触件, 使电流能经过电流孔流至活性区。

12. 如权利要求 11 所述的方法, 其中活性腔体材料生长在铟磷衬底上。

13. 如权利要求 11 所述的方法, 其中所述隧道结处于器件结构中驻波光场的一个最小点, 且其厚度约为 20-50 纳米。

30 14. 如权利要求 11 所述的方法, 还包括在所述步骤 (ii) 之后形成在台面之外的腔体材料结构中的电流限制区的步骤。

15. 如权利要求 14 所述的方法, 其中电流限制区的形成包括采用

光刻胶盘作为掩膜将光刻胶盘置于与台面同心的位置，在台面之上对活性腔体材料的表面进行离子注入，以产生一离子注入电流限制层，该层到达空气隙的外边界并处于活性区之外。

5 16. 如权利要求 11 所述的方法，还包括形成至少一个附加活性区的步骤，该活性区夹在从活性腔体材料开始的第一和第二分布式布拉格反射器叠层之间，并在垂直腔表面发射激光器件结构上形成附加的欧姆接触件，以使电流能流过附加活性区，所述至少一个附加活性区包含一附加的台面，该附加的台面被活性腔体材料的结构表面和第一分布式布拉格反射器叠层最下面的 n-型层的表面之间的空气隙所包
10 围。

17. 如权利要求 16 所述的方法，其中所述至少一个附加活性区的形成包括提供一附加 n-型层的步骤，所述附加 n-型层的厚度不超过垂直腔表面发射激光结构内发射波长的 1/8，蚀刻按照形成末端为所述附加 n-型层的至少一个附加台面的方式进行。

15 18. 如权利要求 17 所述的方法，其中所述蚀刻按形成至少两个附加的台面的方式进行，附加的台面中每一个包含附加 n-型层的一部分，该附加 n-型层的厚度不同于其它附加的台面的 n-型层的厚度。

19. 如权利要求 11 所述的方法，其中所述两个分布式布拉格反射器叠层是由 AlAs 和 GaAs 层制成的。

20 20. 如权利要求 11 所述的方法，其中第二分布式布拉格反射器叠层是通过晶片熔合与活性腔体材料的表面结合的。

垂直腔表面发射激光器及其制造方法

发明领域

- 5 本发明涉及垂直腔表面发射激光器 (VCSEL)，具体地说，是涉及电泵激的长波长 VCSEL 和多波长 VCSEL 阵列，以及其制造方法。

发明背景

- VCSEL 是一种包含夹在镜叠层之间的活性区的半导体激光器，此
10 镜叠层可以是半导体分布式布拉格反射器 (DBR) [N.M.Margalit 等，
“横向氧化长波长连续波垂直腔激光器”，Appl.Phys.Lett., 69 (4)，
1996, 7, 22, pp. 471-472]，或一种半导体和电介质 DBR 的组合[Y.Oshio
等，“带晶片熔合铟镓砷磷/铟磷镓砷/铝砷 DBR 的 1.55 微米 VCSEL”，
Electronics Letters, Vol.32, No.16, 1996, 8, 1]。镜叠层之一通常是
15 部分反射的以通过一部分相干光，后者是在夹着活性区的镜叠层所形
成的谐振腔内产生的。VCSEL 是由流过活性区的电流激励的。镜叠层
一般是由一个材料系的多个层对形成的，材料系通常由两种材料组
成，它们具有不同的折射率并容易与 VCSEL 其它部分在晶格上相匹
配。例如，以镓砷为基础的 VCSEL 一般采用铝砷/镓砷或铝镓砷/铝砷
20 材料系，其中一个层对中每一层的不同折射率是通过改变该层对内的
铝含量来实现的。

VCSEL 是通信应用中广为接受的优选光源，这是因为它具有以下
的优良特性：由 VCSEL 产生的单模信号容易与光纤耦合，发散度低，
而且在工作中具有固有的单频性。

- 25 由于 VCSEL 很小的特征，通常对于 VCSEL 来说，对 VCSEL 工
作的一个重要的要求是补偿少量的增益媒质。这与下面的事实有关：
为了达到激发的阈值，VCSEL 的总增益必须等于 VCSEL 的总光学损
耗。为了补偿少量增益媒质，并且能达到并维持激发阈值，一般是将
具有 99.5%以上反射率值的一个或两个镜叠层的晶片熔合用于活性
30 区。晶片熔合是一种工艺，它通过施加压力和热量造成一个真正的物
理熔合而使具有不同晶格常数的材料在原子上相结合。

发射长波长光的 VCSEL 在光通信产业非常有用。长波长 VCSEL

可利用具有铟镓砷/铟镓砷磷活性腔体材料的 VCSEL 来得到, 这时必须采用铟磷/铟镓砷磷材料系作镜叠层, 以实现与铟磷的晶格匹配。但是, 这种系统实际上不可能得到具有足够高反射率的以 DBR 为基础的镜子, 因为在这种材料中折射率存在小的差别。人们已从多方面努力
5 试图解决这个问题, 包括晶片熔合技术, 其中在一个分离的衬底上生长 DBR 镜并熔合到活性区内。

对 VCSEL 基模工作和与单模光纤光耦合的另一个重要要求, 是电流限制和光学限制。为了减小 VCSEL 的光发射面积 (实际上至 5-10 微米), 可通过含铝层的横向氧化对电流流通孔 (电流孔) 加以限制,
10 这也使得这些器件的基光学模工作的横向折射率产生变化。在这类横向氧化技术中, 一个台面被蚀刻到 VCSEL 晶片的顶面上, 且含铝层 (通常是铝镓砷层) 外露的侧壁被暴露在升高温度的水蒸汽中, 水蒸汽的暴露引起铝镓砷转变为 AlGaOx , 这种转变发生在从侧壁至中心垂直轴线的某个距离内 (与氧化持续时间有关)。电流孔的形成确定了器件
15 的活性区, 区内有活性腔体材料, 其中有电流流动并产生光, 而横向折射率的变化可以对发射光的模式结构进行控制。这种方法可用于实际上所有的短波长铝镓砷/镓 (铟) 砷 (磷) VCSEL (即在 0.65-1.1 微米间的发射), 而且也可用于长波长 VCSEL (即在 1.25-1.65 微米间的发射), 后者可能包含在与活性区同样的材料系中生长的 DBR 镜
20 [S.Rapp 等, “带铟镓砷磷/铟磷底镜的电泵激 1.55 微米垂直腔激光器的近室温连续波工作”, *Electronics Letters*, Vol.35, No.1, 1999, 1, 7], 和以铝镓砷为基础的 DBR, 它是生长[W.Yuen 等, “高性能 1.6 微米单外延顶面发射 VCSEL”, *Electronics Letters*, Vol.36, No.13, 2000, 6, 22]或将晶片熔合在生长于铟磷上的活性腔体材料上形成的 (如
25 前面引用的 N.M.Marglit 等人的文章所述)。但是, 这种方法将造成非平面结构, 因为需要台面蚀刻, 因此工序复杂, 生产率也低。横向氧化对于温度, 表面品质和缺陷等多种因素很敏感, 而且也得不到尺寸精确的电流孔, 特别是用腔体长度制造法加工多波长阵列时所要求的足够均匀性。在经横向氧化的器件的情况下, 与其它的铝镓砷/镓砷
30 DBR 相比较, 很难利用具有最高折射率衬度和最好热特性的高性能铝砷/镓砷 DBR。

采用晶片熔合技术, 可以在 p-型镓砷为基础的 DBR 熔合到生长在

5 铟磷晶片上的活性腔体材料的 p-面的过程中, 获得电流限制和光学限制。为此需要对两个接触晶片中的一个作特殊的结构处理。经结构处理的表面包含一个由浅蚀刻区包围的中心台面和一个未经蚀刻的半导体大面。中心台面内的熔合正面和未蚀刻半导体的大面是在同一平面内。电流限制是通过将熔合界面的原来的氧化物层置于中心台面之外 [A.V.Syrbu, V.P.Iakovler, F.Gabofit, I. Sagnes, J.C. Harmand 和 R.Raj 的“具有由局部熔合在原处内产生的横向电流限制的 1.52 微米铟镓砷磷/铝镓砷垂直腔体激光器的 30°连续波工作”, Electronics Letters, Vol.34, No.18, 1998, 9, 3], 或将熔合界面的质子注入区置于中心台
10 面之外(见美国专利 5,985,686)的熔合界面而获得的。但这种方法有如下的缺陷: 熔合的基于 p-镓砷和 p-铟磷界面一般是高阻性的, 使得器件严重过热; 对于长波长 VCSEL 很难对 p-铝镓砷/镓砷 DBR 优化以使它兼有高反射率(低吸收)和低电阻率。

根据一种不同的长波长 VCSEL 制造技术加工途径, 可以用隧道结
15 将空穴注入活性区, 这样可以在活性腔体材料的两边使用 n-型 DBR。在美国专利 WO 98/07218 中, 将一种基于铟磷的活性腔体材料的 p-面熔合到一种包含 n-型 DBR 叠层和 n^{++}/p^{++} 隧道结的铝镓砷/镓砷基结构的 p-镓砷面。在这些器件中, 要对横向光学限制和电流限制进行标准台面蚀刻和铝镓砷湿法氧化。除上述与这种特殊的横向限制技术和高
20 阻 p-镓砷/p-铟磷熔合结有关的缺陷之外, 与低带隙材料相比, 这种方法还很难在镓砷中获得低阻反向偏置隧道结。

在一种更新过的方法中, 采用所谓的“埋入式隧道结结构”, 它形成于低带隙基于铟磷的活性腔体材料内。[M.Ortsiefer 等, “数据引导的 1.55 微米基于铟磷的 VCSEL 的室温运行”, Electronic Letters, Vol.36, No.13, 2000, 3, 2]。这种 VCSEL 结构包含一个氧化物 DBR
25 和一个半导体 DBR。n-型半导体 DBR, 以 p-型材料为末端的腔体材料, 和 p^{++}/n^{++} 隧道结结构是在第一次外延过程中生长的。然后, 浅台面结构蚀刻通过隧道结直至到达 p^{++} 区并在第二次外延过程中重新生长一个 n-型铟磷层。接着淀积一个氧化 DBR 到 n-铟磷上。在这种结构中,
30 埋入式隧道结提供一种横向电流限制的途径。然而, 在活性区和散热片之间放置了一个具有固有低导热系数的氧化物 DBR。最后的器件代表一种无衬底的独立式外延结构, 因而增加了处置的加工这类器件的

复杂性并使生产率下降。

J.Boucart 等人发表在 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.5, No.3, 1999, pp.520-529 上的文章“变质的 DBR 和隧道结注入：一种连续波 RT 单片长波长 VCSEL”披露了一种 VCSEL，它包括一个并入活性腔体材料内的隧道结和一个变质的 n-型铝镓砷/镓砷 DBR，后者是在同一个外延过程中生长在活性腔体材料上。在这种情况下，由于 n-铝镓砷 DBR 具有良好的导热性，热耗散得到改善。由于深度质子注入到顶部铝镓砷/镓砷 DBR 和隧道结，因而得到了横向电流限制。不过，这种结构的特征是镓砷基和铟磷基化合物之间具有 3.7% 的晶格失配，故在变质的铝镓砷/镓砷 DBR 内存在高密度的缺陷。这些缺陷蔓延到活性区，可能使器件很快变坏。质子注入也会产生缺陷，特别是在基于铟磷的活性腔体材料内。另外，所得结构不包含获得横向光学限制的途径。

新一代本地区域网络将采用波分复用传输 (WDM) 方案，以实现宽带传输。多波长 VCSEL 阵列在这些系统中可能会起重要的作用。V.Jayaraman 和 M.Kilcoyne 在 Proc.SPIE: 波分复用元件, Vol.2690, 1996, pp.325-336 上的文章“利用长波长垂直腔激光器的 WDM 阵列”披露了在 1550 纳米发射的光泵激 VCSEL 阵列，其中阵列内不同 VCSEL 的腔体长度是通过选择性地蚀刻包含在 VCSEL 腔中的 InGaAsP/InP 超晶格而改变的。这种器件结构的缺点是，它也不包含获得横向光学限制的途径。

发明概要

因此，在本领域内需要提供一种新型的 VCSEL 器件结构及其制造方法，以改善长波长 VCSEL 的工作。

本发明的主要思想如下：一种包含夹在两个 DBR 之间的活性腔体材料的 VCSEL 器件结构将形成有活性区，此区是由处于一个活性腔体材料结构表面和一个 DBR n-型层的大致平的表面之间的孔确定的，而这个结构表面和 n-型层的平面是彼此熔合在一起的。此结构表面是由台面（这个台面包含至少一个 p^{++}/n^{++} 隧道结的上 n^{++} 层，隧道结是形成在作为活性腔体材料一部分的 p-半导体层的顶上）的一个顶面和台面外的 p-型层（即隧道结的 p^{++} 层或 p-半导体层，视情况而定）的一

个顶面形成的。结构表面（即台面的上表面和台面之外的 p-型层表面）与 DBR 的 n-型层平面相熔合，这是这些表面产生变形的结果。这样，在熔合的结构表面间的台面周围形成一个空气隙，使熔合的结构表面之间出现孔。这可以限制电流流向活性腔体材料（即形成确定活性区的电流孔）和在活性区内折射率的横向变化。

因此，确定活性区的孔包括由活性腔体材料结构表面和 DBR 叠层 n-型层的基本平的表面之间的晶片熔合固定的台面（至少是隧道结的上 n^{++} 层）。存在于熔合的结构表面之间的空气隙为我们提出的器件结构提供横向折射率的变化。

这里所用的“台面之外的 p-型层”这个术语表示活性腔体材料是处于 p^{++}/n^{++} 隧道结结构下的一个 p-型层，或者是活性腔体材料的下 p^{++} 层。术语“熔合”表示一种晶片熔合技术，它通过施加压力和热量使熔合的结构表面之间产生一个实在的物理连接而从原子上将两个表面相结合。

因此，按照本发明的方法，在隧道结（ p^{++} 和 n^{++} 层的叠层）内 p-层（活性腔体材料的一部分）的顶部形成一个台面，且晶片熔合是发生在 DBR 下 n-型平面层与活性腔体材料结构层之间。由于晶片（DBR 结构和活性腔体材料结构）的变形，这个过程将围绕台面产生一个特定的层布局，并产生一个空气隙，后者由台面的高度和在熔合温度下所加的压力确定。有了空气隙就可以使器件活性区内的横向折射率产生变化。加上从顶部指向底部的电场将使台面内的隧道结和 n-p（或 n- p^{++} ）熔合界面反向偏置，从而限制电流流过台面。

按照本发明，VCSEL 器件将按以下方法来制造：

末端为 p^{++}/n^{++} 隧道结的一种活性腔体材料在砷磷衬底上生长。此活性腔体材料包含一个底部 n-型隔离层，一个多量子阱结构，和一个末端为 p-层（隧道结就生长在它上面）的顶部隔离层。接着，通过隧道结蚀刻台面结构直至 p-层或 p^{++} -层（一般是 p-型层），由此获得一个末端为在台面顶部上的 n^{++} -层及台面之外的 p-型层的活性腔体材料结构表面。然后，通过使这些晶片面对面地接触并在升高的温度下施加压力，使 n-型 AlAs/GaAs DBR 与活性腔体材料的结构表面进行熔合。这样由于晶片的变形，就获得了在台面顶部的 n^{++} 材料和台面之外的 p（或 p^{++} ）材料与 n-型 AlAs/GaAs DBR 的高质量熔合。接着对 InP

衬底进行选择性地蚀刻，并让底部 n-型 AlAs/GaAs DBR 熔合到活性腔体材料结构的 n-面上。再对顶部 DBR 的 GaAs 衬底进行选择性地蚀刻，并将欧姆接触件淀积到器件的两面上。

5 当把一个偏置电压适当地加到器件的接触件上使相应的电场从顶部指向底部（直流电压）时，在台面内的隧道结和 n-p（或 n-p⁺）熔合界面都被反向偏置。反向偏置的活性腔体材料导电良好，而反向偏置的 n-p（或 n-p⁺）熔合界面则不导电。因此限制了电流流过台面（即形成电流孔）。电流流过电流孔之后的那部分活性腔体材料是器件的活性区，光就在那里产生。在与 n-DBR 进行熔合之前形成一个附加的
10 电流限制区（例如围绕台面的活性腔体材料结构上的一个质子注入层），可以进一步改善电气限制。

因此，根据本发明的一个方面，提供一种 VCSEL 器件结构，它包含夹在顶部和底部分布式布拉格反射器（DBR）叠层之间的半导体活性腔体材料，此顶部 DBR 叠层包含至少一个 n-型半导体层，而且根据
15 加在器件接触件上的直流电压确定产生光的活性区，在这种器件结构中：

活性腔体材料包含夹在底部和顶部隔离区之间的多量子阱叠层，此顶部隔离区的末端是 p-层和 p-层顶部上的 p⁺/n⁺隧道结，每个 p⁺和 p-层提供一个 p-型层，至少隧道结的上 n⁺层是一个从下面的 p-
20 型层引出的台面，活性腔体材料的结构表面是由台面的上表面和台面之外的 p-型层的上表面形成的；

该活性区域是由一个电流孔确定的，电流孔包含一个被空气隙包围的台面，此空气隙处于活性腔体材料结构的熔合的结构表面和 DBR 叠层的 n-型半导体层的表面之间。

25 按本发明的 VCSEL 器件结构可包含至少一个夹在相同的顶部和底部 DBR 之间的附加活性区，这些活性区是从同样的活性腔体材料开始加工的。不同的活性区有单独的触点和电绝缘，因而可对每个活性区进行单独的电泵激。不同的活性区可设计成具有不同的腔体长度，因而通过 DBR 发射的光将是不同波长的。为此目的，可把确定不同活
30 性区的台面加工成不同的高度，因此不同的活性区将有不同的腔体长度。要做到这一点，可把该至少一个附加台面做成末端为隧道结的 n⁺层顶部的一个附加 n-型层。优选这个附加 n-型层的厚度不超过 VCSEL

结构内发射波长的 $1/8$ ，且由一定数量的层对组成，每对各层具有不同的化学组成。如果有 n 个这种附加台面（活性区），每个附加台面包含一部分厚度不同于其它附加台面厚度的附加 n -型层。为了使通过夹在不同活性区的 DBR 发射的光之间具有相等的最小波长间隔，使包含相应活性区内附加 n -型层的活性腔体材料的厚度值之间的差相等。

根据本发明的另一方面，提供一种 VCSEL 器件结构的制造方法，它包括以下步骤：

(i) 生长一个半导体活性腔体材料，它包含一个夹在底部和顶部隔离区之间的多量子阱层叠层，顶部隔离区的末端是一个 p -层和一个生长在 p -层顶部的 p^{++}/n^{++} 隧道结，每个 p^{++} -和 p -层呈现一 p -型层；

(ii) 对步骤 (i) 形成的活性腔体材料进行蚀刻，以形成一个至少包含从下面 p -型层引出的隧道结的上 n^{++} 层的台面，从而产生该活性腔体材料的结构表面，活性腔体材料的结构表面由台面的上表面和台面之外的 p -型层的上表面形成的；

(iii) 在活性腔体材料结构表面和第一 DBR 叠层的 n -型半导体层的一个基本平的表面之间施加晶片熔合，以使围绕台面的熔合的结构表面变形并确定电流流过的孔区，孔区包含由各变形的熔合的结构表面间的空气隙包围的台面并确定器件的一个活性区；

(iv) 在与结构表面相对的活性腔体材料表面上形成第二个 DBR 叠层；

(v) 在 VCSEL 器件结构上形成欧姆接触件，使电流能经过电流孔流至活性区。

为了形成至少包含一个从同一活性腔体材料开始的附加活性区的 VCSEL 器件结构，在进行步骤 (ii) 之前在隧道结 n^{++} -层的顶部提供一个附加的 n -型层。在这种情况下，在进行步骤 (ii) 过程中，至少形成一个也包含这个附加 n -型层的一部分的附加台面。

与现有按隧道结途径制造长波长 VCSEL 的方法不同，本发明的方法可以采用具有优良导热性的高结构品质 AlAs/GaAsDBR。当把 AlAs/GaAsDBR 熔合到具有低电阻率的基于 n^{++} Inp-/n-GaAs 熔合结的活性腔体材料中时，可以获得电气和光学两种限制。

必须指出，按照本发明的器件制造方法是很简单的，不包含任何非标准的工艺，而且可以制造多波长 VCSEL 阵列。最后的器件在机械

上很稳定，可以大规模低成本生产。

附图简介

为了了解本发明并看看在实践中如何实施，现在参照附图通过几个非限制性的例子对几种实施例加以描述，附图中：

图 1A 示出按本发明的一种实施例的一个 VCSEL 器件的一层结构；

图 1B 示出图 1A 器件的折射率变化及在活性腔体材料和相邻 DBR 内的光驻波；

图 2 至 4 表示图 1A 的 VCSEL 器件的制造；

图 5 是按本发明另一个实施例的 VCSEL 器件的示意图；

图 6 表示图 5 的 VCSEL 器件的制造；

图 7 是按本发明另外一个实施例的 VCSEL 器件的示意图；

图 8 是按本发明的一种电泵激多波长 VCSEL 阵列的示意图；

图 9 和 10 表示图 8 器件的制造。

发明的详细描述

图 1A 是按本发明一个实施例的 VCSEL 器件结构，总体以 10 标示。器件 10 包含底部和顶部 n-AlAs/GaAs DBR 12a 和 12b，其间为一种活性腔体材料 14。DBR 12a 和 12b 通过晶片熔合分别与活性腔体材料 14 的底面 14a 和上结构表面 14b 相连。在器件 10 的相对两面上制有欧姆接触件 15。

活性腔体材料 14 结构包含一个底 n-型隔离层 16a，一个多量子阱 (MQW) 结构 18，一个末端是 p-型层 20 的顶隔离层 16b，和一个台面 22，后者是由 p⁺底层和顶 n⁺层组成的 p⁺/n⁺隧道结。因此，结构表面 14b 是由台面 22 的上表面和台面之外的 p-型层 20 形成的。在一面的 n-型 DBR 12b 的下表面 (即镜面结构的 n-半导体层) 和在另一面的结构表面 14b 形成熔合界面。台面 22 因熔合的结构表面变形而被夹在各熔合的结构表面之间，在台面周围形成一个细长空气隙 24。处在已变形熔合的结构表面之间的空气隙内的台面提供一个电流孔 25 让电流流过，而空气隙提供横向折射率变化以用于光学模式限制。电流孔 25 确定作为活性腔体材料 14 一部分的活性区，其中电流通过电流

孔 25 后在该区流动并产生光。

在接触件 15 上加以偏置电压产生一个从顶部指向底部的电场，使得台面 22 内的隧道结和 n-P 熔合界面被反向偏置，分别成为导电良好和不导电。这样就获得了对电流流过台面的限制。

- 5 图 1B 表示该 VCSEL 器件结构 10 活性腔体材料内和相邻 DBR 的折射率变化，以及发射波长处的驻波（电场）分布图。如图所示，多量子阱结构区 18 处于最大电场处，而隧道结 TJ 处于驻波最小点，因此不会引起 VCSEL 器件结构 10 发射的光的吸收。

下面将参照图 2-4 描述制造器件 10 的主要步骤：

- 10 在第一步骤（图 2），活性腔体材料 14（晶片结构）的制造是通过顺次生长在下列各层上：一个 n-型 InP 结构 26，一个 InGaAsP-蚀刻阻挡层 17，底部 n-InP 隔离层 16a，未掺杂 MQW 结构 18，末端为 p-型 InP 层 20 的顶部 InP 隔离层 16b，和 p⁺/n⁺隧道结 TJ。

- 15 在本例中，采用下面的各层参数。InGaAsP-蚀刻阻挡层 17 在 1.4 微米（即 $Pl_{max} = 1.4$ 微米）和 113 纳米的厚度下具有最大的荧光（ PL_{max} ）。底部 n-InP 隔离层 16a 的掺杂水平 n 为 $3 \cdot 10^{17}$ 厘米⁻³，厚度为 305 纳米。未掺杂的 MQW 结构 18 包含 6 个 InGaAsP 量子阱（其 $Pl_{max} = 1.54$ 微米，厚度为 1.38 微米）和 7 个 InGaAsP 壁垒（其 $Pl_{max} = 1.38$ 微米，厚度为 9.4 纳米）。顶部 InP 隔离层 16b 包含 101 纳米的未掺杂 InP。p-型 InP 层 20 具有 192 纳米的厚度和 $p = 5 \cdot 10^{17}$ 厘米⁻³ 的掺杂水平。p⁺/n⁺隧道结 TJ 是由掺杂水平为 $5 \cdot 10^{19}$ 厘米⁻³ 和厚度为 15 纳米的 p⁺-InGaAs 层 22a 及掺杂水平为 $5 \cdot 10^{19}$ 厘米⁻³ 和厚度为 15 纳米的 n⁺-InGaAs 层 22b 形成的，因此隧道结 TJ 的总厚度为 30 纳米。一般隧道结的厚度在 20 至 50 纳米之间。

- 25 在第二步骤（图 3），利用在基于 $H_3PO_4:H_2O_2:H_2O$ 的溶液中作选择性蚀刻，通过隧道结 TJ 蚀刻台面-结构 22，由此获得活性腔体材料结构 14 的结构表面 14b。在本例中，蚀刻是利用一个 10 微米直径的光刻胶掩膜进行的并一直持续至到达 p-型层 20，因而层 20 的表面生成将要与 n-型 DBR 12b 熔合的台面之外的 p-型层。但应指出，蚀刻可能持续至到达隧道结的 p⁺层 22a，在那种情况下，层 22a 的表面生成将要熔合的台面之外的 p-型层。
- 30

在第三步骤（图 4），将 n-型 DBR 叠层 12b 和活性腔体材料 14

面对面地接触，并在升高的温度下加压，使 DBR 12b 的下 n-半导体层表面与结构表面 14b 熔合。DBR 叠层 12b 是一种 AlAs/GaAs DBR 结构，它是用金属-有机化学气相淀积 (MOCVD) 生长在 GaAs-衬底上，并包含 25 对 AlAs(掺杂水平 $n = 10^{18}$ 厘米⁻³ 且厚度为 130 纳米)和 GaAs (掺杂水平 $n = 10^{18}$ 厘米⁻³ 且厚度为 114 纳米)。

熔合装置(基本上是一个气动压力机)可以改变加到晶片上的压力，这些晶片在熔合过程的不同阶段都互相接触。为避免在活性区形成缺陷，很重要的一点是在室温下的清洗过程中加到晶片上的压力不超过 0.5 巴。这个低压力在加热周期内一直保持到 650℃ 的熔合温度。然后将压力逐渐增至 2.0 巴，并让晶片在这个条件下保持 30 分钟。在熔合过程中晶片产生变形，由此获得台面 22 顶部的 n⁺ 材料和台面之外的 p-型材料二者与 n-型 AlAs/GaAs DBR 12b 的高品质熔合，并形成空气隙 24。

在最后的步骤，在 HCl 中对 InP 衬底进行选择性的蚀刻直至到达 InGaAsP 蚀刻阻挡层 17，后者也在 H₃PO₄:H₂O₂:H₂O 溶液内作选择性蚀刻。然后将底部 n-型 AlAs/GaAs DBR 12a 与活性腔体材料的 n-面熔合。在本例中，DBR 12a 包含 27 对铝砷和镓砷层，它们的厚度和掺杂水平值与顶部 DBR 叠层 12b 内各层的值相同。顶部 DBR 的 GaAs 衬底在 H₂O₂-NH₃OH 溶液中选择性蚀刻直至到达第一 AlAs 层(它用作蚀刻-阻挡层，且也在 HF 中作选择性蚀刻)，且在器件两面淀积镍-金-锗-金欧姆接触件 15。按此工艺得到的 VCSEL 器件结构 10 在 1520 纳米发射。

参看图 5 和 6，示出了按本发明另一个实施例的 VCSEL 器件结构 100。为便于理解，对在器件 10 和 100 中相同的元件采用同样的标号表示。器件 100 的制造采用在进行顶部 DBR 12b 熔合之前通过台面 22 外的活性腔体材料 14 作质子注入，因而可以进一步改善通过 VCSEL 器件结构 100 的孔区 25 的电气局限。

为制造器件 100，可以按上述对制作器件 10 那样进行结构化活性腔体材料的制备，然后如图 6 所示，将光刻胶盘 27 按这样一种方法形成于台面 22 上方，使这个盘与台面同心。盘 27 用作掩膜，其直径为 30 微米，厚度为 2 微米。台面被掩盖后在 80 keV 能量下以 $5 \cdot 10^{14}$ 的剂量对活性腔体材料 14 的表面进行质子注入。注入能量和剂量是这样

来选定的,使得注入电流限制层 28(图 5)到达底部 n-InP 隔离层 16a。

在质子注入后,在丙酮和氧等离子体中将光刻胶掩膜 27 去除,接下去的步骤与上面所述对器件 10 的制造类似。因此,所得到的 VCSEL 器件 100 具有一个附加的质子注入电流限制层 28,它仅仅触及包围台面 22 的空气隙 24 的外边缘,且不会在由孔 25 确定的活性区内引入缺陷,因为它处于活性区之外且离得很远。为此目的也可以采用氧或其它离子注入。

图 7 是按本发明另外一个实施例的 VCSEL 器件结构 200 的示意图。同样,也用相同的标号来标示与前面两个例子共用的元件。在图 7 的例子中,顶部 DBR 是一个 AlAs/GaAs 叠层,其中只有一个顶部 GaAs 层 30 是用浓度 $5 \cdot 10^{18}$ 厘米⁻³ 的载体 n-型掺杂的,而所有其它各层均未掺杂。DBR 叠层 12b 与活性腔体材料 14 相接触,且 DBR 叠层 12b 的顶部 n-GaAs 层按上述方法与活性腔体材料 14 的结构表面 14b 熔合。此后在 $H_2O_2-NH_3OH$ 溶液中对顶部 DBR 12b 的 GaAs-衬底作选择性蚀刻。采用在 Cl_2-CH_4-Ar 中作反应等离子体干法蚀刻在顶部 DBR 叠层 12b 中形成一个环形凹坑 31 直至 n-型 GaAs 层 30,并因此而形成一个被此环形凹坑 31 包围的顶部 DBR 12b 的中心叠层区 29。接着在凹坑 31 内淀积顶部欧姆接触件 32。

当在顶部欧姆接触件 32 和底部接触件 15b 之间加上直流电压时,有电流沿着 n-型层 30 流向孔区 25,然后通过活性区。采用除顶层 30 外的所有顶部 DBR 12b 层都不掺杂的优点还降低了 DBR 中的光吸收(光是经过 DBR 从器件引出的),因而可增加 VCSEL 的发射能力。

现在转到图 8-10,它表示本发明的另一个实施例。图 8 表示多波长 VCSEL 阵列形式的一个 VCSEL 器件结构 300,它在本例中包含三个 VCSEL 器件 300a, 300b, 300c 的阵列,它们分别发射不同的波长 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 。图 9 和 10 表示器件结构 300 的制作。

由于台面 33, 34, 35 的高度不同,相邻器件 300a, 300b, 300c 中结构活性腔体材料各有不同的长度 L_1, L_2, L_3 ,使得发射不同的波长。在选择性地蚀刻顶部 GaAs 衬底之后,在顶部 n-型 DBR 12b 上形成环形欧姆接触件 36, 37, 38。然后,通过在 Cl_2-CH_4-Ar 中的反应等离子体刻蚀刻在顶部 DBR 12b 上制出绝缘台面结构 39, 40, 41。每个环形欧姆接触件 36, 37, 38 和相应的绝缘台面结构 39, 40, 41, 是以

分别通过相应的台面 33, 34, 35 的中心的垂直轴线为中心的。在一个环形欧姆接触件 36, 37 或 38 和一个底部接触件 15b 之间加上直流电压, 就有电流流过各 VCSEL 器件 (300a, 300b 或 300c) 的活性区, 同时发射相应波长 (与此特定器件的腔体长度有关) 的光。

5 对于通信应用, 精确地控制在多波长 VCSEL 阵列中的激光器发射波长, 使得阵列中各 VCSEL 之间具有相等的波长间隔 $\Delta\lambda$, 是很重要的。这需要保证相邻器件具有相等的腔体长度间隔 ΔL 。在本发明的这个实施例 (如图 9 所示) 中, 隧道结各层 22a 和 22b 是生长在基于 InP 的腔体材料上, 然后生长两个 InP-InGaAsP 层对 42。在层对 InP-InGaAsP 中每一层的厚度为 10 纳米, n-型掺杂水平为 $5 \cdot 10^{17}$ 厘米⁻³。
10 InGaAsP 层的组成相当于 1.4 微米的 PLmax。通常这个附加的 n-型层是由所要求的层对数量 N_p 组成, 每一对具有化学组成不同的两层。在所希望的分离波长数 N 和 N_p 之间的关系是 $N_p = N - 1$ 。

在以上的形成各层的工序之后, 在基于 $H_3PO_4:H_2O_2:H_2O$ 的溶液
15 和 HCl 中对层 42 和隧道结层 22a 和 22b 进行选择性的蚀刻, 直至到达基于 InP 的腔体材料的 p-型层 20, 以形成台面 43, 44 和 45 (图 10)。每一个台面 43, 44, 45 的直径为 10 微米。

回到图 8, 在进行上面的选择性的蚀刻工序之后, 利用光刻对台面作精密的修整, 并在基于 $H_3PO_4:H_2O_2:H_2O$ 的溶液和 HCl 中进行选择性的
20 蚀刻, 以形成不同高度的台面 33, 34, 35。台面 35 包含隧道结层 22a 和 22b 以及总高度为 70 纳米的两个层对 42。台面 34 包含隧道结层 22a 和 22b 以及总高度为 50 纳米的两个层对 42。台面 33 只包含隧道结层 22a 和 22b, 高度为 30 纳米。在阵列中每两个相邻 VCSEL 器件 (300a 和 300b, 300b 和 300c) 的光学腔厚度值之间的差是一样的 (20 纳米乘以
25 InP-InGaAsP 层对的有效折射率), 这样就可以使相邻 VCSEL 的发射波长之差 $\Delta\lambda$ 相等。在此具体例子中, 对带台面 33, 34 和 35 的器件所测得的发射波长值分别为 1520 纳米, 1538 纳米和 1556 纳米, 从而 $\Delta\lambda$ 为 18 纳米。

通常为提供不同高度的台面, 某些台面的末端是隧道结 n⁺ 层 22b
30 顶部上的一个附加 n-型层。此附加 n-型层由一定的层对数组成, 每一对具有不同化学组成的两层。在相应台面内的一部分附加 n-型层具有与其它台面不同的高度。设这个附加 n-型层在淀积后及蚀刻形成多个

不同台面之前的厚度为 d ，则在该层被选择性蚀刻后，它在第 i ($i=1, 2, \dots, N$) 个台面内的剩余部分的厚度 d_i 为 $d_i \leq (i-1)d/(N-1)$ 。厚度 d_i 不超过相应 VCSEL 器件内发射波长的 $1/8$ ，即 60 纳米左右。

- 5 本领域技术人员容易知道，可以对上面作为例子的本发明的一些优选实施例作各种修改和变化而不会偏离本发明的范围，本发明的范围将由后附的权利要求书确定。还应说明，所有在方括弧 [] 内的出版物都被引用于此作为参考。

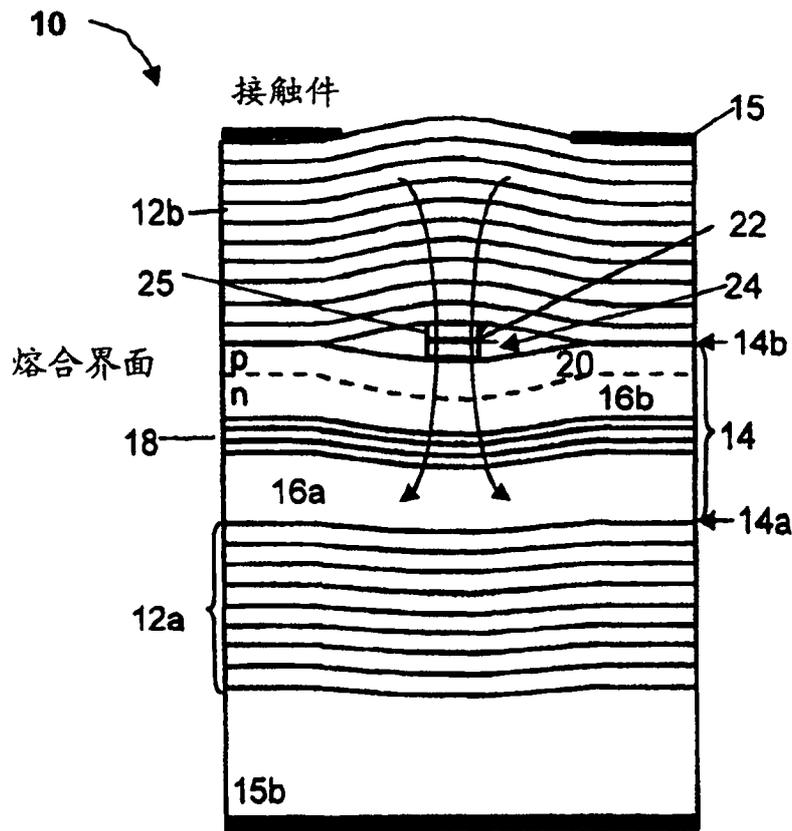


图 1A

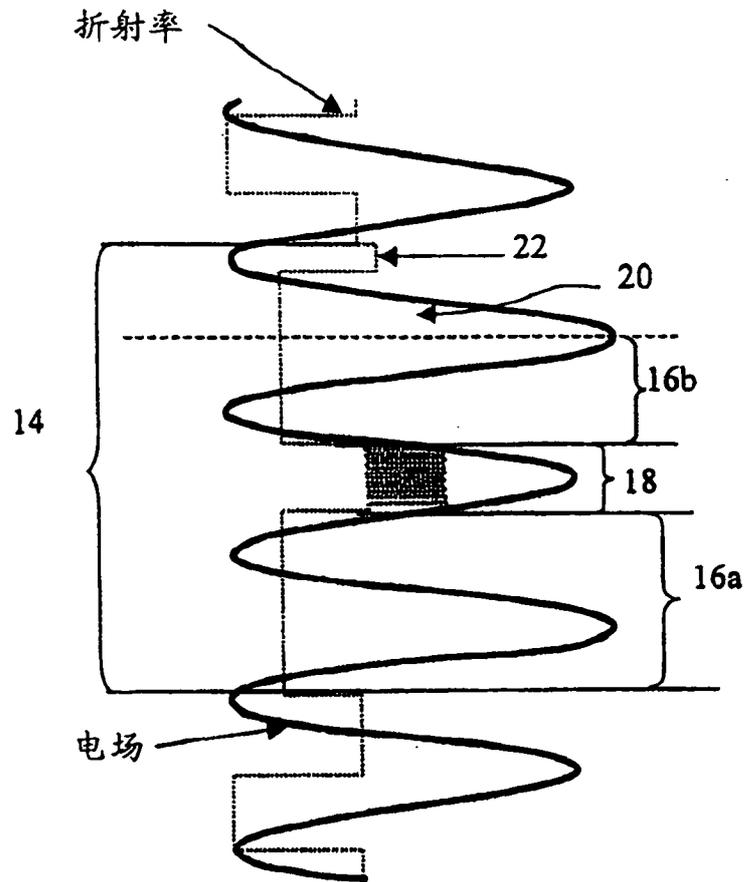


图 1B

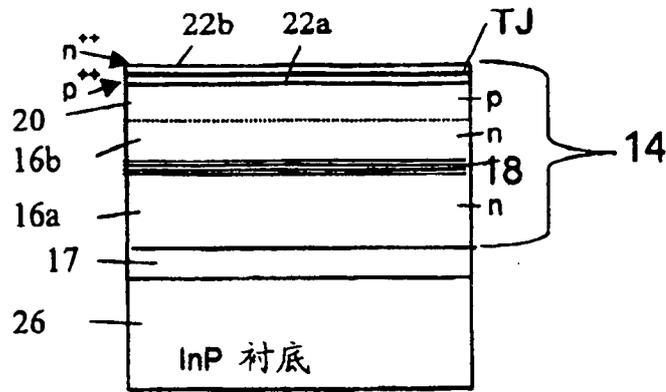


图 2

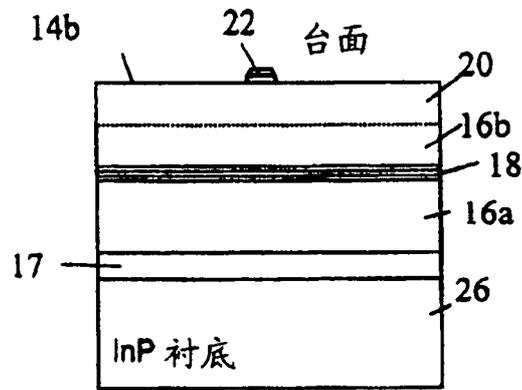


图 3

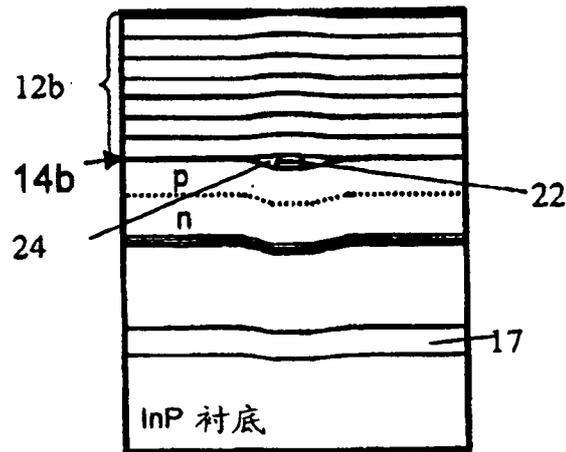


图 4

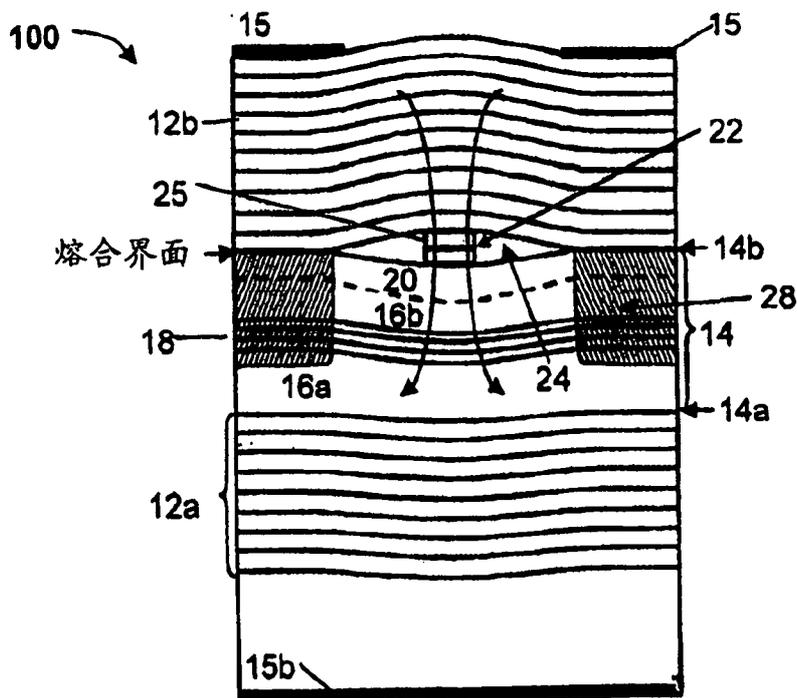


图 5

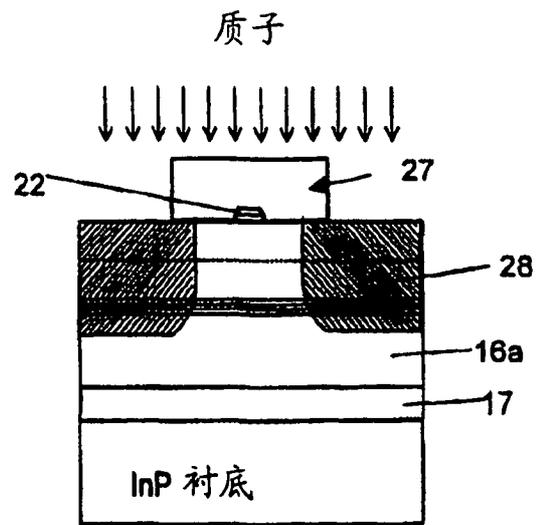


图 6

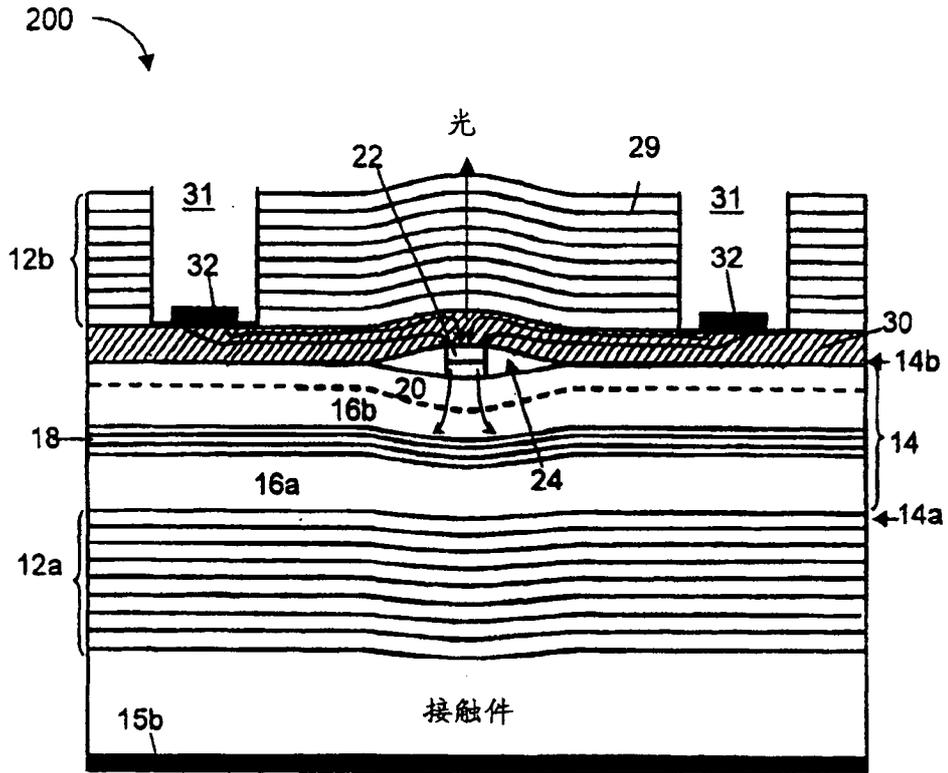


图 7

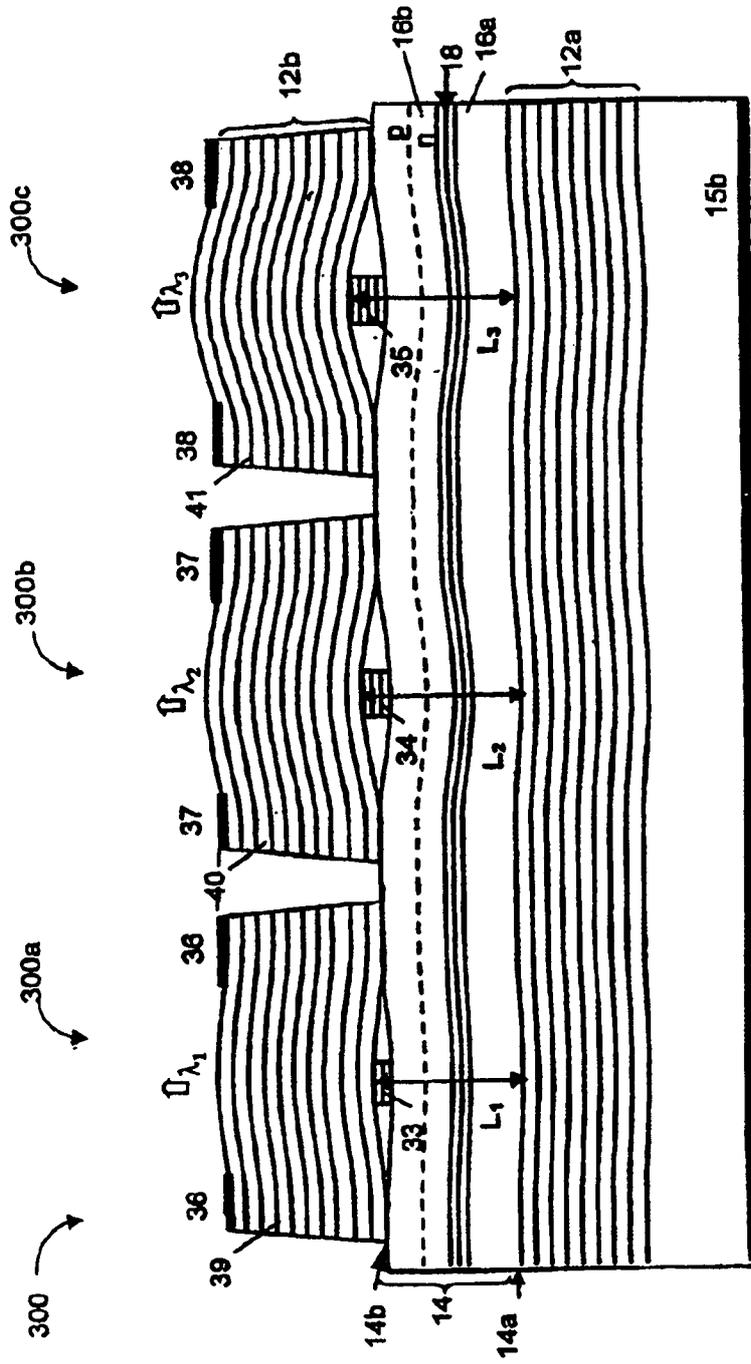


图 8

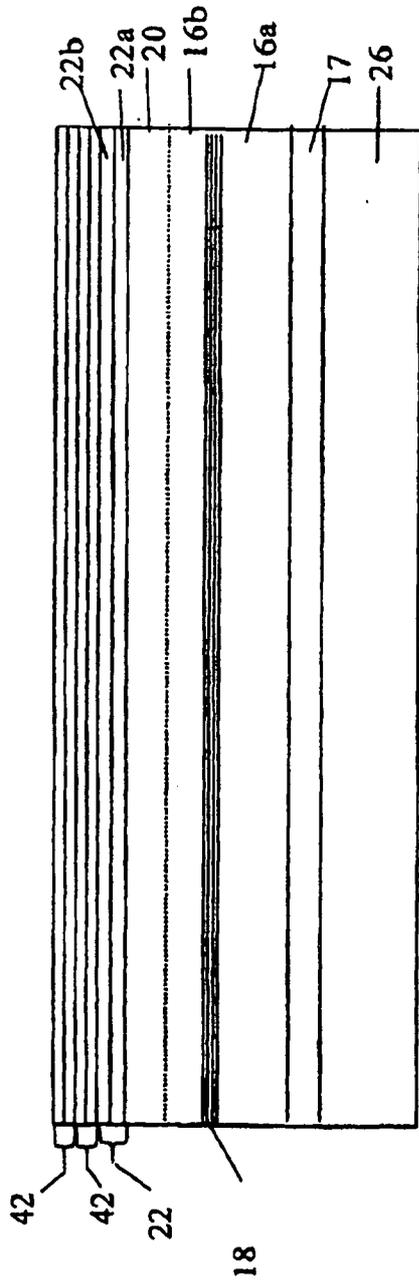


图 9

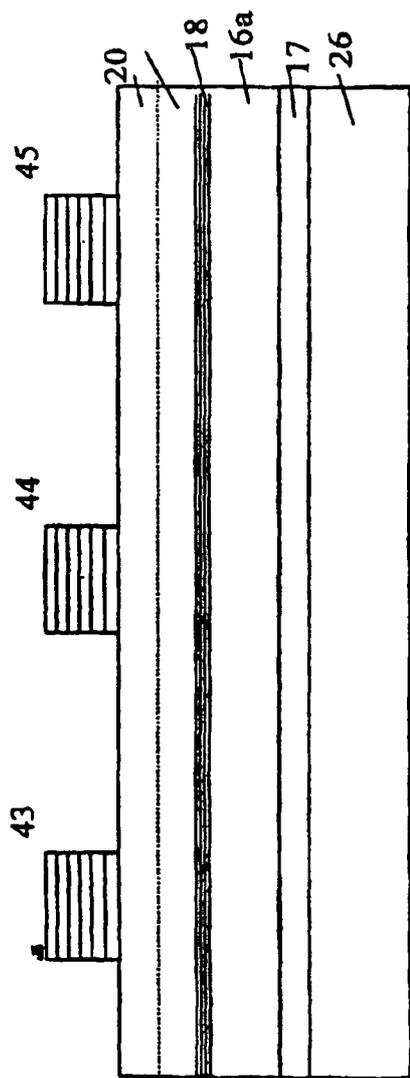


图 10