



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02826188.7

[43] 公开日 2005 年 5 月 4 日

[11] 公开号 CN 1613170A

[22] 申请日 2002.12.13 [21] 申请号 02826188.7

[30] 优先权

[32] 2001.12.28 [33] US [31] 10/028,435

[86] 国际申请 PCT/US2002/039825 2002.12.13

[87] 国际公布 WO2003/058774 英 2003.7.17

[85] 进入国家阶段日期 2004.6.25

[71] 申请人 菲尼萨公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 S·S·维拉里尔 R·H·约翰逊

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

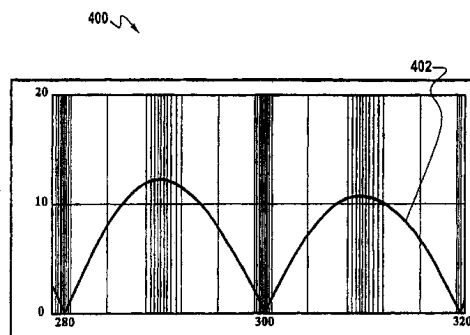
代理人 邹光新 王忠忠

权利要求书 4 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称 用于垂直腔表面发射激光器的非对称分布布拉格反射器

[57] 摘要

一种适用于垂直腔表面发射激光器的非对称分布布拉格反射器(DBR)。该非对称 DBR 包含具有不同折射率的堆叠式材料层,使用非对称过渡区域将这些材料层连接起来,其中在过渡区域内的过渡阶梯具有不同的材料组成、不同的掺杂程度以及不同的层厚度。相邻的过渡区域具有不同的过渡阶梯。较薄的过渡区域的掺杂程度相对较高并且位于 DBR 内的光驻波在该处具有低场强的位置处。较厚的过渡区域的掺杂程度相对较低并且位于光驻波在该处具有相对较高场强的位置处。有益地是,在 $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ 材料系统中,堆叠式材料层是 AlAs 和 GaAs 的交替层。其它材料系统将采用其它交替层。



1. 一种分布布拉格反射器, 包含:
包含第一二元组成和具有第一折射率的掺杂第一半导体层;
包含第二二元组成和具有不同于所述第一折射率的第二折射率的掺
5 杂第二半导体层; 以及
夹在所述第一半导体层和所述第二半导体层之间的第一过渡区域,
其中所述第一过渡区域包含多个具有多个厚度和多个掺杂程度的掺杂第
一过渡半导体层。
2. 如权利要求 1 中所述的分布布拉格反射器, 进一步包含:
10 包含所述第一二元组成的掺杂第三半导体层; 以及
夹在所述第二半导体层和所述第三半导体层之间的第二过渡区域,
所述第二过渡区域包含多个具有多个厚度和多个掺杂程度的掺杂第二过
渡半导体层, 其中所述第二过渡区域不同于所述第一过渡区域。
3. 如权利要求 1 中所述的分布布拉格反射器, 其中所述第一半导体
15 层包含 AlAs。
4. 如权利要求 3 中所述的分布布拉格反射器, 其中所述第二半导体
层包含 GaAs, 并且其中所述掺杂第一过渡半导体层包含 Al、Ga 以及 As。
5. 一种激光器, 包含:
掺杂衬底;
20 与所述衬底相邻的有源区域, 所述有源区域响应于所施加的电流以
预定的波长发光;
位于所述有源区域和所述衬底之间的掺杂第一分布布拉格反射器
镜, 所述第一分布布拉格反射器镜将所述有源区域发出的光反射回所述
有源区域;
- 25 与所述有源区域相邻的掺杂第二分布布拉格反射器镜, 所述第二分
布布拉格反射器镜将所述有源区域发出的光反射回所述有源区域;
其中所述第二分布布拉格反射器镜包含:
包含第一二元组成和具有第一折射率的掺杂第一镜半导体层;
包含第二二元组成和具有不同于所述第一折射率的第二折射率的
30 掺杂第二镜半导体层; 以及
位于所述第一镜半导体层和所述第二镜半导体层之间的第一过渡
镜区域, 所述第一过渡镜区域包含多个具有多个厚度和多个掺杂程度的

掺杂第一过渡镜半导体层。

6. 如权利要求5中所述的激光器, 其中垂直于所述衬底发出所述激光输出。

7. 如权利要求6中所述的激光器, 进一步包含:

5 包含所述第一二元组成并具有所述第一折射率的掺杂第三镜半导体层; 以及

10 位于所述第二镜半导体层和所述第三镜半导体层之间的第二过渡镜区域, 所述第二过渡镜区域包含多个具有多个厚度和多个掺杂程度的掺杂第二过渡镜半导体层, 其中所述第二过渡镜区域不同于所述第一过渡镜区域。

8. 如权利要求7中所述的激光器, 其中由所述有源区域以所述预定波长发出的光在所述第一过渡镜区域产生最小电场。

9. 如权利要求8中所述的激光器, 其中所述第一过渡镜半导体层的掺杂程度高于所述第二过渡镜半导体层。

15 10. 如权利要求8中所述的激光器, 所述第二过渡镜区域比所述第一过渡镜区域厚。

11. 如权利要求7中所述的激光器, 其中所述第一二元组成是AlAs。

20 12. 如权利要求11中所述的激光器, 其中所述第二二元组成是GaAs。

13. 如权利要求12中所述的激光器, 其中所述第一过渡镜半导体层包含包含Al、Ga以及As的层。

14. 如权利要求5中所述的激光器, 其中所述有源区域至少包含一个量子阱。

25 15. 如权利要求5中所述的激光器, 其中所述第二分布布拉格反射器镜是p掺杂。

16. 如权利要求5中所述的激光器, 其中所述第二分布布拉格反射器镜包含用于限制激光器内的电流的绝缘区域。

30 17. 如权利要求5中所述的激光器, 进一步包含位于所述第二分布布拉格反射器镜和所述有源区域之间的隔离器。

18. 如权利要求5中所述的激光器, 其中所述第一分布布拉格反射器镜包含:

- 包含所述第一二元组成的 n 掺杂第一底部镜半导体层;
包含所述第二二元组成的 n 掺杂第二底部镜半导体层; 以及
位于所述第一底部镜半导体层和所述第二底部镜半导体层之间的第一过渡底部镜区域, 所述第一过渡底部镜区域包含多个具有多个厚度和
5 多个掺杂程度的 n 掺杂镜半导体层。
19. 一种垂直腔表面发射激光器, 包含:
n 掺杂衬底;
与所述衬底相邻的有源区域, 所述有源区域响应于所施加的电流以预定的波长发光;
- 10 将所述有源区域发出的光反射回所述有源区域的 n 掺杂底部分布布拉格反射器镜;
与所述有源区域相邻的掺杂顶部分布布拉格反射器镜, 所述顶部分布布拉格反射器镜将所述有源区域发出的光反射回所述有源区域;
其中所述顶部分布布拉格反射器镜包含:
- 15 包含 AlAs 的掺杂第一镜半导体层;
包含 GaAs 的掺杂第二镜半导体层; 以及
位于所述第一镜半导体层和所述第二镜半导体层之间的第一过渡区域, 所述第一过渡镜区域包含多个具有多个厚度、多个掺杂程度以及多个组成的掺杂 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层。
- 20 20. 如权利要求 19 中所述的垂直腔表面发射激光器, 其中所述第一过渡镜区域具有拥有 0%到 85% Al 组成的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ 层。
21. 如权利要求 1 中所述的分布布拉格反射器, 其中所述多个掺杂第一过渡半导体层中的每个都具有彼此不同的厚度和掺杂程度。
26. 如权利要求 2 中所述的分布布拉格反射器, 其中所述多个掺杂
25 第二过渡半导体层中的每个都具有彼此不同的厚度和掺杂程度。
27. 如权利要求 5 中所述的激光器, 其中所述多个掺杂第一过渡半导体层中的每个都具有彼此不同的厚度和掺杂程度。
28. 如权利要求 7 中所述的激光器, 其中所述多个掺杂第二过渡半导体层中的每个都具有彼此不同的厚度和掺杂程度。
- 30 29. 如权利要求 18 中所述的激光器, 其中所述多个 n 掺杂镜半导体层中的每个都具有彼此不同的厚度和掺杂程度。
30. 如权利要求 19 中所述的垂直腔表面发射激光器, 其中所述多

个掺杂 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层中的每个都具有彼此不同的厚度、掺杂程度以及组成。

用于垂直腔表面发射激光器的非对称分布布拉格反射器

相关申请的交叉参考

5 无

发明背景

发明领域

本发明涉及激光器镜结构。更具体地，本发明涉及适用于垂直腔表面发射激光器的镜结构。

10 相关技术讨论

垂直腔表面发射激光器 (VCSEL) 代表了一种较新类型的半导体激光器。尽管 VCSEL 有多种变体，但是一个共同的特性是它们都垂直于晶片的表面发射光。有优势地，可以通过很大范围的材料系统形成 VCSEL，以便产生特定的特性。特别地，可以制作不同的材料系统从而产生不同的激光波长，例如 1550nm、1310nm、850nm、670nm 等等。

VCSEL 包含半导体有源区域、分布布拉格反射器 (DBR) 镜、电流限制结构、衬底以及触点。因为它们复杂的结构，并且因为它们的材料要求，通常使用金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 或分子束外延 (MBE) 来生成 VCSEL。

20 图 1 显示了一种典型的 VCSEL 10。如所显示的，n 掺杂镓砷化物 (GaAs) 衬底 12 具有 n 类型电触点 14。一个 n 掺杂较低的镜堆叠 16 (一个 DBR) 在 GaAs 衬底 12 上，并且一个 n 类型渐变折射率较低的隔离器 18 位于较低的镜堆叠 16 上。在较低的隔离器 18 上形成通常具有多个量子阱的有源区域 20。一个 p 类型渐变折射率顶部隔离器 22 位于有源区域 20 上，并且一个 p 类型顶部镜堆叠 24 (另一个 DBR) 位于顶部隔离器 22 之上。在顶部镜堆叠 24 之上是一个 p 类型传导层 9、一个 p 类型 GaAs 盖层 8 以及一个 p 类型电触点 26。

30 仍然参考图 1，较低的隔离器 18 和顶部隔离器 22 使较低的镜堆叠 16 与顶部镜堆叠 24 分离，从而形成一个光学腔。当该光学腔在特定的波长处发生谐振时，对镜分离进行控制从而在预定的波长处 (或在多个波长处) 发生谐振。顶部镜堆叠 24 的至少一部分包含一个提供电流限制的绝缘区域 40。通常，通过将质子注入顶部镜堆叠 24 或者通过形

成一个氧化物层从而形成绝缘区域 40。绝缘区域 40 规定了一个形成通过绝缘区域 40 的电传导路径的传导环形中心开口 42。

在工作中，一个外部偏压导致电流 21 从 p 类型电触点 26 流向 n 类型电触点 14。绝缘区域 40 和传导中心开口 42 限制电流 21，从而使
5 电流流过传导中心开口 42，流向有源区域 20。在有源区域 20 中，电流 21 中的一些电子被转化为光子。那些光子在较低的镜堆叠 16 和顶部镜堆叠 24 之间来回碰撞（谐振）。尽管较低的镜堆叠 16 和顶部镜堆叠 24 是非常好的反射器，但是这些光子中的一些以光 23 的形式泄漏出来，并且沿一条光路传播。仍然参考图 1，光 23 通过 p 类型传导
10 层 9，通过 p 类型 GaAs 盖层 8，通过 p 类型电触点 26 中的孔 30，并且从垂直腔表面发射激光器 10 的表面发出。

应该理解，图 1 显示了一种典型的 VCSEL，并且多种变体都是可能的。例如，可以改变掺杂（例如通过提供一个 p 类型衬底 12），可以使用不同的材料系统，可以为了实现最佳性能而调整操作细节，以及
15 可以添加额外的结构，例如隧道结。

尽管通常是成功的，但是 VCSEL 也存在问题。特别地，在一些应用中，可用的现有技术的分布布拉格反射器（DBR）与最优相差甚远。为了理解其中的原因，有必要更加详细地对 DBR 进行思考。

在许多应用中，DBR 必须同时是高反射的和高导电的。事实上，当
20 用于 VCSEL 中时，DBR 的反射性必须特别高，从而将光损耗降低到可以使激光器进行工作的程度。反射率是通过堆叠具有显著不同的折射率的材料层从而得以实现的，例如通过堆叠 AlAs 和 GaAs 的交替层。这种堆叠层可以在 DBR 之内产生光驻波。

尽管堆叠式 AlAs 和 GaAs 的光学性能很好，但是 AlAs 层和 GaAs
25 层之间的陡峭的结将会形成阻碍电流的严重障碍。为了降低该障碍，使用过渡区域连接 AlAs 层和 GaAs 层，在过渡区域中材料组成逐渐地从 AlAs 变化到 GaAs。而且，在多数 VCSEL 中，对 DBR 层进行掺杂，从而提供降低电阻的自由载荷。理想情况下，结果是一种具有高反射率，并同时具有低的光吸收以及低的电阻的结构。

30 实际上，光吸收随着电场强度、波长以及掺杂程度的增加而增加。而且，p 类型掺杂物往往比 n 类型掺杂物具有更高的光吸收。另一方面，电阻几乎不受电场强度和光波长的影响，但是随着掺杂程度的增

加而降低。但是，p 类型载荷（空穴）比 n 类型载荷（电子）具有低得多的迁移率。因此，随着波长的增加，例如使用输出波长为 1300、1310 或者 1550nm 的光的 VCSEL，很难同时获得低的光吸收和低的电阻。这是因为降低电阻的自由载荷往往高度地吸收长的光波长。这种情况在
5 顶部 DBR 中尤为如此，其中顶部 DBR 通常是 p 掺杂的。p 载荷的较低的迁移率和 p 掺杂物的较高的光吸收往往会降低这种顶部 DBR 的性能。因此，现有技术的长波长 VCSEL 中会出现这样一种矛盾：为了降低电阻，自由载荷浓度应该高，但是为了降低光吸收，自由载荷浓度应该低。

10 另外，应该理解，DBR 生成以空间独立的电场为特征的光驻波。也就是说，电场强度沿 DBR 的厚度方向发生变化。另外，形成 DBR 的材料对 VCSEL 的热特性有强烈的影响。双相材料，例如 AlAs 和 GaAs 往往具有非常好的热传导性。所以，热量非常好地流过 AlAs 和 GaAs 堆叠。但是，以三种材料为特征的过渡区域具有相当低的热传导性。这
15 是因为过渡区域的晶体机构发生高度畸变，这降低了热传导性。

因为上述原因，用于现有技术 VCSEL 中的 DBR 具有这样一些问题：过高的光吸收、相对较差的热传导性以及相对较高的电阻，特别是当产生长波长光的时候，情况尤为如此。因此，这样一种新的分布布拉格反射器是有好处的：它具有相对较低的光吸收以及相对较低的电
20 阻，特别是在长波长处和在顶部 DBR 中，情况尤为如此。这样一种新的分布布拉格反射器更有好处：它具有相对较低的光吸收、相对较低的电阻以及相对较好的热传导性，特别是在长波长处和在顶部 DBR 中，情况尤为如此。

发明概要

25 提供下面的对本发明的总结，用于帮助理解本发明所独有的创新特性，并且该总结并不是要成为一种完整的描述。可以通过将整个说明书、权利要求书、附图以及摘要视作一个整体，从而获得对本发明的各个方面的完整理解。

30 所以，本发明的原理在于一种具有低的光吸收和低的电阻的新的分布布拉格反射器（DBR）。有益地是，以一种导致良好的热传导性的方式实现这样一种 DBR。

根据本发明的原理的分布布拉格反射器包含具有不同折射率的堆

叠式材料层，使用非对称过渡区域将这些材料层连接起来，其中在过渡区域内的过渡阶梯具有不同的材料组成、不同的掺杂程度以及不同的层厚度。而且，相邻的过渡区域具有拥有不同厚度和不同掺杂程度的过渡阶梯。有益地是，相邻的过渡区域具有不同的整体厚度，较薄的过渡区域的掺杂程度相对较高并且位于 DBR 内的光驻波具有低场强的位置处，并且较厚的过渡区域的掺杂程度相对较低并且位于光驻波具有相对较高场强的位置处。较薄的过渡区域同时改善了电传导性和热传导性。

有益地是，堆叠式材料层包含 AlAs 和 GaAs 的交替层。更有益地是，堆叠材料层形成 VCSEL (例如长波长 VCSEL) 的一个 p 掺杂顶部镜。

通过阅读下面对本发明的详细描述或者实际使用本发明，本领域的技术人员可以更明确地理解本发明的新颖的特性。但是，应该理解，本发明的详细描述和所给出的特定的例子，当指示本发明的特定实施例时，仅用于举例说明的目的，这是因为通过本发明的详细描述和后面的权利要求书，本领域的技术人员可以明确地理解本发明的精神和范围之内的各种变化和修改。

附图简述

附图进一步显示了本发明，并且与本发明的详细描述一起用于解释本方面的原理，在附图中，在单独的视图中相同的数字代表相同或功能类似的元件，并且附图被包含进来并且形成了说明书的一部分。

在附图中：

图 1 显示了一种典型的垂直腔表面发射激光器；

图 2 显示了一种根据本发明的原理的垂直腔表面发射激光器；以及

图 3 显示了一种具有持续光波的分布布拉格反射器，并且该分布布拉格反射器符合本发明的原理。

注意到，在附图中相同的数字代表相同的元件。另外，为了解释方便，描述使用了方向符号，例如上和下，顶部和底部，以及较低和较高。这些来自附图中显示的元件的相对位置的符号是为了帮助理解本发明，而不是限制本发明。

实施例详述

现在将详细描述本发明的一个实施例，并且在附图中显示了该实

施例的例子。

本发明的原理提供了非对称分布布拉格反射器 (DBR) 以及提供了使用非对称 DBR 的 VCSEL。

5 现在参考图 2, 该图显示了符合本发明的原理的垂直腔表面发射激光器 (VCSEL) 100。应该将图 2 理解为通常如图 1 所显示的形式配置的 VCSEL 的简化的“省略”示意图。所以, 图 1 中和图 2 中相同的元件采用相同的元件号。但是, VCSEL 100 包含新颖的并且有用的顶部和底部分布布拉格反射器 (DBR)。

10 如图 2 中所示, VCSEL 100 包含具有 n 类型电触点 14 的 n 掺杂镓砷化物 (GaAs) 衬底 12。在 GaAs 衬底 12 上有 n 掺杂的较低的镜堆叠 160 (一个 DBR), 并且在较低的镜堆叠 160 上放置 n 类型渐变折射率的较低的隔离器 18。下面将更加详细地描述该较低的镜堆叠 160。

在较低的隔离器 18 上形成具有拥有多个量子阱的 P-N 结结构的有源区域 20。有益地是, 有源区域 20 的组成是 AlGaAs, 并且在形成有源区域 20 的不同层中特定的铝含量是变化的。例如, 一个层可以具有 20% 到 30% 的铝, 而相邻层可以具有到 0 到 5% 的铝。可以有許多交替层, 这依赖于在有源区域 20 中量子阱是什么样的。

15 在有源区域 20 上有 p 类型渐变折射率顶部隔离器 22。在顶部隔离器 22 上放置 p 类型顶部镜堆叠 240 (另一个 DBR)。下面将更加详细地描述较高的镜堆叠 240。

在顶部镜堆叠 240 上有 p 类型传导层、p 类型 GaAs 盖层以及 p 类型电触点, 所有这些都使用 260 表示。如在 VCSEL 10 (见图 1) 中, 较低的隔离器 18 和顶部隔离器 22 使较低的镜堆叠 160 与顶部镜堆叠 240 分离, 从而形成了以特定波长进行谐振的光学腔。

25 仍然参考图 2, 顶部镜堆叠 240 包含绝缘区域 140, 有益地是, 通过形成具有拥有高的铝含量 (97%-98%) 的 AlGaAs 层的顶部镜堆叠 240, 然后沿着一个环形圈使该高铝含量层氧化, 从而生成该区域 140。所以氧化过程生成了氧化物绝缘区域 140。

30 在工作中, 外部偏压导致电流 21 流入 VCSEL 100。绝缘区域 140 形成导入有源区域 20 的电流, 在该处一些电子被转化为光子。这些光子在较低的镜堆叠 160 和顶部镜堆叠 240 之间来回碰撞 (谐振)。尽管较低的镜堆叠 160 和顶部镜堆叠 240 是非常好的反射器, 但是这些

光子中的一些以光 23 的形式泄漏出来，并且沿一条光路传播。仍然参考图 2，光 23 通过元件 260 中的开口 300，并且从垂直腔表面发射激光器 100 的表面出去。

图 2 的 VCSEL 100 与图 1 的 VCSEL 10 有显著的区别，并且区别之处在于顶部镜堆叠 240 和较低的镜堆叠 160 中的不对称性。有益地是，通过具有不同的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 组成的层来形成这些镜堆叠。尽管本发明的原理特别适用于 p 掺杂顶部镜堆叠（这是因为 p 掺杂材料更具光学吸收性，这些材料更受益于本发明），但是这些原理适用于任意一种类型的掺杂。而且，尽管所显示的实施例基于 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料系统，但是本发明的原理适用于很大范围的合成半导体材料系统。

图 3 显示了适用于较低的镜堆叠 160 或顶部镜堆叠 240 中的任意一种或适用于这两种的分布布拉格反射器 400。在工作中，在分布布拉格反射器内形成一个驻波。这样一个驻波的标准化功率波形 402，如由对本发明的一个特殊实施例的光学模拟所计算的那样，叠加在分布布拉格反射器 400 上。图 3 还显示了包含分布布拉格反射器 400 的单个层的相对厚度，并且用垂直线之间的间隔指示每个层的相对厚度。如图 3 中所示，分布布拉格反射器 400 至少包含层 280 到 320。实际中，可以有多组这样的层（因此，一个给定的分布布拉格反射器可以包含上百个单个层）。

仍然参考图 3，最近的垂直线间隔发生在电场最小的地方（接近于零），也就是在层 300 附近。这指示了形成 AlAs 到 GaAs 结（在该处组成从 100%AlAs 变成 100%GaAs）的层的相对较小的厚度。形成该结的层具有相对较高的掺杂程度，这降低了 AlAs 到 GaAs 过渡区域上的电阻。但是，因为电场在该过渡区域中是低的，所以尽管有高的掺杂程度，光吸收也还是低的。

但是，仍然参考图 3，在电场高的地方（也就是在层 290 附近），垂直线间隔相对较大，这代表相对较厚的单个层。这代表一个界面结，在该处 GaAs (0%Al) 组成变成 AlAs (0%Ga)。该区域的掺杂程度相对较高，这有助于降低局部高电场的光吸收。GaAs 到 AlAs 过渡区域的相对较大的厚度有助于降低电阻，而不会显著增加光吸收。

所以，符合本发明的原理的 DBR 在界面结厚度和界面结掺杂分布这两方面都是不对称的。使用耦合掺杂分布和组成分布也有助于改善

本发明的性能。

表 1 中提供了用于具有 0%到 100%A1 组成范围的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料系统中 1310nm 处的非对称 p 掺杂 DBR 的实施例。提供了特定的层厚度、掺杂浓度以及材料组成。表 1 中的第一个界面结是 AlAs (100% A1 组成) 到 GaAs (0% A1 组成) 异质结, 该第一界面结包含行 1 到行 10 中的层。类似地, 行 13 到行 22 列出了第二个界面结的层, 即 GaAs (0% A1 组成) 到 AlAs (100% A1 组成) 异质结。

通过对比第一个界面结的总厚度 (20nm) 和第二个界面结的总厚度 (40nm), 可以看出本实施例的非对称性。通过对比图 4 中最左边、向下的材料组成的过渡的较陡峭的平均坡度和最右边、向上的过渡的不那么陡峭的平均坡度, 也可以看到该非对称性。注意到, 第一个界面结的掺杂浓度的范围是从 $2.86\text{E}+18\text{cm}^{-3}$ 到 $6.17\text{E}+18\text{cm}^{-3}$, 而第二个界面结的掺杂浓度的范围是从 $6.65\text{E}+17\text{cm}^{-3}$ 到 $1.93\text{E}+18\text{cm}^{-3}$ 。与界面结厚度的非对称性和掺杂范围的非对称性分别起作用时相比, 它们共同起作用时可以提供较低的光吸收和较低的电阻。

表1

层	厚度 (nm)	掺杂物浓度 (cm^{-3})	组成 (% Al)
1	2.50	6.17E+18	99
2	2.50	6.42E+18	94
3	2.00	6.22E+18	84
4	1.50	5.59E+18	71
5	1.50	4.79E+18	52
6	1.50	4.22E+18	42
7	1.50	3.44E+18	29
8	2.00	2.88E+18	15
9	2.50	2.61E+18	5
10	2.50	2.86E+18	1
11	33.99	2.86E+18	0
12	33.99	6.65E+17	0
13	5.00	6.65E+17	1
14	5.00	3.42E+17	5
15	4.00	3.80E+17	15
16	3.00	6.94E+17	0.29
17	3.00	1.11E+18	0.42
18	3.00	1.37E+18	52
19	3.00	1.90E+18	71
20	4.00	2.23E+18	84
21	5.00	2.28E+18	94
22	5.00	1.93E+18	99
23	36.71	1.93E+18	100
24	36.71	6.17E+18	100

有这样的情况：材料组成从 0%变化到 100%是我们不希望得到的。因此，表 2 提供了另一种实施例的 DBR，它符合本发明的原理。这种 DBR 是适用于 1310nm VCSEL 的 p 掺杂 Al_{1-x}Ga_xAs DBR。这种 DBR 的 Al 组成的范围受到限制，并且 Al 组成的范围为从 0%到 85%。

表 2

层	厚度 (nm)	掺杂物浓度 (cm^{-3})	组成 (% Al)
1	2.50	4.77E+18	84
2	2.50	4.96E+18	80
3	2.00	4.80E+18	71
4	1.50	4.32E+18	60
5	1.50	3.70E+18	44
6	1.50	3.26E+18	36
7	1.50	2.66E+18	25
8	2.00	2.23E+18	13
9	2.50	2.01E+18	4
10	2.50	2.21E+18	1
11	33.99	2.21E+18	0
12	33.99	7.00E+17	0
13	5.00	7.00E+17	1
14	5.00	3.60E+17	4
15	4.00	4.00E+17	13
16	3.00	7.30E+17	25
17	3.00	1.17E+18	36
18	3.00	1.44E+18	44
19	3.00	2.00E+18	60
20	4.00	2.35E+18	71
21	5.00	2.40E+18	80
22	5.00	2.03E+18	84
23	36.71	2.03E+18	85
24	36.71	4.77E+18	85

通过表 2, 可以明显地看出本实施例的总界面结厚度和掺杂浓度范围的两重非对称性。而且, 通过对比表 2 的行和表 1 的对应行, 可以看出除了材料组成范围不同之外, 掺杂浓度范围也是不同的。所以, 本发明的最佳实施例可以在很多方面进行变化, 包含阶梯的数量、单个阶梯尺寸大小、总异质结厚度、掺杂浓度范围以及材料组成范围。

这里所描述的实施例和例子最好地解释了本发明和它的实际应用, 并且由此使得本领域的技术人员可以制造和利用本发明。但是, 本领域的技术人员可以认识到, 上述的描述和例子仅起到说明和举例的作用。本发明的其它变体和修改对本领域的技术人员来说是明显的, 并且所附的权利要求书的作用就是涵盖这些变体和修改。所进行的描述不是为了穷尽本发明或限制本发明的范围。根据上述说明, 可以做出许多修改和变体, 而不偏离所附的权利要求书的精神和范围。

可以认识到，本发明的使用可以涉及具有不同特性的部件。由所附的权利要求书规定本发明的范围，在所有方面给出了等同物的完整知识。

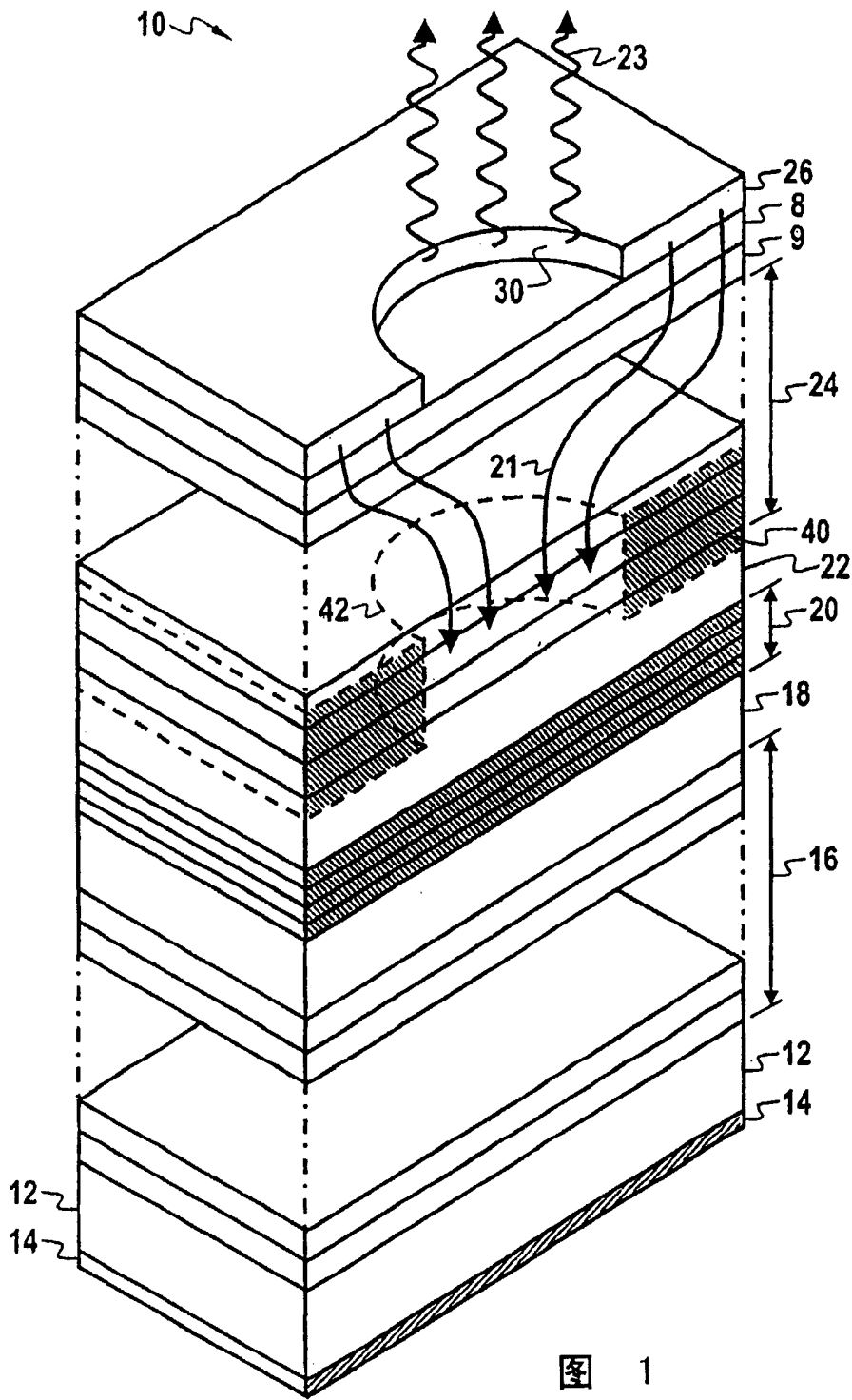


图 1
现有技术

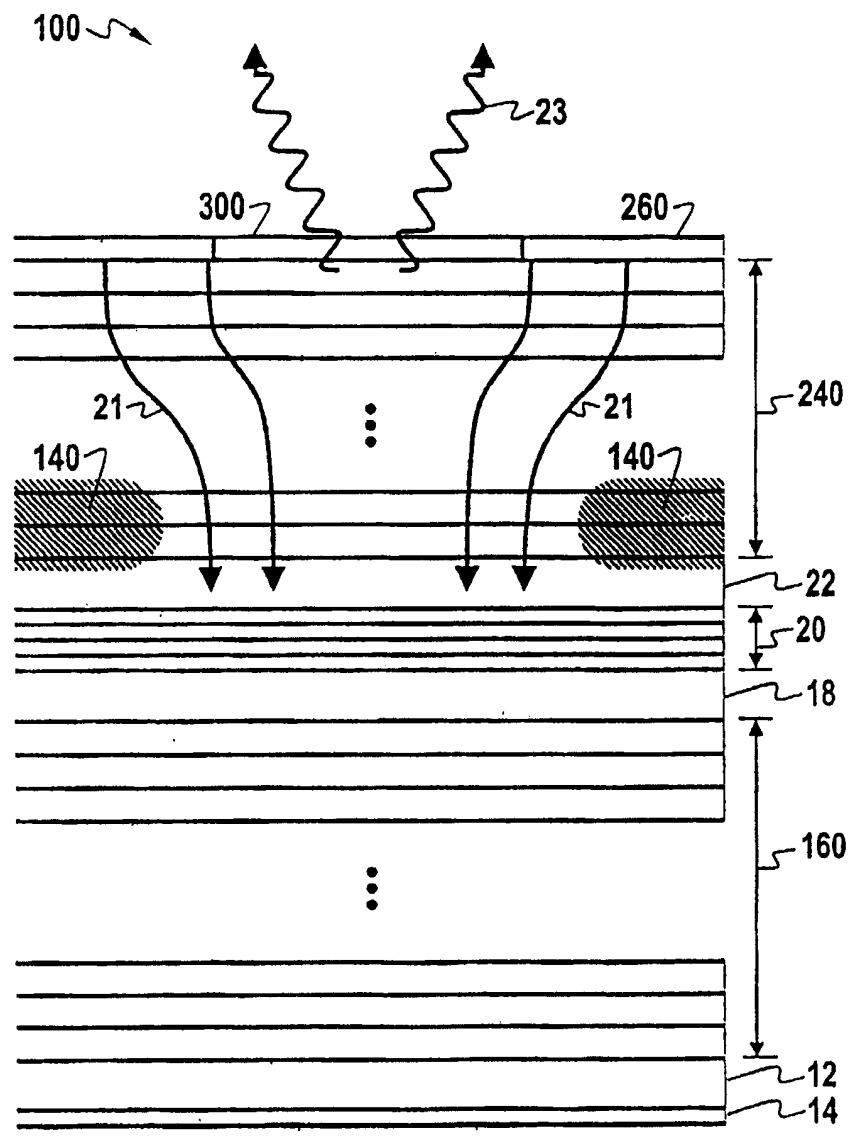


图 2

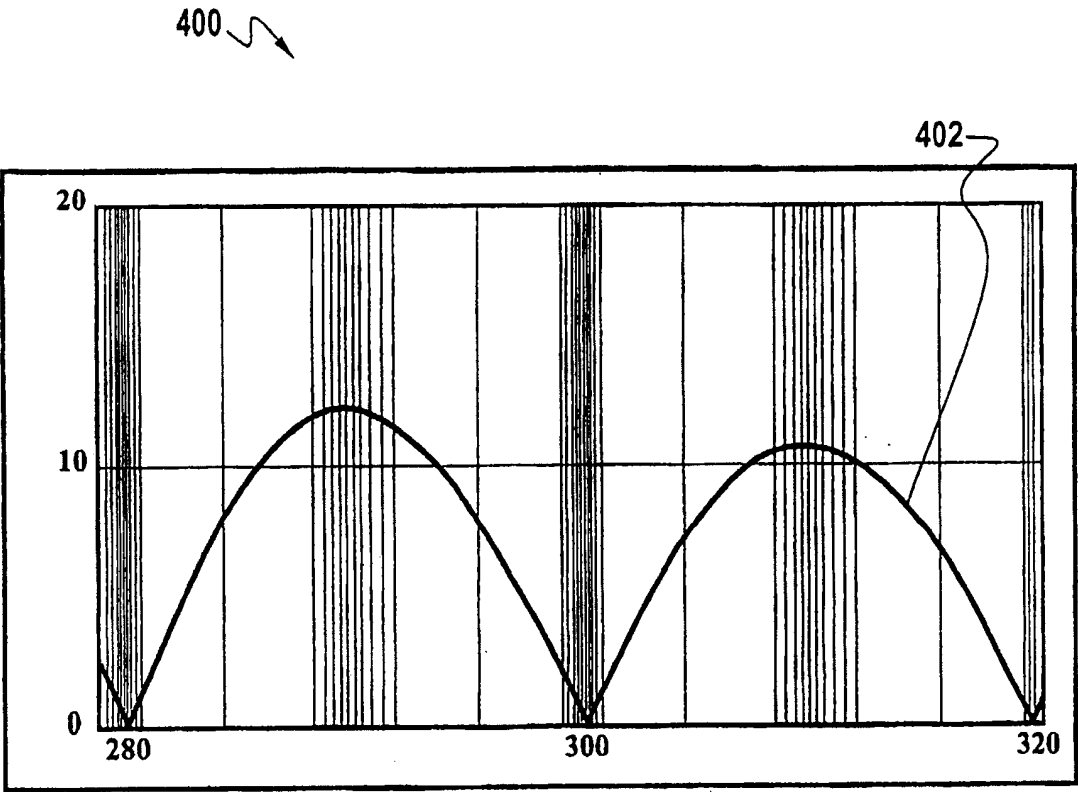


图 3