

[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 02805019.3

[45] 授权公告日 2006 年 7 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 1263207C

[22] 申请日 2002.2.15 [21] 申请号 02805019.3

[30] 优先权

[32] 2001.2.15 [33] DE [31] 10107349.6

[86] 国际申请 PCT/EP2002/001656 2002.2.15

[87] 国际公布 WO2002/065599 德 2002.8.22

[85] 进入国家阶段日期 2003.8.15

[71] 专利权人 维特拉斯有限责任公司

地址 德国加尔兴

[72] 发明人 马库斯-克里斯琴·阿曼

马库斯·奥特西弗

审查员 肖霞

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 侯宇 陶凤波

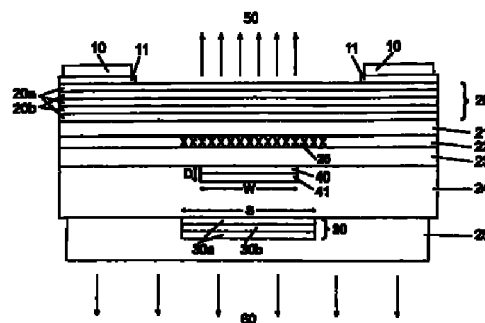
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 7 页

[54] 发明名称

表面发射半导体激光器

[57] 摘要

本发明涉及一种表面发射型半导体激光器。为了提供一种能在正常环境温度下工作并具有稳定长期特性的半导体激光器，该半导体激光器包括一具有 pn 过渡段的有源区、一在有源区 n 侧上的第一 n 型掺杂半导体层、一在有源区 p 侧上并构成至有源区 p 侧上的第二 n 型掺杂半导体层的传导过渡段的结构隧道触点，一涂敷在第二 n 型掺杂半导体层上的结构介质镜面，一在没有涂敷介质镜面的地方形成与第二 n 型掺杂半导体层的接触的接触层，和一位于接触层与第二 n 型掺杂半导体层之间的扩散势垒。



1. 一种表面发射型半导体激光器，
具有一包括 pn 过渡段的有源区，
- 5 具有一在该有源区 n 侧上的第一 n 型掺杂半导体层，
具有一在该有源区 p 侧上的结构隧道触点，其形成至该有源区 p 侧上的第二 n 型掺杂半导体层的传导过渡段，
具有一结构介质镜面，其涂敷在该第二 n 型掺杂半导体层上，
具有一接触层，在没有涂敷该介质镜面处，其形成与该第二 n 型掺杂
- 10 半导体层的接触，
具有一位于该接触层与该第二 n 型掺杂半导体层之间的扩散势垒，该介质镜面侧面部分重叠该扩散势垒。
2. 如权利要求 1 所述的半导体激光器，其特征在于在所述扩散势垒与该第二半导体层之间提供一助黏剂。
- 15 3. 如权利要求 2 所述的半导体激光器，其特征在于所述助黏剂由钛层构成。
4. 如权利要求 1-3 中之一所述的半导体激光器，其特征在于所述扩散势垒由铂层构成。
5. 如权利要求 1-3 中之一所述的半导体激光器，其特征在于在所述介质镜面与该接触层之间提供一用于提高反射率的金属覆盖层。
- 20 6. 如权利要求 5 所述的半导体激光器，其特征在于所述金属覆盖层提供为正好穿过该扩散势垒与该接触层之间。
7. 如权利要求 5 所述的半导体激光器，其特征在于所述金属覆盖层由金构成。
- 25 8. 如权利要求 1-3 中之一所述的半导体激光器，其特征在于所述接触层由金或银构成。
9. 如权利要求 1-3 中之一所述的半导体激光器，其特征在于所述介质镜面具有一比半导体材料更小的热阻。
10. 如权利要求 1-3 中之一所述的半导体激光器，其特征在于所述第二 n 型掺杂半导体层由 InP 半导体构成。
- 30 11. 如权利要求 1-3 中之一所述的半导体激光器，其特征在于所述接

触层涂敷得足够厚以起到散热片的作用。

12. 如权利要求 11 所述的半导体激光器, 其特征在于所述接触层厚度大于 $10\ \mu\text{m}$ 。

13. 如权利要求 1-3 中之一所述的半导体激光器, 其特征在于光的去耦发生在该有源区的 n 侧上。

14. 如权利要求 13 所述的半导体激光器, 其特征在于一衬底从该有源区的 n 侧上去除。

15. 如权利要求 14 所述的半导体激光器, 其特征在于所述接触层涂敷得足够厚, 使得尽管去除该衬底也确保该半导体激光器的机械稳定性。

16. 用于在半导体激光器中制造扩散势垒的工艺, 该半导体激光器具有一包括 pn 过渡段的有源区, 具有一在该有源区 n 侧上的第一 n 型掺杂半导体层,

具有一在该有源区 p 侧上的结构隧道触点, 其形成至该有源区 p 侧上的第二 n 型掺杂半导体层的传导过渡段,

其中在第一区中, 在该第二 n 型掺杂半导体层上涂敷扩散势垒, 并在第二区中, 在该第二 n 型掺杂半导体层上涂敷介质镜面使得该介质镜面侧面部分重叠该扩散势垒, 以及

其中接触层至少涂敷在该扩散势垒上。

17. 如权利要求 16 所述的工艺, 其特征在于在涂敷该扩散势垒之前涂敷所述介质镜面。

18. 如权利要求 16 所述的工艺, 其特征在于在涂敷该扩散势垒之后涂敷所述介质镜面。

19. 如权利要求 16-18 中之一所述的工艺, 其特征在于在该第一区中的该扩散势垒之前涂敷助黏剂。

20. 如权利要求 16-18 中之一所述的工艺, 其特征在于采用钛作为该助黏剂。

21. 如权利要求 16-18 中之一所述的工艺, 其特征在于采用铂作为该扩散势垒。

22. 如权利要求 16-18 中之一所述的工艺, 其特征在于在所述扩散势垒和该介质镜面的整个表面上涂敷一金属接触层。

23. 如权利要求 22 所述的工艺, 其特征在于采用金或银作为该接触层。

24. 如权利要求 16-18 中之一所述的工艺, 其特征在于在涂敷该接触层之前在该介质镜面上涂敷一金属覆盖层。

25. 如权利要求 24 所述的工艺, 其特征在于所述金属覆盖层由金构成。

26. 如权利要求 16-18 中之一所述的工艺, 其特征在于在涂敷该接触
5 层之前在该介质镜面上和该扩散势垒的整个表面上涂敷一金属覆盖层。

27. 如权利要求 26 所述的工艺, 其特征在于所述金属覆盖层由金构成。

表面发射半导体激光器

5 技术领域

本发明涉及一种表面发射型半导体激光器，其包括具有 pn 过渡段(pn 结)的有源区。

背景技术

10 半导体激光器在原理上表述为一种沿流动方向工作的半导体二极管，它通过受激发射产生窄光谱带的相干光并以定向的方式辐射它。通过将电流注入 pn 过渡段(pn transition)来实现激光过程所需的粒子数反转。作为支持措施，开始的材料可被重掺杂。在 pn 过渡段的区域中，电子和空穴彼此空间上相邻，于是发生诱发辐射复合。

15 在最简单的情况下，光学谐振器由垂直于 pn 过渡段的两相对光镜面构成。在这种结构形式中，在垂直于电流注入的平面中发生发射(emission)。

或者，在已经公知的表面发射半导体激光二极管中，垂直于有源区的平面产生发射。(英文：vertical-cavity surface-emitting laser diode, VCSEL)

在 US 5 936 266 中，已知公知一种表面发射型半导体激光器，其中采用整个表面上的隧道触点(tunnel contact)来产生有源区 p 侧与 n 型掺杂半导体层之间的传导过渡段(conductive transition)。这意味着也可在有源区的 p 侧采用 n 型掺杂半导体层，由于 n 型掺杂半导体改进的导电性，使得串联电阻减小 10-30 倍。但是，整个表面上的隧道触点的一个缺点在于，为了控制电流的传导不得不提供附加的氧化层，这使得半导体激光器的整体结构
25 复杂且不利于热特性。

US 6 052 398 描述了一种表面发射型半导体激光器，它具有一结构隧道触点，谐振器由两个半导体镜面构成。其中存在的问题是，热量必需通过一个镜面排出，镜面通常由具有相应不良导热性的三元或四元混和晶体构成。或者，US 6 052 398 也指出在有源区 p 侧上采用介质镜面，而没有指出
30 这种选择方案的具体优点。在实践中不使用这种方案，因为反射性接触层(通常为金或银)可能扩散进邻接的半导体层中，使得不能保证长期稳定性。

发明内容

本发明的目的是提供一种半导体激光器，它能够在正常环境温度下工作并具有稳定的长期特性。

这个问题是通过具有本发明特征的半导体激光器而解决的。具体地说，
5 按照本发明的特征包括一表面发射型的半导体层，其具有一包括 pn 过渡段（pn 结）的有源区，具有一在有源区 n 侧上的第一 n 型掺杂半导体层，具有一在有源区 p 侧上的结构隧道触点(隧道结)，其形成至有源区 p 侧上的第二 n 型掺杂半导体层的传导性过渡段或传导结，具有一结构介质镜面(structured dielectric mirror)，其被涂敷到第二 n 型掺杂半导体层上，具有一
10 接触层，其在没有涂敷介质镜面处与第二 n 型掺杂半导体层形成接触，并具有一位于接触层与第二 n 型掺杂半导体层之间的扩散势垒(diffusion barrier)。

按照本发明的解决方案基于研究结果，即在有源区 p 侧上，位于其上的 n 型掺杂半导体层通过一介质镜面并且也通过一扩散势垒从接触层封闭。
15 接触层构成一散热片并由此能够有效地散热。尤其是金或银适用于制造良好的散热片。但是已经发现，这些层的成分可能扩散进入第二 n 型掺杂半导体层并损坏它。因此扩散势垒与介质镜面防止来自接触层的成分扩散进入第二 n 型掺杂半导体层，并在最坏的情况下进入有源区并抑制其中的辐射复合。因此存在散热片材料的自由选择，以实现半导体激光器的最佳热
20 特性结构。

按照本发明的用于涂敷扩散势垒的工艺包括以下特征，其中，在第一区中，扩散势垒被涂敷到第二 n 型掺杂半导体层，在第二区中，介质镜面被涂敷到第二 n 型掺杂半导体层，且至少在扩散势垒上涂敷接触层。

总之，按照本发明的半导体激光器具有下列优点：

- 25 - 作为在有源区 p 侧上的结构隧道触点(隧道结)的结果，在有源区 p 侧上的剩余半导体层可以是 n 型掺杂。由于 n 型掺杂半导体的实质改进的导电性，这使得串联电阻降低约 10-30 倍。
- 在有源区 n 侧上的第一 n 型掺杂半导体层用来作为带电载流子包络层。
- 30 - 在 p 侧上采用高反射性介质镜面。可提供金属覆盖层以提高反射率。
- 通过 p 侧排出热量，即，主要通过隧道触点即隧道结和可具有较小

热阻的介质镜面。

- 在有源区与介质镜面之间，一导热层(例如二元 InP 层)可用于扩散和排出热量。

- 5 提供有效的散热。金属层可同时提供机械稳定性，这在当 n 侧的衬底完全去除的时候特别有利，例如，为了在外延镜面(epitactic mirror)与空气间获得折射率的猛增。

- 优选通过 n 侧(基于有源层)进行光去耦(light decoupling)，使得局部吸收隧道触点位于光去耦的相反侧上，由此可以达到更高的照明功率。

- 10 用于寻求独创保护的发明的另一解决方案是介质镜面的结构。现有介质镜面由具有相应不良导热特性的三元或四元混和晶体构成。为了改进导热性，US 6, 052, 398 中建议采用外延 GaAs/AlAs 的变形镜面。这种三元材料的确具有更好的导热性，但却具有对于邻接层的不良晶格匹配，这意味着晶格位错的结果是只有有限的长期稳定性是可实现的。

- 15 因此作为独创的发明方案，建议为介质镜面提供二元层的交替序列，使二元层平均具有对于邻接层的良好晶格匹配性。例如二元层可以交替地由层厚各为 3nm 的 InAs 和 GaAs 构成，使得二元层的平均晶格间距与邻接半导体层对应。

- 20 这个方案可以单独实施或与上述的按照本发明的半导体激光器的方案和用于涂敷扩散势垒的工艺的方案结合起来实现。

从所附的权利要求，其它优选实施例将变得明显。当然，其中叙述过的特征和下面将要描述的特征不仅可应用于所给出的组合，而且也可应用于其它的组合或单独使用。

- 25 按照优选实施例，在扩散势垒与第二半导体层之间提供一助黏剂(adhesion promoter)。优选地，助黏剂由钛层构成而扩散势垒由铂层构成。此外，为了提高介质镜面与接触层之间的反射率，可提供一金属覆盖层。为了简化生产工艺，金属覆盖层可提供为正好穿过扩散势垒与接触层之间。适用于金属覆盖层的材料是金而适用于接触层的材料是金或银。

- 30 介质镜面例如由层的多个介质 $\lambda/4$ 对构成，优选由具有较大折射率差异的材料构成，例如 MgF_2 和 Si。

如果介质镜面具有比半导体材料更小的热阻是特别有利的，因为由此

确保定向的热传导。为了这个目的，第二 n 型掺杂半导体层例如可以由 InP 半导体构成。

按照另一优选实施例，接触层被涂敷得足够厚以起到散热片的作用。优选地，接触层涂敷在整个表面上并且也覆盖介质镜面。接触层的厚度例如可以为 $10\ \mu\text{m}$ 。

按照另一优选实施例，在有源区的 n 侧上产生光去耦。优选地，为了这个原因，衬底从有源区 n 侧去除。

附图说明

现在将结合不同的实施例参考附图详细描述本发明。附图中：
图 1 显示本发明的第一实施例，
图 2 显示本发明的第二实施例，
图 3 显示本发明的第三实施例，
图 4 显示本发明的第四实施例，
图 5 显示本发明的第五实施例，
图 6 显示用于制备按照第一实施例的扩散势垒的三个工艺步骤，
图 7 显示用于制备按照第二实施例的扩散势垒的三个工艺步骤。

首先参考图 1~5 描述本发明的五个实施例。所有实施例的相同之处是在接触层与有源区 p 侧上的 n 型掺杂半导体层之间的一扩散势垒。参考图 6 和 7 描述用于形成扩散势垒的工艺步骤。

具体实施方式

图 1 示出本发明的第一实施例。电流通过下 p 触点(25)提供，该下 p 触点同时起到集成散热片的作用，而 n-触点(10)可以选择涂敷到一重掺杂接触层(11)上。光向上(50)输出，而热量通过集成散热片(25)向下排出到例如铜壳体上。有源激光区(26)位于有源层(22)内，其优选由一联结多层结构(英文为：Multiquantum well: MQW 结构)构成。有源激光区的侧向尺寸由流过由一重 p 型掺杂层(40)和一重 n 型掺杂层(41)组成的、结构上是侧向圆形例如(直径 W)的结构隧道触点或隧道结的电流来决定、并由层(23)中电流的侧向扩展和有源层(22)中的带电载流子扩散来决定。注入到有源区中的电子和空穴的垂直限制分别由 n 型和 p 型掺杂边界层(21)和(23)提供。

按照现有技术外延加工的镜面(20)位于在 n 侧上,并由例如具有不同折射率的两种半导体材料(20a)和(20b)的层的多个(例如 $36\lambda/4$ 对)组成。下镜面(30)由层(30a)和(30b)的几对(例如 1.5 或 2.5)介质 $\lambda/4$ 对所组成,例如 MgF_2 (30a)和 Si(30b)。其反射率通过在集成散热片(25)中的下界面上的反射
5 被附加地提高,尤其是如果后者由高反射性金属如金或银构成。

在垂直方向,隧道触点设置为电磁场的最小值,使得在重掺杂和吸收层(41)和(40)中不产生或仅产生可忽略不计的光损失。出于同样原因,隧道触点应该尽可能地薄;优选地,对于 $1.3\sim 1.55\mu\text{m}$ VCSEL,总厚度 D 的值为 $20\sim 60\text{nm}$ 。p 侧的第二半导体层(24)由于隧道触点可以是(重)n 型掺杂的,或者可具有 n 型掺杂的梯度,靠近层(23)掺杂较轻而在朝向镜面(30)和集成散热片(25)的底面上掺杂较重。在各种情况下,存在靠近隧道触点的一阻挡 npn 结构,其阻挡该处的电流流动,使得全部电流通过隧道触点流入有源层中。层(24)应该优选具有良好的导热性,以便改善和扩大来自有源区的热量流(例如扩大到直径 S 的倍数),由此实现减少总热量的优点。
10

由于 n 型掺杂层(24)的低阻抗特性,可能发生靠近绝缘介质镜面(30)的侧向电流供应,而没有任何实质性电损失和不产生热量。介质镜面的侧向尺寸 S 优选选择为至少与隧道触点的侧向尺寸 W 一样大。特别有利的是,如果尺寸 S 大于 W 约 $3\sim 8\mu\text{m}$ (对于 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ VCSELs,典型为 $2\sim 20\mu\text{m}$),由于有源激光区(26)的热透镜作用(thermal lensing)和放大作用的波导,光场(optical field)的侧向扩大被限定在大致有源激光区的尺寸。
15 20

图 2 示出本发明的第二实施例。与图 1 相比较,制造工艺使得隧道触点结构在外延附晶生长(epitactic overgrowing)中成像(imaged)在层(24)的表面中。这将增加侧向波导,其以自调整方式与隧道触点和有源区(26)精密对准。依赖于工艺过程,隧道触点的成像可以加宽或减小,由此使得可以在宽范围内影响光场的侧向限制。这种方法可与下面要描述的结构变化相结合,以使激光特性最佳。
25

图 3 示出本发明的第三实施例。在这里明确地强调,将附加高反射性金属层(30c)整体涂敷到介质镜面(30)上可以产生高反射率,在本实施例中反射率不取决于集成散热片和接触层(25)的特性。

图 4 示出本发明的第四实施例。在本实施例中,通过侧向加入一重 n 型掺杂中间接触层(70),可减小对于 p 侧接触层(25)的接触电阻。例如,层
30

(24)可以由高导热性的n型掺杂InP构成而中间接触层(70)可以由产生非常低的接触电阻的重n型掺杂InGaAs构成。

因为按照图4的n型掺杂中间接触层可能是热的不良导体,例如InGaAs的情况,所以图5示出本发明的第五实施例,其中通过在介质镜面(30)与中间接触层(70)之间提供一中间空间,通过该中间空间可以排出热量的事实,不仅可以由中间接触层(70)实现低阻抗接触,也可通过窗口(71)实现良好的散热。因此该区(71)的侧向宽度优选大于层(24)的厚度。

图6示出用于制造按照第一实施例的扩散势垒的三个工艺步骤。

在第一步骤(a),在第一区涂敷扩散势垒601,而第二区602被掩模屏蔽。扩散势垒例如可以由铂(Pt)构成。为了能够更好地与下面的n型掺杂半导体层粘附,可在铂层下面涂敷钛层。最后可以在铂层上涂敷金层。在这种形式中,因此扩散势垒由Ti/Pt/Au层构成。

在第二步骤(b)中,在第二区602中涂敷介质镜面603。在点605、606处可以允许与扩散势垒601的一定搭接。这种搭接的优点是可以在介质镜面与扩散势垒之间保证一紧密密封,以便可靠地排除从接触层到n型掺杂半导体层的扩散的任何可能性。

最后在第三步骤(c)中,将金层604涂敷到介质镜面603上。

图7示出用于制备按照第二实施例的扩散势垒的三个工艺步骤。与图6所示工艺步骤的主要不同在于,在第一工艺步骤(a)中,首先涂敷介质镜面,而在第二工艺步骤(b)中,然后涂敷扩散势垒702,其可以由上面提及的Ti/Pt/Au层的序列依次构成。然后,在第三工艺步骤(c)中,将金层703涂敷到介质镜面上。在按照图7的工艺顺序中,必需精确调整掩模,以便防止介质镜面和位于其下面的n型掺杂半导体层之间的扩散,与前述相同。

最后,在表1中列出按照本发明的半导体二极管的典型数据,其中在第一列中的数字表示附图中的参考标记。

表 1: 按照本发明的波长为 $1.55\ \mu\text{m}$ 的半导体二极管的典型数据。 λ_g 表示对应于带间距的波长。

数字	材料	掺杂 (cm^{-3})	厚度 (nm)	直径 (μm)	备注
10	Ti: 10nm Pt: 20nm Au: 500nm		ca. 530	内侧 55 外侧 240	
11	InGaAs(与 InP 晶格匹配)	$n=5\times 10^{19}$	100	内侧 50 外侧 250	
20	20a InGaAlAs(折射率约为 3.48)	$n=2\times 10^{18}$	111	250	重复
	20b InAlAs(折射率约为 3.2)	$n=2\times 10^{18}$	121	250	36 次
21	InAlAs	$n=5\times 10^{17}$	50	250	
22	InGaAlAs($\lambda_g=1.1\mu\text{m}$): 20nm InGaAlAs($\lambda_g=1.7\mu\text{m}$): 8nm InGaAlAs($\lambda_g=1.1\mu\text{m}$): 7nm InGaAlAs($\lambda_g=1.7\mu\text{m}$): 8nm InGaAlAs($\lambda_g=1.1\mu\text{m}$): 7nm InGaAlAs($\lambda_g=1.7\mu\text{m}$): 8nm InGaAlAs($\lambda_g=1.1\mu\text{m}$): 7nm InGaAlAs($\lambda_g=1.7\mu\text{m}$): 8nm InGaAlAs($\lambda_g=1.1\mu\text{m}$): 7nm InGaAlAs($\lambda_g=1.7\mu\text{m}$): 8nm InGaAlAs($\lambda_g=1.1\mu\text{m}$): 20nm	未掺杂	108	250	
23	InAlAs	$p=5\times 10^{17}$	50	250	
24	InP	$n=1.5\times 10^{18}$			
25	Ti: 10nm Pt: 20nm Au: 50 μm		ca. 50 μm	250	
30	30a MgF_2		280	12	2x
	30b Si		110	12	1x
40	InGaAlAs($\lambda_g=1.4\mu\text{m}$)	$p=10^{20}$	20	8	
41	InGaAs(与 InP 晶格匹配)	$n=10^{20}$	20	8	
50	小出射孔径		ca. 50 μm		
60	散热		ca. 250 μm		

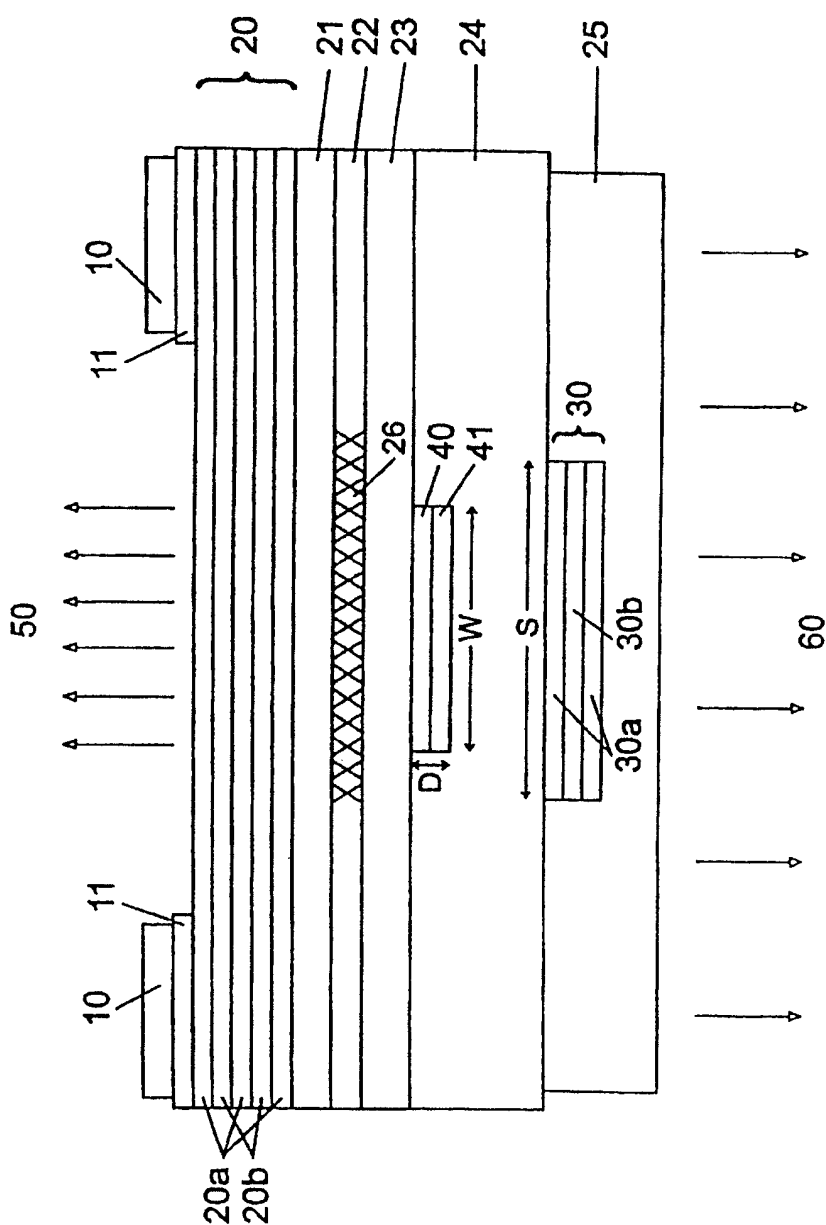


图 1

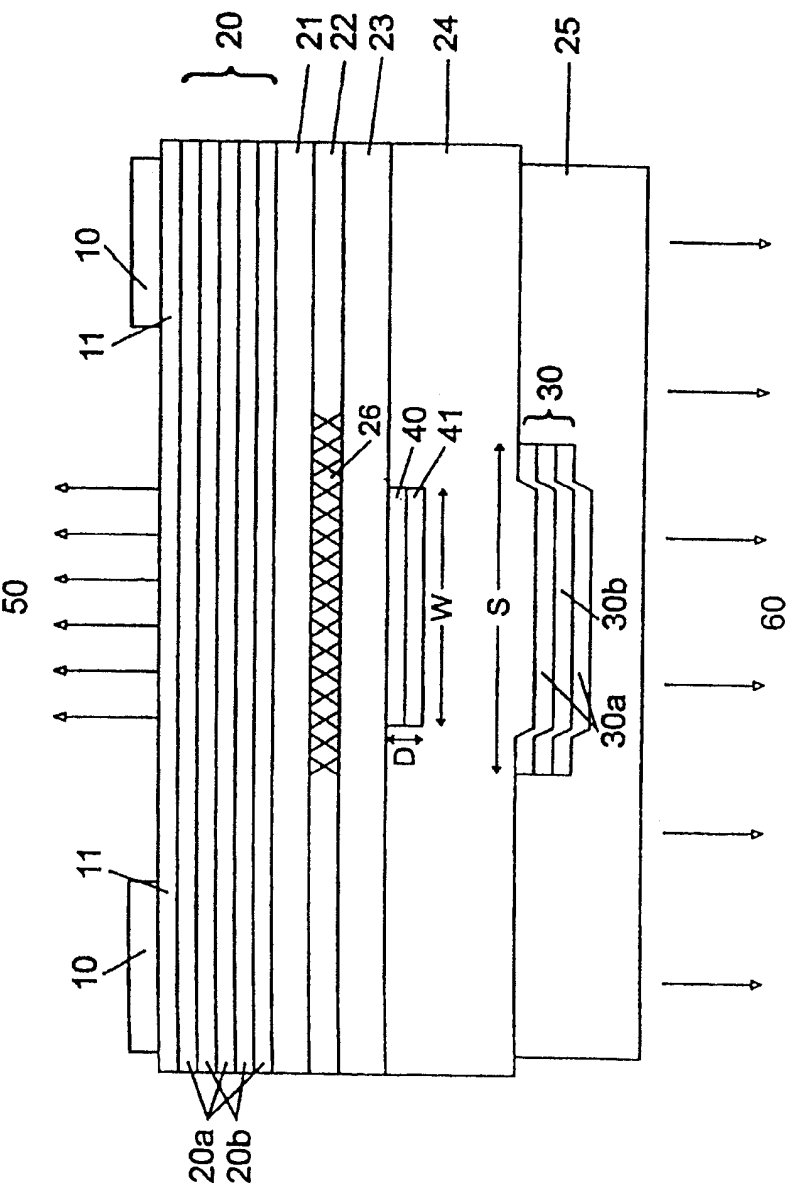


图 2

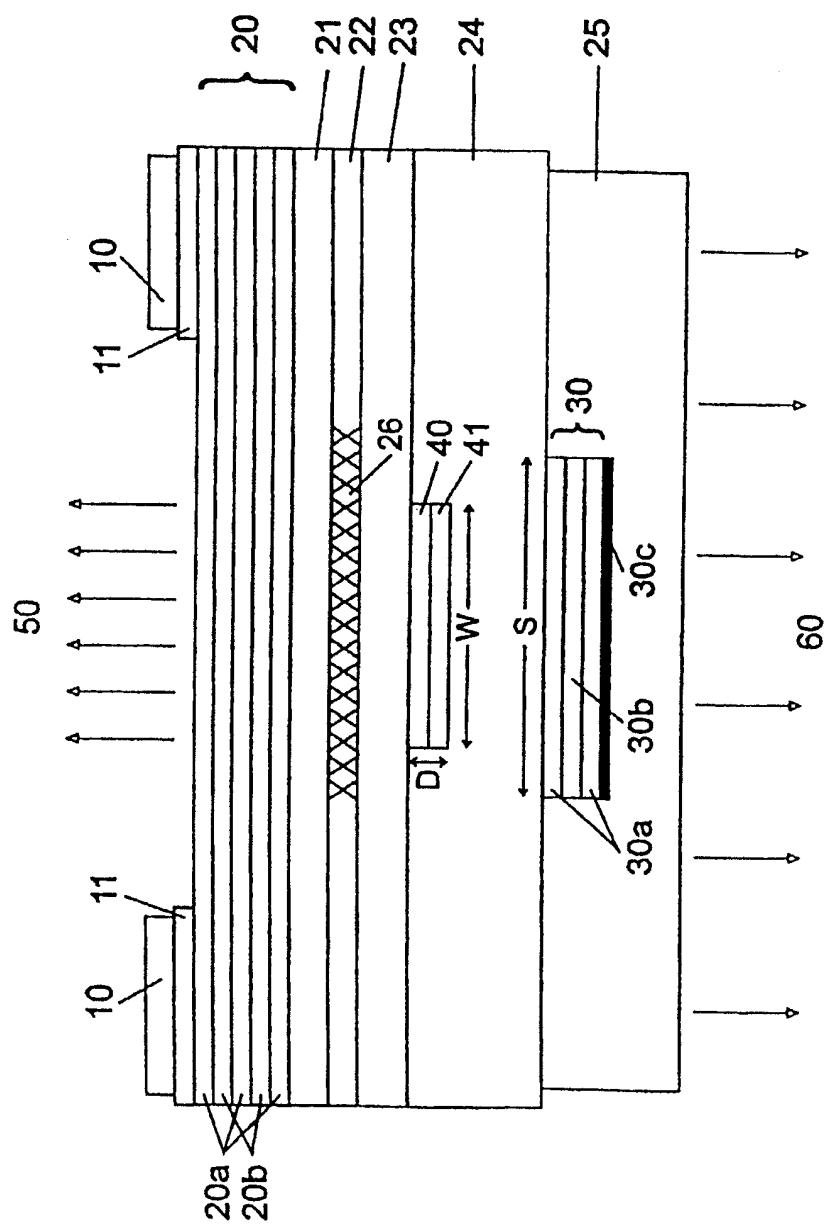


图 3

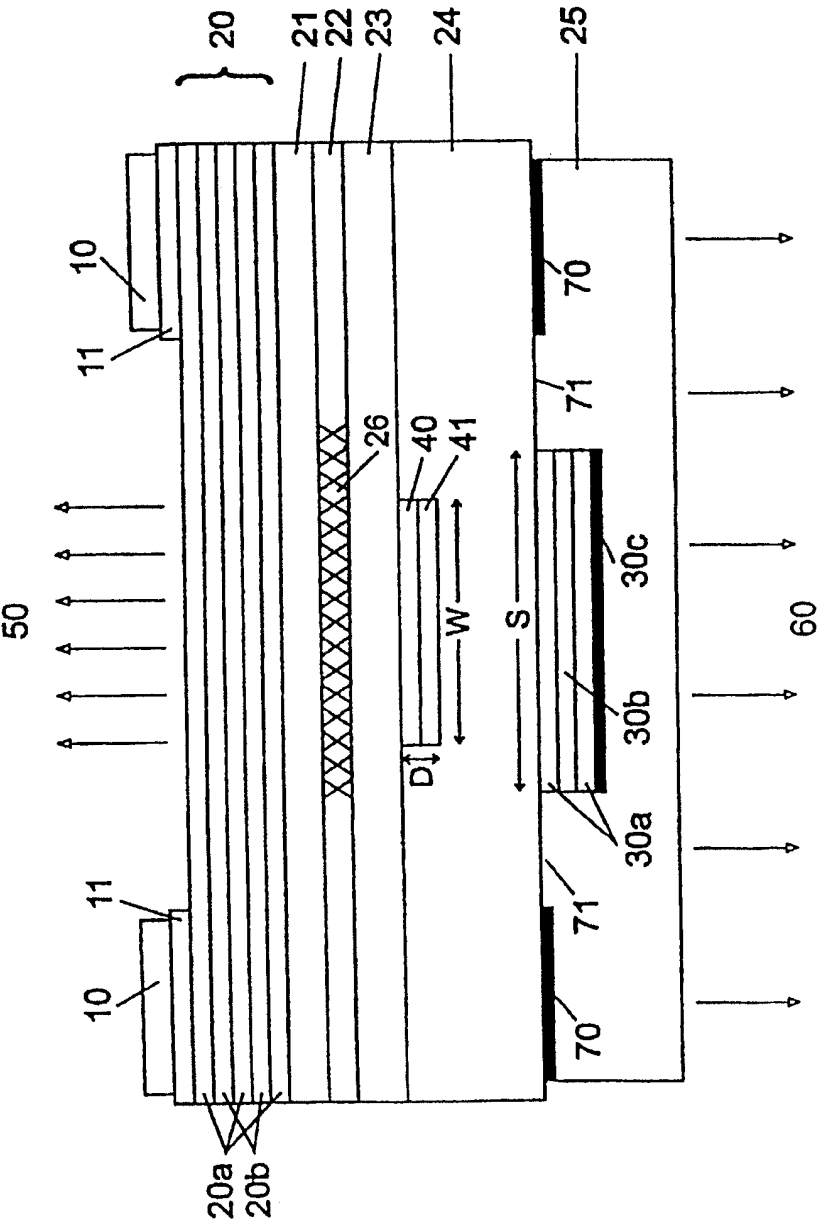


图 5

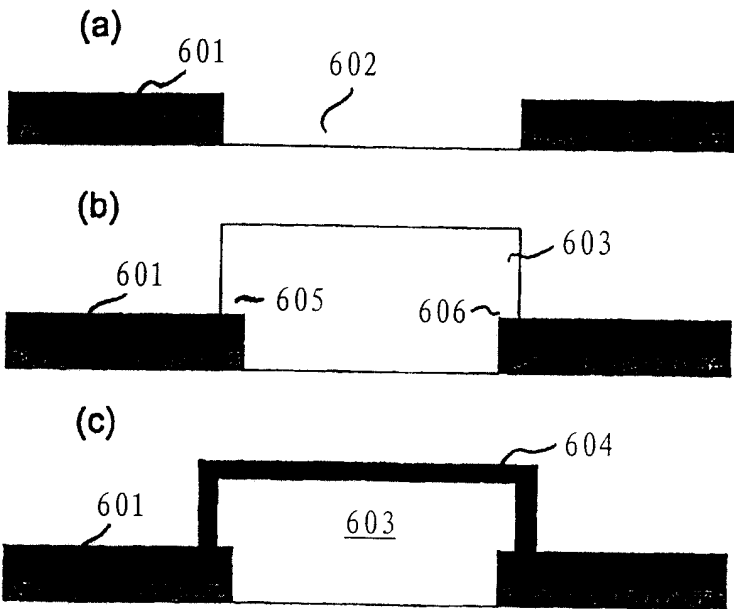


图 6

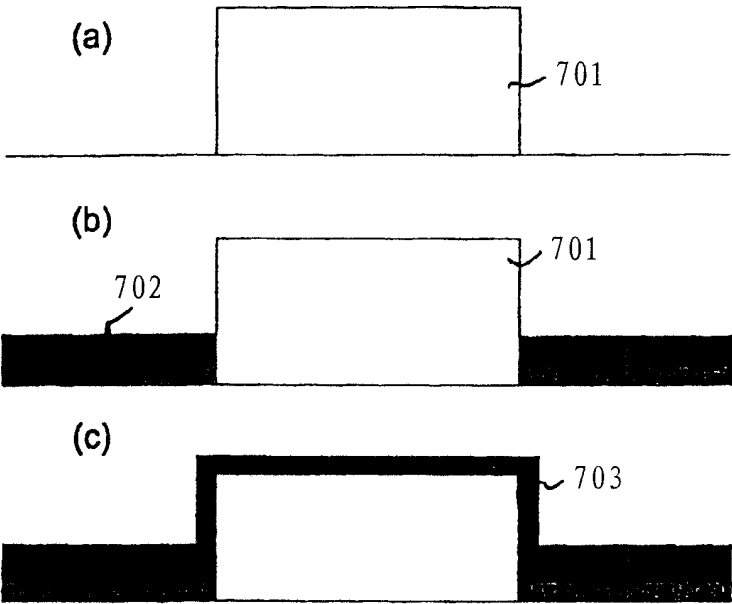


图 7