

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96197256.4

[45] 授权公告日 2002 年 9 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 1090398C

[22] 申请日 1996.9.26
[21] 申请号 96197256.4
[30] 优先权
[32] 1995.9.29 [33] EP [31] 95306917.6
[86] 国际申请 PCT/GB96/02375 1996.9.26
[87] 国际公布 WO97/13302 英 1997.4.10
[85] 进入国家阶段日期 1998.3.27
[73] 专利权人 英国电讯公司
地址 英国英格兰伦敦
[72] 发明人 M·J·阿达姆斯 M·A·菲谢尔
审查员 李 璐

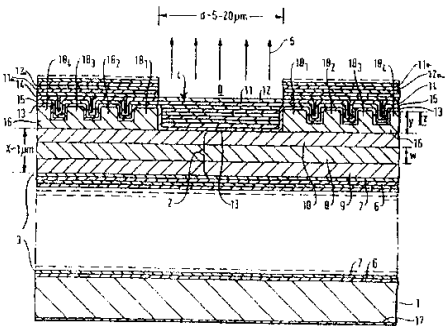
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 邹光新 张志醒

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图页数 3 页

[54] 发明名称 光学谐振结构

[57] 摘要

一种垂直腔面发射激光器,包括形成在半导体材料的分布布拉格反 射器(3)和介质材料的上布拉格反射器(4)之间的谐振腔。谐振腔 包括夹在间隔层(9,10)之 间一层激光器有源材料(8),以及在 布拉格反射器(4) 下面的金属接触层(13)和电接触(17)之间限 制供能电 流流过腔体的阻挡层(16、19)。为支持预定的谐振模 式,在阻挡层(16、19)中形成一组围绕谐振腔(2)的同心环(18) 以提供一种反射腔中的光的布拉格结构,其相 位特性支持预定的横向谐 振模。



权 利 要 求 书

1. 一种光学谐振结构，其第一和第二反射器（3、4）被隔开以在反射器之间提供具有较少厚度尺寸（ X ）、并在垂直于厚度方向的平面内以较大横向尺寸（ d ）延伸一个区域的光学谐振腔（2），其特征
5 在于用于反射光辐射从腔中平行于所述平面传输的分量的反射装置（18），其相位特性支持预定的腔内横向谐振模。
2. 根据权利要求 1 的结构，其中反射装置（18）包括围绕腔放置、用于对腔中的辐射产生布拉格反射的装置。
3. 根据权利要求 2 的结构，其中用于产生布拉格反射的装置包括
10 具有空间周期性光折射率特性的材料图案（13、14、15、16、19）。
4. 根据权利要求 2 或 3 的结构，包括一层激光器有源材料（8），它用于产生在第一和第二反射器之间以所述预定谐振模式反射的光辐射，以使激光器工作。
5. 根据权利要求 4 的结构，其中激光器有源材料层（8）放置在
15 第一和第二反射器之间。
6. 根据权利要求 5 的结构，包括在激光器有源材料层（8）和第一或第二反射器之间的间隔层（9、10）。
7. 根据权利要求 4 的结构，其中至少一个反射器包括多层构造（6、7；11、12）。
8. 根据权利要求 2 或 3 的结构，其中产生布拉格反射的装置包括
20 环形图案（ $18_1 - 18_6$ ）。
9. 根据权利要求 8 的结构，其中环形图案包括槽。
10. 根据权利要求 8 的结构，其中环形图案包括竖立的脊（18）。
11. 根据权利要求 8 的结构，其中环是圆的且同心。
12. 根据权利要求 8 的结构，其中环是基本平行的，并围绕腔椭圆
25 圆形地放置。
13. 根据权利要求 8 的结构，其中环具有不同的宽度。
14. 根据权利要求 8 的结构，其中填充在环之间的空间中的材料（13、14、15）折射率与环形成在其中的层（16、19）的材料折射率
30 不同。
15. 根据权利要求 8 的结构，其中环通过光刻和腐蚀形成。

16. 根据权利要求 8 的结构, 包括用于限制电流流到腔中的电流阻挡层 (16、19), 环形图案形成在阻挡层 (16、19) 中。

17. 根据权利要求 16 的结构, 其中阻挡层 (16) 被选择腐蚀以界定腔的边界。

5 18. 根据权利要求 16 的结构, 其中阻挡层 (19) 被选择性生长以界定腔的边界。

19. 根据权利要求 18 的结构, 其中阻挡层 (19) 由 InP 材料形成。

20. 根据权利要求 4 的结构, 其中第一反射器包括在半导体衬底上形成的多个具有不同折射率的半导体材料 (6、7) 交错层, 第二反射器包括多个具有不同折射率的介质材料 (11、12) 交错层, 腔包括夹在具有相反导电类型的半导体材料间隔层 (9、10) 之间的未掺杂半导体激光器有源材料 (8)。

21. 一种垂直腔面发射激光器 (VCSEL), 特征在于围绕其腔 (2)、用于支持预定横模 (HE_{11}) 的布拉格结构 (18)。

22. 一种光学谐振结构，包括提供光学谐振腔(2)的装置(3、4)、具有较小的厚度尺寸(w)且在垂直于厚度方向的平面内以较大横向尺寸(d)延伸一个区域的光学有源材料，其特征在于围绕有源材料(8)的装置(18)，用于反射光辐射在所述平面内传输的分量，其相位特性支持预定的腔内横向谐振模。

20 23. 根据权利要求 22 的结构, 包括衬底 (1), 上面形成有一层 (8) 所述光学有源材料, 且所述限定腔的装置包括形成在衬底上的第一反射器 (3), 它与在衬底外的第二反射器配合工作。

说明书

光学谐振结构

发明领域

- 5 本发明涉及光学谐振结构，尤其是在垂直腔面发射激光器（VCSEL）中的应用，但不限于此。

背景

- 在传统的法布里-珀罗半导体激光二极管中，谐振腔在半导体衬底平面内纵向延伸形成，反射结构位于相对的两端。相反，在 VCSEL 中，
10 谐振腔与衬底垂直，其优点是可以比水平结构更大的面积从表面垂直发光，这使得 VCSEL 很适合于将信号送入通讯光纤中。在 IEEE Photonics Technology Letters Vol.7, No.6, 1995 年 6 月，第 608 - 610 页，M.A.Fisher 等给出了 VCSEL 的一个例子。该器件包括半导体衬底，其上形成有包括周期性布拉格反射结构的第一和第二反射器，两个反射器
15 之间的谐振腔包括一层含有间隔层的激光器有源材料，用于提供足够的腔长以在所需的工作波长 λ 形成谐振。第一反射器可以包括覆盖在衬底上、折射率不同但有效厚度为 $\lambda/4$ 的多个不同半导体材料的交错层。第二反射器的布拉格结构覆盖在腔上，由折射率不同、有效厚度为 $\lambda/4$ 的多个介质材料层形成。

- 20 为使电流流过腔中的激光器有源材料，在衬底的背面形成金属接触，并在介质材料的第二反射器和谐振腔中各层之间形成导电接触层。电流由周边的反偏结限制在腔中。

- 谐振腔的厚度一般为 $1\mu\text{m}$ 量级，而在垂直于厚度方向的平面上，腔具有较大的横向尺寸；从上面看，腔一般为方形或圆形，其边长或直径
25 一般为 $5 - 20\mu\text{m}$ 量级。

普通 VCSEL 结构中的一个问题是在腔的谐振过程中，谐振横模在很大程度上不受控制且由于腔的直径较大，可能形成很多不同的横模，这将引起模式竞争和不稳定。

- 在 Appl.Phys.Lett.60(16)20, 1992 年 4 月 1921 - 23 页，T.Erdogan
30 等的文章“同心圆光栅、面发射、AlGaAs/GaAs 量子阱半导体激光器的圆对称工作”中，公开了在具有水平谐振腔而不是垂直谐振腔的普通

分布反馈 (DFB) 或分布布拉格反射 (DBR) 激光器中, 同心圆单元组成的表面光栅的使用。在该器件中, 对普通的横向延伸的谐振腔提供表面光栅, 通过二级布拉格反射从激光器产生表面发射。光栅的圆形图案导致发射圆对称的光束。

5 在美国专利 No.5,301,201 和 Appl.Phys.Lett.65(2)1994 年 7 月 11 日第 144 - 146 页 D. Uakhshoori 等的文章“区域激光器 (Zone Laser)”中描述了另一种器件, 其中激光器的腔被分成多个同心区域, 每个区域支持一个单独的谐振模。同心区域的输出以与从菲涅耳透镜发出的光类似的方式加起来, 从而将激光器的输出聚焦为一点。

10 在 Applied Physics Letters, Vol 66.No.21, 1995 年 5 月 22 日第 2769 - 2771 页, J.H.Ser 等描述了一种 VCSEL, 在其光发射面上覆盖有刻蚀在上 DBR 上的精细金属交错光栅。光栅的目的是产生极化稳定性, 例如选择 TM 模作为主要的极化模。

发明概述

15 本发明提供了另一种方案。根据本发明, 提供了一种光学谐振结构, 它包括间隔开的第一和第二反射器, 以提供光学谐振腔, 使之在反射器之间有较小的厚度尺寸并且在垂直于厚度方向的平面中以较大的横向尺寸延伸一个区域, 该光学谐振结构还包括装置用于反射光辐射在腔中平行于所述平面传输的分量。其相位特性支持预先选定的腔内横向谐振模。

20 反射器可以包括对腔的辐射产生布拉格反射的装置。布拉格反射可以通过具有空间周期性光折射率特性的材料图案产生。

根据本发明的结构可以用于激光器中, 例如 VCSEL, 因此用于产生光辐射的激光器有源材料层可放在第一和第二反射器之间。激光器有源材料层可被至少一个间隔层与反射器隔开。

25 本发明还包括一种光学谐振结构, 含有用于提供光学谐振腔的装置, 以及厚度较小并在垂直于厚度方向的平面内以较大的横向尺寸延伸一个区域的光学有源材料, 其中所述装置围绕有源材料放置, 用于反射光辐射在所述平面内传输的分量, 其相位特性支持预先选定的腔内横向谐振模。

30 产生布拉格反射的装置可以包括形成在该结构的至少一层中的环形图案。在以后的实施例中, 环形成在限制电流流过腔的阻挡层中。

环可以具有不同的宽度以最大限度地支持预定的谐振腔膜。环可以包括形成在层中的槽或在层上竖立的脊。

以前已提出了所谓的布拉格波导，其中普通波导层由具有高反射率的周期性多层结构替代，其高反射率是在多个层间界面的各部分反射之间的干涉的结果。包括反谐振的反射器波导或 ARROW 的布拉格波导于 1977 年提出并首次在 GaAs 平面结构中实现，见 P.Yeh, A.Yariu, C-S Hong, J. Opt. Soc. Am. 67, 423 (1977) 和 A.Y.Cho, A.Yariv, P.Yeh, Appl. Phys. Lett., 30, 471 (1977)。该思想被引伸到圆柱形结构，但它在普通圆柱波导中的优点在用于光纤时却不能实现，因为制造公差 5 不切实际，且入射光不足，见 N.J.Doran, K.J.Blow, IEEE J. Light. Tech. LT-1, 108 (1983)。然而根据本发明发现，围绕 VCSEL 的腔布置的周期性布拉格反射器能支持预选的激光器腔中的谐振模式，而不受前述在光纤中产生的缺点的影响。

附图简述

15 为更全面地理解本发明，通过例子参照附图将描述带有圆柱形布拉格波导的 VCSEL 的一个实施方案，附图中：

图 1 表示根据本发明第一实施方案的带有环绕其腔的圆形布拉格结构的 VCSEL 剖面示意图；

图 2 表示图 1 所示的腔的顶视图；

20 图 3 示出了光场幅度与沿图 2 所示腔的中心的径向距离的函数关系，以及布拉格结构在径向上的空间周期性折射率变化；和

图 4 是根据本发明的器件的第二实施方案与图 1 相对应的剖视图。

详细描述

图 1 所示的基本 VCSEL 结构总地类似于 Fisher 等描述的结构，包括 InP 材料的半导体衬底 1，在衬底上第一反射器 3 和第二反射器 4 之间形成有厚度为 X 的谐振腔 2。腔的尺寸使得激光器工作产生预定波长 λ 的光，例如 $1.55\mu\text{m}$ ，并且光从箭头 5 的方向发射。

第一反射器 3 是导电的，包括多个由带隙等效波长为 1.4 微米的 InGaAsP 6 和 $\lambda/4$ 有效厚度的 InP 7 组成的交错层，它们淀积在衬底上形成 45 个周期的堆栈，以提供 90 层 DBR 结构。层 6、7 一般用普通的气相源 MBE 技术淀积。

在谐振腔 2 中，在作为下间隔层的 n 型 InP 层 9 和 P 型 InP 材料形

成的上间隔层 10 之间，通过常压金属有机物汽相外延（MOVPE）在第一反射器 3 上快生长一层带隙等效波长为 $1.55\mu\text{m}$ 厚度对应于一个波长 $1.55\mu\text{m}$ （即 $0.45 - 0.47\mu\text{m}$ ）的未掺杂的 InGaAsP 激光器有源材料层 8。间隔层 9、10 的厚度选择使得腔在需要的工作波长 $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ 处产生谐振（即总腔长 X 约为 $1\mu\text{m}$ ）。

第二反射器 4 包括由 Al_2O_3 材料层 11 与 Si 材料层 12 交错组成的介质材料交错堆栈，这些层用常规蒸发技术形成。层 11、12 的有效波长厚度为 $\lambda/4$ ，并具有不同的折射率，从而以与第一反射器 3 类似的方式形成 DBR，尽管层 11、12 是不导电的。

为向激光器通电，电流从在介质反射器 4 下面、带隙等效波长为 $1.4\mu\text{m}$ 的 P 型 GaInAsP 接触层 13 流过谐振腔 2，层 13 连接到通过汽相淀积形成在 P^+GaInAs 材料的中间接触层 15 上的金属接触层 14 上，层 15 淀积在层 13 上。对层 13、14 提供有外部电连接（未画出）。n 型 InP 材料的电流阻挡层 16 淀积在上间隔层 10 上，并通过普通的光刻和腐蚀技术，象对 Fisher 等描述的结构那样形成直径 d 通常为 $5 - 20\mu\text{m}$ 量级的中心孔径 D，它限定了腔的有源区。因此可以看到 VCSEL 的腔在第一和第二反射器 3、4 之间具有较小的，垂直厚度 X，而在垂直于厚度方向的水平面内具有较大的横向尺寸 d。类似地，有源层 8 的厚度 w 与横向尺寸相比很小。尺寸 w 一般在 $0.45\sim 0.47\mu\text{m}$ 之间，尺寸 X 为 $1\mu\text{m}$ 左右。这与在衬底平面内纵向延伸的普通边发射激光器相反，后者典型长度在 300 至 $500\mu\text{m}$ 之间，或更大。可以看出，电接触层 13 与中心孔径 D 中的间隔层 10 形成直接的电接触，因此电流流过腔中在该区域的材料。电流可以流经形成第一反射器 3 的半导体材料和衬底 1，从而到达衬底背面的金接触层 17。然而，阻挡层 16 与 P 型间隔层 10 形成反向 P - n 结，从而限制电流流过中心孔径 D。因此，电流流过这一有源区中的层 8 产生在腔 2 中谐振的光辐射。可以理解，由于第一和第二反射器 3、4 多层结构的分布特性，在它们之间谐振的光的光程的平均长度大于图 1 所示的物理尺寸 X。

根据本发明，在阻挡层 16 的最上表面中形成一系列圆环 18。尽管在图 1 中为易于说明只画了四个环，如图 2 所示，6 个（ $18_1 - 18_6$ ）或更多个环可以是优选的。如图中所示，中心区域 D 具有圆形边界，环 18 与圆形中心区域同心。在图 1 的实施例中，从阻挡层 16 的总体平面

程度来看环形成成为竖立的脊。它是在淀积层 11 至 15 之前通过电子束光刻和选择腐蚀阻挡层 16，从而在制造过程中实现的。一开始，淀积具有连续厚度 y 的层 16，随后对层 16 选择腐蚀一定量 z 以形成脊 18。

在另一实施例(未画出)中，槽可腐蚀进阻挡层中。电接触层 13，14，15 随后淀积在层 16 上并填充环 18 之间的空间。n 型 InP 材料层 16 与形成电极层 13、14、15 的材料具有不同的光学折射率，因此环 18 对从腔 2 来的光形成反射布拉格结构，腔 2 中的光在沿箭头 5 的方向传输时具有在与光学有源层 8 所在平面平行的平面上的分量。环 18 和插进的材料层 13、14、15 形成空间周期性折射率图案，它将平行于上述平面传输的分量限制在圆形区 D 的中心。图 3 示出了选用的空间周期性图案，因此反射光的相位有利地支持对谐振腔 2 预定的谐振模式。一般，谐振模包括 HE_{11} 模，其光场幅度是从中心区域 D 的中心向外的径向距离的函数，如图 3 所示。光场幅度基本上在中心 O 具有高斯峰，向中心区域 D 的外边缘衰减。图 3 示出在中心区域 D 具有 $9.2\mu\text{m}$ 的直径 d ($r=4.6\mu\text{m}$) 时，由脊 $18_1 - 18_4$ 形成的空间周期性折射率图案和径向距离 r 的函数关系。

脊 18 的径向宽度可以随脊不同而变化，而且，脊之间的间距也可以不同。要选择具体的脊结构以支持谐振腔 2 的预定谐振模式。在一个例子中，最里面的脊 18_1 比其它脊宽。实际宽度可根据 Doran 等提出的原理计算。

在环 18 上形成 Al_2O_3 11a 和 Si 12a 的交替层。交替层 11a 和 12a 形成对产生在中心区域 D 之外的光场进行反射的 DBR。

如果没有脊 18， HE_{11} 模不得不与其它模式竞争，因而不容易稳定，但由环 18 形成的布拉格结构可以使预定的横模稳定。

图 4 示出该结构的另一种构造，可以看作是图 1 的器件结构的改进。相同的部件用相同的标号表示。在图 4 的实施方案中，阻挡层包括围绕腔选择性再生长的半绝缘 InP 层 19。

为形成这种结构，如参照图 1 所述的那样，在第一反射堆栈 3 上形成有源层和间隔层 8、9、10，然后通过常规的光刻和腐蚀技术从层 8、9、10 形成对应于前述发光区 D、直径为 d 的台面。然后在台面周围全部再生长一层半绝缘 InP 平面层 19。使用 PCl_3 的合适的再生长技术由描述于 M.J.Harlow, P.C.Spurdens 和 R.H.Moss 的文章：“ PCl_3

对常压 MOVPE InP 再生长的平面性和选择性的影响 (" The Influence of PCl_3 On The Planarisation and Selectivity of InP Re-growth by Atmospheric Pressure MOVPE ") 第七届国际砷磷及相关材料会议文集, 1995 年 5 月 9 - 13 日, 日本, Sapporo. 半绝缘 InP 层 19 中掺有铁以在层中提供电子陷阱, 但也可掺入其它合适的杂质. 再生长层 19 的优点是提供与间隔层 10 的上表面相连的平坦表面, 该平面可接受反射器结构 4 的各层, 因此在图 2 的结构中避免了图 1 所示反射器中围绕区域 D 的边缘的台阶. 还可参见 S.Lourduoss 等在 IPRM ' 94 会议文集集中的文章 " 通过氢化物汽相外延在高至 $14\mu\text{m}$ 的台面周围对 InP 非常快速和选择性的外延 " (Very Rapid and Selective Epitaxy of InP around Mesas of height upto $14\mu\text{m}$ by Hydride Vapour Phase Epitaxy).

然后以前述参照图 1 的方式在层 19 的顶部腐蚀出限制布拉格结构 18. 再在整个上表面上形成接触层 13、15, 而只在发光区 D 外面的表面上形成金属接触层 14. 如前所述, 第二反射器 4 然后形成在上表面上, 对层 14 制作合适的电连接 (未画出), 以提供外部连接, 这可通过例如局部腐蚀和金属化或其它常规技术完成.

上述结构可以有各种改进和变化. 例如脊 18 之间的空间不是必须填入材料, 可以空着. 另外, 脊之间的空间可以填入不同的材料, 例如聚合物材料. 脊 18 也可以形成在结构的其它层中, 例如在下面的间隔层 9、10 的任一层中.

而且, 本发明也不必限于激光器, 腔 2 也可用作无源腔, 不需要电接触, 例如用作全光学开关或双稳元件. 无源腔本身在微谐振器领域是众所周知的, 且应用于全光学开关、逻辑、双稳等, 例如 Appl.Phys.Lett., Vol 51, No2 ,pp94-96(1987), J.L. Jewel, A Scherer, S.L. McCall, A.C. Gossard & J.H.English 的文章 " GaAs - AlAs 单片微谐振器阵列 (GaAs-AlAs Monolithic Micro resonator Arrays) ". 本发明的横模限制结构从坚固性来看比较该文中描述的采用柱形结构要先进.

在另一种改型中, 环 18 和中心区域 D 是椭圆的以使发射的光具有预定的极化, 例如椭圆率为 10 - 30 %.

本发明也可用于一种 VCSEL, 其中反射层 11、12 由抗反射堆栈替代, 第二反射器包括在半导体衬底外部的反射镜, 参见 J.V.Sandusky,

A.Mukherjee 和 S.R.Bruek 的文章“连续波外腔面发射激光器”，高级器件与应用：半导体激光器会议，TuEll,(keystone, Colorado, 1995 年 8 月 21 - 23 日)- 美国光学学会，1995 年技术文摘系列，Vol,20,第 153 - 155 页.

说明书附图

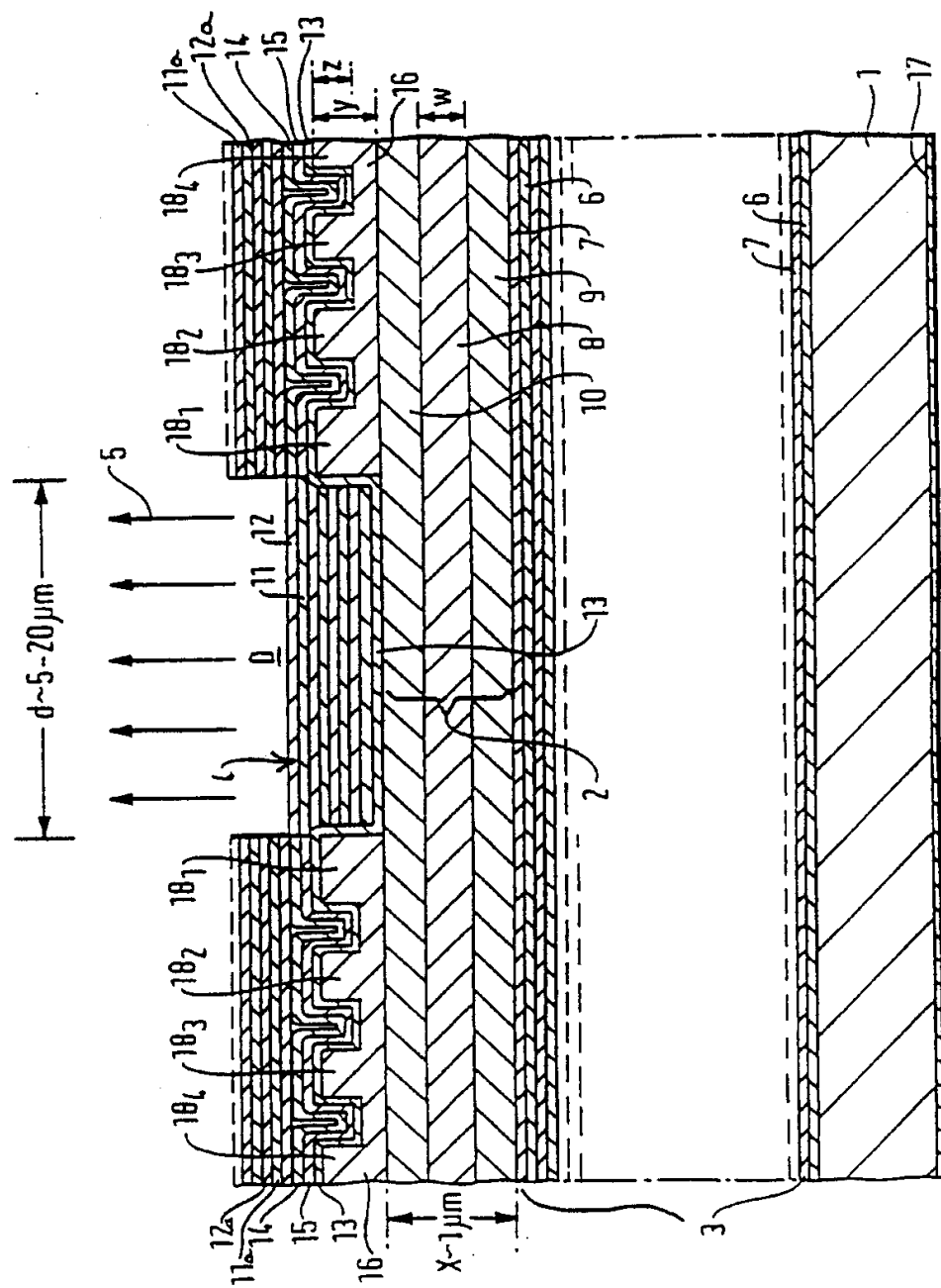


图 1

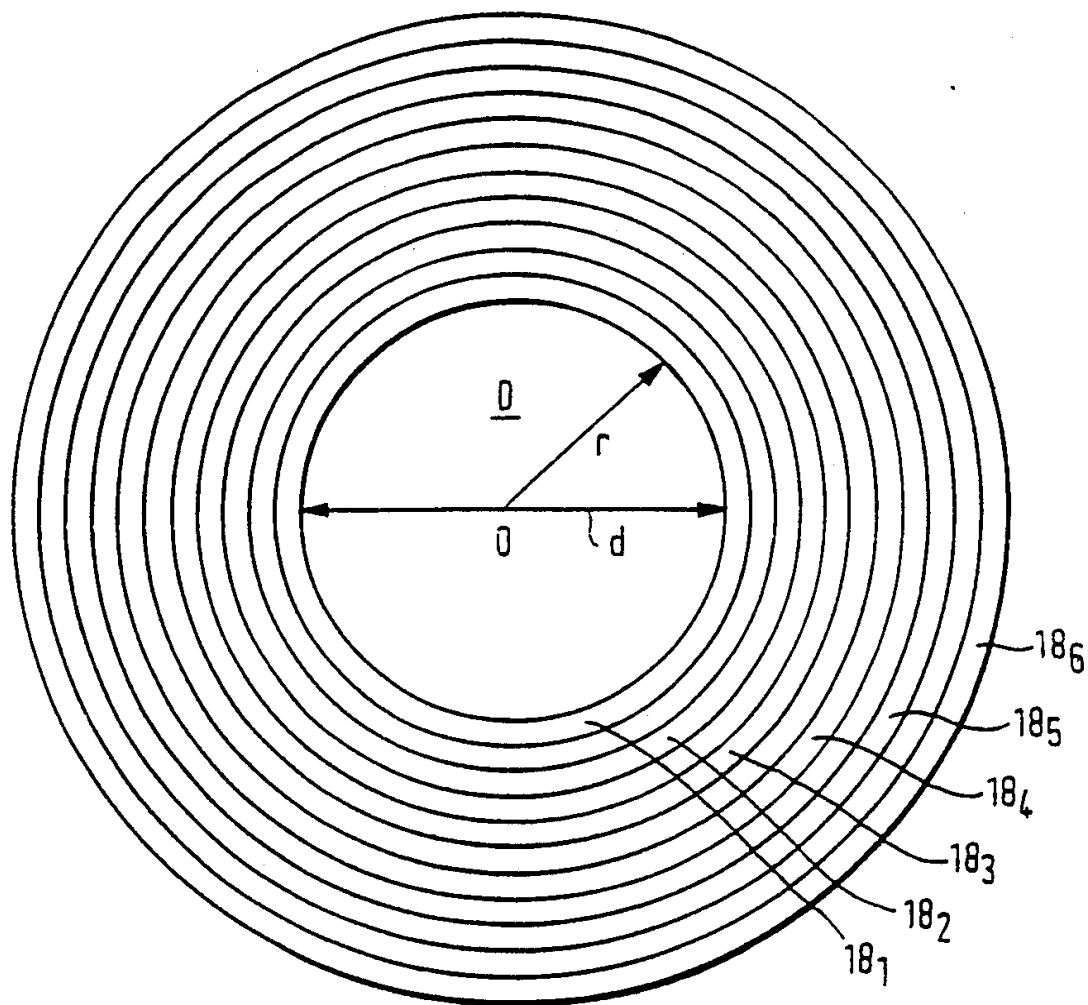


图 2

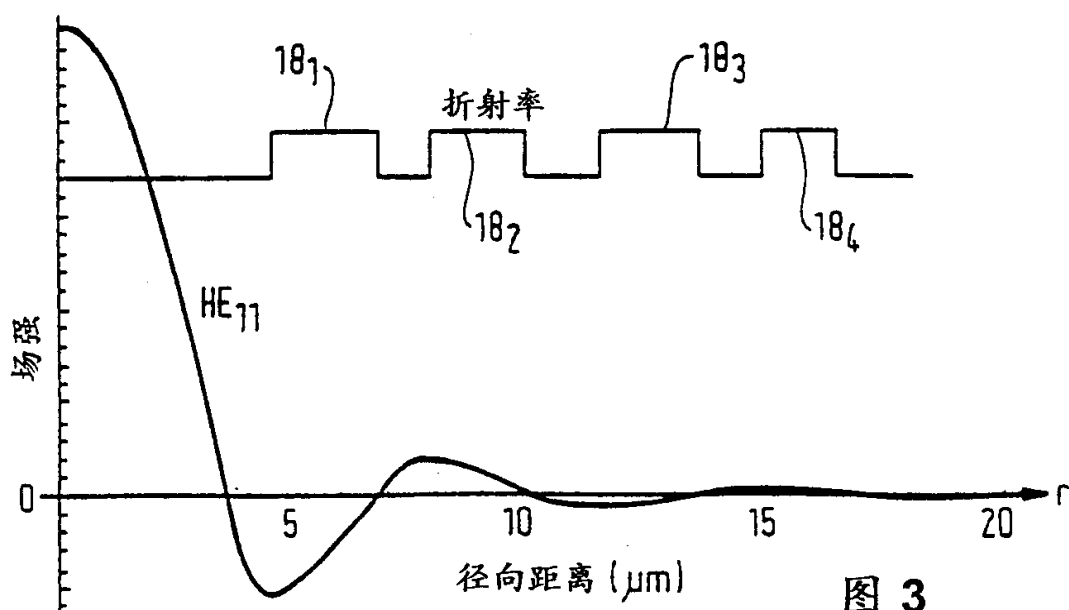


图 3

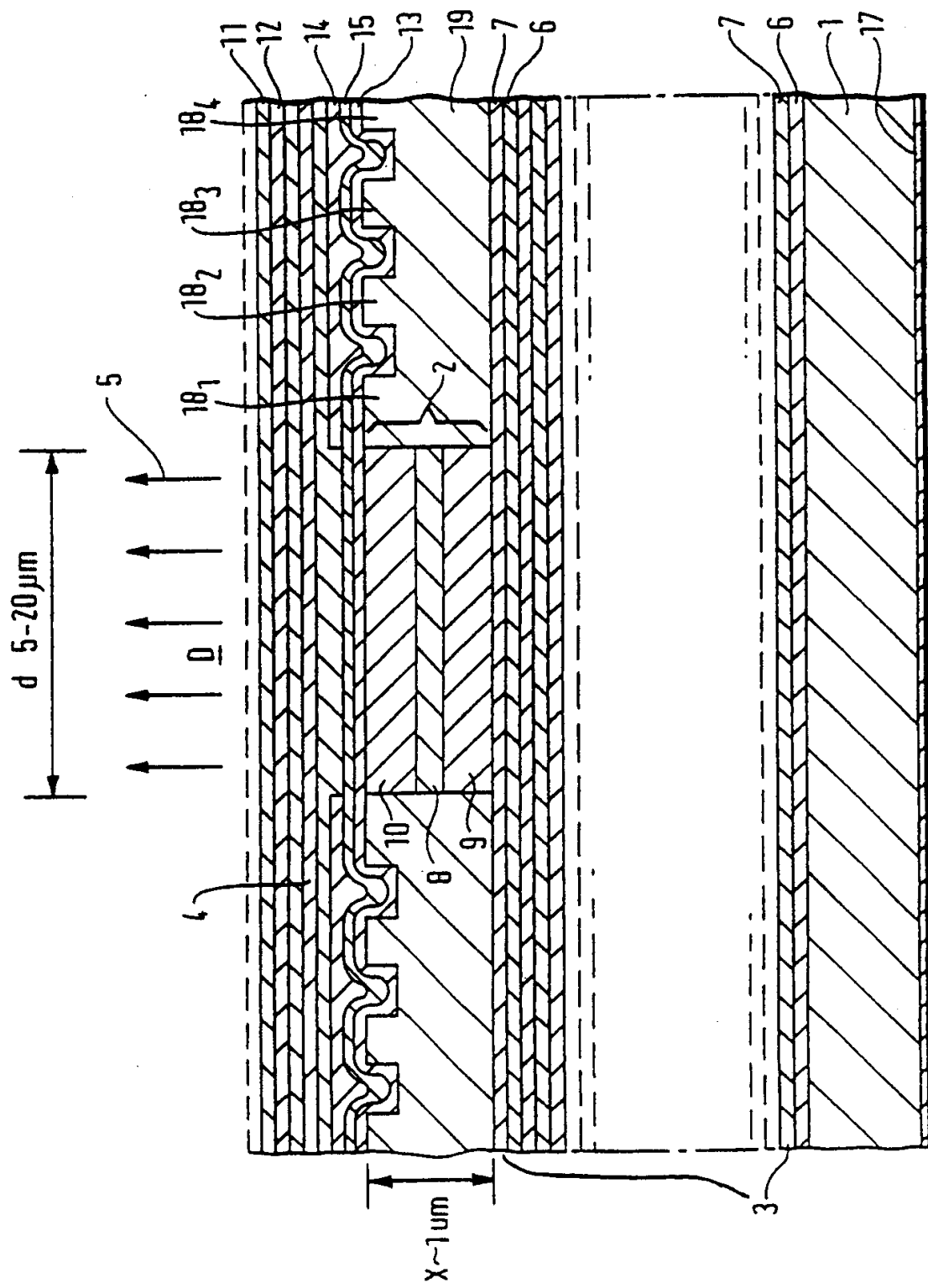


图 4