

[12]发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 97193298.0

[45]授权公告日 2002 年 11 月 27 日 [11]授权公告号 CN 1095231C

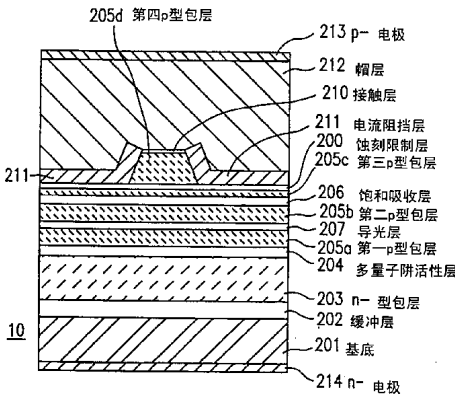
[22]申请日 1997.3.3 [21]申请号 97193298.0
[30]优先权
[32]1996.3.4 [33]JP [31]45761/1996
[86]国际申请 PCT/JP97/00643 1997.3.3
[87]国际公布 WO97/33351 日 1997.9.12
[85]进入国家阶段日期 1998.9.24
[73]专利权人 松下电器产业株式会社
地址 日本大阪
[72]发明人 足立秀人 木户口勲 熊渊康仁
[56]参考文献
US4926431 1990. 5.15 H01S3/19
US5416790A 1975. 5.16 H01S3/19
审查员 肖 霞

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 蹇 炜

权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 13 页

[54]发明名称 半导体激光器
[57]摘要

一种半导体激光器至少包含一个活性层和一个饱和吸收层,并且饱和吸收层中的压缩应变变量被设定得比活性层中的压缩应变值大 0.3% 左右或更多。或者,一种半导体激光器至少包含一个活性层、一个饱和吸收层和一个设置在饱和吸收层邻近的导光层;并且饱和吸收层中的压缩应变变量比活性层中的压缩应变值大 0.3% 左右或更多。



1、一种半导体激光器，它至少包括一个活性和一个杂质浓度至少为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 左右的饱和吸收层，

其中饱和吸收层中的压缩应变量比活性层中的压缩应变值大 0.3 %或更多并且压缩应变量设定得使对饱和吸收层的光限制系数为 3 %左右或更大。

2、根据权利要求 1 的半导体激光器，其中在活性层和饱和吸收层之间设置了一个其上下侧夹在两包层之间的导光层。

3、根据权利要求 2 的半导体激光器，其中的包层具有 p 型导电性，并且其厚度约为 900 埃或更厚。

4、一种半导体激光器，它至少包括一个活性层和一个杂质浓度至少 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 左右的饱和吸收层，

其中饱和吸收层中的压缩应变量被设定为一个比活性层中的压缩应变值大的值，使得对饱和吸收层的光限制系数为 3 %左右或更大。

5、根据权利要求 4 的半导体激光器，它还包括一个导光层，其中的三个层按活性层、饱和吸收层、和导光层的顺序设置。

6、根据权利要求 4 的半导体激光器，其中的活性层具有量子阱结构；并且饱和吸收层的压缩应变量比活性层中的压缩应变值大 0.3 %左右或更多。

7、根据权利要求 4 的半导体激光器，其中的饱和吸收层具有 p

型导电性，并被设置在一个 p 型包层中。

8、根据权利要求 7 的半导体激光器，它还包括一个设置在活性层和饱和吸收层之间的包层，其中该包层的能隙大于活性层和饱和吸收层各自的能隙。

9、根据权利要求 1 或 4 的半导体激光器，它包括一些电流阻挡层和一个设置在各电流阻挡层之间的区域中的导光层。

10、一种半导体激光器，它包括依次设置的一个活性层、一个饱和吸收层和一个导光层，

其中活性层和导光层之间的距离 d 被设定得使对饱和吸收层的光限制系数为 2%或更大，并且

其中饱和吸收层中的压缩应变变量比活性层中的压缩应变值大。

11、一种半导体激光器，它至少包括一个活性层和一个厚度为 150 埃左右或更小的饱和吸收层，

其中饱和吸收层中的压缩应变变量比活性层中的压缩应变值大并且压缩应变变量设定得使对饱和吸收层的光限制系数为 3%左右或更大。

12、根据权利要求 11 的半导体激光器，其中饱和吸收层的杂质浓度至少为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 左右。

13、根据权利要求 11 的半导体激光器，其中活性层具有量子阱结构。

14、根据权利要求 11 的半导体激光器，其中饱和吸收层的压缩应变变量比活性层中的压缩应变值大 0.3%左右或更多。

半导体激光器

本发明涉及一种在光盘系统之类的系统内的光学读出头中用作光源的低噪声自脉动型半导体激光器。

近来，在例如光通信、激光打印机和光盘领域中，对半导体激光器的需求正日益增长，主要对 GaAs(砷化镓)型和 InP (磷化铟)型半导体激光器开展了活跃的研究和开发。在光学信息处理领域中，特别是一种利用波长约为 780nm 的 AlGaAs(铝镓砷)型半导体激光器进行信息记录和再生的方法已经实用化，对于光盘等系统，这种方法也已被广泛使用。然而，由于近年来在这些光盘设备中出现了更大的存储容量要求，从而也增大了实现短波长激光器的要求。

在这一方面，AlGaInP(铝镓铟磷)型半导体激光器能够在从约 630nm 到约 690nm 的红光范围内振荡。目前，在实用化水平上，各种半导体激光器中 AlGaInP 型半导体激光器能实现的光波长是最短的。因此，可以预料 AlGaInP 型半导体激光器将取代通常的 AlGaAs 型半导体激光器，成为记录巨量光学信息的下一代光源。

当利用一个半导体激光器作为光源对光盘再生时，由于光盘表面反射光的返回和温度的变化将造成强度噪声。这种强度噪声会导致信号的读出误差。因此，作为光盘的光源，半导体激光器具有较小的强度噪声十分重要的。

通常，在用作只读式光盘光源的低输出功率 AlGaAs 型半导体激光器中，低噪声是通过采用下述结构来达到的：该结构是在一个脊条的两侧故意形成饱和吸收材料，以降低噪声。利用这种结构可得到多纵模。对于扰动来自返回光、温度变化等的情况，如果半导体激光器工作于单纵模，则增益峰的微小变化就可能使一个邻近的纵模开始振荡。这样开始振荡的这个模将与原来的振荡模竞争，从而产生噪声。另一方面，如果用上述方法实现了多纵模，则各个模的强度变化将被平均化，于是就不会出现因扰动而产生的强度变化。因此有可能得到稳定、低噪声的特性。

此外，作为另一种方法，日本专利申请公开 63-202083 号描述了一种实现更稳定的自脉动特性的试图。具体地说，自脉动型半导体激光器是通过提供一个能吸收输出光的薄层来实现的。

另外，日本专利申请公开 6-260716 号报导了，这种半导体激光器的工作特性可通过使活性层的能带间隙（能隙）基本上与吸收层的能隙相平衡而得到改进。上述文献特别公开了一种结构，在该结构中把应变量子阱活性层的能隙与应变量子阱饱和吸收层的能隙设置得基本上互相相等。试图利用这一结构来得到令人满意的自脉动特性。

还有，在日本专利申请公开 7-22695 号中说明了与日本专利申请公开 6-260716 号相同的结构。

本发明的一种半导体激光器至少含有一个活性层和一个饱和吸收层，并且饱和吸收层中的压缩应变量比活性层中的压缩应变值大

0.3%左右或更多。

饱和吸收层可以有 p 型导电性。

在一个例子中，还含有一个设置在活性层和饱和吸收层之间的包层，并且该包层的能隙大于活性层和饱和吸收层各自的能隙。包层的厚度例如约为 900 埃或更厚。

饱和吸收层的杂质浓度可以最小为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 左右。

根据本发明的另一个方面，一种半导体激光器至少含有一个活性层、一个饱和吸收层、以及一个位在饱和吸收层邻近的导光层，并且饱和吸收层中的压缩应变量比活性层中压缩应变值大 0.3%左右或更多。

在一个例子中，活性层、饱和吸收层和导光层按此顺序设置。

或者也可以按活性层、导光层和饱和吸收层的顺序设置。在此情形下，前面所述的“包层的厚度约为 900 埃或更厚”包括了设置在活性层和饱和吸收层之间的导光层厚度。因此，在严格的意义上这意味着，“包层厚度与导光层厚度之和为 900 埃或更厚”。

活性层可以具有应变量子阱结构；同时饱和吸收层也可以是应变量子阱层，并且其压缩应变量比活性层中的压缩应变值大 0.3%左右或更多。

饱和吸收层可以具有 p 型导电性，并且可以设置在一个 p 型包层内。

在一个例子中，还含有一个设置在活性层和饱和吸收层之间的包层，并且该包层的能隙大于活性层和饱和吸收层各自的能隙。

包层的厚度可以约为 900 埃或更厚。

饱和吸收层的杂质浓度例如可以至少为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 左右。

因此，本发明的目的是，通过适当地设置含在半导体激光器内的一个饱和吸收层的应变变量，或者通过适当地提供一个能确定光限制率的导光层，提供一种特别在工作于高温时能具有稳定的自脉动特性的半导体激光器。

图 1 是说明是否存在导入到 InGaP 层中的压缩应变将如何影响半导体激光器特性的图。

图 2 是说明根据本发明例 1 的半导体激光器的结构的横截面图。

图 3 是说明根据本发明例 1 的半导体激光器的活性层内及其附近的 Al(铝)组分的变化图。

图 4 是说明根据本发明例 1 中的半导体激光器的电流/光输出特性的图。

图 5 是说明根据本发明例 1 的半导体激光器中光输出是如何随时间改变的图。

图 6A 和 6B 是说明是否存在导入到饱和吸收层中的压缩应变将如何影响半导体激光器相对强度噪声特性的图。

图 7 是说明导入到根据本发明例 1 的半导体激光器的饱和吸收层中的应变量的最佳范围的图。

图 8 是说明根据本发明例 2 的一种半导体激光器的结构的横截面图。

图 9 是说明根据本发明例 2 的半导体激光器的活性层内及其附

近的 Al 组份的变化的图。

图 10 是说明在活性层与光限制层之间的距离和活性层与饱和吸收层中的光限制系数之间的关系的图。

图 11A、11B 和 11C 是说明是否存在导入到饱和吸收层中的压缩应变以及导光层布局的优化将如何影响半导体激光器的相对强度噪声特性的图。

图 12 是说明本发明例 2 的半导体激光器的寿命与工作电流之间的关系的图。

图 13 是说明 GaAs 和 InGaP 的增益特性的图。

在具体说明本发明的各个例子之前，下面先说明本申请的发明人在提出本发明过程中得到的一些研究结果。

如前所述，在以往技术中，已经出现了各种关于在半导体激光器中利用自脉动现象的报导。然而，根据本申请发明人的研究发现，由于 AlGaInP 材料的增益特性曲线与 AlGaAs 型半导体激光器材料的增益特性曲线有很大的不同，所以要在 AlGaInP 半导体激光器中得到自脉动特性是困难的。这里将参考图 13 对此进行说明。

图 13 是说明 GaAs 和 InGaP 的增益特性的图，这两种材料(GaAs 和 InGaP)主要分别被用作 AlGaAs 型和 AlGaInP 型半导体激光器活性层的构成材料。

根据本申请发明人的研究发现，增益特性曲线相对于载流子浓度的斜率愈大，则愈容易得到自脉动特性。这一事实的原因于，为了得到自脉动特性需要饱和吸收层中有强的载流子振荡。增益特性

曲线相对于载流子浓度的较大的斜率使得有可能以较小的光吸收来改变载流子浓度。从而更可能出现载流子振荡。

然而对于 InGaP 情形，已发现由于 InGaP 对应的斜率小于 GaAs 对应的斜率，所以比较难以得到自脉动特性。这一发现的依据事实是只有高的 InGaP 微分增益才能导致强的载流子振荡。另一方面，例如在 AlGaAs 型激光二极管 (LD) 中，有可能容易地得到稳定的自脉动特性。

根据本申请发明人的研究结果发现，对于红光半导体激光器，仅仅像以往技术那样简单地通过增添一个饱和吸收层来得到稳定自脉动特性是困难的。特别地，如上所述，对于 AlGaInP 半导体激光器来说控制饱和吸收层的增益特性将变得十分关键。

于是，本申请发明人通过着重研究饱和吸收层中的应变变量来实现高温工作时的自脉动特性改进。此外，最近还发现，若在具有这种令人满意的增益特性的激光器中，加大限制光进入到饱和吸收层内的光限制系数将对实现这一特性的进一步改进有重大作用。

具体地说，根据本申请发明人的研究发现，为了优化饱和吸收层的增益特性，可以给饱和吸收层施加比施加给活性层的压缩应变大 0.3% 左右或更多的压缩应变变量。已经发现，在这种设定下即使在高温下工作也能充分地保持自脉动。其原因如下。通过导入适当大小的压缩应变，随着饱和吸收层内载流子浓度的改变增益将快速地改变。其结果是，饱和吸收层内载流子的振荡成份的增大和减小将变强，从而增强了活性层和饱和吸收层中光子与载流子之间的相互

作用。

如果导入的压缩应变变量小于上述设定，则要在像 AlGaInP 型材料这样的本质上具有低增益特性的材料中得到足够的自脉动特性将变得困难。另一方面，如果导入的压缩应变变量太大，则晶体质量将下降，给可靠性带来负面影响。不论施加给活性层的应变变量有多大，压缩应变变量的上限都约为 2.0%。如果施加的压缩应变变量大于约 2.0%，则将出现一些明显的问题，例如出现饱和吸收层中的位错。

下面将进一步说明关于根据本发明施加给饱和吸收层的应变变量的问题。

根据本发明，给饱和吸收层施加应变将使得该层压向活性层。例如，当已经对活性层施加了压缩应变时，对饱和吸收层施加的压缩应变变量将比活性层的大 0.3%左右或更多。

另一方面，当已经对活性层施加了伸张应变时，则有可能通过对饱和吸收层施加压缩应变或伸张应变来满足上述条件。换言之，对于活性层已被施加伸张应变的情形，只要给饱和吸收层所施加的伸长应变变量小于活性层的伸长应变变量，也就是对饱和吸收层施加了压缩应变。因此，只要把施加给饱和吸收层和活性层的应变变量的差值设定为一个适当的值，通过施加伸张应变也可以满足上述条件。

对于活性层具有应变量子阱结构的情形，则必须对饱和吸收层施加比应变量子阱结构的应变量大 0.3%左右或更多的应变变量。其目的是在饱和吸收层中产生足够的光吸收效应。

所以，当活性层中的压缩应变变量为 0%时，要施加给饱和吸收

层的压缩应变量至少应为 0.3%左右。或者，如果活性层中的压缩应变量为 0.5%左右，出要施加给饱和吸收层的压缩应变量至少应为 0.8%左右。

此外，根据本发明，光限制率（光限制系数）通过提供一个光限制层来确定。

自脉动特性受到活性层和饱和吸收层中的光限制状态很大的影响。特别地，如果饱和吸收层内的光限制不足够地大，则将不可能得到稳定的自脉动特性。然而在另一方面，如果饱和吸收层中的光限制程度增加得过大时，则活性层中的光限制程度将被过分地减小。结果将增大驱动电流，由此又不利地影响可靠性。

根据本发明的半导体激光器，为了进一步改进高温工作时的自脉动特性，饱和吸收层中的光限制程度通过引入一个导光层来增大。根据本申请发明人现在的研究发现，通过在活性层和应变饱和吸收层之间设置一个导光层确实改进了自脉动特性。具体地说，已经发现，通过按照活性层、饱和吸收层、导光层这一顺序进行布局，则可以进一步增大饱和吸收层中的光限制程度而不会减小活性层中的光限制程度。

如果把导光层设置在活性层与饱和吸收层之间，则由于导光层有低的 Al 组份和小的能隙，有可能使载流子活性层溢出到导光层中。不过如上所述，根据本发明把导光层设置在此饱和吸收层更远离活性层的位置处，则这种载流子溢出和伴随而来的不良影响可以减小。其结果是，即使工作在约 60℃或更高的高温下也仍可能实现

稳定的自脉动特性。

图 1 分别示出在没有应变的 InGaP 中和带有应变的 InGaP 中的增益特性（即增益系数随载流子浓度的变化关系）。从这个图可以看到增益特性曲线的斜率（即微分增益）随应变的施加而变大。这种微分增益的增大导致了载流子浓度的强烈振荡，结果增强了自脉动现象。

在通常的自脉动型半导体激光器中，根本没有去考虑在饱和吸收层中导入这样的应变变量。例如在本申请说明书中引用了几种公开普通自脉动型半导体激光器的典型结构的文献。不过在这些文献中都没有关于前述的导入应变变量方面的叙述。

此外，根据以往技术，认为只要简单地在设置于半导体激光器活性层两侧的包层导入能隙大小基本上等于活性层能隙的饱和吸收层，就能够产生自脉动。然而，根据本申请发明人的研究已经发现，简单地提供这样一种饱和吸收层实际上是难以实现自脉动型激光器的。具体地说，如前所述，根据本申请发明人的实验，已经发现仅仅使饱和吸收层的能隙基本上等于活性层的能隙，要产生自脉动现象是极端困难的。

因此，考虑到上述情况，本申请发明人根据实验提出了自脉动型半导体激光器的最佳结构。

下面将参考附图说明根据上述研究结果所得到的各种本发明例子中的一些例子。

(例 1)

图 2 是说明根据本发明例 1 的具有自脉动特性的半导体激光器 10 的结构横截面图。

在半导体激光器 10 中,依次在一个 n 型 GaAs 基底 201 上形成了一个 n 型 InGaP 缓冲层 202、一个 n 型 AlGaInP 包层 203、一个由 InGaP 势阱层和 AlGaInP 势垒层所构成的多量子阱活性层 204、一个由 p 型 AlGaInP 做成的第一 p 型包层 205a、一个 p 型 AlGaInP 导光层 207、一个由 p 型 AlGaInP 做成的第二 p 型包层 205b、一个 p 型 InGaP 应变量子阱饱和吸收层 206、一个由 p 型 AlGaInP 做成的第三 p 型包层 205c、以及一个 p 型 InGaP 蚀刻限制层 200。在 p 型 InGaP 蚀刻限制层 200 上以一个凸脊的形状形成有一个用 p 型 AlGaInP 做成的第四 p 型包层 205d 和一个 p 型 InGaP 接触层 210d。在凸脊的两侧形成有 n 型 GaAs 电流阻挡层 211。此外,在 p 型接触层 210 和 n 型电流阻挡层 211 上还形成有一个 p 型 GaAs 帽层 212。在帽层 212 上形成了一个 P-电极 213,而在基底 201 的下表面上形成了一个 n-电极 214。

上述各层中所施加的典型掺杂量、厚度和应变量如下表所示。

表 1

名称	代号	掺杂量	层厚度	应变变量
帽层	212	5×10^{18} (cm^{-3})	$3 \mu\text{m}$	无
第三 p 型包层	205c	1×10^{18} (cm^{-3})	$0.9 \mu\text{m}$	无
蚀刻限制层	200	5×10^{17} (cm^{-3})	100 埃	无
第二 p 型包层	205b	5×10^{17} (cm^{-3})	1350 埃	无
应变量子阱饱和吸收层	206	2×10^{18} (cm^{-3})	150 埃	0.8%
第一 p 型包层	205a	5×10^{17} (cm^{-3})	900 埃	无
活性层	204	未掺杂	500 埃	0.5%
n 型包层	203	5×10^{17} (cm^{-3})	$1.0 \mu\text{m}$	无
缓冲层	202	5×10^{18} (cm^{-3})	$0.3 \mu\text{m}$	无

图 3 示出半导体激光器 10 的活性层 204 内及其附近的 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 材料中 Al 组份 x 的变化情况。如图所示, 在半导体激光器 10 的 n 型包层 203 和第一至第四 p 型包层 205a—205d 中, Al 组份 x 被设定为 0.7。

上述表 1 还示出, 半导体激光器 10 的饱和吸收层 206 的厚度被设定为 150 埃左右。如果饱和吸收层 206 的厚度太大, 则其体积将变得太大。结果是其中的载流子浓度将变得比较小。因此载流子浓度的振荡效应变小, 从而难以得到自脉动特性。所以饱和吸收层 206 最好有较小的厚度。

此外，半导体激光器 10 的饱和吸收层 206 中的杂质浓度（掺杂量）被设定为 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 左右。这是为了减小饱和吸收层 206 内的载流子寿命。

具体地说，饱和吸收层 206 内的载流子寿命愈短，则在产生自脉动现象所需的时间内饱和吸收层 206 的载流子密度变化将变得愈大。结果更可能发生自脉动现象。根据本申请发明人的实验，为了产生自脉动现象饱和吸收层 206 中的载流子寿命最好约为 6ns 或更短。一般，较低的杂质浓度将导致较长的载流子寿命；较高的杂质浓度将导致较短的载流子寿命。把饱和吸收层 206 的杂质浓度（掺杂程度）增加到约 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的程度，可以减小其中的载流子寿命。

按照半导体激光器 10，第一 p 型包层 205a 的厚度被设定为 900 埃左右。此外，第一 p 型包层 205a 的能隙被设定得大于活性层 204 和饱和吸收层 206 各自的能隙，以防止少数载流子从活性层 204 溢出到饱和吸收层 206 中。还有，饱和吸收层 206 中的应变变量被设定为 0.8% 左右。

对半导体激光器 10 作出了上述各种设定后，只要对饱和吸收层 206 的光限制系数约为 3% 或更大，就可以得到自脉动特性。

图 4 示出本例的自脉动型半导体激光器 10 中的电流/光输出特性的一个典型测量结果。从图可以看出这时的阈值电流约为 50mA。从图 4 还可以看出，自脉动型半导体激光器与一般半导体激光器在电流/光输出特性上的差别是，前者的特性曲线在阈值电流附近有快速的上升。其原因是，由于在自脉动型半导体激光器中存在有饱和

吸收层，所以直到达到一定程度的载流子注入之前不会有光输出到外部。当载流子注入量超过了某个值时，将发生激光振荡，从而与注入电流成正比地增大光输出。

图 5 示出本例的自脉动型半导体激光器 10 中的光输出波形的一个典型测量结果。可以看到，光输出随着时间有很大的振荡，由此形成了自脉动。

此外，图 6A 和 6B 分别对未给饱和吸收层导入应变（无应变：图 6A）和已给饱和吸收层导入了应变（有应变：图 6B）两种情况示出了相对强度噪声特性（相对强度噪声大小随温度的改变）。一般，自脉动特性与相对强度噪声特性密切有关，并且当自脉动停止时相对强度噪声将增大。从图 6 的数据可以看出，对于未给饱和吸收层导入应变的情况，在直到约 45℃ 的温度范围内相对强度噪声的大小是稳定的，并且在该范围内得到了低噪声。另一方面，在给饱和吸收层导入了应变的情况下，在直到约 55℃ 的温度范围内相对强度噪声的大小是稳定的，并且在该范围内得到了低噪声。

还有，图 7 示出一个对应于活性层的应变大小约为 0.5% 的情况的图，该图说明给饱和吸收层所导入的应变与能产生自脉动的最高温度 $T_{\max}$ 之间的关系。

从图 7 可以看出，对于给饱和吸收层导入的应变量为从约 0.8% 到约 1.8% 的情况， $T_{\max}$ 约为 60℃ 或更高。另一方面，对于施加给饱和吸收层的应变量为 0.8% 左右或更小的情况，不能得到足够的微分增益，结果出现不稳定的自脉动。对于施加给饱和吸收层的应变

量为 1.8%左右或更大的情况，则由于应变变量太大而使光吸收效应过分增大，结果造成阈值电流或驱动电流的过分增大。其后果是增大了注入到活性层中的载流子量，从而相对地减小了饱和吸收层中的载流子振荡作用。于是自脉动变为不稳定。

这样，施加给饱和吸收层的应变变量是一个对自脉动特性有重要影响的参数。为了获得稳定的自脉动特性，存在着一个最佳的设定范围。

根据前面的说明，由于施加给活性层的应变变量被设定为 0.5%左右，所以施加给饱和吸收层的应变变量至少应该是一个比 0.5%左右，大 0.3%左右的值，即 0.8%左右或更大。另一方面，对于施加给活性层的应变变量接近于零的情况，施加给饱和吸收层的应变变量至少应为 0.3%左右或更大。

如上所述，根据本发明，施加给饱和吸收层和活性层的应变变量的差值应该至少设定为 0.3%左右或更大。而不论活性层中的应变变量有多大，施加给饱和吸收层的应变变量的上限最好约为 2.0%或较小。这是因为如果对饱和吸收层施加了大于约 2.0%的应变变量，则将会在该层中出现诸如位错之类的问题，导致可靠性降低。

虽然在上述说明中饱和吸收层是设置在 p 型包层中的，但它也可以代之以设置在 n 型包层中。在此情形中，如果对饱和吸收层导入了过大的应变，则也与本例中所说明的一样，光吸收效应将变得太大，造成工作特性的下降。对于饱和吸收层被设置在 n 型包层中的结构，通过与上述的饱和吸收层被设置在 p 型包层中的情况相同

的方法，按照相对于活性层中应变量的差值来确定并优化应给饱和吸收层导入的应变量，则也可能获得实现稳定自脉动等现象的效果。

结合考虑活性层中的光限制作用，饱和吸收层最好按活性层、饱和吸收层、导光层这样的顺序设置。在这样的布局下，有可能进一步增加饱和吸收层中的光限制作用而不减小活性层的光限制作用。结果，载流子溢出效应被减小，从而即使在约 60℃或更高的温度下也可能实现稳定的自脉动特性。

根据本例，通过给饱和吸收层导入应变可以把最高的自脉动温度提高约 10℃。同时还能实现高输出。如前所述，本例的半导体激光器特性可以用应变量子阱饱和吸收层和导光层结构实现。

（例 2）

图 8 是说明根据本发明例 2 的具有自脉动特性的半导体激光器 20 的结构的横截面图。在该例中，通过考虑导光层的设置可以进一步改进工作特性。

在半导体激光器 20 中，在一个 n 型 GaAs 基底 801 上依次形成有一个 n 型 InGaP 缓冲层 802、一个 n 型 AlGaInP 包层 803、一个由 InGaP 势阱层和 AlGaInP 势垒层构成的多量子阱活性层 804、一个用 p 型 AlGaInP 材料做成的第一 p 型包层 805a、一个 p 型 InGaP 应变量子阱饱和吸收层 806、一个用 p 型 AlGaInP 材料做成的第二 p 型包层 805b、以及一个 p 型 InGaP 蚀刻限制层 800。在 p 型蚀刻限制层 800 上以一个凸脊形状又依次形成了一个 p 型 AlGaInP 导光层

815、一个用 p 型 AlGaInP 材料做成的第三 p 型包层 805c、和一个 p 型 InGaP 接触层 810。在该凸脊的两侧形成有 n 型 GaAs 电流阻挡层 811。此外，在 p 型接触层 810 和 n 型电流阻挡层 811 上还形成一个 p 型 GaAs 帽层 812。p-电极 813 形成在帽层 812 上，而 n-电极 814 则形成在基底 810 的下表面上。

图 9 示出半导体激光器 20 的活性层 804 内及其附近的 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中的 Al 组份 x 的变化。如图所示，半导体激光器 20 的 n 型包层 803 以及第一、第二、第三 p 型包层 805a、805b、805c 中的 Al 组份 x 都被设定为 0.7。从图中还可以看出，导光层 815 设置得比饱和吸收层 806 更远离活性层 804。

图 10 示出活性层和饱和吸收层中光限制系数对活性层与厚度约为 1000 埃的导光层之间的距离 d（见图 9）的依赖关系。

自脉动特性在很大程度上受到活性层和饱和吸收层的光限制系数之间的平衡的影响。如果只是为了增强自脉动特性，则应该增大饱和吸收层中的光限制系数。但是，随着饱和吸收层中光限制系数的这一增大，活性层中的光限制系数将相反地减小，由此会造成一些不良后果，例如半导体激光器自身的工作特性变坏，驱动电流增大等。

考虑到这一点，根据例 1，特地通过在活性层和饱和吸收层之间设置一个导光层来增大饱和吸收层中的光限制系数。根据本申请发明人的进一步研究发现，把导光层设置在饱和吸收层的另一侧（即与活性层相反的那一侧）可以进一步增固饱和吸收层中的光限制系

数而不会降低性层中的光限制系数。

从图 10 可以看出, 如果活性层与导光层之间的距离 d (在从约 1300 埃到约 2000 埃的范围内, 则饱和吸收层中的光限制系数将接近于 2.0%, 也就是说饱和吸收层中的光系数被增大了。如上所述, 这样的距离 d 的设定适用于导光层设置在饱和吸收层外侧的情况, 与前面所参考的图 8 相一致。即使当像上述那样在远离活性层的位置处放置了导光层, 活性层中的光限制系数也不会过分地减小。

图 11A、11B 和 11C 是关于是否在饱和吸收层内导入应变以及导光层的布局优化将如何影响相对强度噪声特性的图。图 11A 和 11B 与前面的图 6A 和 6B 相同, 说明是否在饱和吸收层内导入应变将如何影响相对强度噪声特性。另一方面, 图 11 说明当对饱和吸收层导入了应变并且导光层的布局按照本例中前述的方式进行了优化时的相对强度噪声特性。与对应于没有进行导光层布局优化的图 11B 中的特性相比, 对应于进行了导光层布局优化的图 11C 中的特性得到了改善。在直到约 60°C 的温度范围内看不到相对强度噪声特性的变差。

当把活性层和导光层之间的距离设定为约 2000 埃或更大时, 活性层中的光限制系数将降低, 从而增大了工作电流。其结果是半导体激光器的可靠性受到不良的影响。

图 12 示出了半导体激光器 20 中寿命与激光元件工作电流之间的关系。从该图可以看出, 例如在工作温度约为 60°C 和光输出约为 5mW 的工作条件下, 为了得到半导体激光器 5000 小时的寿命, 工

作电流必须约为 130mA 或更小。另一方面，根据本发明人的研究，当半导体激光器 20 的结构中的活性层与导光层之间的距离约为 2000 埃或更大时，其工作电流将超过约 130mA。考虑到这一点，导光层应该放置在距离活性层从约 1300 埃到约 2000 埃的位置处。

此外，如果不是把含有小 Al 组份的导光层设置在活性层与饱和吸收层之间，而是设置在比饱和吸收层还要外侧的位置上，则在此情形下可以减小载流子溢出效应。换言之，通过把导光层设置在饱和吸收层的外侧，则活性层与饱和吸收层之间的面积将被含有高 Al 组份的材料占据。从而载流子溢出，特别是电子溢出可以减少。如果电子溢出增大，则饱和吸收层的光吸收将减少，从而不能维持稳定的自脉动。然而，按照本例的布局（结构），即以上述方式优化了导光层的位置，可以克服这一困难，从而即使在高温下工作也有可能实现稳定的自脉动特性。

如上所述，根据本发明，通过在饱和吸收层内导入适当大小的压缩应变将增大微分增益，从而实现具有稳定自脉动特性的半导体激光器。

此外，根据本发明，通过采用导光层，特别是按活性层、饱和吸收层、导光层这一顺序排序的导光层，即使在高温下工作也可能得到能实现稳定自脉动特性的半导体激光器。

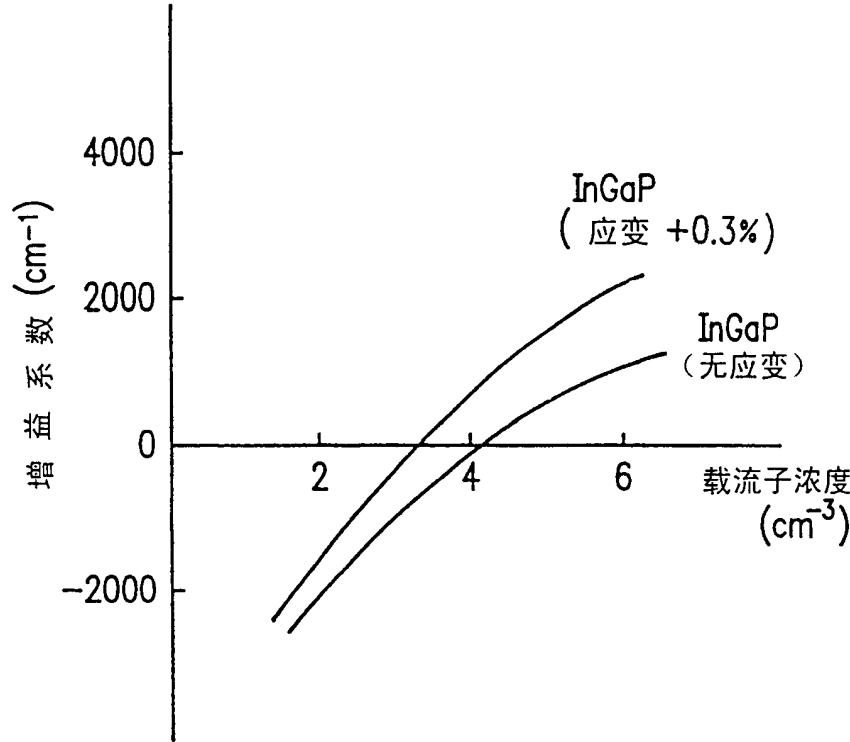


图 1

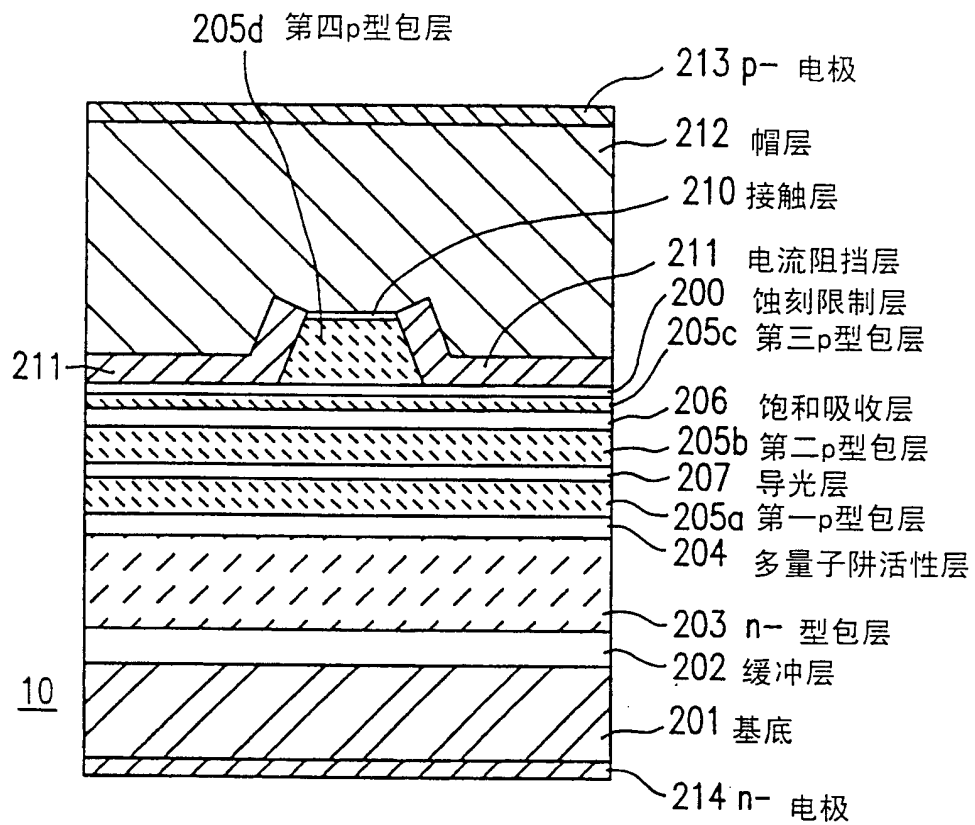


图 2

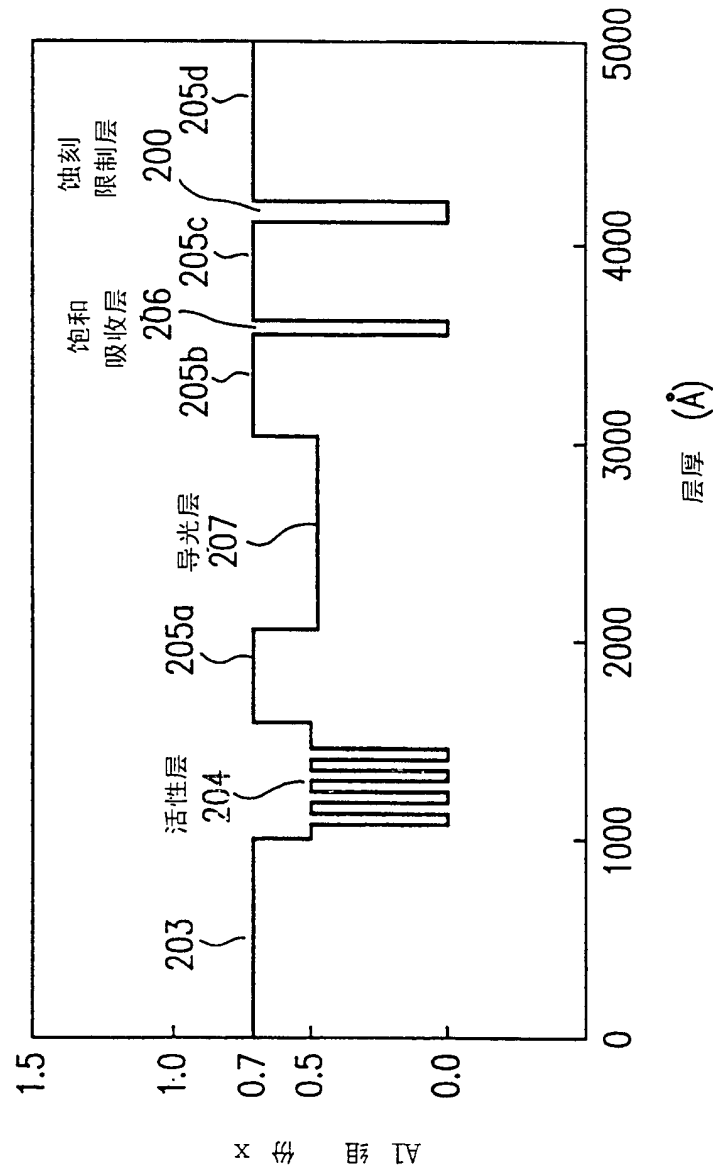


图3

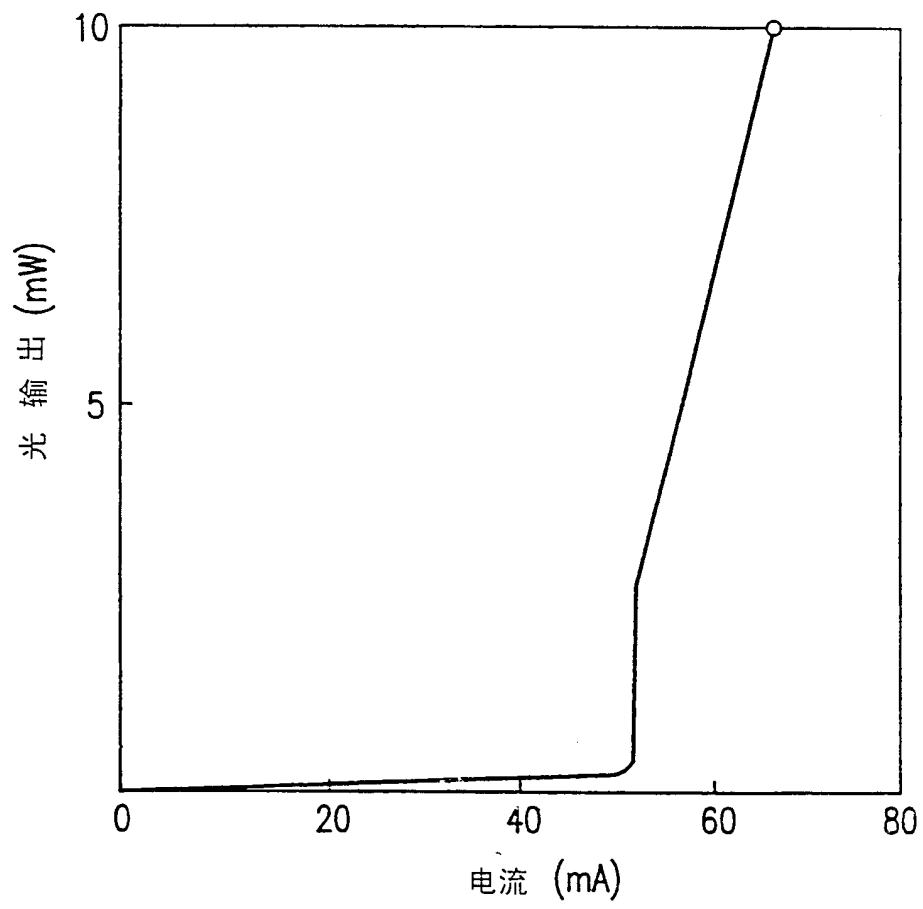


图4

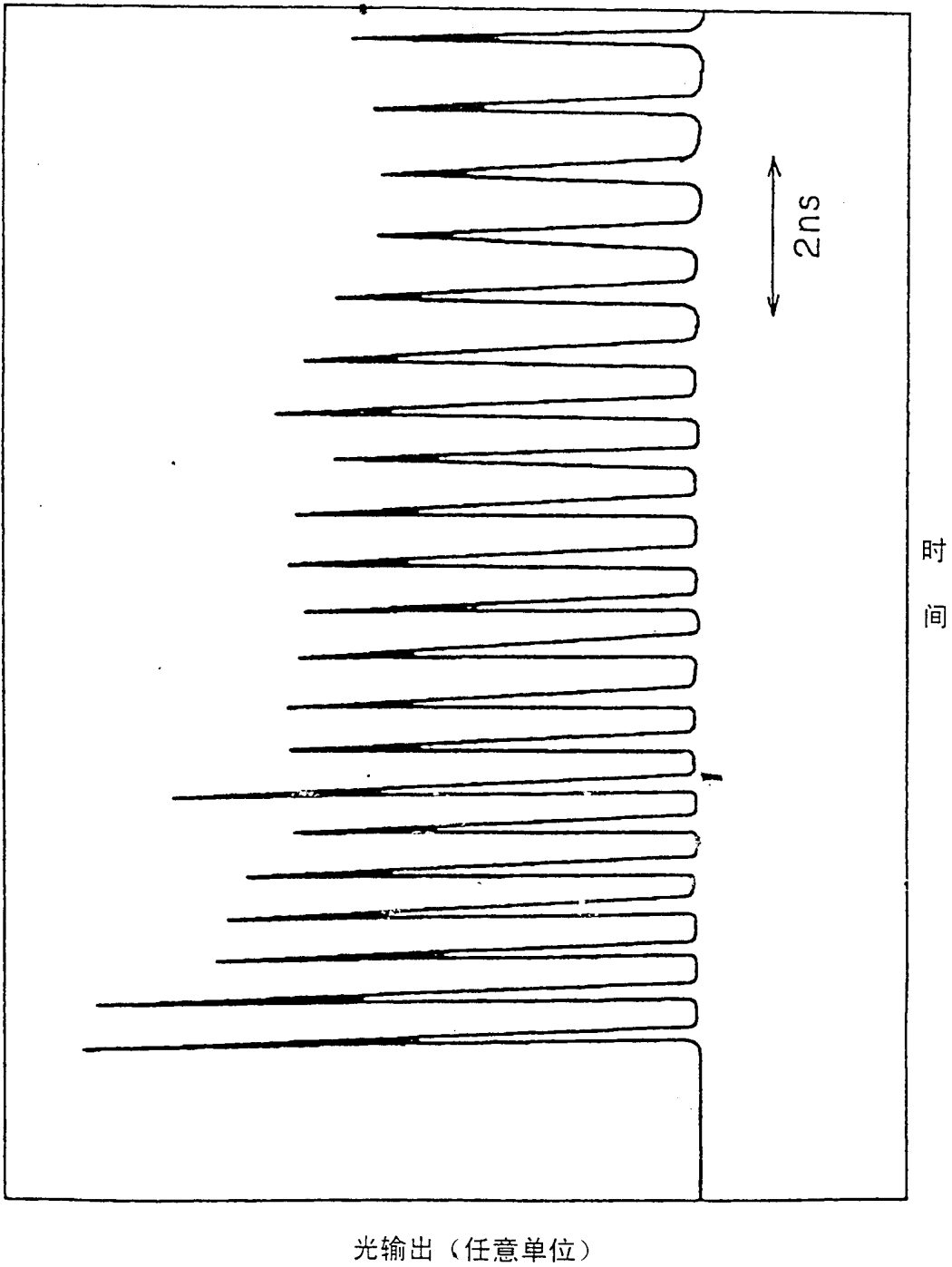


图5

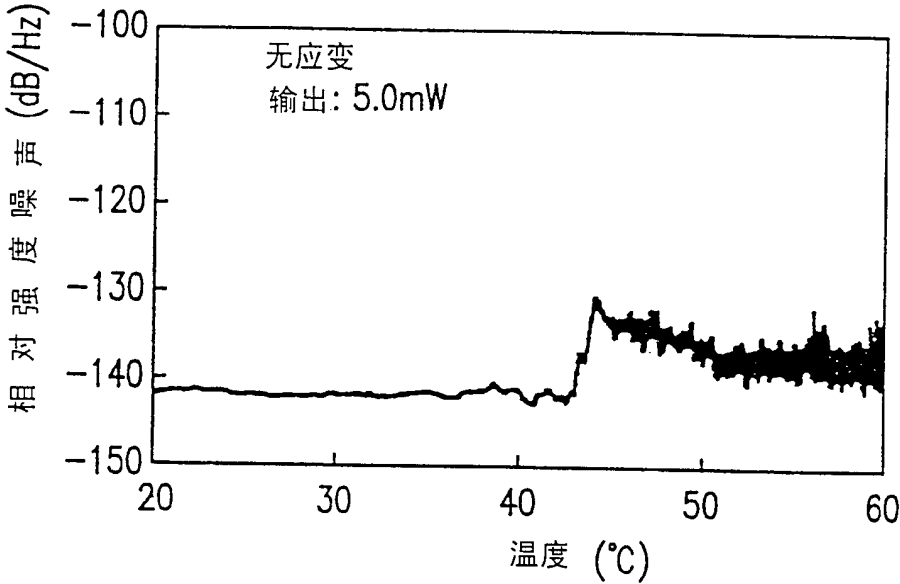


图6A

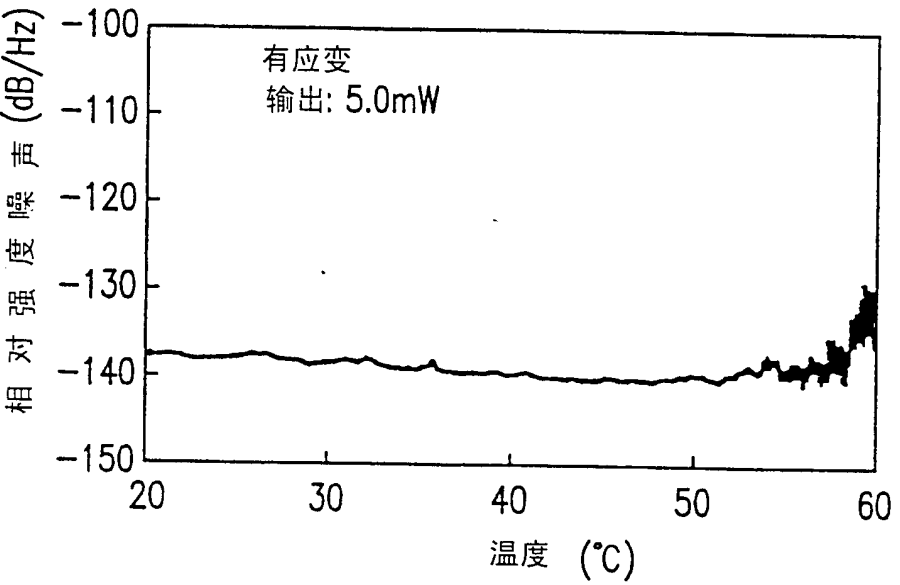


图6B

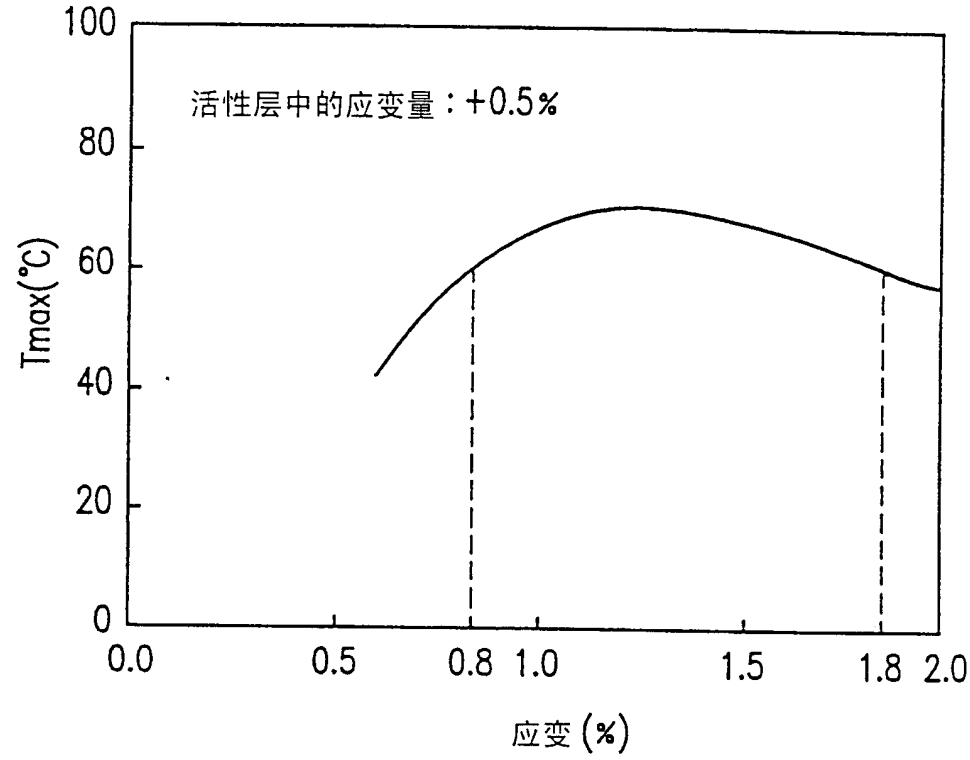


图7

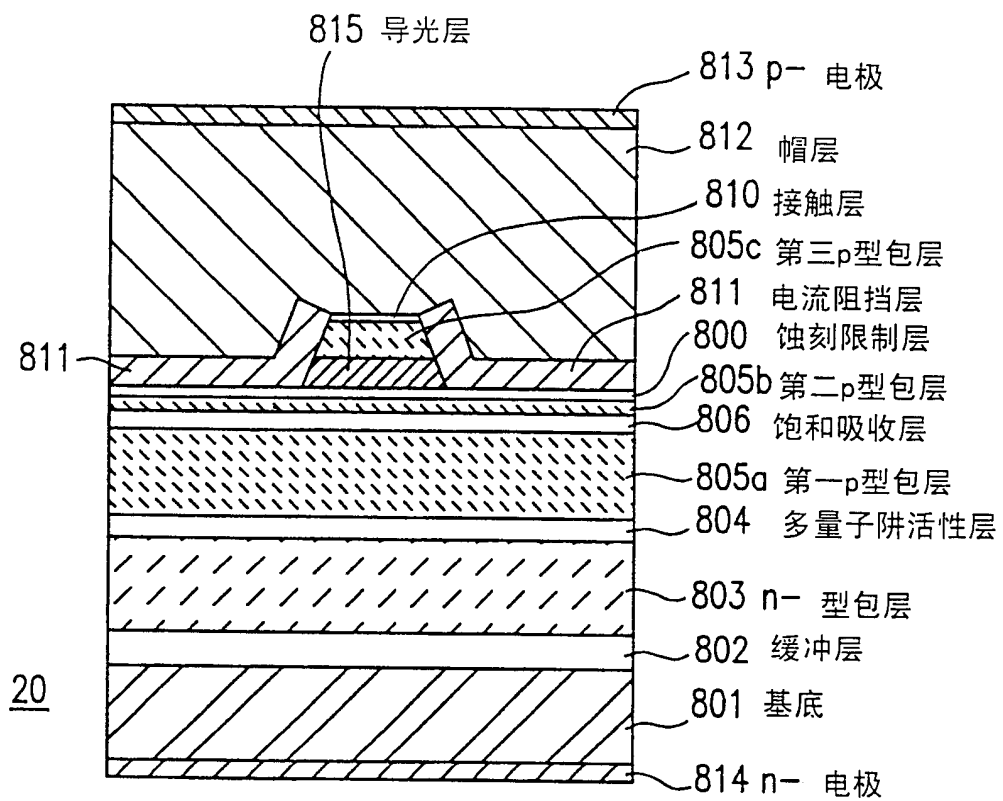


图8

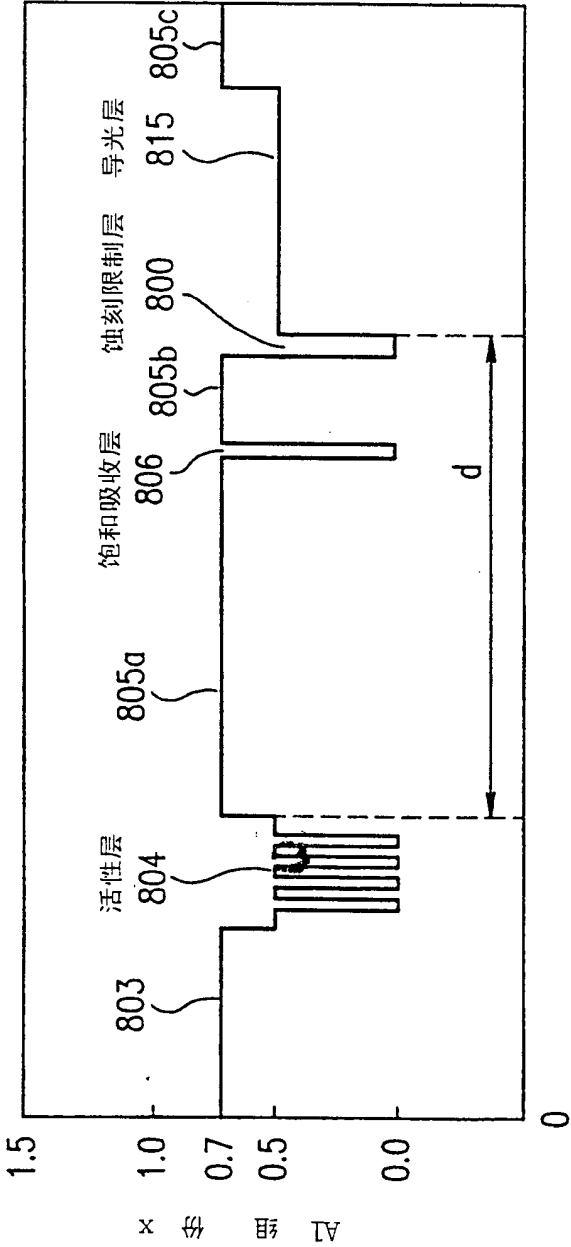


图9

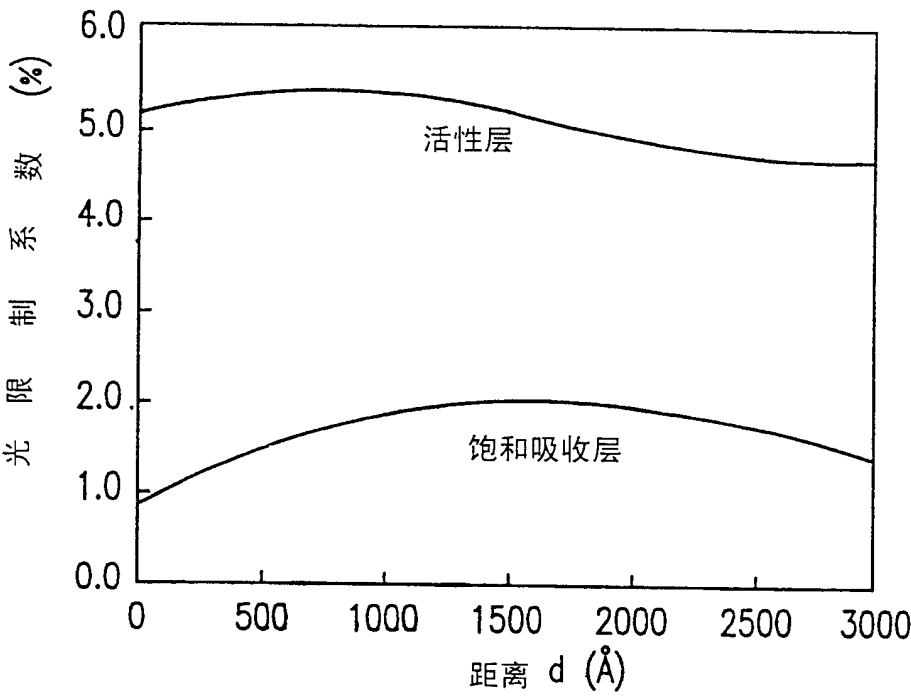


图10

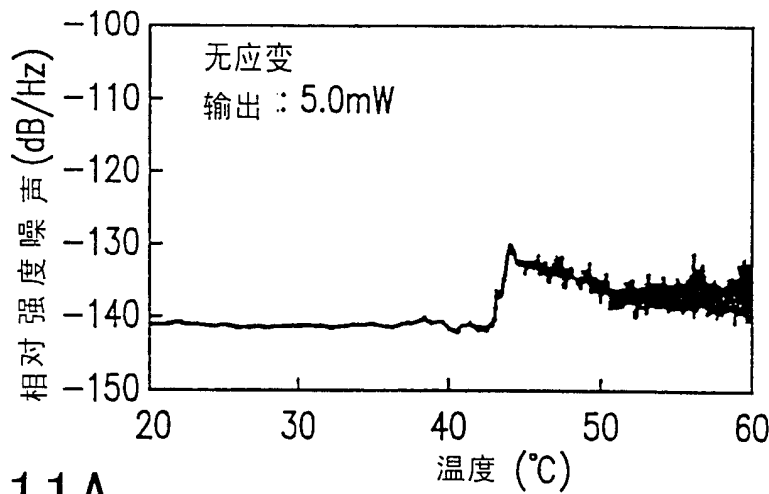


图11A

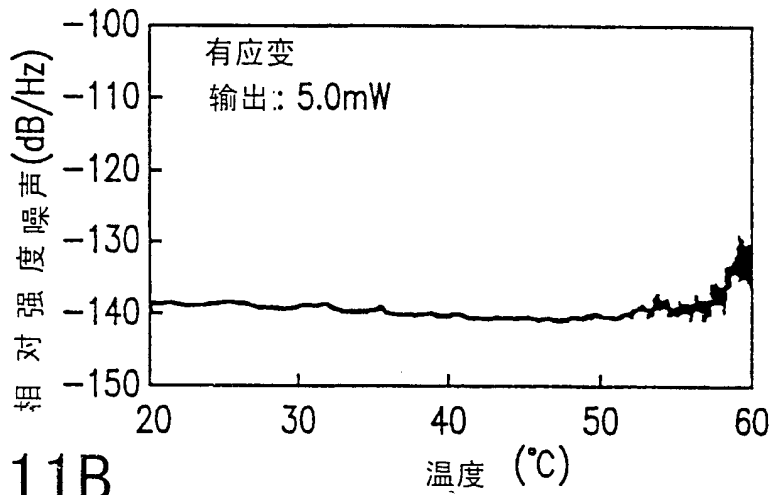


图11B

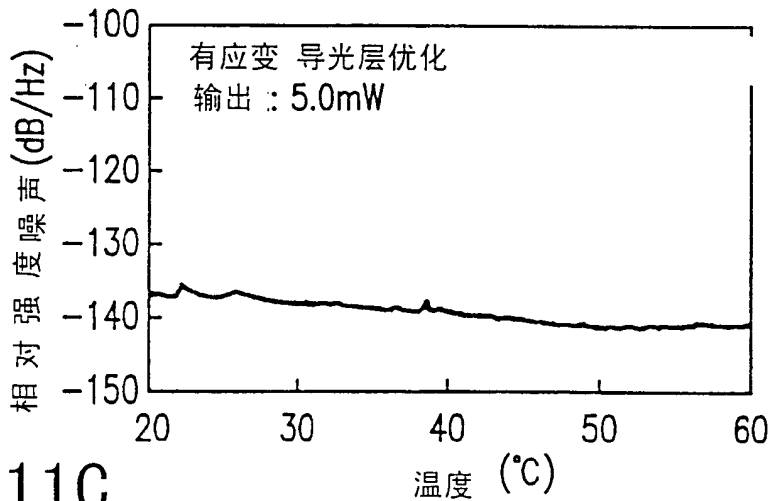


图11C

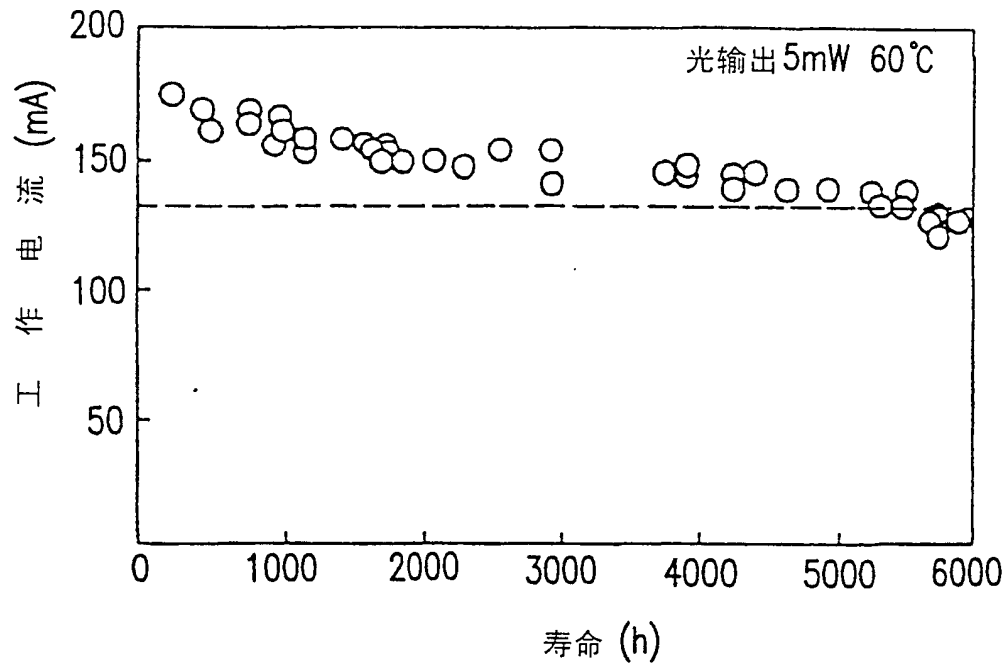


图12

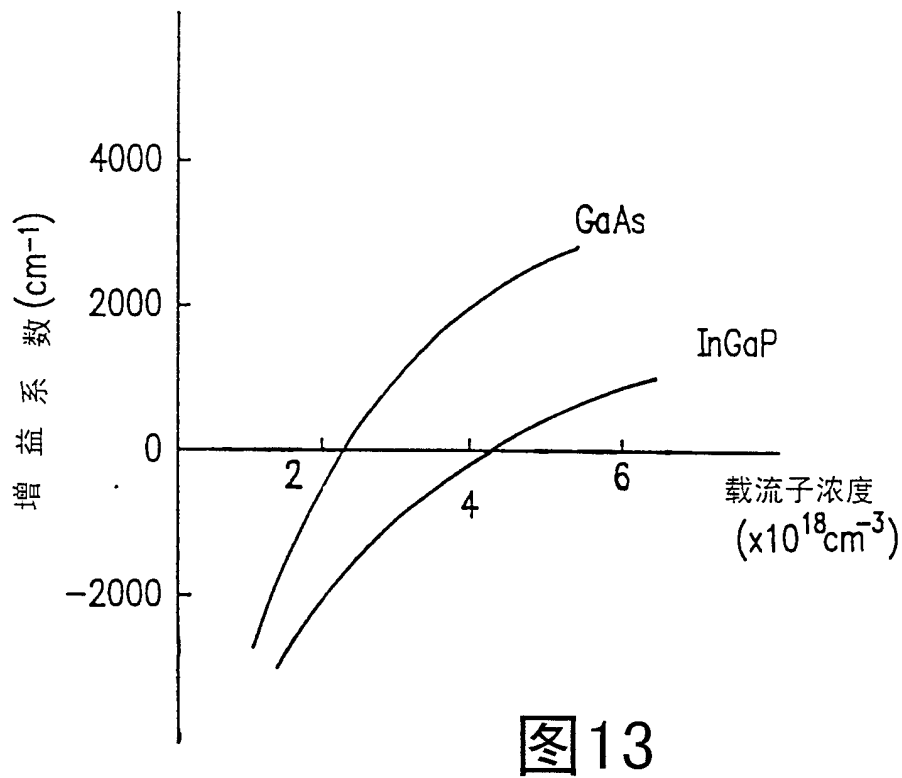


图13