

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01S 5/343 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510090673.1

[45] 授权公告日 2009 年 8 月 19 日

[11] 授权公告号 CN 100530867C

[22] 申请日 2005. 8. 18

[21] 申请号 200510090673.1

[30] 优先权

[32] 2005. 1. 11 [33] JP [31] 2005 - 003365

[73] 专利权人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

[72] 发明人 中原宏治 工藤真 田中滋久

白井正敬

[56] 参考文献

JP11 - 186631A 1999. 7. 9

JP2004 - 266095A 2004. 9. 24

JP2003 - 17798A 2003. 1. 17

JP2003 - 329988A 2003. 11. 19

JP2003 - 142783A 2003. 5. 16

US2004/0099859A1 2004. 5. 27

US2003/0160292A1 2003. 8. 28

JP2002 - 134842A 2002. 5. 10

JP2003 - 309127A 2003. 10. 31

审查员 肖霞

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

代理人 郝庆芬

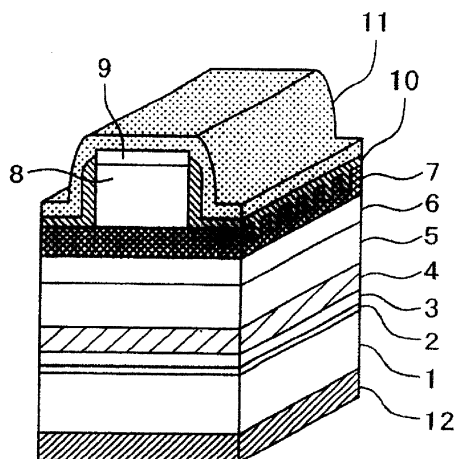
权利要求书 4 页 说明书 15 页 附图 10 页

[54] 发明名称

光半导体元件

[57] 摘要

在将导入了应力的量子阱层作为活性层的半导体激光器或电场吸收型调制器中，因为能带结构，特别是无法独立地调整 ΔE_c 与 ΔE_v ，所以在激光器特性或调制特性的最佳化上产生了瓶颈。在 n 型 InP 晶片 1 上依次层叠 n 型 InGaAlAs - GRIN - SCH 层 3、MQW 层 4、p 型 InGaAlAs - GRIN - SCH 层 5、p 型 InAlAs 电子阻止层 6 等，MQW 层 4 由 InGaAlAs 的应力阱层和由 InGaAlAsSb 构成的，具有和阱层符号相反的应力的阻挡层构成。



1. 一种光半导体装置，其特征在于，

具有：

在 InP 半导体晶片上形成的具有第 1 导电类型的第 1 半导体层；

在所述第 1 半导体层上所形成的多量子阱；和

在所述多量子阱结构上所形成的具有与所述第 1 导电类型为不同导电类型的第 2 导电类型的第 2 半导体层；

所述多量子阱结构为：交互地层叠阱层与阻挡层，其中阱层由具有与所述 InP 半导体晶片不同的晶格常数（lattice constant）的 InGaAlAs 构成，阻挡层由相对于所述 InP 半导体晶片以及所述 InGaAlAs 层，具有不同晶格常数的 InGaAlAsSb 构成；

所述阱层相对于所述 InP 半导体晶片具有第 1 应力，所述阻挡层相对于所述 InP 半导体晶片具有第 2 应力，所述第 1 应力的符号与所述第 2 应力的符号不同。

2. 一种光半导体装置，其特征在于，

具有：

在 InP 半导体晶片上形成的多量子阱结构；

向所述多量子阱结构进行电压施加，或电流注入的第 1 半导体层以及第 2 半导体层；

与所述第 1 半导体层电连接的第 1 电极；和

与所述第 2 半导体层电连接的第 2 电极；

所述多量子阱结构为：交互地层叠阱层与阻挡层，其中阱层由具有与所述 InP 半导体晶片不同的晶格常数（lattice constant）的 InGaAlAs 构成，阻挡层由相对于所述 InP 半导体晶片以及所述 InGaAlAs 层，具有不同晶格常数的 InGaAlAsSb 构成；

所述阱层相对于所述 InP 半导体晶片具有第 1 应力，所述阻挡层相对于所述 InP 半导体晶片具有第 2 应力，所述第 1 应力的符号与所述第 2 应力的符号不同。

3. 根据权利要求2所述的光半导体装置, 其特征在于,
所述第1半导体层具有第1导电类型, 至少由1层构成;
所述第2半导体层具有与所述第1导电类型相反导电类型的第2导电类型, 至少由1层构成。

4. 根据权利要求1所述的光半导体装置, 其特征在于,
所述第1半导体层具有层叠了第1金属包层和第1光分别限制式异质结(optical separated confinement heterostructure)的层叠结构;
所述第2半导体层具有层叠了第2金属包层和第2光分别限制式异质结的层叠结构;

所述多量子阱结构分别与所述第1光分别限制式异质结和第2光分别限制式异质结相邻地设置。

5. 根据权利要求1所述的光半导体装置, 其特征在于,
所述阻挡层具有掺杂了具有所述第2导电类型的杂质的调制掺杂多量子阱结构。

6. 根据权利要求2所述的光半导体装置, 其特征在于,
所述第1电极通过欧姆连接与第1导电类型半导体层连接, 所述第2电极通过欧姆连接与和所述第1导电类型为不同导电类型的第2导电类型半导体层连接。

7. 根据权利要求2所述的光半导体装置, 其特征在于,
通过在所述第1电极以及所述第2电极之间施加电压或注入电流, 沿着在所述第1电极以及所述第2电极之间流动的电流的路径方向, 对由所述多量子阱结构发出的光进行导波。

8. 根据权利要求2所述的光半导体装置, 其特征在于,
通过在所述第1电极以及所述第2电极之间施加电压或注入电流, 沿着与在所述第1电极以及所述第2电极之间流动的电流的路径方向不同的方向, 对由所述多重量子阱结构发出的光进行导波。

9. 根据权利要求1所述的光半导体装置, 其特征在于,
为半导体激光器。

10. 根据权利要求1所述的光半导体装置, 其特征在于,

为电场吸收型光调制器。

11. 一种光半导体装置，其特征在于，

具有：

在 InP 半导体晶片上形成的具有第 1 导电类型的第 1 半导体层；

在所述第 1 半导体层上所形成的多量子阱；和

在所述多量子阱结构上所形成的具有与所述第 1 导电类型为不同导电类型的第 2 导电类型的第 2 半导体层；

所述多量子阱结构为：由具有与所述 InP 半导体晶片不同的晶格常数的 InGaAlAs 构成的阱层、相对于所述 InP 半导体晶片以及所述 InGaAlAs 层，具有不同晶格常数的 InGaAlAsSb 构成的第 1 阻挡层、具有与构成所述第 1 阻挡层的 InGaAlAsSb 不同组成比的 InGaAlAsSb 的第 1 中间层、和具有与所述第 1 阻挡层相同的组成比的第 2 阻挡层构成；

至少具有一层按所述第 1 阻挡层、阱层、第 1 中间层、第 2 阻挡层的顺序层叠的量子阱结构；

所述阱层相对于所述 InP 半导体晶片具有第 1 应力，所述第 1、第 2 阻挡层相对于所述 InP 半导体晶片具有第 2 应力，所述第 1 应力的符号与所述第 2 应力的符号不同。

12. 根据权利要求 11 所述的光半导体装置，其特征在于，

在所述多量子阱结构中，传导带（Conduction band）一侧的量子阱层的宽度与价电子带一侧的量子阱层的宽度不同。

13. 根据权利要求 11 所述的光半导体装置，其特征在于，

在所述多量子阱结构中，价电子带一侧的量子阱层的宽度比传导带（Conduction band）一侧的宽。

14. 一种光半导体装置，其特征在于，

是集成了权利要求 10 所述的电场吸收型光调制器和权利要求 9 所述的半导体激光器的光集成装置。

15. 一种光半导体装置，其特征在于，

权利要求 10 所述的电场吸收型光调制器和权利要求 9 所述的半导体激光器共同形成于 InP 半导体晶片上；

将设置在所述电场吸收型光调制器的第 1 多量子阱结构的一端与设置在所述半导体激光器的第 2 多量子阱结构的一端光学地相结合；

在所述第 1 多量子阱结构的另一端和所述第 2 多重量子阱结构的另一端分别设置前端面反射板以及后端面反射板。

光半导体元件

技术领域

本发明涉及半导体装置，特别涉及作为光纤的发送光源所使用的通信用半导体激光器、调制器，以及集成了这些的集成化光源。

背景技术

由于世界范围内因特网的普及，光网络的数据传输量在逐年增加。对于如此的增大，作为光纤网络中的关键设备的半导体光源以及调制器、或者集成了这些的电吸收光源被要求具有更高的速度、低耗电等高性能。近年来，随着该高性能的要求，取代现有的 InGaAsP 类，将 InGaAlAs 类作为活性层的光学元件的开发方兴未艾。使用了 InGaAlAs 类的多量子阱（MQW:Multi-quantum well）结构是比使用了 InGaAsP 类的结构更为理想的结构。即，如图 4 所示，量子阱层的阱层与阻挡层的传导带的不连续和价电子带一侧不连续的比例 $\Delta E_c: \Delta E_v$ ，InGaAsP—MQW 为 4:6，与此对应，InGaAlAs—MQW 为 7:3，所以 InGaAlAs—MQW 一方容易将有效质量小的电子关闭在量子阱层内，有效质量大的空穴容易在多量子阱结构内的各阱层均匀地分布。在图 4 中，15 是 InGaAlAs—MQW 的阱层，16 是 InGaAlAs—MQW 的阻挡层，17 是 InGaAsP—MQW 的阱层，18 是 InGaAsP—MQW 阻挡层。半导体电子的有效质量因为小于或等于空穴的数分之一所以可知 InGaAlAs—MQW 为较理想的能带（band）结构。

该能带结构是在未向阱层或阻挡层施加应力条件下的值。高速化需要微分增益的提高，作为微分增益增大的 1 个方法，具有向阱层施加应力的方法。当向半导体施加应力时，价电子带结构变形，退化了的轻重空穴分离，所以价电子带混合的影响较小，有效质量也变小，因此当应用于阱层时，光学增益以及微分增益增大。而且，当增加量子阱数量时微分增益也会提高。在只对阱层施加了应力的状态下增加量子阱数量时，由于在半导体结晶中发生位错等，所以对阻挡层施加与阱层反向的应力的应力补偿机构极为有效。

（下面，相对于半导体晶片，将压应力标记为+，将拉应力标记为一）。

但是，当施加应力时，半导体的能带端发生移位成为与无应力的 ΔE_c : ΔE_v 不同的比。例如，在相对于 InP 晶片具有 1.5% 应力的阱层和 -0.55% 应力的阻挡层的量子阱结构中， ΔE_c : ΔE_v 约为 5.9:4.1。另外，具有 -1.2% 应力的阱层和 0.55% 应力的阻挡层的量子阱结构中， ΔE_c : ΔE_v 约为 6.4:3.6。如此，虽然是 InGaAlAs 类，在为了获得高性能而向阱层施加了应力的量子结构中，能带结构不能说是理想的。在传导带产生电子的载流子溢出，在价电子带，在多量子阱结构内空穴容易变为不均匀地存在。其原因在于能带不连续的 ΔE_c 、 ΔE_v 由 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{(1-x-y)}\text{As}$ 的组成比与应力量来决定，特别是单独地改变 ΔE_c 和 ΔE_v 几乎不可能。因此，当要抑制传导带一侧的电子的载流子溢出而增大阻挡层的带隙（缩短组成波长）时， ΔE_v 也与 ΔE_c 一同变大，所以价电子带一侧的空穴容易变为不均匀存在，综上所述微分增益等激光特性没有提高。

而且，我们明确了在 InGaAlAs—MQW 激光器中， ΔE_v 的增加带来元件电阻的增大。图 5 是通过我们测定到的 InGaAlAs—MQW 脊形波导（ridge waveguide）激光器中的阈电流和台式条状宽度（mesa stripe width）进行了标准化的元件电阻的关系。元件电阻在包含相同的活性层的多层结构中，即使是在相同的导波路径结构中也改变端面反射率等振荡器损失，当使阈电流变化时元件电阻发生变化。图中的 Δ 是以阻挡层的 InGaAlAs 的组成波长为 $0.92 \mu\text{m}$ （带隙：1.348eV）制作成的激光器， $\circ$ 是以阻挡层的 InGaAlAs 的组成波长为 $1.0 \mu\text{m}$ （带隙：1.239eV）制作成的激光器。除了阻挡层的组成波长之外，激光器结构相同。从图中得知，组成波长为 $1.0 \mu\text{m}$ 的激光器元件电阻低。考虑到其原因在于根据电子和空穴的有效质量比、 ΔE_c 、 ΔE_v 比价电子带的 ΔE_v 的大小。即，相对于组成波长为 $0.92 \mu\text{m}$ 的阻挡层的阱层的 ΔE_v 为 156meV，在组成波长为 $1.0 \mu\text{m}$ 时为 123meV，较小。该差反映了元件电阻的不同。

如此，在现有的技术中，因为不能单独地控制 ΔE_c 和 ΔE_v ，所以实现同时满足提高微分增益和提高元件电阻降低等激光器特性的元件极为困难。

同样，在电场吸收型调制器中也产生由 ΔE_c 和 ΔE_v 引起的问题。当 ΔE_v

大时,产生不从多量子阱结构内引出空穴的堆积现象,由于光信号的图案光信号恶化,或由于被称为啁啾(chirp)的光波长的动态变动而阻碍光纤中的长距离传输。当减少阻挡层的带隙(增大组成波长)时 ΔE_v 变小,堆积现象降低。但是,同时 ΔE_c 也变小,因此传导带一侧的量子效果变小,半导体带隙的吸收端模糊。因此,存在的问题为:在未施加电压时,也就是说即使电平为“1”也吸收光,消光比恶化。这种情况也是因为不能单独地控制 ΔE_c 和 ΔE_v 。

另外,作为其他的现有技术,具有在专利文献1中公开的半导体多层结构以及使用了该结构的光控元件。在该公开中,作为阱层使用膜厚1.8nm的 $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$,作为阻挡层使用膜厚5.5nm的 $\text{AlAs}_{0.55}\text{Sb}_{0.45}$ 或 $\text{AlAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ 。该元件是利用传导带一侧的 ΔE_c 大的现象,通过传导带一侧的第1能级和第2能级的子间带跃迁进行高速光开关的元件。但是,关于可以单独地调整 ΔE_c 和 ΔE_v 这一点未被使用,没有对作为本发明的目的的微分增益的提高进行叙述。另外, ΔE_v 大于等于280meV,而且根据其动作原理没有在包含金属包层的阱层之外施行掺杂。

专利文献1:特开2003-329988。

发明内容

本发明要解决的第1课题在于:提供一种元件电阻低,可在包括高温的较广范围的温度区域高速调制的半导体激光器。而且,本发明还要解决的第2课题在于:提供与现有技术相比以更低的电压进行动作,啁啾小,消光比大的光调制元件。另外,本发明还要解决的第3课题在于:提供一种半导体激光光源,它集成了元件电阻低,可在包括高温的较广范围的温度区域高速调制的半导体激光器,和与现有技术相比以更低的电压进行动作,啁啾小,消光比大的光调制元件。

另外,本发明要解决的第3课题在于:提供通电恶化极小,即具有长期可靠性的半导体光学元件。

在本发明中,上述的第1、第2以及第3课题由具有以下特征的半导体装置达成:包含在InP半导体晶片的上部形成的多量子阱结构和向该多量子阱结构施加电压,或注入电流的单元,该多量子阱结构的阱层由相对于该晶

片具有不同晶格常数的 InGaAlAs 层构成, 该多量子阱结构的阻挡层由相对于该晶片具有不同晶格常数的, 并且具有与该阱层的应力符号相反符号的应力的 InGaAlAsSb 层构成。

在本发明中, 因为通过由 InGaAlAs 应力阱层和 InGaAlAsSb 应力阻挡层所构成的应力补偿 MQW 结构, 可以任意地设定 ΔE_c 和 ΔE_v , 所以关于半导体激光器, 对可以同时达到元件电阻降低和微分增益提高具有效果。而且, 通过向阻挡层导入 Sb, 对可靠性的提高也具有效果。再者, 通过向电场吸收型调制器的应用, 具有降低驱动电压、降低啁啾、增大消光比、降低图形 (pattern) 效应的效果。

附图说明

图 1 是本发明实施例的光半导体装置的结构图。

图 2 是本发明实施例的多阱层的能带图。

图 3 是表示本发明的效果的微分增益或 In 组成与阻挡层的 Sb 组成的关系图。

图 4 是现有例的能带图。

图 5 是表示现有例的实验结果的图。

图 6 是表示本发明的效果的元件合格品率与试验温度的关系图。

图 7 是本发明实施例的光半导体装置的结构图。

图 8 是本发明实施例的光半导体装置的结构图。

图 9 是表示本发明的效果的老化测试后的阈值电流的变动与阻挡层的应力的关系图。

图 10 是本发明实施例的光半导体装置的结构图。

图 11 是本发明实施例的能带结构图。

图 12 是本发明实施例的能带结构图。

图 13 是表示现有例的能带结构图。

具体实施方式

下面, 详细说明本发明的实施例。

(第 1 实施例)

第 1 实施例是在用于光纤通信的 $1.3\ \mu\text{m}$ 带 DFB 激光器中应用本发明的

例子。除了活性层以外，激光器的结构可以是众所周知的结构。图 1 表示本实施例的激光器结构的俯视图。在图 1 中，1 是 n 型 InP 晶片，可以作为下部金属包层发挥作用。2 是厚 30nm 的 n 型 InAlAs 层，3 是载流子浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，厚 $0.08 \mu\text{m}$ 的 n 型 InGaAlAs 的 GRIN-SCH 层，4 是由 $\text{In}_{0.733}\text{Ga}_{0.132}\text{Al}_{0.135}\text{As}$ 的阱层， $\text{In}_{0.36}\text{Ga}_{0.32}\text{Al}_{0.32}\text{As}_{0.92}\text{Sb}_{0.08}$ 的阻挡层构成的 MQW 层，阱层厚 5nm，相对于 InP 晶片 1 具有压应力 1.4%，阻挡层厚 8nm，相对于 InP 晶片 1 具有拉应力 -0.55%。另外，阱层的层数为 10，挟着阱层的阻挡层的总数为 11。5 是载流子浓度 $6 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚 $0.04 \mu\text{m}$ 的 p 型 InGaAlAs 的 GRIN-SCH 层，6 是载流子浓度 $9 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚 $0.04 \mu\text{m}$ 的 p 型 InAlAs 的电子阻止层，7 是载流子浓度 $1.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚 $0.07 \mu\text{m}$ 的 p 型 InGaAsP 的衍射光栅层。7 的衍射光栅层的组成波长为 $1.15 \mu\text{m}$ 。8 是载流子浓度 $1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚 $1.5 \mu\text{m}$ 的 p 型 InP 的第 1 上部金属包层，为宽 $1.8 \mu\text{m}$ 的脊形波导的台式条状 (mesa stripe)。9 是用于取得与电极欧姆连接的连接层，使用在 InP 晶片上晶格整合了的 p 型 InGaAs。

图 2 表示 MQW 结构的能带的结构。13 是应力 1.4% 的 $\text{In}_{0.733}\text{Ga}_{0.132}\text{Al}_{0.135}\text{As}$ 的阱层，14 是应力 -0.55% 的 $\text{In}_{0.36}\text{Ga}_{0.32}\text{Al}_{0.32}\text{As}_{0.92}\text{Sb}_{0.08}$ 的阻挡层，组成波长是 $0.87 \mu\text{m}$ 。本结构的传导带一侧的能带不连续 ΔE_c 为 413meV，较大。在价电子带一侧，退化了的轻空穴和重空穴因应力而大大地分离，如图 2 所示，在施加了压应力的阱层内，实线的重空穴向上移位，虚线的轻空穴向下移位。相反，在施加了拉应力的阻挡层，虚线的轻空穴向上移位，实线的重空穴向下移位。因此，实效的价电子带中的量子阱的深度，即在现有例中记述为 ΔE_v 的量，在本实施例中为阱层内的重空穴和阻挡层的轻空穴之差 ΔE_{v-HL} 。在本实施例中， ΔE_{v-HL} 为 123meV。在现有例中，虽然省略了说明，但是从提高微分增益的观点来看，价电子带中的能带不连续 ΔE_v (ΔE_{v-HL}) 比较大时较理想，均匀的空穴的存在以及元件电阻处于折衷选择的关系。在本实施例中，与现有结构的组成波长 $1.0 \mu\text{m}$ 的 InGaAlAs 阻挡层相同，设为 ΔE_v 。图 3 为一边调整 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{As}_{1-z}\text{Sb}_z$ 的组成以使 ΔE_v 为恒定，一边增大 Sb 的组成时的微分增益的计算结果。在微分增益的计算中使用根据 Kane 模型以及 4×4 哈密顿量矩阵 (Luttinger-Kohn Hamiltonian) 求出的能带结构，考虑载流

子溢出进行了 25℃、85℃的研究。在图 3 中，最左的 Sb 组成为 0 的是现有的结构。如从图中得知那样，在 25℃、85℃的环境温度下，微分增益与 Sb 组成一起增大，Sb 组成在大约 0.1 附近成为最大，可知与现有结构相比，微分增益大约增大 20% 至 70%。该微分增益增大的主要原因在于载流子溢出的降低。当进一步增加 Sb 组成时微分增益减少。该减少的原因在于在图 3 中一同表示的，伴随 In 组成的减少阻挡层空穴的有效质量的增大。因此，在本实施例中，Sb 组成 z 的理想范围被认为在 85℃的环境温度下 $0 < z \leq 0.3$ 。另外，根据图 3，理想的 In 组成为大于或等于 0.1。

另外，在本实施例中，虽然为了使 ΔE_v 为 123meV 而调整了 InGaAlAsSb 的组成，但是通过 Sb 以及 In 和 Al 的组成的调整，可以单独地调整 ΔE_c 和 ΔE_v ，可以与量子阱层数等参数一同对 ΔE_c 、 ΔE_v 进行最优化。

在本实施例中，制作振荡器长 $200\mu\text{m}$ ，前面设置 0.4% 的低反射膜、后面设置 90% 的反射镜的 DFB 激光器，元件电阻反映较低的 ΔE_v ，与现有的使用 $0.92\mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层的激光器相比为低 3 成的 5.6Ω 。另外，85℃的微分增益可以得到与现有的使用了 $1.0\mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层的激光器相比高 7 成的 $5.2 \times 10^{-16}\text{cm}^2$ 。将与以往例的比较归纳为表 1。

表 1

组织波长或 Sb 组成	InGaAlAs 阻挡层		InGaAlAsSb 阻挡层
	0.92 μm	1.0 μm	0.87 μm (Sb:0.08)
ΔE_c (meV)	269	191	413
ΔE_v ($\Delta E_{v\text{-HL}}$) (meV)	154	123	123
元件电阻 (Ω)	7.8	5.6	5.6
85℃的微分增益 (10^{-16}cm^2)	5.2	3.0	5.2

如根据表 1 所得知的那样，本发明的元件可以获得的特性为：同时具有

与 $1.0\ \mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层同等的低元件电阻和与 $0.92\ \mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层的微分增益同等的微分增益。可以打破现有的折衷选择。另外, 本实施例的元件在 25°C 、 85°C 的环境温度下, 可以得到 7.8mA 、 17.5mA 的低阈电流。斜率效率在 25°C 、 85°C 的环境温度下分别为 0.28W/A 、 0.21W/A , 较良好。另外, 因为制作出衍射光栅具有通过 EB 描画制作出的移位位置位于 $8:2$ 的后方的 $\lambda/4$ 型的结构的元件, 所以单模通路关闭为 60% , 较为良好。反映以上的特性, 可以在 85°C 的环境温度下在消光比为 7dB , 25Gb/s 的传输中得到良好的眼开 (eye opening)。

另外, 在本实施例中, 在可靠性方面, 得到比现有结构的激光器好的结果。图 6 表示本实施例的半导体激光器和现有结构的具有 InGaAlAs 阻挡层的半导体激光器的老化测试的结果。该试验在某温度下通入恒定电流 40 个小时, 根据与试验前的阈电流的变化来判断是否发生了老化, 在本试验中, 阈电流的变化小于或等于 7% 为合格。使温度从 80°C 变化到 130°C 来进行试验。如图 6 所示, 在大于或等于 100°C 时, 两元件共同得到 100% 的合格率。但是, 在大于 100°C 的环境温度下, 现有结构的 InGaAlAs 激光器的合格率降低的幅度大。另一方面, 本实施例的 InGaAlAsSb 阻挡层的元件直到 120°C 还可以得到 100% 的合格率。推测其因为: 阻挡层中的结晶的 V 族原子 (V group atom(s)) 由 As 和 Sb 构成, 所以即使发生晶体缺陷位错也难以进行。而且, 推测其原因为: Sb 在结晶成长时容易 2 次成长, 所以 MQW 层即使在原子层级 (atomic layer order) 也平坦。

另外, 在本实施例中, 从可靠性的观点来看必须进行应力补偿。在本实施例中制作只改变了阻挡层的应力的元件, 图 9 表示其在进行了老化试验之后的试验前后的阈电流的变化。老化试验进行 110°C 、40 小时、 110mA 的通电。图中的曲线 (白圈) 是 10 个元件的阈电流变动的比例的中间值 (median 值)。从图中得知, 阻挡层的应力量在 + 侧范围阈电流的变动比 -0.1% 一侧显著增大。此外, 在 $+0.05\%$ 的阻挡层应力中激光器没有共振。即使是阱层的应力量为 $+0.7\%$ 的元件也具有相同倾向, 在 + 侧阈电流的变动比 -0.1% 一侧显著地增大了。认为其原因为: 当不进行应力补偿时由于老化试验等外部压力, 多量子阱结构的结晶性完全恶化。因此, 在阱层为压应力的情况下,

在阻挡层必须至少施加小于或等于 -0.1% （应力量的绝对值为大于或等于 0.1% ）的拉应力。

在本实施例中，虽然 MQW 层的阻挡层是无掺杂的，但如果是只将阻挡层实施了 p 型掺杂的 p 型 调制掺杂 MQW 结构，那么微分增益将进一步提高。另外，有关本实施例的压应力的阱层，为了增大微分增益，所希望的值量子尺寸效应充分显现的大于或等于 4nm 小于或等于 7nm 。另外，在阻挡层，希望在相邻的量子阱层形成的波动函数不相互重叠。一般情况下，用于实现该愿望的宽度在为半导体激光器的情况下为大于或等于 6nm 。但是，因为阻挡层是由 5 种元素形成的 InGaAlAsSb 构成，实效的电子的有效质量变大，所以希望阻挡层厚为大于或等于 4nm 。

(第 2 实施例)

第 2 实施例是在用于光纤通信的 $1.3\mu\text{m}$ 带 DFB (distributed feedback) 激光器中应用了本发明的例子。活性层以外的激光器结构可以采用众所周知的结构，在本实施例中，应用了如图 7 所示的在 p 型 InP 晶片上制作出的埋入型激光器。在图 7 中，19 是 p 型 InP 晶片，可以作为下部金属包层发挥作用。23 是载流子浓度为 $9\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.03\mu\text{m}$ 的 p 型 InAlAs 的电子阻止层，20 是载流子浓度为 $8\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.06\mu\text{m}$ 、组成波长为 $0.92\mu\text{m}$ 的 p 型 InGaAlAs 的 SCH 层，21 是由 $\text{In}_{0.329}\text{Ga}_{0.649}\text{Al}_{0.022}\text{As}$ 的阱层， $\text{In}_{0.555}\text{Ga}_{0.152}\text{Al}_{0.293}\text{As}_{0.96}\text{Sb}_{0.04}$ （组成波长 $1.06\mu\text{m}$ ）的阻挡层构成的 MQW 层，阱层厚度为 7nm ，相对于 InP 晶片 1 具有拉应力 -1.4% ，阻挡层厚度为 8nm ，相对于 InP 晶片 1 具有压应力 0.5% 。本结构的传导带一侧的能带不连续 ΔE_c 为 312meV ，较大。另外，阱层的层数为 8，挟着阱层的阻挡层的总数为 9。22 是载流子浓度为 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.06\mu\text{m}$ 、组成波长为 $0.92\mu\text{m}$ 的 n 型 InGaAlAs 的 SCH 层，24 是载流子浓度为 $1.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.07\mu\text{m}$ 、组成波长为 $1.15\mu\text{m}$ 的 n 型 InGaAsP ，在上部的厚度 $0.03\mu\text{m}$ 处具有凹凸形状的衍射光栅层。25 是载流子浓度为 $1.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的 n 型 InP 金属包层，26 是用于得到与电极欧姆连接的连接层，使用在 InP 晶片上晶格整合了的 InGaAsP 。27 是用于使电流只在活性层流动的半导体电流阻挡层。另外，10 是 SiO_2 保护膜，11 是 p 侧电极，12 是 n 侧电极。

在本实施例中, 因为 MQW 层的阱层是拉应力, 所以在阱层内轻空穴向上移位, 重空穴向下移位, 因此由轻空穴与传导带一侧的电子以 TM 模式进行激光振荡。另外, 相反地在施加了压应力的阻挡层, 轻空穴向上移位, 重空穴向下移动。在本实施例中, 与 ΔE_v 相当的是作为阱层内的轻空穴与阻挡层的重空穴之差的 ΔE_{v-HL} 。在本实施例中, ΔE_{v-HL} 为 125meV。在本实施例中, 与现有结构的组成波长 1.08 μm 的 InGaAlAs 阻挡层相同, 设为 ΔE_v 。与实施例 1 相同, 一边调整 $In_xGa_yAl_{1-x-y}As_{1-z}Sb_z$ 的组成以使 ΔE_v 为恒定, 一边增大 Sb 的组成时的微分增益的计算结果可以定性地得到几乎与实施例 1 相同的倾向。即在 25℃、85℃两种环境温度下, 伴随 Sb 组成的增大微分增益也增大了。得知 Sb 组成在大约 0.06 附近为最大, 与现有结构相比, 在 25℃的环境温度下微分增益增大约 12%, 在 85℃的环境温度下微分增益增大约 13%。与实施例 1 相比, 微分增益提高的效果小。但是, 原来拉应力的量子阱层的微分增益高, 在本实施例中, 25℃环境温度下为 $9.1 \times 10^{-16} cm^2$, 在 85℃环境温度下为 $7.5 \times 10^{-16} cm^2$, 与压应力相比可以得到较大的微分增益。当再增加 Sb 组成时, 与实施例 1 一样, 微分增益减少。这些倾向的原因与实施例 1 相同。Sb 组成 z 的理想范围是在 85℃环境温度下 $0 < z \leq 0.15$ 。另外, 理想的 In 组成是大于或等于 0.5。

而且, 即使在本实施例中, 也可以在进行了与实施例 1 相同的老化试验时得到与图 9 相同的倾向。即, 在本实施例中, 因为阱层是拉应力, 所以在阻挡层导入了大于或等于 0.1% 的压应力的情况下, 老化试验前后的阈电流的增加为中间值, 小于或等于 10%。在阻挡层的应力为 0% 的情况下, 确认了阈电流增大 42%。因此, 希望在阻挡层上施加大于或等于 0.1% 的压应力。

此外, 在本实施例中, 虽然为了使 ΔE_v 为 126meV 而调整了 InGaAlAsSb 的组成, 但是通过 Sb 以及 In 和 Al 的组成的调整, 可以单独地调整 ΔE_c 和 ΔE_v , 可以与量子阱层数等参数一同对 ΔE_c 、 ΔE_v 进行最优化。

另外, 在本实施例中, 制作振荡器长 200 μm , 前面设置 0.4% 的低反射膜、后面设置 90% 的反射镜的 DFB 激光器, 元件电阻反映较低的 ΔE_v , 与现有的使用 InGaAlAs 阻挡层的激光器相比为低 2.3 成的 4.8 Ω 。另外, 85℃环境温度下的微分增益可以得到比现有的使用 InGaAlAs 阻挡层的激光器高 1

成的 $7.3 \times 10^{-16} \text{cm}^2$, 可以实现兼有低元件电阻和高微分增益的半导体激光器。反映以上良好的特性, 可以在 80°C 环境温度下在消光比为 6dB, 40Gb/s 的传输中得到良好的眼开 (eye opening)。

此外, 在本实施例中, 虽然在 SCH 层使用了 InGaAlAs, 但当使用 InGaAlAsSb 或 InAlAsSb 时, 包含 SCH 层可得到理想的能带结构。另外, 关于本实施例那样的拉应力的阱层, 微分增益增大的理想的阱层宽度为 4 到 9nm。另外, 与实施例 1 一样, 在阻挡层中希望在相邻的量子阱层形成的波动函数不相互重叠, 用于实现该愿望的宽度为大于或等于 4nm。

(第 3 实施例)

本实施例是将本发明应用于在 InP 晶片上制作出的用于光纤通信的 $1.55 \mu\text{m}$ 带 DFB 脊形激光器的例子。活性层之外的结构与实施例 1 大致相同。MQW 层由 $\text{In}_{0.734}\text{Ga}_{0.210}\text{Al}_{0.056}\text{As}$ 的阱层, $\text{In}_{0.368}\text{Ga}_{0.399}\text{Al}_{0.233}\text{As}_{0.92}\text{Sb}_{0.08}$ (组成波长: $984 \mu\text{m}$) 的阻挡层构成, 阱层厚度为 5nm, 相对于 InP 晶片 1 具有压应力 1.4%, 阻挡层厚度为 8nm, 相对于 InP 晶片 1 具有拉应力 -0.5%。另外, 阱层的层数为 12, 挟着阱层的阻挡层的总数为 13。本结构的传导带一侧的能带不连续 ΔE_c 为 409meV, 较大。价电子带一侧也和实施例 1 相同, 退化了的空穴和轻空穴由于应力而大大地分离, 在阱层内重空穴向上移位, 相反, 在施加了拉应力的阻挡层轻空穴向上移位。实效的价电子带中的量子阱的深度 ΔE_{v-HL} 为 123meV。从提高微分增益的观点来看, 本实施例的 $1.55 \mu\text{m}$ 带的 MQW 层也一样, 价电子带中的能带不连续 ΔE_{v-HL} 较大时比较理想, 均匀的空穴存在与元件电阻处于折衷选择关系。在本实施例中, 与现有结构的组成波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的 InGaAlAs 阻挡层相同, 设为 ΔE_v 。与实施例 1 一样, 一边调整 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{As}_{1-z}\text{Sb}_z$ 的组成以使 ΔE_v 为恒定, 一边增大 Sb 的组成时的微分增益的计算结果可以定性地得到几乎与实施例 1 相同的倾向。即, 得知在 25°C 、 85°C 两种环境温度下, 微分增益与 Sb 组成一同增大, Sb 组成在大约 0.1 附近为最大, 与现有结构相比, 25°C 环境温度下微分增益增大到约 27%, 85°C 环境温度下微分增益增大到约 116%。当再增加 Sb 组成时, 微分增益减少。这些倾向的原因与实施例 1 相同, Sb 组成 z 的理想范围是 85°C 环境温度下 $0 < z \leq 0.3$ 。另外, 理想的 In 组成为大于或等于 0.14。而且, 与实施例 1

一样,从可靠性的观点看,如本实施例所示,在阱层为压应力的情况下,在阻挡层上施加至少为小于或等于 -0.1% (应力量的绝对值为大于或等于 0.1%)的拉应力较理想。

另外,在本实施例中,虽然为了使 ΔE_v 为 123meV 而调整了 InGaAlAsSb 的组成,但通过 Sb 以及 In 和 Al 的组成的调整,可以单独地调整 ΔE_c 和 ΔE_v ,可以与量子阱层数等参数一同对 ΔE_c 、 ΔE_v 进行最优化。

在本实施例中,制作共振器长 $200\mu\text{m}$,前面设置了 0.4% 的低反射膜、后面设置了 75% 的反射镜的DFB激光器,元件电阻反映较低的 ΔE_v ,与现有的使用 $1.0\mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层的激光器相比,为低 2.5 成的 5.0Ω 。另外, 85°C 环境条件下的微分增益可以得到比现有的使用 $1.15\mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层的激光器高 116% 的 $5.4\times 10^{-16}\text{cm}^2$ 。这样,本发明的元件可以得到特性为:兼具与 $1.15\mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层相同的低元件电阻和与 $1.0\mu\text{m}$ 组成的 InGaAlAs 阻挡层的微分增益相同的微分增益,可以打破现有的折衷选择。另外,本实施例的元件,在 25°C 、 85°C 的环境温度下,可以得到 10.2mA 、 21.5mA 的较低的阈电流。斜率效率在 25°C 、 85°C 的环境温度下分别为 0.24W/A 、 0.19W/A ,较为良好。另外,因为制作了衍射光栅具有通过EB描画制作了的移位位置位于 $7:3$ 的后方的 $\lambda/4$ 型结构的激光器,所以单一模式通路关闭为 62% ,较良好。反映以上良好的特性,可以在 85°C 环境温度下在消光比为 7dB , 20Gb/s 的传输中得到良好的眼开(eye opening)。

(第4实施例)

本实施例是将本发明应用于在 InP 晶片上制作出的用于通信的 $1.55\mu\text{m}$ 带的电场吸收型调制器的例子。MQW吸收层之外的调制器的结构可以采用众所周知的结构。图8是本实施例的调制器结构的俯视图。在图8中,1是 n 型 InP 晶片,作为下部金属包层发挥作用。3是载流子浓度为 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.08\mu\text{m}$ 的 n 型 InGaAlAs 的GRIN(graded index)-SCH层,30是由 $\text{In}_{0.654}\text{Ga}_{0.290}\text{Al}_{0.056}\text{As}$ 的阱层, $\text{In}_{0.386}\text{Ga}_{0.526}\text{Al}_{0.088}\text{As}_{0.94}\text{Sb}_{0.06}$ 的阻挡层构成的MQW层,阱层厚度为 9nm ,相对于 InP 晶片1具有压应力 0.85% ,阻挡层厚度为 6nm ,相对于 InP 晶片1具有拉应力 -0.55% 。另外,阱层的层数为10,挟着阱层的阻挡层的总数为11。5是载流子浓度为 $6\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚度为

0.04 μm 的 p 型 InGaAlAs 的 GRIN-SCH 层, 6 是载流子浓度为 $9 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 0.04 μm 的 p 型 InAlAs 的电子阻止层, 7 是载流子浓度为 $1.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 0.07 μm 的 p 型 InGaAsP 的衍射光栅层。7 的衍射光栅层的组成波长射为 1.15 μm 。8 是载流子浓度为 $1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 1.5 μm 的 p 型 InP 的第 1 上部金属包层, 为宽 1.8 μm 的脊形导波导 (ridge waveguide) 的台式条状 (mesa stripe)。9 是用于取得与电极欧姆连接的连接层, 使用在 InP 晶片上晶格整合了的 p 型 InGaAs。

本实施例的 ΔE_c 与 190meV 和现有 InGaAsP 类或 InGaAlAs 类的大约 100meV 左右相比非常大。而且, ΔE_v (ΔE_{v-HL}) 与 25meV 和现有材料中的大约 70meV 左右相比非常小。因此, 与目前比较, 通过“1”电平的光吸收非常少, 可以实现没有因堆积而引起的输入信号的图像效应 (pattern effect of input signal) 和啁啾恶化的良好的电场吸收型调制器。

本实施例的电场吸收型调制器的下降时间为 15ps 极短, 可以得到基于 38GHz 的高频响应特性和低啁啾的传输速度为每秒 20Gb/s 的普通色散光纤的 60Km 的最大传输距离。

另外, 关于可靠性, 在为吸收型调制器的情况下, 几乎不存在像激光器那样的老化试验以及长期可靠性的预测。但是, 在实施例 1 中, 根据有无应力补偿, 和有无由于结晶性引起了元件老化, 因此, 即使在调制器中, 如果导入与激光器相同的应力补偿, 也可以确保长期的可靠性。因此, 在阻挡层至少施加小于或等于 -0.1% (应力量的绝对值为大于或等于 0.1) 的拉应力是较为理想的。

另外, 在本实施例中, 虽然为了使 ΔE_v 为 25meV 而调整了 InGaAlAsSb 的组成, 但通过 Sb 以及 In 和 Al 的组成的调整, 可以单独地调整 ΔE_c 和 ΔE_v , 可以与量子阱层数等参数一同对 ΔE_c 、 ΔE_v 进行最优化。

而且, 在本实施例中, 虽然以压应力实施了阱层, 但也可以拉应力来实施。在以拉应力实施的情况下, 为了形成 1.55 μm 带的吸收型调制器, 因为阱层为 InGaAs 所以与压应力的 InGaAlAsSb 相组合可以得到与本实施例相同的结构。这时, 在阱层中由于某拉应力光的偏波依存性变小, 所以可以制成良好的吸收型调制器。此时, 从可靠性的观点来看, 在阻挡层至少施加大于

或等于 0.1% 的压应力是较为理想的。在本实施例中，虽然在 SCH 层使用了 InGaAlAs，但是，当使用 InGaAlAsSb 或 InAlAsSb 时，包括 SCH 层可以得到理想的能带结构。另外，在像本实施例那样的电场吸收型调制器中，阱层的宽度越宽，量子局限的史塔克效应 (quantum confined Stark effect) 越显著，所以理想的阱层宽度为 6 到 15nm。

(第 5 实施例)

本发明第 5 实施例应用于集成了半导体激光器和对激光进行调制的电场吸收型调制器的光学集成设备。图 10 表示与光学集成设备的脊形波导 (ridge waveguide) 的台式条状 (mesa stripe) 平行的方向的纵剖面图。在图 10 中 1 是 n 型 InP 晶片，50 是光学集成设备的激光器区域，51 是电场吸收型调制器区域，54 是载流子浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.08 \mu\text{m}$ 、组成波长 $0.95 \mu\text{m}$ 的 n 型 InGaAlAs 的 SCH 层，55 是载流子浓度为 $0.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.08 \mu\text{m}$ 的 p 型 InGaAlAs 的 SCH 层，56 是载流子浓度为 $4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.04 \mu\text{m}$ 的 p 型 InAlAs 的电子阻值层，57 是载流子浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $0.05 \mu\text{m}$ 的 p 型 InGaAsP 的衍射光栅层，兼蚀刻阻止层。8 是载流子浓度为 $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚度为 $1.5 \mu\text{m}$ 的 p 型 InP 金属包层，成为宽 $1.7 \mu\text{m}$ 的脊形波导 (ridge waveguide) 的台式条状 (mesa stripe)。9 是用于取得与激光器区域的 p 侧电极 58 或调制器区域的 p 电极 59 的欧姆连接的连接层，使用在 InP 晶片上晶格整合了的 InGaAs。60 是 n 侧电极，61 是半导体激光器部分的后端面反射膜，反射率为 90%。在由 57 的 InGaAsP 构成的衍射光栅结构中导入 $\lambda/4$ 结构，得到较高的单模运行 (single mode operation)。53 是激光器区域的 MQW 层，由 $\text{In}_{0.734}\text{Ga}_{0.210}\text{Al}_{0.056}\text{As}$ 的阱层， $\text{In}_{0.368}\text{Ga}_{0.399}\text{Al}_{0.233}\text{As}_{0.92}\text{Sb}_{0.08}$ (组成波长： $984 \mu\text{m}$) 的阻挡层构成，阱层厚度为 5nm，相对于 InP 晶片 1 具有压应力 1.4%，阻挡层厚度为 8nm，相对于 InP 晶片具有拉应力 -0.5%。另外，阱层的层数为 8，挟着阱层的阻挡层的总数为 9。本结构的传导带一侧的能带不连续 ΔE_c 为 409meV，比较大。实效的价电子带中的量子阱的深度 $\Delta E_v - \text{HL}$ 为 123meV。52 是电场吸收型调制器的 MQW 层，是由 $\text{In}_{0.661}\text{Ga}_{0.268}\text{Al}_{0.071}\text{As}$ 的阱层， $\text{In}_{0.385}\text{Ga}_{0.511}\text{Al}_{0.104}\text{As}_{0.92}\text{Sb}_{0.08}$ 的阻挡层构成的 MQW 层，阱层厚度为 9nm，相对于 InP 晶片 1 具有压应力 0.9%，阻挡层厚

度为 6nm, 相对于 InP 晶片具有拉应力-0.4%。另外, 阱层的层数为 10, 挟着阱层的阻挡层的总数为 11。 ΔE_c 为 214meV 比较大, ΔE_v 为 21meV 比较小, 为理想的能带结构。另外, 62 是反射率小于或等于 0.6% 的反射防止膜, 为了降低实际的反射率还设置了 InP 层的窗结构 63。

在调制器集成设备中, 激光器部分始终发射激光, 由位于其前方的电场吸收型调制器部分对激光进行高速调制。调制器内的多量子阱构造 3b 是当在调制器的电极 59 施加反电压时, 根据量子局限的史塔克效应, 激光由调制器吸收, 不输出到外部。当调制器部分上部电极 59 的电压较小时, 激光不由调制器吸收, 而是输出到外部。

该电场吸收型调制器集成光学设备的下降时间为 18ps 极短, 可以得到基于 24GHz 的高频响应特性和低啁啾的传输速度为每秒 24Gb/s 的普通色散光纤的 40Km 的最大传输距离。寿命在 85℃, 10mW 下可以得到 2×10^6 小时的高可靠性。在本实施例中, 虽然对电场吸收型光调制器光学集成设备进行了说明, 但也理所当然地同样适用于麦克詹达 (Mach-Zender) 光调制光学集成设备等。另外, 也同样可以适用于变换光的模式大小的, 模式放大器光学集成设备。而且, 理所当然也可以适用于横向集成了激光器的激光器阵列等。另外, 本结构虽然以脊形结构说明了集成设备, 但理所当然也可以适用于隐埋式异质结 (buried heterostructure) 集成设备。

(第 6 实施例)

本实施例是将本发明应用于在 InP 晶片上制作出的用于通信的 $1.55 \mu m$ 带的电场吸收型调制器的例子。除了 MQW 吸收层之外的调制器的结构, 可以采用众所周知的结构, 应用了与实施例 4 相同的如图 8 所示的俯视图的结构。图 11 表示 MQW 层 30 内的 1 个量子阱层。在图 11 中, 70 是 0.85% 应力的, 厚度为 6nm 的 $In_{0.654}Ga_{0.290}Al_{0.056}As$ 的阱层, 71 是 +0.85% 应力的, 厚度为 5nm 的 $In_{0.517}Ga_{0.438}Al_{0.046}As_{0.881}Sb_{0.129}$ 的层, 在传导带一侧相对于电子为阻挡层, 在价电子一侧作为阱层发挥作用。72 是 -0.5% 应力的, 厚度为 5nm 的 $In_{0.403}Ga_{0.511}Al_{0.086}As_{0.995}Sb_{0.005}$ 的阻挡层。71 的 InGaAlAsSb 层为了在传导带一侧与 72 的阻挡层的传导带端为相同高度, 在价电子带一侧与 70 的阱层的价电子带端为相同高度而调整了组成比。阻挡层 72 与阱层 71 间的 ΔE_c 为

169meV, ΔE_v 为 30meV。另外, MQW 层 30 层叠 8 层图 11 的量子阱层, 根据图 11 的量子阱层的位置关系, 在左侧设置 p 型 InGaAlAs GRIN-SCH 层 5, 在左侧设置 n 型 InGaAlAs GRIN-SCH 层 3。

当在这样结构的电场吸收型调制器的 p 侧电极施加负电压时, 如图 12 所示, 能带变化, MQW 的吸收端的带隙减少。这时, 量子阱层内的传导带和价电子带的最低能量的波动函数变为图中的虚线, 所以电子与空穴的分布概率的重叠积分即使在高电场时也一样较大, 可以得到良好的消光比。图 13 是现有的量子阱结构。在高电场时, 因为电子与空穴的分布概率的重叠积分变小, 所以消光比恶化。这样, 在本实施例的结构中, 与目前相比可以实现即使在高电场时消光比也较大的电场吸收型调制器。而且, 与现有的例子相比可以实现较大的 ΔE_c 与较小的 ΔE_v , 所以与目前相比, 通过“1”电平的光吸收非常少, 可以实现没有因堆积而引起的输入信号的图像效应 (pattern effect of input signal) 和没有啁啾恶化的良好的电场吸收型调制器。

本实施例的电场吸收型调制器的下降时间为 12ps 极短, 可以得到基于 45GHz 的高频响应特性和消光比 20dB、低啁啾的传输速度为每秒 40Gb/s 的普通色散光纤的 20Km 的最大传输距离。

另外, 与实施例 4 一样, 如果在调制器内设置与激光器相同的应力补偿, 则预测可以得到长期的可靠性。因此, 在阻挡层至少施加小于或等于 -0.1% (应力量的绝对值为大于或等于 0.1) 的拉应力。

另外, 在本实施例中, 虽然为了使 ΔE_v 为 30meV 而调整了 InGaAlAsSb 的组成, 但通过 Sb 以及 In 和 Al 的组成的调整, 可以单独地对 ΔE_c 和 ΔE_v 进行调整, 可以与量子阱层数等参数一同对 ΔE_c 、 ΔE_v 进行最优化。

再者, 在本实施例中, 虽然以压应力实施了阱层以及 InGaAlAsSb 层 71, 但也可以以拉应力来实施。在以拉应力实施的情况下, 为了形成 1.55 μm 带的电场吸收型调制器, 因为阱层为 InGaAs, 所以可以与压应力的 InGaAlAsSb 组合, 获得与本实施例相同的结构。71 的 InGaAlAsSb 层也同样可以以拉应力来实现。这时, 在阱层由于某拉应力光的偏波依存性变小, 所以可以制作良好的电场吸收型调制器。这时, 从可靠性的观点看, 在阻挡层至少施加大于或等于 0.1% 的压应力是较为理想的。

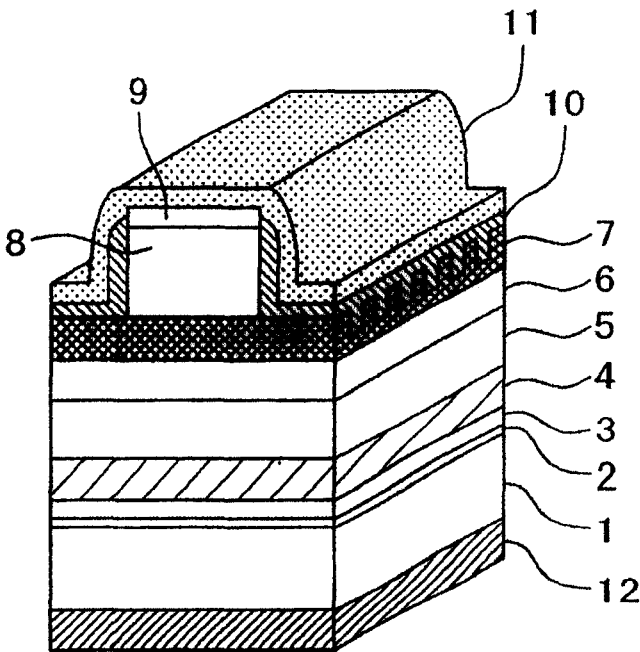


图 1

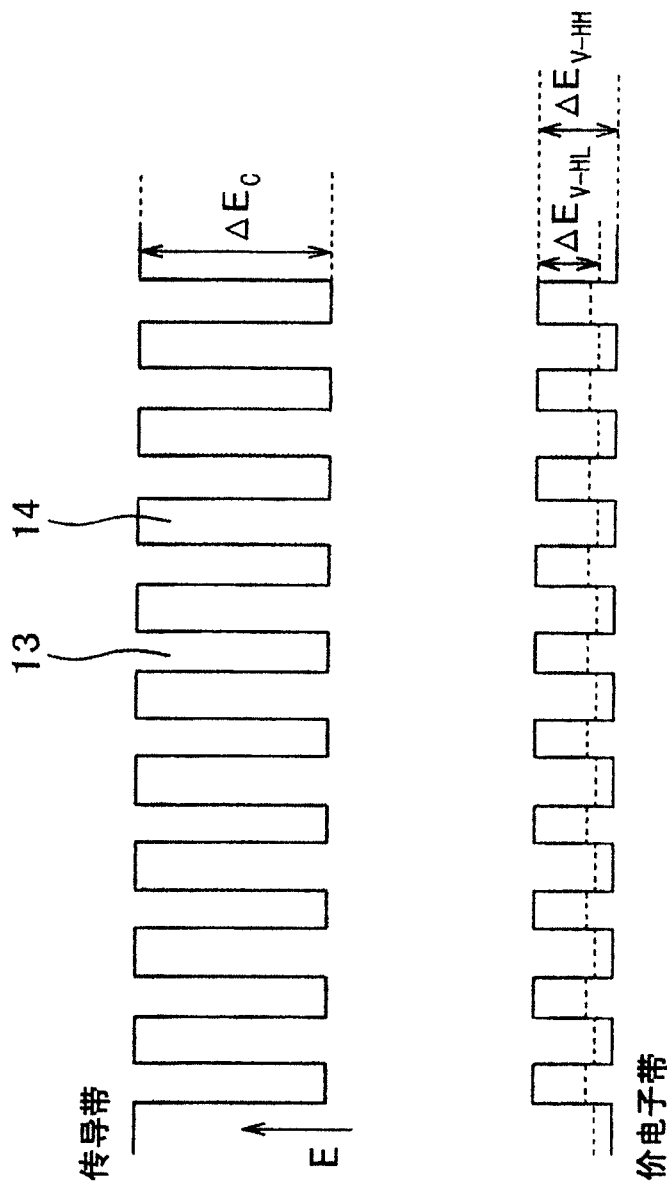


图 2

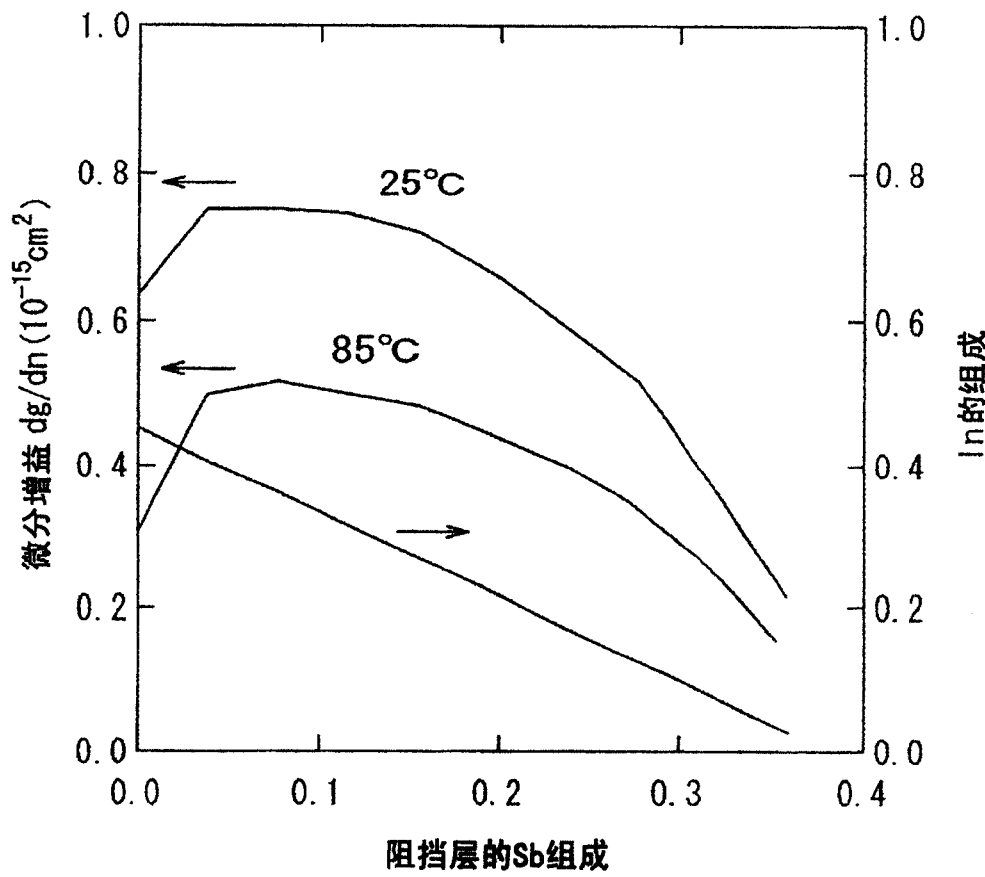


图 3

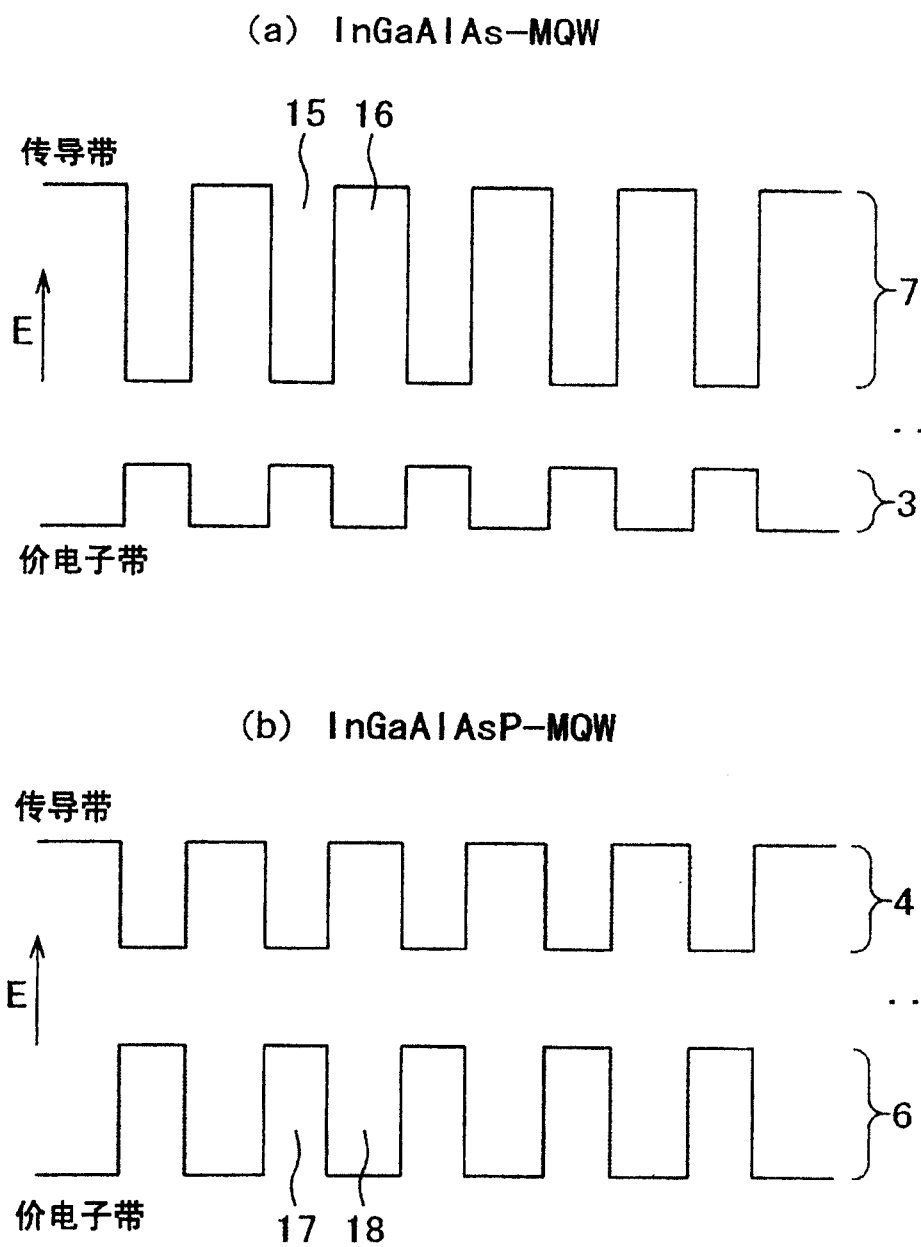


图 4

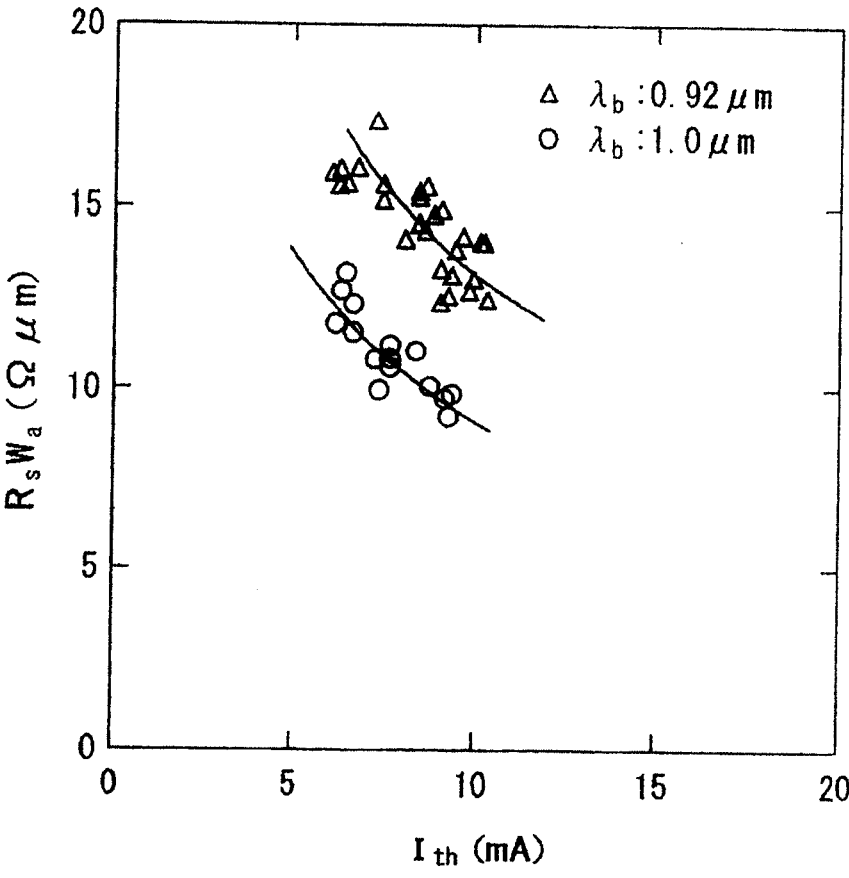


图 5

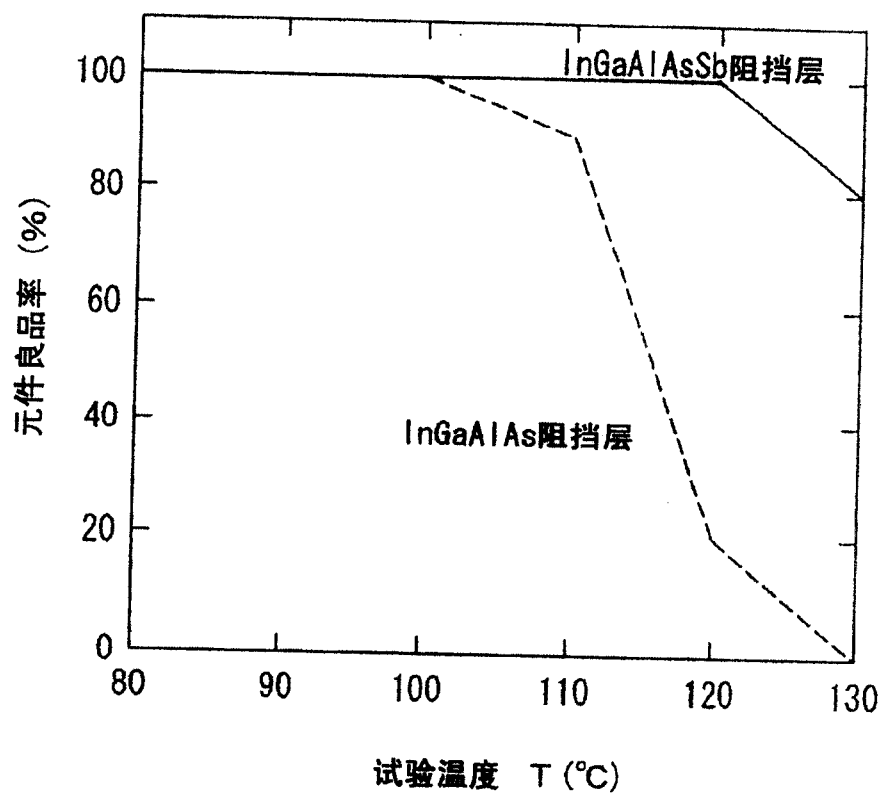


图 6

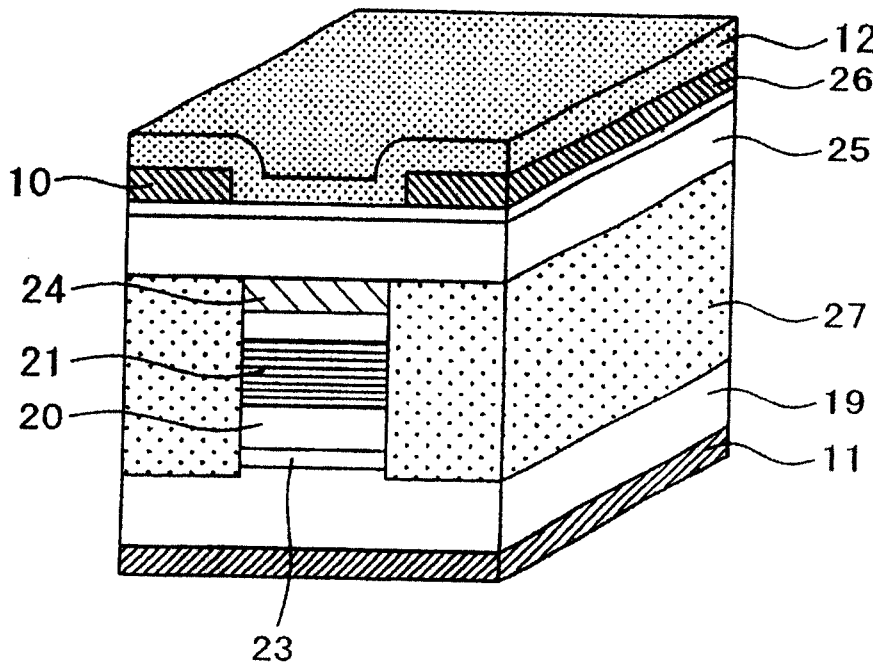


图 7

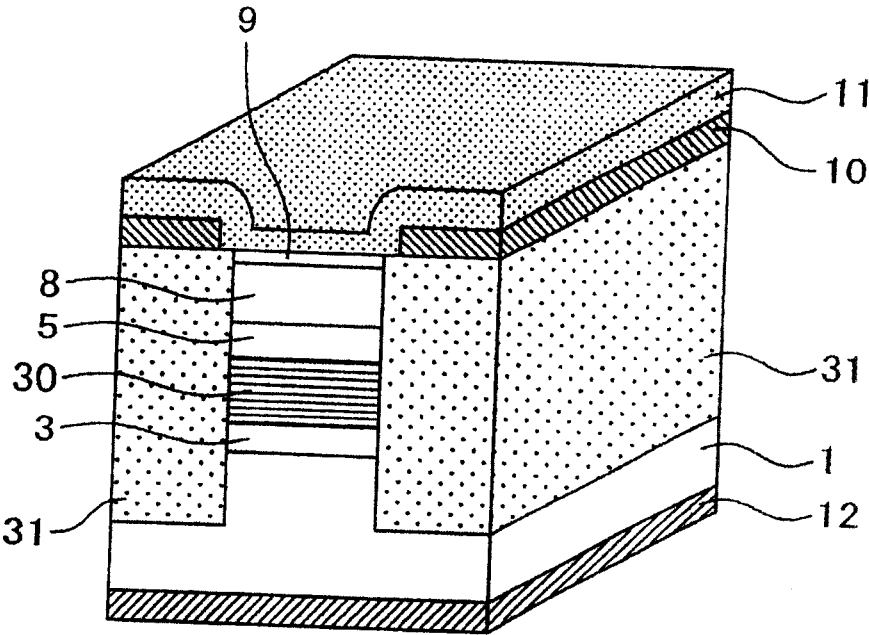


图 8

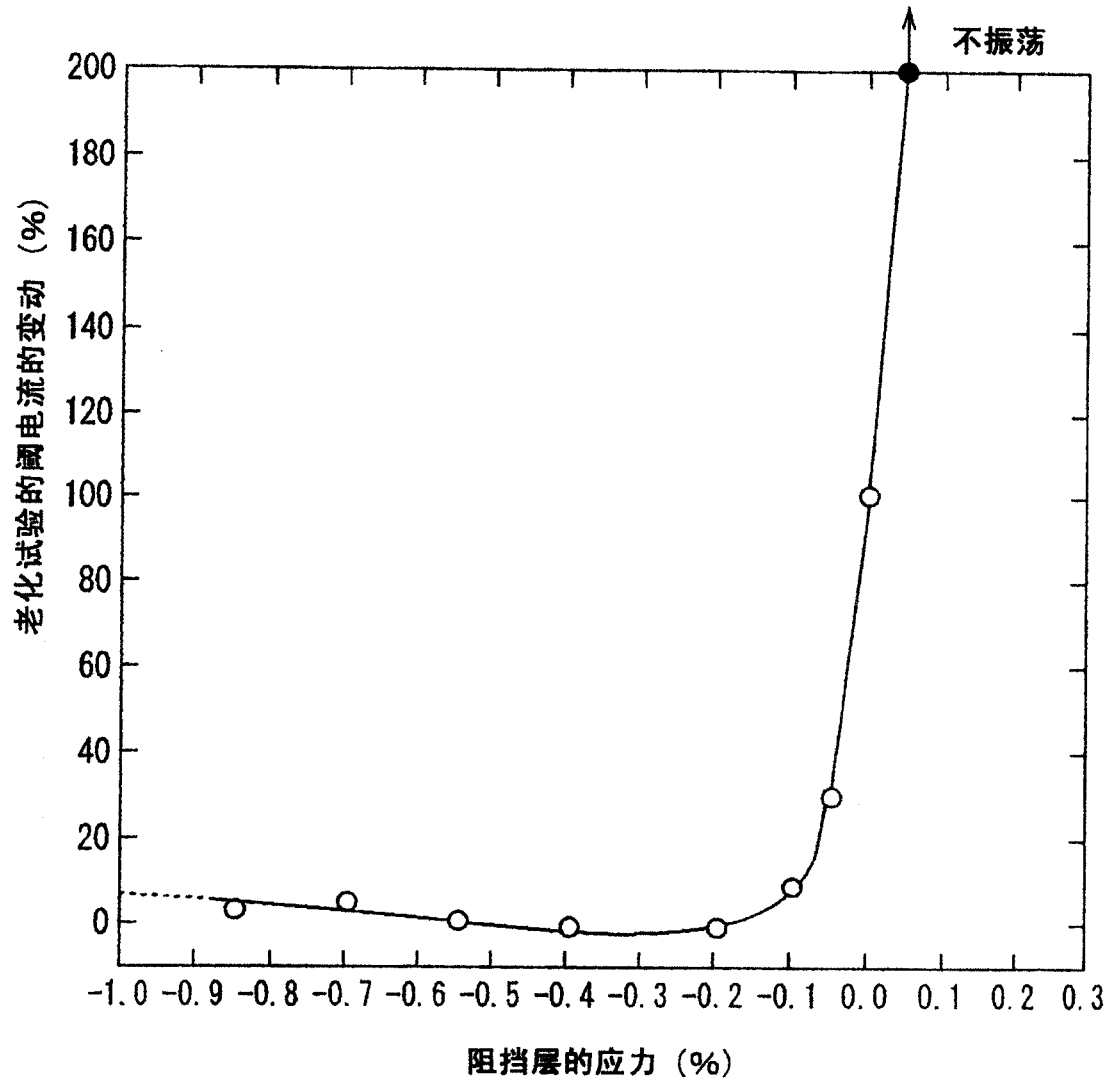


图 9

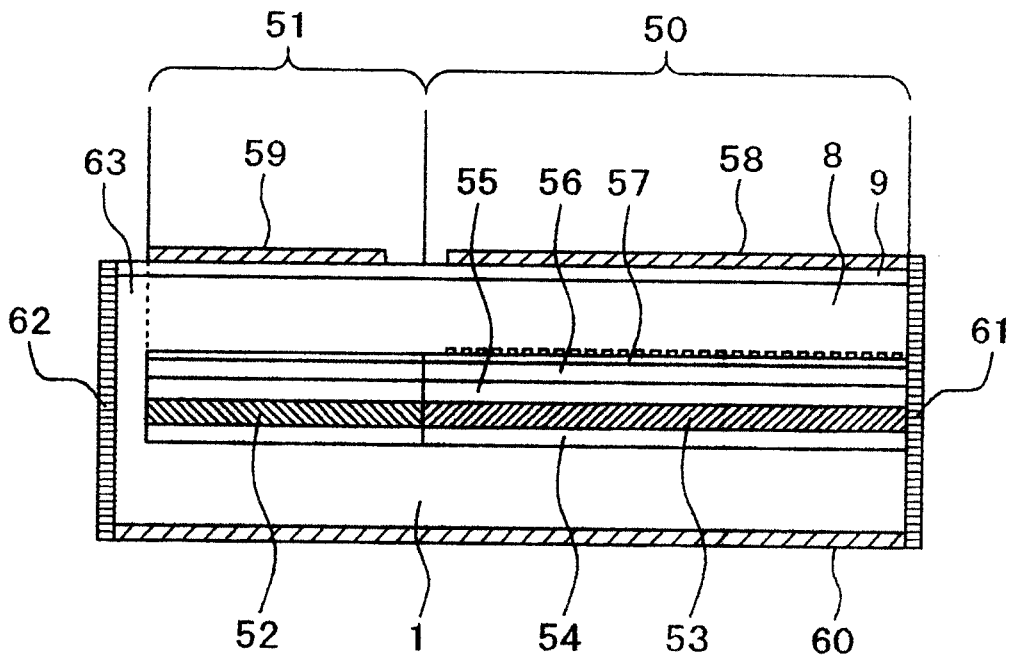


图 10

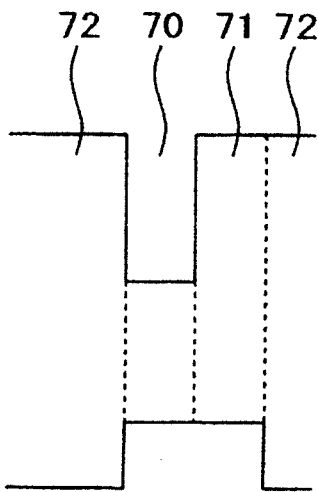


图 11

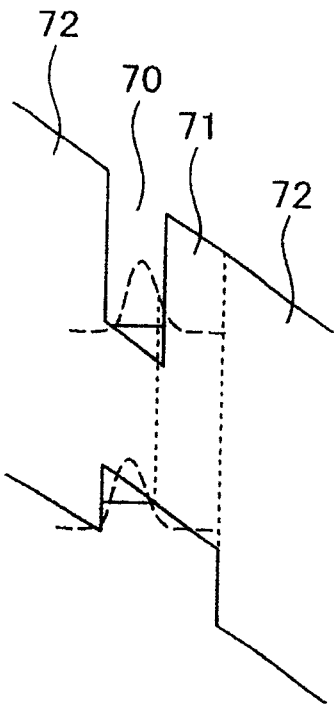


图 12

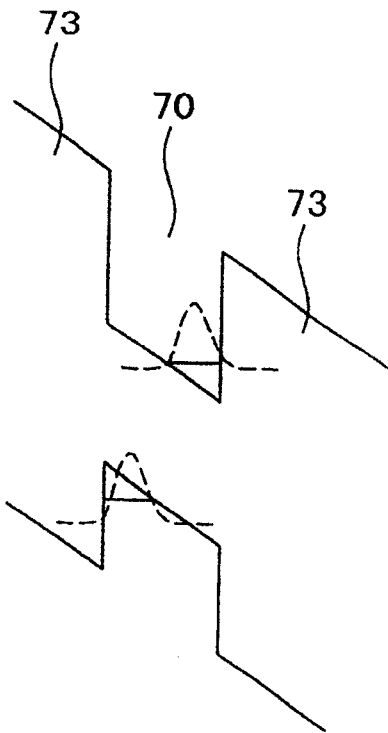


图 13