

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01S 5/343 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710152406.1

[43] 公开日 2008 年 5 月 28 日

[11] 公开号 CN 101188344A

[22] 申请日 2003.3.6

[21] 申请号 200710152406.1

分案原申请号 03805468. X

[30] 优先权

[32] 2002.3.8 [33] JP [31] 2002-062962

[71] 申请人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 长谷川义晃 横川俊哉

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司
代理人 龙 淳

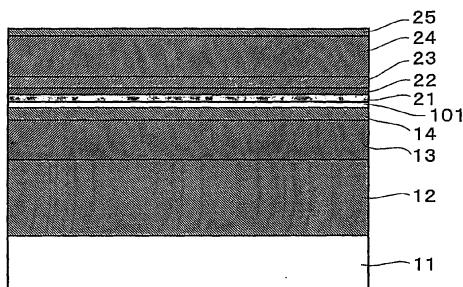
权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 18 页

[54] 发明名称

半导体激光器和其制造方法

[57] 摘要

一种半导体激光器，在基板(11)上顺序层叠 n 型半导体层(13)、活性层(101)和 p 型半导体层(24)，所述活性层(101)包含由 InGaN 所构成的阱层，在活性层(101)和 p 型半导体层(24)之间，形成实质上不掺杂杂质的由氮化镓系列化合物半导体所构成的中间层(21)。利用该半导体激光器，可实现高的光输出动作下的长寿命。



1. 一种半导体激光器，其特征为，
在基板上顺序层叠 n 型半导体层、活性层和 p 型半导体层，
所述活性层包含由 InGaN 所构成的阱层，
在所述活性层和所述 p 型半导体层之间，形成有实质上不掺杂杂质的由氮化镓系列化合物半导体所构成的中间层，
所述中间层由 GaN 或 InGaN 形成，
在所述活性层和中间层之间没有间隔其它的 p 型半导体层，
在所述基板和 n 型半导体层之间，形成有包括穿透位错密度为 $5E8\text{cm}^{-2}$ 以下的低位错区域的半导体层。
2. 根据权利要求 1 所述的半导体激光器，其特征在于，
所述中间层的厚度是 15nm 以上 180nm 以下。
3. 根据权利要求 2 所述的半导体激光器，其特征在于，
所述半导体激光器是 III-V 族氮化物半导体激光器，
所述 n 型半导体层是包含 Si 作为 n 型杂质，
所述 p 型半导体层是包含 Mg 作为 p 型杂质。
4. 根据权利要求 1 所述的半导体激光器，其特征在于，
所述活性层中的 p 型杂质的浓度是约 $1E17\text{cm}^{-3}$ 以下。
5. 一种半导体激光器的制造方法，其特征在于，包括：
在基板上形成有包括穿透位错密度为 $5E8\text{cm}^{-2}$ 以下的低位错区域的半导体层的步骤；
在所述半导体层上形成掺杂有 n 型杂质的 n 型半导体层的步骤；
在所述 n 型半导体层上形成包括由 InGaN 构成的阱层的活性层的步骤；
在所述活性层上形成由氮化镓系列化合物构成的中间层的步骤；
和
在所述中间层上形成掺杂有 p 型杂质的 p 型半导体层的步骤，

其中，所述中间层由 GaN 或 InGaN 形成，不掺杂杂质来形成，并且按照在与所述活性层之间没有间隔其它 p 型半导体层的方式来形成。

半导体激光器和其制造方法

本申请是申请日为 2003 年 3 月 6 日、申请号为 03805468.X (PCT/JP03/02617)、发明名称为“半导体激光器和其制造方法”的专利申请的分案申请。

技术领域

本发明涉及一种半导体激光器和其制造方法。

背景技术

近些年来，作为下一代的高密度光盘用光源，对于发出蓝紫光的激光二极管的希望变高，特别是，对在从蓝紫光到紫外光的短波长区域能动作的氮化镓（GaN）系列的 III-V 族化合物半导体发光元件的研究开发逐渐盛行。此外，这种光盘装置作为刻录部件，希望高密度、高速记录用，所以需要高光输出的高可靠性的 GaN 系列半导体激光器。

最近，为了 GaN 系列激光器的长寿命化，采用这种方法，在蓝宝石基板上成长的 GaN 系列半导体膜上部分堆积二氧化硅（ SiO_2 ）等绝缘膜，在该绝缘膜上选择生长 GaN 系列半导体降低位错密度（dislocation density）。关于这种选择成长，具有第一文献“IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.4(1998) 483-489”。如按第一文献，表示了在 GaN 的<1-100>方向周期地形成直线间隔状的 SiO_2 膜，将在 SiO_2 上横向（ELO: Epitaxial Lateral Overgrowth）成长的 GaN 膜变平坦，一边能够用为低位错基板。

作为将该 ELO 选择成长技术用于激光器的文献，具有第二文献“Applied Physics Letters, Vol.77 (2000) 1931-1933”和第三文献“IEICE Transuction Electron, Vol.E83-C (2000) 529-535”。如按照第二文献，表示了通过选择成长能够将激光器构造的活性层部分的位错密度从 $1\text{E}10\text{cm}^{-2}$ 左右降低到 $1\text{E}7\text{cm}^{-2}$ 左右。此外，如按第四文献“Japanese Journal of Applied Physics Vol.40 (2001) 3206-3210”，表示了降低

GaN 系列激光器的动作电流和动作电压，降低消耗电力（动作电流和动作电压的积），对于抑制激光器的发热有关的长寿命化是有效的。

不仅 GaN 系列激光器，一般的半导体激光器的活性层具有用于载流子注入的由 p-n 结所夹持的构造。为此，在活性层附近的 p 型掺杂物和 n 型掺杂物的控制即所谓的界面陡峭性（interface abruptness），对于激光器的特性提高是重要的。原因是，如果上述掺杂物扩散到活性层，作为非发光再结合中心而作用，降低了活性层的发光效率。下面，关于 GaN 系列半导体的 p 型掺杂物，来说明已有的控制方法。

对于 GaN 的 p 型掺杂物，通常使用二茂镁（Biscyclopentadienylmagnesium）（Cp₂Mg）。但是，如按第五文献“Journal of Crystal Growth, Vol. 189/190 (1998) 551-555”，表示了在使用有机金属气相成长（MOVPE）的结晶成长中，具有作为 p 型掺杂物的 Mg 扩散到规定的结晶以外的问题。此外，也表示了在位错密度大的情况下，这种扩散明显。另外，在第六文献“Journal of Crystal Growth, Vol. 145 (1994) 214-218”中，记载了 Mg 吸附到作为 MOVPE 装置的反应炉的石英制的反应堆的存储器效果。如按该文献，表示了由于 Mg 具有存储器效果，所以产生掺杂延迟，Mg 浓度分布的界面陡峭性恶化。

另外，关于已有的 Mg 的扩散控制方法，记载在特开平 6-283825 号公报和特开平 11-251687 号公报中。

我们为了实现 GaN 系列激光器的长寿命化，与上述文献 1、2 同样，尝试通过 ELO 选择成长法来降低 GaN 膜的位错密度，但长寿命化的效果不明显。即，可理解，仅降低位错密度，不能实现 GaN 系列激光器的长寿命。

发明内容

本发明的目的在于，提供一种在高光输出动作中能够长寿命的半导体激光器和其制造方法。

本发明的所述目的通过下面的半导体激光器来实现，其在基板上，顺序层叠 n 型半导体层、活性层和 p 型半导体层，所述活性层包含由 InGaN 所构成的阱层，在所述活性层和所述 p 型半导体层之间，形成实质上不掺杂杂质的由氮化镓系列化合物半导体所构成的中间层。

该半导体激光器通过下面的半导体激光器的制造方法来制造，该方法例如具有：在基板上形成掺杂 n 型杂质的 n 型半导体层的步骤；在所述 n 型半导体层上，形成包括由 InGaN 构成的阱层的活性层的步骤；在所述活性层上，形成由氮化镓系列化合物构成的中间层的步骤；和在所述中间层上，形成掺杂 p 型杂质的 p 型半导体层的步骤，所述中间层不掺杂杂质来形成。

另外，本发明的所述目的通过半导体激光器来实现，该半导体激光器是这样的半导体激光器，在其基板上，顺序层叠 n 型半导体层、活性层和 p 型半导体层，在所述活性层和所述 p 型半导体层之间，形成由氮化镓系列化合物半导体所构成的中间层，所述中间层通过层叠实质上不掺杂杂质的非掺杂层和掺杂 n 型杂质的扩散抑制层来构成，在与所述 p 型半导体层相邻侧，配置所述扩散抑制层。

该半导体激光器通过半导体激光器的制造方法来制造，该方法例如包括：在基板上形成掺杂 n 型杂质的 n 型半导体层的步骤；在所述 n 型半导体层上形成包含由 InGaN 构成的阱层的活性层的步骤；在所述活性层上形成由氮化镓系列化合物构成的中间层的步骤；和在所述中间层上形成掺杂 p 型杂质的 p 型半导体层的步骤，其中，形成所述中间层的步骤包括：通过不掺杂杂质地成长氮化镓系列化合物半导体层，形成实质不掺杂杂质的非掺杂层的步骤；在所述氮化镓系列化合物半导体层的成长过程中，开始掺杂 n 型杂质来形成扩散抑制层的步骤。

优选，在所述基板上形成 n 型半导体层的步骤，在所述基板上沿横方向使氮化物系列化合物半导体层选择成长之后来进行。

附图说明

图 1 是本发明的实施方式 1 的构成半导体激光器的激光器晶片的截面图。

图 2 是图 1 的部分截面图。

图 3 是表示本发明的实施方式 1 的半导体激光器的截面图。

图 4 是表示本发明的实施方式 1 的半导体激光器元件的光输出相对电流的变化的图。

图 5 是表示本发明的实施方式 1 的半导体激光器元件的动作电流

相对动作时间的变化的图。

图 6 是表示比较例的激光器晶片中 Mg 向活性层的扩散状态的图。

图 7 是表示光致发光 (PL) 相对波长的变化的图。

图 8 是表示比较例的半导体激光器元件的动作电流相对动作时间的变化的图。

图 9 是表示本发明的实施方式 1 的激光器晶片中 Mg 向活性层的扩散状态的图。

图 10 是表示本发明的实施方式 1 的其它激光器晶片中 Mg 向活性层的扩散状态的图。

图 11 是表示本发明的实施方式 1 的上述其它激光器晶片，在寿命试验后 Mg 向活性层的扩散状态的图。

图 12 是表示本发明实施方式 1 的中间层和厚度和寿命时间的关系的图。

图 13 是表示本发明实施方式 2 的构成半导体激光器的激光器晶片的截面图。

图 14 是表示本发明的实施方式 2 的激光器晶片中 Mg 向活性层的扩散状态的图。

图 15 是表示本发明的实施方式 2 的半导体激光器元件的动作电流相对动作时间的变化的图。

图 16 是表示本发明的实施方式 2 的其它激光器晶片中 Mg 向活性层的扩散状态的图。

图 17 是本发明实施方式 3 的构成半导体激光器的激光器晶片的截面图。

图 18 是表示本发明实施方式 3 的半导体激光器的制造方法的工序图。

图 19 是表示本发明实施方式 3 的半导体激光器元件的动作电流相对动作时间的变化的图。

具体实施方式

下面，参照附图来说明本发明的实施方式。

(实施方式 1)

图 1 和图 2 是本发明实施方式 1 的构成半导体激光器的激光器晶片的截面图。如图 1 所示那样，激光器晶片为这样的构成，在蓝宝石基板 11 上，顺序层叠 n 型接触层 12、n 型覆层 13、第一光引导层 14、多重量子阱活性层 101、中间层 21、盖层 22、第二光引导层 23、p 型覆层 24 和 p 型接触层 25，在掺杂有 n 型杂质的 n 型半导体层和掺杂有 p 型杂质的 p 型半导体层之间，夹持活性层。P 型杂质优选的是电活性率高，在本实施方式中是 Mg。另外，n 型杂质优选的电传导控制性好，在本实施方式中是 Si。

如图 2 所示那样，多重量子阱活性层 101 构成为，从接近光引导层 14 开始顺序地层叠第一 GaN 屏蔽层 15、第一 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 量子阱 16、第二 GaN 屏蔽层 17、第二 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 量子阱 18、第三 GaN 屏蔽层 19、和第三 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 量子阱 20。

该激光器晶片能够通过下面的方法来制造。首先，对将 (0001) 面作为主面的蓝宝石基板 11，使用酸溶液来进行清洗。之后，将清洗过的基板 11 保持在 MOVPE 装置（未图示）的反应炉内的基座上，将反应炉进行真空排气。接着，将反应炉内设置压力为 300Torr（1Torr = 133.322Pa）的氢环境，将温度升温到约 1100°C，加热基板 11，进行约 10 分钟的表面热清洁处理。

接着，将反应炉降温到约 500°C，之后，对基板 11 的主面上，同时供给供给量 7sccm 的三甲基镓（trimethylgallium: TMG）和供给量 7.5slm 的氨气（NH₃）和作为载气的氢气，由此成长由厚度 20nm 的 GaN 构成的低温屏蔽层（未图示）。接着，将反应炉升温到约 1000°C，还供给作为 n 型掺杂物的硅烷（SiH₄）气体，以约 4 μm 厚度成长由 Si 杂质浓度约 1E18cm⁻³ 的 n 型 GaN 构成的 n 型接触层 12。接着，还一边供给三甲基铝（trimethylaluminum: TMA），一边以约 0.7 μm 的厚度成长由 Si 杂质浓度约 5E17cm⁻³ 的 n 型 $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ 构成的 n 型覆层 13。接着，以约 120nm 的厚度成长由 Si 杂质浓度约 1E18cm⁻³ 的 n 型 GaN 构成的第一光引导层 14。

之后，将温度降低到约 800°C，将载气从氢气变换为氮气，供给三甲基铟（trimethylindium: TMI）和 TMG，如图 2 所示，成长多重量子阱活性层 101，其由下面的各层所构成：由厚度约 3nm 的 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 所

构成的各个量子阱 16、18、20（3 层）；由厚度约 9nm 的 GaN 所构成的各个屏蔽层 15、17、19（3 层）。此时，为了提高活性层 101 的发光效率，在屏蔽层的成长时也供给 SiH₄ 气体，仅对屏蔽层掺杂 Si 杂质浓度为 2E18cm⁻³ 的 Si。

接着，成长由厚度约 15nm（0.015 μm）的 GaN 所构成的中间层 21。在本实施方式中，该中间层 21 意思是不添加杂质的实质非掺杂层。

之后，再次将反应炉内的温度升温到约 1000℃，将载气从氮气恢复到氢气，一边供给作为 p 型掺杂物的 Cp₂Mg 气体，一边以约 20nm 的厚度成长由 Mg 杂质浓度约 1E19cm⁻³ 的 p 型 Al_{0.18}Ga_{0.82}N 所构成的盖层 22。接着，以约 120nm 的厚度成长由 Mg 杂质浓度约 1E19cm⁻³ 的 p 型 GaN 所构成的第二光引导层 23。接着，以约 0.5 μm 的厚度成长由 Mg 杂质浓度约 1E19cm⁻³ 的 p 型 Al_{0.07}Ga_{0.93}N 所构成的 p 型覆层 24。最后，以约 0.05 μm 的厚度成长由 Mg 杂质浓度约 1E19cm⁻³ 的 p 型 GaN 所构成的 p 型接触层 25。这样，完成在 p 型半导体层和 n 型半导体层之间夹持中间层 21 和活性层 101 的激光器晶片。

下面，说明使用图 1 和图 2 所示的激光器晶片来制造图 3 所示的半导体激光器的方法。

首先，对激光器晶片进行 p 型半导体层的活性加热处理。之后，在晶片表面上堆积由二氧化硅（SiO₂）所构成的绝缘膜。接着，在该绝缘膜上堆积抗蚀膜，通过光刻法，仅在 p 型接触层 25 的脊形成位置（ridge-forming portion）（脊宽度：约 2 μm）残留抗蚀膜。之后，将抗蚀膜作为蚀刻掩膜，利用氟酸溶液除去抗蚀除去部的绝缘膜，露出 p 型接触层 25。接着，将脊形成位置以外的 p 型接触层 25 和 p 型覆层 24 的一部分利用干蚀刻装置来蚀刻，将 p 型半导体层的残留膜厚形成 0.1 μm 左右。之后，通过丙酮等有机溶液，除去脊上的抗蚀膜。

接着，通过由 SiO₂ 构成的绝缘膜来覆盖 n 型电极的形成位置之外，通过干蚀刻露出 n 型接触层 12。之后，为了进行 p 侧和 n 侧的电分离，在表面上形成由 SiO₂ 构成的绝缘膜 26 后，通过氟酸溶液除去脊位置的 p 型接触层 25 上的绝缘膜。之后，在露出的 n 型接触层 12 上，通过钛（Ti）和铝（Al）蒸发来形成 n 型电极 27，在露出的 p 型接触层 25 上，通过镍（Ni）、铂（Pt）和金（Au）蒸发来形成 p 型电极 28。这样，

得到如图 3 所示的半导体激光器。

接着，进行激光器共振器端面的解理工序。首先，从蓝宝石基板 11 的背面侧开始研磨，进行薄膜化，使得总膜厚为 $100 \mu\text{m}$ 左右。之后，利用解理装置（未图示）将基板 11 解理开为条状，使得共振器端面为蓝宝石基板的<1-100>方向。而且，在本实施方式中，激光器共振器长度是 $750 \mu\text{m}$ 。而且，在激光器共振器的后端面上，堆积由 3 对 SiO_2 和二氧化钛 (TiO_2) 的层叠体所构成的电介质多层膜，为高反射膜涂层。

最后，对解理开的条进行 2 次解理，分离为激光器片，由 p 侧向下安装到罐形激光器封装 (CAN-type laser package)。在该安装时，通过钎焊将激光器片固定到由炭化硅 (SiC) 构成的子支座上。这样，能够制造半导体激光器元件。

本实施方式的半导体激光器元件，通过注入电流实现室温下连续振动。此时，如图 4 所示，阈值电流和斜率效率 (Slope efficiency) 分别是 60mA 、 0.8W/A 。

另外，挑选光输出 30mW 中消耗电力 (动作电流和动作电压的积) 是 0.6W 左右的激光器元件，在室温下进行 30mW 的高光输出下的基于恒定光输出 (APC：自动功率控制) 的寿命试验，图 5 表示了该结果。激光器元件的老化率 (动作电流的增加率) 是每小时 0.9mA 左右，确认约 100 小时的寿命时间(到动作电流是初期电流的 2 倍时的时间)。

在本实施方式中，由 2 元混晶 GaN 构成中间层，但也能够是 AlGaN 或者 InGaN 等 3 元混晶，或者 AlInGaN 等 4 元混晶等其它氮化镓系列化合物半导体。另外，在本实施方式中，关于 III-V 族氮化物半导体激光器进行了说明，但 GaAs、InP 等 III-V 族半导体激光器，或 ZnSe 等 II-VI 族半导体激光器等情况下，也能够形成与本实施方式相同的构成。

比较例

作为实施方式 1 的半导体激光器的比较例，比较讨论在中间层 21 中掺杂 Si 而成为 n 型 GaN 层，其它通过与实施方式 1 相同的方法来制造半导体激光器，Mg 向活性层内的扩散状态。n 型 GaN 层所构成的中间层的 Si 杂质浓度，为与屏蔽层相同程度的大约 $2\text{E}18\text{cm}^{-3}$ 。

对于比较例中的结晶成长后的激光器晶片，使用 2 次离子质谱测定法（SIMS），评价作为 p 型掺杂物的 Mg 向活性层的扩散状态，图 6 表示了其结果。

从图 6 可知道 Mg 向活性层内（从第三量子阱 20 向第一量子阱 16）广阔扩散的情形。具体地说，扩散后的 Mg 浓度，在第一量子阱 16 约为 $4E17\text{cm}^{-3}$ ，在第二量子阱 18 约为 $2E18\text{cm}^{-3}$ ，在第三量子阱 20 约为 $1E19\text{cm}^{-3}$ 。象后述那样，如果与实施方式 1 的激光器晶片的测量结果进行比较，可明白，在第二量子阱 18 约 10 倍，在第三量子阱 20 约 4 倍的 Mg 扩散到活性层内。即，在实施方式 1 中未掺杂的 GaN 中间层 21，掺杂作为 n 型杂质的 Si（即，成为 n 型 GaN 中间层），由此促进了 Mg 的扩散。

这种现象能够参考已有的文献“Journal of Applied Physics, Vol.66 (1989) 605-610”象下面这样解释。扩散的 Mg 原子，由于存在于格子间位置，所以容易扩散，如果碰上由于扩散存在于置换型位置的 Si，通过给-受体相互作用（库仑相互作用），形成由 MgSi 构成的电中性的稳定的复合体。为此，认为 Mg 在掺杂 Si 的区域容易扩散。由于活性层是在屏蔽层中掺杂 Si 的层，所以可推测，象比较例那样，通过在中间层中掺杂 Si，Mg 广阔地扩散到活性层中央附近。

比较例的半导体激光器元件，通过电流注入可实现室温下连续振动。此时的阈值电流和斜率效率分别是 75mA、0.5W/A。如果与上述实施方式 1 的半导体激光器元件的测量结果进行比较，阈值电流和斜率效率同时恶化。考虑到这是因为激光器元件的活性层的发光效率由于 Mg 扩散而降低导致的。为了确认这一点，本发明者进行了下面的试验。

在本试验中，在实施方式 1 的激光器晶片的制造工序中，制造在活性层成长时特意掺杂过 Mg 的半导体激光器元件（试样 A），和没有掺杂的半导体激光器元件（试样 B）。此外，在激光器晶片的制造工序中，除在利用掺杂 Si 的 GaN 层来形成活性层且在活性层成长时特意掺杂 Mg 外，其它与实施方式 1 一样，通过这样的方法，来制造半导体激光器元件（试样 C）。试样 A 和试样 C 的 Mg 杂质浓度为约 $1E19\text{cm}^{-3}$ 。

然后，测量上述试样 A～试样 C 的光致发光（PL）。PL 测量是选

择地光激励活性层，在室温下进行的。图 7 表示了该结果。但是，关于试样 A 和试样 C，将 PL 强度放大到 250 倍来表示。

如图 7 所示那样，没有掺杂 Mg 的试样 B，其 PL 峰值波长约是 400nm，但掺杂有 Mg 的试样 A，分离为约 435nm 和约 550nm 的两个峰值，其半值宽也变宽。这种现象可考虑到，通过将 Mg 掺杂到活性层中，在 InGaN 量子阱内形成深的能级（deep level），其成为非发光再结合中心。另外，也能够促进 InGaN 的相分离，降低量子阱的界面陡峭性。

来自深的能级的发光（550nm）的各个 PL 强度利用峰值强度标准化后的值（标准化强度）是，没有掺杂 Mg 的试样 B 是 $13600(550\text{nm}) / 1300000(400\text{nm}) = 1.1\text{E-}2$ ，与此相对，掺杂了 Mg 的试样 A 是 $1045000(550\text{nm}) / 433200(430\text{nm}) = 2.4$ 。即，可理解，试样 A，通过掺杂 Mg，来自深的能级的发光效率变高，活性层的发光效率降低。

另一方面，关于对由掺杂 Si 的 GaN 层构成的活性层掺杂 Mg 的试样 C，上述标准化强度是 $12(550\text{nm}) / 16200(360\text{nm}) = 7.4\text{E-}4$ ，与没有掺杂 Mg 的试样 B 相比是较低的值。这样，通过掺杂 Mg，深的能级的标准化强度变高而发光效率降低这样的问题，就是在活性层中包含 InGaN 量子阱的激光器元件所特有的问题。一直以来，作为 GaN 系列发光元件的长寿命化对策，将降低位错密度和降低消耗电力认为是唯一方法，但是这次初次认识到控制活性层内的杂质浓度也是重要的因素，其意义非常大。

但是，试样 C 与特开平 6—283825 号公报中所公开的对氮化镓系列化合物半导体激光器二极管的活性层添加过 Mg 的半导体激光器二极管相同。在特开平 6—283825 号公报中，提到了关于 Mg 的扩散的问题，在活性层中使用掺杂有 Si 的 GaN。我们从上述试验可明白，在特开平 6—283825 号公报中，既使在向由掺杂 Si 的 GaN 所构成的活性层扩散 Mg，如图 7 所示那样，从约 400nm 的波长看，为短波长侧的约 360nm 的波长其 PL 强度是峰值。

另一方面，我们注意到这样的问题，在向由 InGaN 所构成的活性层扩散 Mg 的情况下，象试样 A 那样，PL 强度的峰值向长波长侧的 550nm 附近移动，结果发光色是黄色。在特开平 6—283825 号公报中，

从约 400nm 的波长看，PL 强度的峰值向长波长侧移动，没有看见发光色为黄色。因此，刚一看本发明与特开平 6—283825 号公报看起来类似，但解决的问题完全不同。而且，在特开平 6—283825 号公报中，没有提示在活性层中包含 In。

另外，关于比较例的半导体激光器元件，挑选光输出 30mW 的消耗电力为 0.6W 左右的，在室温下进行 30mW 的高光输出的一定光输出（APC）寿命试验，将其结果在图 8 中表示。

如果将图 8 所示的测量结果与消耗电力相同的情况下实施方式 1 的半导体激光器元件的测量结果（参照图 5）来进行比较，可理解，比较例的激光器元件的老化率，与实施方式 1 的激光器元件相比，是 10 倍左右（每一个小时 9mA 左右），急速地老化。即，可明确，比较例的激光器元件，其位错密度是与实施方式 1 相同的程度（约 $1E10\text{cm}^{-2}$ ），但由于活性层内的 Mg 扩散状态不同，所以在寿命时间上产生差异。

而且，在比较测量结果时，消耗电力相同，由于 GaN 系列激光器的寿命时间非常大地依赖于消耗电力，所以，如果不以相同程度的消耗电力来比较激光器元件，就不能明确活性层内的 Mg 扩散状态和寿命时间的相互关系。

研究中间层的厚度

下面研究本实施方式的半导体激光器中的中间层 21 的优选厚度。在本实施方式中，在 p 型半导体层和活性层之间设置作为非掺杂层的中间层 21，所以在中间层 21 的厚度过大的情况下，就不能从 p 型半导体层向活性层有效地注入空穴。这里，在蓝宝石基板上，与上述一样，通过层叠 n 型 GaN 层和 p 型 GaN 层来制造 p-n 结器件，来评价 n 型 GaN 层中的空穴的扩散长度。然后，解理开该器件，露出 pn 结部分后，通过使用扫描电子显微镜（SEM）的电子束感应电流法（EBIC），来观察解理开的器件截面的 p-n 结部分。结果，n 型 GaN 层中的空穴的扩散长度是 $0.2\mu\text{m}$ 左右。在 III-V 族氮化物半导体的情况下，与其它化合物半导体相比，作用于电传导的空穴的有效质量大，所以其扩散长度是 $0.2\mu\text{m}$ 左右以下，是非常小的值。

从这样的试验结果可知，为了向活性层有效地电注入空穴，应该

使中间层 21 的厚度比空穴的扩散长度（本实施方式中是 $0.2\mu\text{m}$ ）小。

另一方面，在中间层 21 的厚度过小的情况下，p 型掺杂物通过中间层 21 向活性层扩散。作为一个例子，在中间层 21 的厚度是 15nm 的情况下，使用 SIMS 法，评价作为 p 型掺杂物的 Mg 向活性层的扩散状态，图 9 表示了其结果。可明白 Mg 向活性层内（从第三量子阱 20 向第一量子阱 16）扩散的情形。具体地说，扩散后的 Mg 浓度，在第一量子阱 16 约为 $1\text{E}17\text{cm}^{-3}$ ，在第二量子阱 18 约为 $2\text{E}17\text{cm}^{-3}$ ，在第三量子阱 20 约为 $3\text{E}18\text{cm}^{-3}$ 。

为了更详细地进行讨论，制造中间层 21 为各种厚度的激光器元件，进行下面的试验。作为一个例子，关于中间层 21 的厚度是 60nm 的激光器晶片，使用 SIMS 法，评价 Mg 向活性层的扩散状态，图 10 表示了该结果。

如果将图 10 所示的结果（中间层厚度：60nm）与图 9 所示的结果（中间层厚度：15nm）进行比较，可明白，通过加大中间层 21 的厚度，可抑制 Mg 向活性层内（从第三量子阱 20 向第一量子阱 16）的扩散。具体地说，扩散后的 Mg 浓度，从第一向第三量子阱约为 $1\text{E}17\text{cm}^{-3}$ （检测临界左右）。

这样，通过增加中间层 21 的厚度，由于增加了 p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 盖层和活性层的距离，所以可抑制 Mg 向活性层内的扩散。

由该中间层厚度是 60nm 的激光器晶片制造的半导体激光器元件，通过电流注入在室温下连续振动。另外，阈值电流和斜率效率是 50mA、 1.0W/A ，与中间层厚度是 15nm 的情况相比，哪一方面都良好。而且，关于中间层厚度是 30nm 的激光器元件也进行了同样的测量，阈值电流和斜率效率是 55mA、 0.9W/A ，与中间层厚度是 15nm 的情况相比，哪一方面都良好。结果，考虑到通过增加中间层的厚度，可降低 Mg 的扩散，提高活性层的发光效率。

在消耗电力是 0.6W 左右的各个激光器元件的光输出 30mW 的 APC 寿命试验中，中间层厚度是 30nm 的激光器元件是 110 小时的寿命时间，中间层厚度是 60nm 的激光器元件是 125 小时左右的寿命时间。中间层厚度是 15nm 的激光器元件，象上述那样，寿命时间是 100 小时，所以，与中间层厚度增加的同时，寿命时间也增加，实现了显著的寿

命改善。为了弄清楚该原因，关于中间层厚度是 60nm 的激光器元件，对 APC 寿命试验后的激光器元件进行 SIMS 分析。将该结果在图 11 中表示。

从图 11 可知，与 APC 寿命试验前的 SIMS 结果（图 10）进行比较，通过寿命试验，Mg 显著扩散到活性层中。这种现象考虑到是由于以下造成的：因为位错密度大（约 $1E10\text{cm}^{-2}$ ），所以通过寿命试验中 pn 结的发热和内部电场的作用，作为 p 型掺杂物的 Mg 通过位错扩散到活性层内所引起的。

但是可理解，如果进一步增加中间层 21 的厚度，可急剧地改善寿命时间。对中间层 21 为各种厚度的激光器元件进行 APC 寿命试验的结果在图 12 中表示。直到中间层的厚度是约 100nm，在中间层厚度增加的同时也改善了寿命时间，但如果中间层的厚度超过约 100nm，寿命时间就慢慢降低。虽然也制造中间层厚度为 200nm ($0.2\mu\text{m}$) 的激光器元件，但在室温下没有实现连续振动。这可推测出是由于以下原因：因为中间层厚度是空穴的扩散长度 ($0.2\mu\text{m}$) 左右，所以向活性层注入空穴的效率大幅降低的原因。

根据该结果，中间层 21 的厚度优选的是 15nm 以上 180nm 以下，更优选的是 60nm 以上 160nm 以下，进一步优选是 80nm 以上 130nm 以下。

下面，为了观察各个激光器元件的发光状态，通过注入电流，利用电荷耦合元件（CCD）摄像器从蓝宝石基板的背面观察沿着脊带发光的电致发光（EL）的光。可确认，在中间层厚度为 15nm 的激光器元件中，EL 光强度弱的区域（发光不均匀）产生很多，但在中间层厚度是 30nm、60nm 的激光器元件中，确认 EL 光均匀地改善。作为关于这种发光不均匀的以前的报告例子，具有第七文献“第 48 次应用物理学关系联合讲演会 讲演论文集 No. 1 28p—E—12 p. 369”，但如按照该文献那样，报告这种发光不均匀是由于在活性层上存在的 p 型 AlGaN 盖层在活性层上产生大的变形导致的。但是，在我们的研究中，初次发现 Mg 向活性层内的扩散是发光不均匀的主要原因。由于发光不均匀的降低对于晶片面内的激光器元件的成品率提高、进而降低成本有大的贡献，所以在制造中发现这种现象意义非常大。

另外，关于中间层厚度是 60nm 的激光器元件，比较 APC 寿命试验前后的 EL 发光图像，看到这种倾向：在寿命试验前观察多个认为起因于穿透位错（threading dislocation）的暗点，在寿命试验后该暗点更加暗（扩大）。这种现象可推测到，象前述那样，由于寿命试验中 Mg 通过穿透位错扩散到活性层中，所以在位错周边的区域活性层的发光效率降低。

（实施方式 2）

图 13 是本发明的实施方式 2 的构成半导体激光器的激光器晶片的截面图。实施方式 2 的激光器晶片是这样的构成，在图 1 所示的实施方式 1 的激光器晶片中，将由非掺杂层构成的中间层 21 变为由两层构造构成的新的中间层 31，其它相同。因此，对于同实施方式 1 的半导体激光器元件相同的构成部分赋予相同的符号，省略了其详细说明。

本实施方式的激光器晶片中的中间层 31 是在活性层 101 和盖层 22 之间形成的厚度 60nm 的 GaN 层，为层叠厚度 15nm 的非掺杂层 31a 和厚度 45nm 的扩散抑制层 31b 这样的构成。扩散抑制层 31b 是例如 Si 杂质浓度是 $3E19\text{cm}^{-3}$ 左右的层，与盖层 22 邻接。

该激光器晶片能够利用基本与实施方式 1 相同的方法来制造，但在中间层 31 的形成时，改变 GaN 层的成长中 SiH_4 气体的供给量，使得在中间层 31 的膜厚内，Si 杂质浓度在厚度方向不均匀。具体地说，在中间层 31 的成长开始后，使得这样成长，厚度约 15nm 是非掺杂，剩余的厚度约 45nm，供给 SiH_4 气体，形成 n 型 GaN 层。

对于结晶成长结束后的激光器晶片，使用 SIMS 法，将评价作为 p 型掺杂物的 Mg 向活性层的扩散状态之结果表示在图 14 中。开始 Mg 的掺杂后的 p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 盖层 22 的下面存在本实施方式的中间层 31，由此，能够大幅度抑制 Mg 向活性层内的扩散。具体地说，扩散后的 Mg 浓度，在第一量子阱 26、第二量子阱 28 和第三量子阱 30，都是约 $1E17\text{cm}^{-3}$ （检测临界左右）。

将该测量结果，与实施方式 1 中非掺杂中间层 21 的厚度与本实施方式的中间层 31 整体的厚度相同程度（约 60nm）的情况（参照图 10）进行比较，可理解，不管在中间层内的 Mg 浓度在本实施方式中多，在活性层内的 Mg 浓度是相同的。这种现象，能够象下面这样进行考

察。

扩散的 Mg 原子，由于存在于格子间位置，所以容易扩散，如果碰上由于扩散存在于置换型位置的 Si，通过给-受体相互作用（库仑相互作用），形成由 MgSi 构成的电中性的稳定的复合体。为此，考虑到 Mg 向掺杂有 Si 的区域扩散，在该位置稳定化。本实施方式的情况下，在作为中间层 31 的成长后半的厚度是约 45nm 的区域，是以 $3E19\text{cm}^{-3}$ 左右的浓度掺杂有 Si 的扩散抑制层 31b，所以在与 p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 盖层 22 的界面产生 Mg 的积累（堆积）。为此，扩散的 Mg 汇集到上述界面上，由此显著地抑制 Mg 向活性层内扩散。此外，在作为中间层 31 的成长前半的厚度约 15nm 的区域是非掺杂层 31a，所以，在中间层 31 成长后半程所掺杂的 Si，被抑制扩散到第三量子阱 20。

本实施方式的半导体激光器元件，通过电流注入在室温下连续振动。此时的阈值电流和斜率效率分别是 45mA、1.2W/A，得到良好的效果。考虑到这是由于利用 Mg 的扩散抑制提高了激光器元件的活性层的发光效率而导致的。

另外，与上述实施方式 1 同样，挑选光输出 30mW 下消耗电力是 0.6W 左右的激光器元件，在室温下进行 30mW 的 APC 寿命试验，图 15 表示了该结果。激光器元件的老化率是每个小时 0.3mA 左右，确认其寿命时间为 250 小时。

将该结果与实施方式 1 中未掺杂中间层 21 的厚度与本实施方式的中间层 31 整体厚度相同程度（约 60nm）的情况来进行比较，上述实施方式 1 的激光器元件的寿命时间是 125 小时左右，可确认，本实施方式的激光器元件能够实现更长的寿命。

在本实施方式中，由 2 元混晶 GaN 构成中间层，但也能够是 AlGaN 或者 InGaN 等 3 元混晶，或者 AlInGaN 等 4 元混晶等其它氮化镓系列化合物半导体。另外，在本实施方式中，关于 III-V 族氮化物半导体激光器进行了说明，但 GaAs、InP 等 III-V 族半导体激光器，或 ZnSe 等 II-VI 族半导体激光器等情况下，也能够形成与本实施方式相同的构成。

对中间层的 Si 浓度的研究

下面，讨论中间层 31 的扩散抑制层 31b 的优选的 Si 浓度。在本实

施方式中，制造中间层 31 的 Si 浓度分别不同的三种激光器晶片（试样 D～试样 F）。各个激光器晶片的扩散抑制层 31b 的 Si 浓度，试样 D 是约 $5E17\text{cm}^{-3}$ ，试样 E 是约 $2E18\text{cm}^{-3}$ ，试样 F 是约 $1E19\text{cm}^{-3}$ （试样 F）。而且，约 $2E18\text{cm}^{-3}$ 的 Si 浓度为与活性层的屏蔽层的 Si 浓度相同程度，约 $1E19\text{cm}^{-3}$ 的 Si 浓度为与 p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 盖层的 Mg 浓度相同程度。

对于试样 D～试样 F，使用 SIMS 法，将对 Mg 向活性层的扩散状态的评价的结果在图 16 中表示。在全部激光器晶片中，Mg 向活性层内（从第三量子阱 20 向第一量子阱 16）扩散。但是，可知，Mg 的扩散程度，以试样 E 最显著，其次是以试样 D、试样 F 的顺序扩散受到抑制。特别是，试样 F 产生 Mg 的集成（堆积），能够有效地防止 Mg 扩散。

从上面的结果可明白，将中间层 31 的扩散抑制层 31b 的 Si 浓度设为与 p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 盖层 22 的 Mg 浓度（即本实施方式的情况下约 $1E19\text{cm}^{-3}$ ）相同程度以上，可显著抑制 Mg 的扩散。在氮化物系列 III—V 族化合物半导体的情况下，通常既使掺杂 p 型杂质，其电活化率是几%左右，所以具有 p 型半导体层的电传导率降低的倾向。在提高 p 型半导体层的电传导率中，有助于电传导的空穴浓度需要是 $1E18\text{cm}^{-3}$ 左右，所以，考虑电活化率，需要大量掺杂 p 型杂质到 $1E19\text{cm}^{-3}$ 以上。这种情况下，将扩散抑制层 31b 的 n 型杂质浓度控制到至少 $1E19\text{cm}^{-3}$ 以上，能够有效地控制来自 p 型半导体层的 p 型杂质的扩散。而且，关于扩散抑制层 31b 的 Si 浓度的上限，可由实用的范围来定义，例如是 $6E19\text{cm}^{-3}$ 左右。

研究构成中间层的各个层厚度

在本实施方式中，将中间层 31（总厚度：60nm）中非掺杂层 31a 的厚度设为 15nm，将扩散抑制层 31b 的厚度设为 45nm，但可适当改变扩散抑制层 31b 对非掺杂层 31a 的厚度比，关于各种激光器晶片，象上述那样评价 Mg 向活性层的扩散。而且，扩散抑制层 31b 的 Si 浓度为约 $1E19\text{cm}^{-3}$ 。

结果，在非掺杂层 31a 的厚度是 1 时，扩散抑制层 31b 的厚度是 $1/11$ 以上 11 以下的范围，能够有效地抑制 Mg 的扩散；在 $1/3$ 以上 3 以下的范围，能够得到更显著的抑制效果。但是，中间层 31 的总厚度

优选的是空穴的扩散长度以下，具体地说，优选与实施方式 1 一样是 15nm 以上 180nm 以下。

(实施方式 3)

图 17 是本发明的实施方式 3 的构成半导体激光器的激光器晶片的截面图。实施方式 3 的半导体激光器是在图 13 所示的实施方式 2 的半导体激光器中，在基板 11 上形成第一 GaN 层 41，在该第一 GaN 层 41 上形成条状的绝缘图案 42，在第一 GaN 层 41 上通过 ELO（横向外延生长（Epitaxial Lateral Overgrowth））法来形成第二 GaN 层 43，使得盖住该绝缘图案 42。然后，在第二 GaN 层 43 上形成 n 型接触层 12。其它构成与实施方式 2 的半导体激光器元件相同，所以对于相同的构成部分赋予相同的符号，省略了其详细说明。而且，在本实施方式中，将 n 型接触层 12 的厚度设为约 2μm。

本实施方式的半导体激光器能够利用基本上与实施方式 2 相同的方法来制造，但主要参照图 18 在下面说明通过 ELO 法形成第二 GaN 层 43 的方法。

首先，在基板 11 上成长低温缓冲层（未图示）后，将反应炉升温到约 1000℃，成长厚度约 1μm 的第一 GaN 层 41（图 18（a））。之后，从反应炉中取出基板 11，在第一 GaN 层 41 上形成选择成长用的绝缘膜 I（图 18（b））。绝缘膜 I 是二氧化硅（SiO₂），利用等离子 CVD 装置堆积 100nm 左右。

接着，在绝缘膜 I 上涂覆抗蚀膜，通过光刻法，形成直线-间隔状的抗蚀图案 R（图 18（c））。这里，抗蚀图案宽度（W_s）：抗蚀除去宽度（W₁）=15μm: 3μm。但是，该条的方向是第一 GaN 层 41 的 <1-100> 的方向。之后，将抗蚀图案 R 作为蚀刻掩膜，利用氟酸溶液来除去抗蚀除去部的绝缘膜 I，露出第一 GaN 层 41。接着，通过丙酮等有机溶液来除去抗蚀图案 R。这样，在第一 GaN 层 41 上形成绝缘图案 42（图 18（d））。

之后，将基板 11 再次保持到 MOVPE 装置的反应炉内的基座上，对反应炉进行真空排气。接着，将反应炉内形成压力 200Torr 的氢环境气氛，将温度升温到约 1000℃，同时提供供给量 7sccm 的三甲基镓（TMG），和供给量 7.5 slm 的氨（NH₃）气和作为载气的氢气，来 ELO

选择成长第二 GaN 层 43。第二 GaN 层 43 在选择成长初期在绝缘图案 42 间成长（图 18（e）），一旦进行成长，就在绝缘图案 42 的上方横向成长（图 18（f）），最终进行表面的平坦化（图 18（g））。

利用平面透射电子显微镜（TEM）来评价第二 GaN 层 43 的穿透位错密度，相邻的绝缘图案 42 间是约 $1E10\text{cm}^{-2}$ ，与此相对，绝缘图案 42 上方的 ELO 部分约为 $5E8\text{cm}^{-2}$ ，可理解，通过 ELO 选择成长能够将位错密度降低到 1/20 左右。

在激光器结构的结晶成长中，在厚度约 $5\mu\text{m}$ 的第二 GaN 层 43 上，也提供作为 n 型掺杂物的硅烷（ SiH_4 ），以厚度约 $2\mu\text{m}$ 成长由 Si 杂质浓度约 $1E18\text{cm}^{-3}$ 的 n 型 GaN 所构成 n 型接触层 12。之后，通过与实施方式 2 相同的方法，能够制造图 17 所示的激光器晶片。

另外，由该激光器晶片来制造半导体激光器元件的激光器加工工序，与实施方式 1 相同。但是，p 型接触层 25 的脊在绝缘图案 42 之上的低位错密度部分处形成。

本实施方式的激光器元件，通过电流注入达到室温连续振动。此时的阈值电流和斜率效率分别是 35mA 、 1.4W/A ，得到良好的结果。通过 Mg 的扩散抑制提高了激光器元件的活性层的发光效率，此外，认为是由活性层区域的位错密度的降低导致的。即，通过降低活性层内的位错密度，减小非发光再结合中心，所以提高发光效率。

另外，与上述实施方式 1 同样，挑选光输出 30mW 中消耗电力为 0.6W 左右的激光器元件，在室温下进行 30mW 的 APC 寿命试验，图 19 表示该结果。激光器元件的老化率是每个小时 0.03mA 左右，确认寿命时间是 1000 小时以上的稳定动作，能够大幅度抑制老化的进行。即，作为 GaN 系列发光元件的长寿命的对策，降低位错密度是重要的，这样的长寿命化的效果，通过与实施方式 1、2 的激光器元件那样的能够控制活性层内的杂质浓度的构成组合，效果更显著。

在本实施方式中，由 2 元混晶 GaN 构成中间层，但也能够是 AlGaN 或者 InGaN 等 3 元混晶，或者 AlInGaN 等 4 元混晶等其它氮化镓系列化合物半导体。另外，在本实施方式中，针对 III-V 族氮化物半导体激光器进行了说明，但是在 GaAs、InP 等 III-V 族半导体激光器或 ZnSe 等 II-VI 族半导体激光器等的情况下，也能够形成与本实施方式相同

的构成。

产业上的可利用性：象上面那样，如按照本发明，能够提供高光输出动作中可长寿命的半导体激光器和其制造方法。

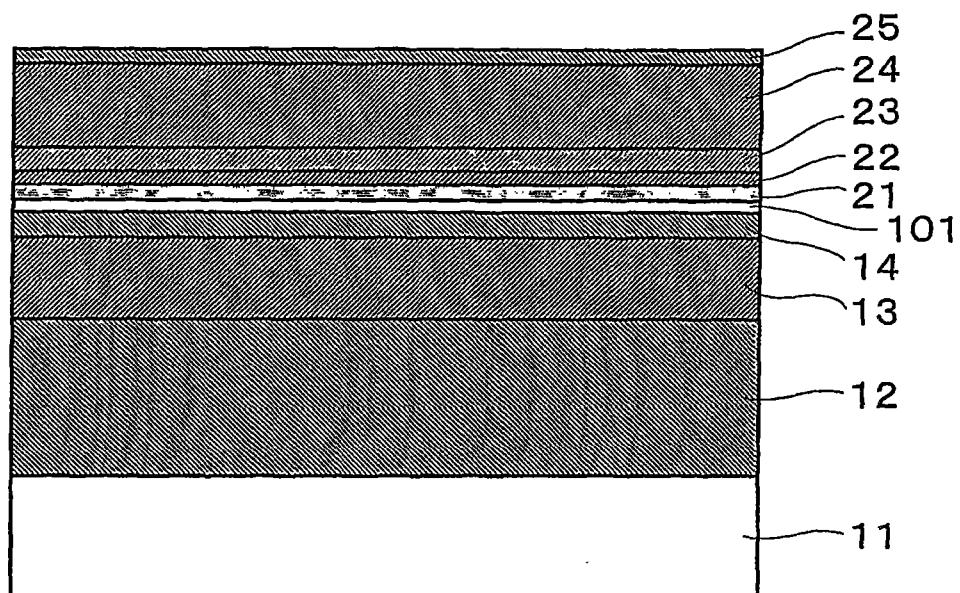


图1

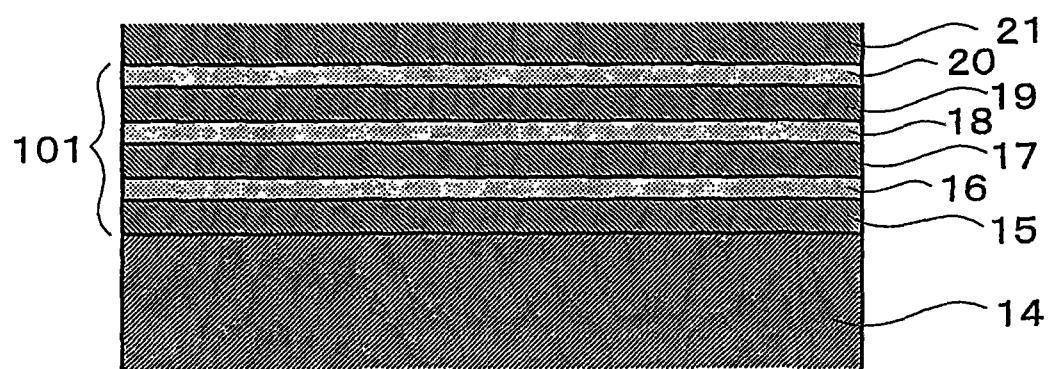


图2

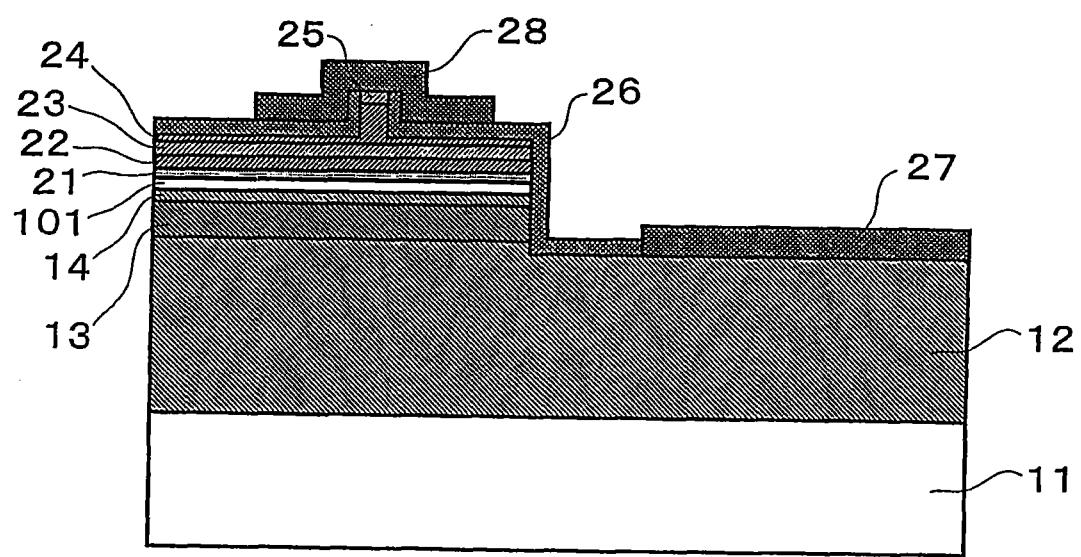


图3

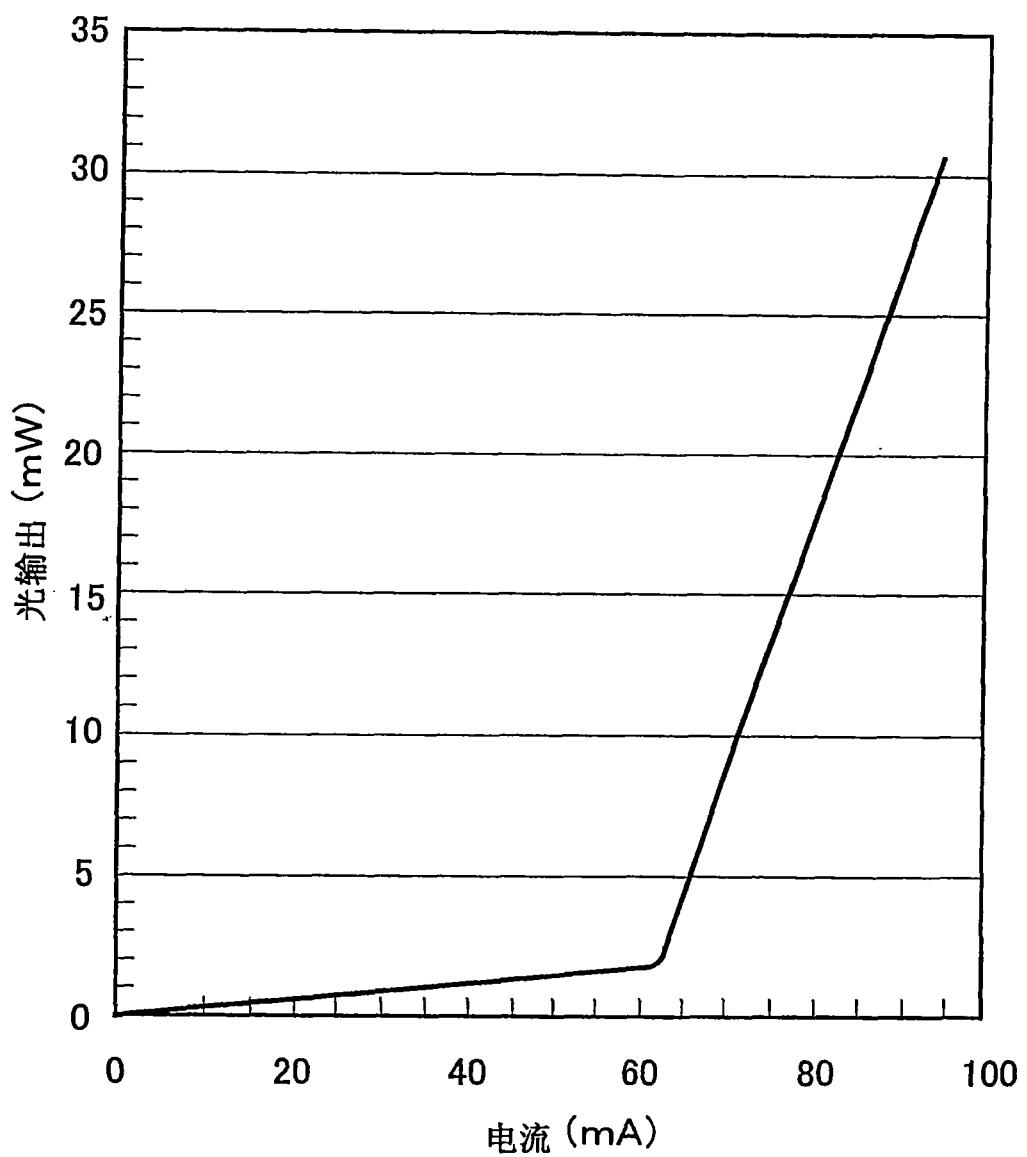


图4

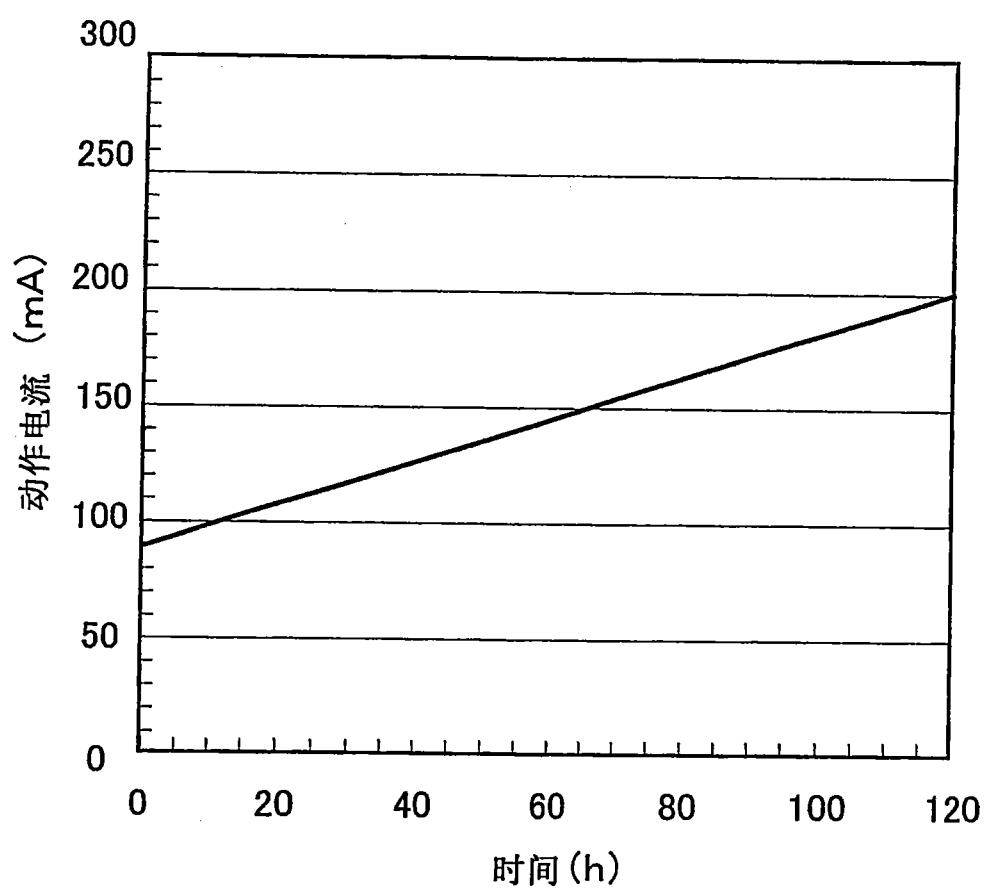


图5

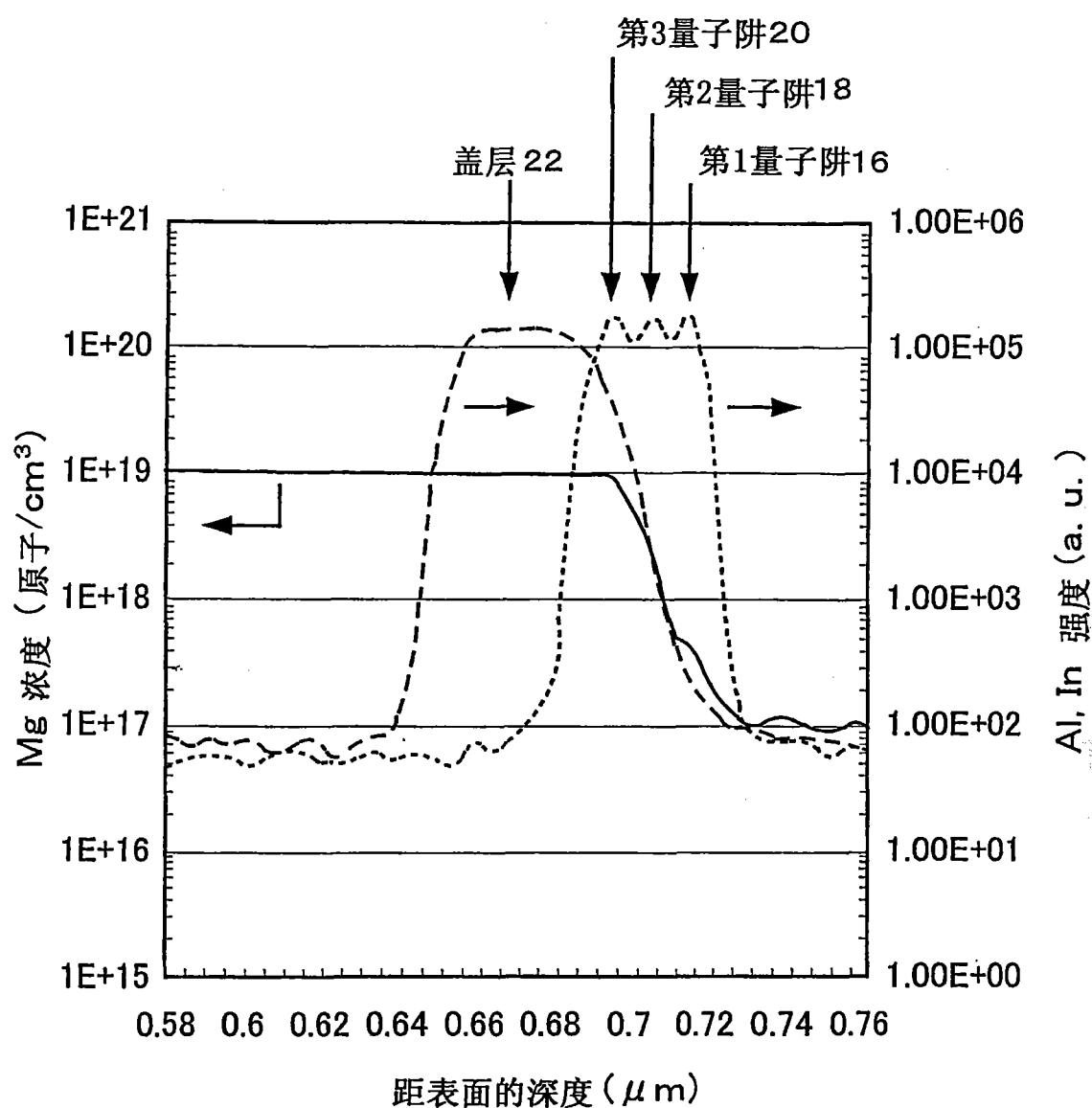


图6

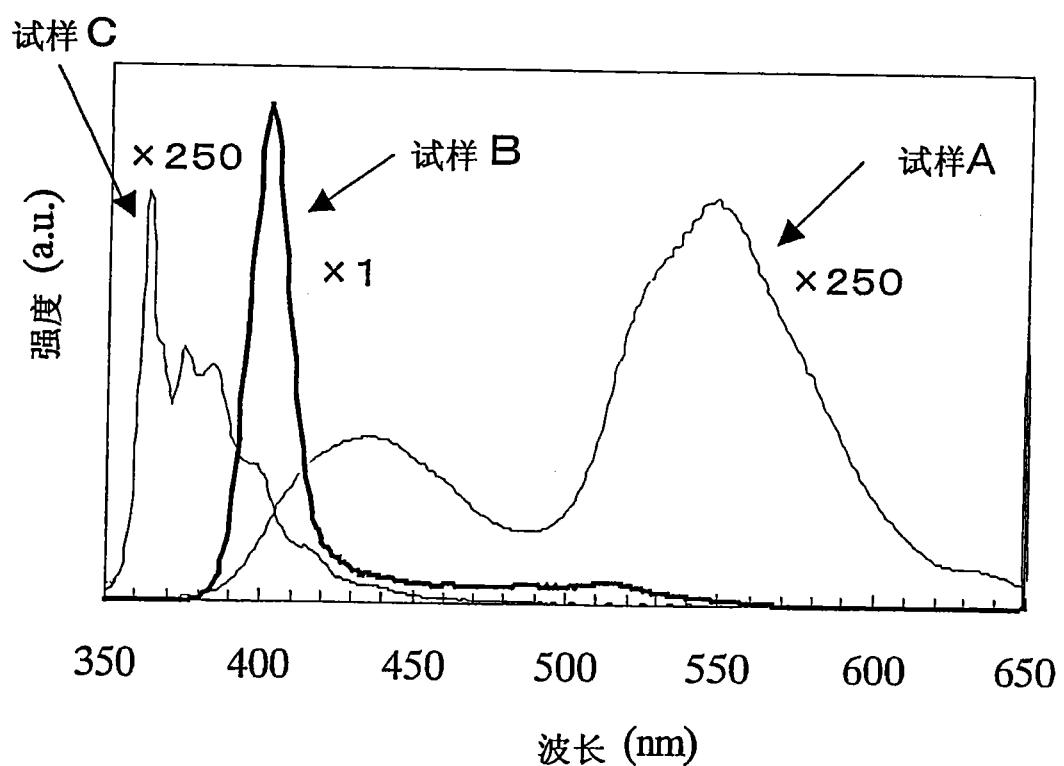


图7

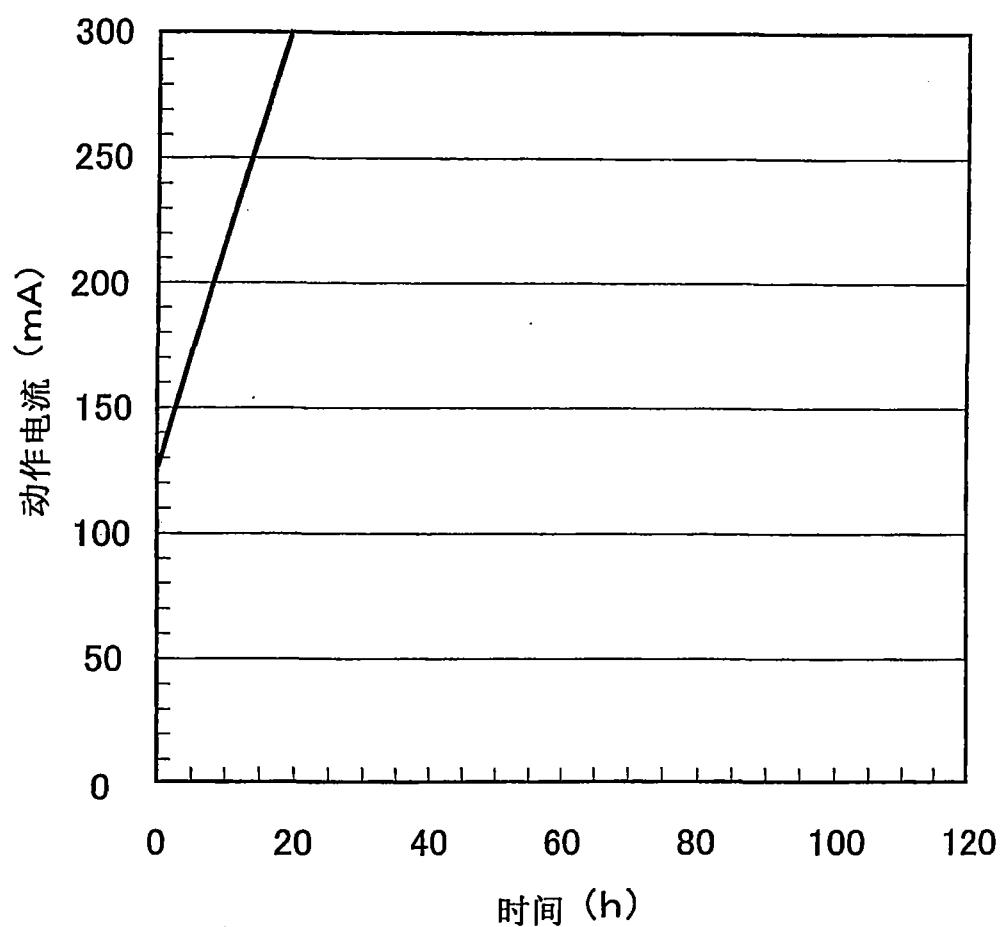


图8

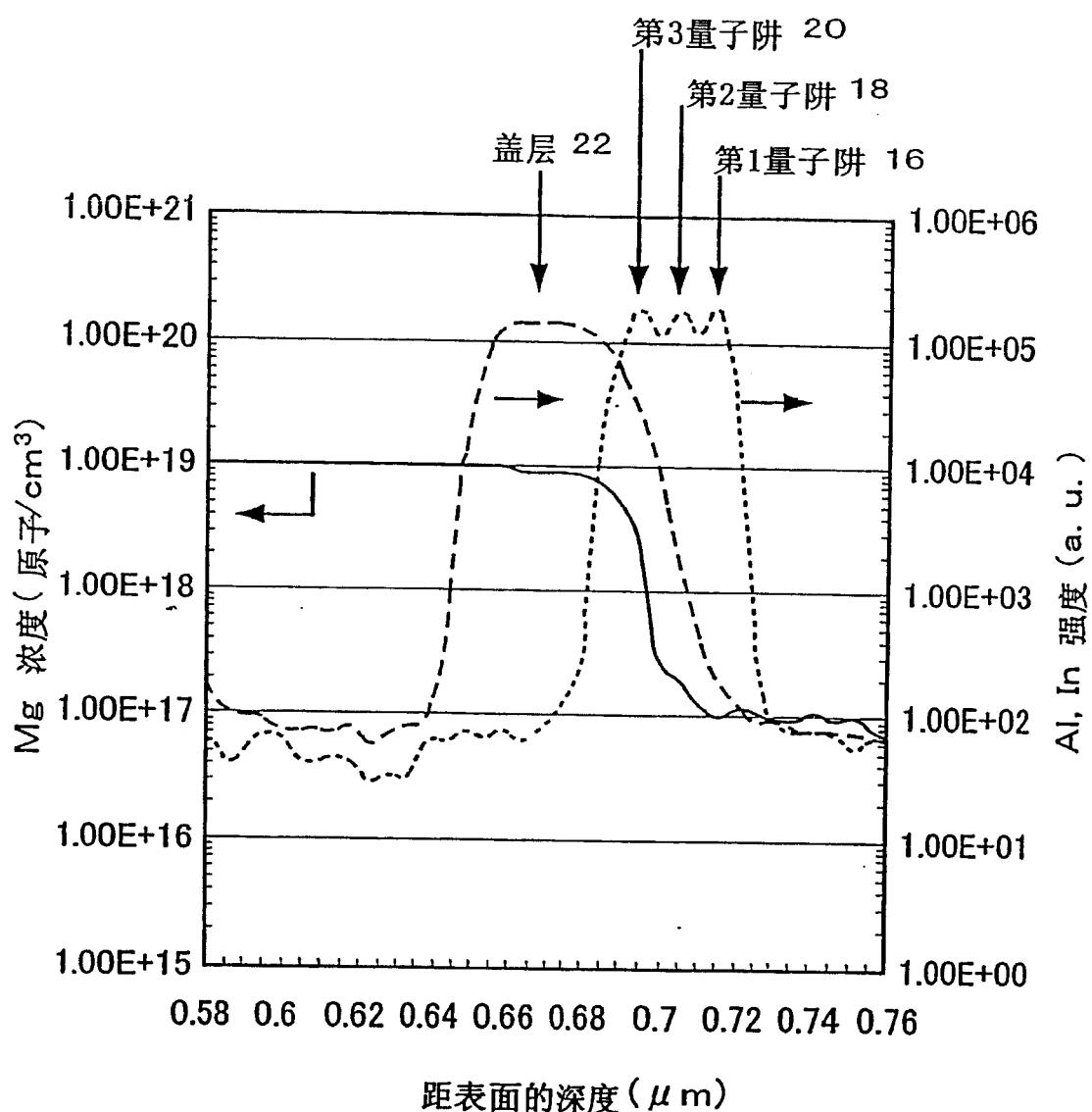


图9

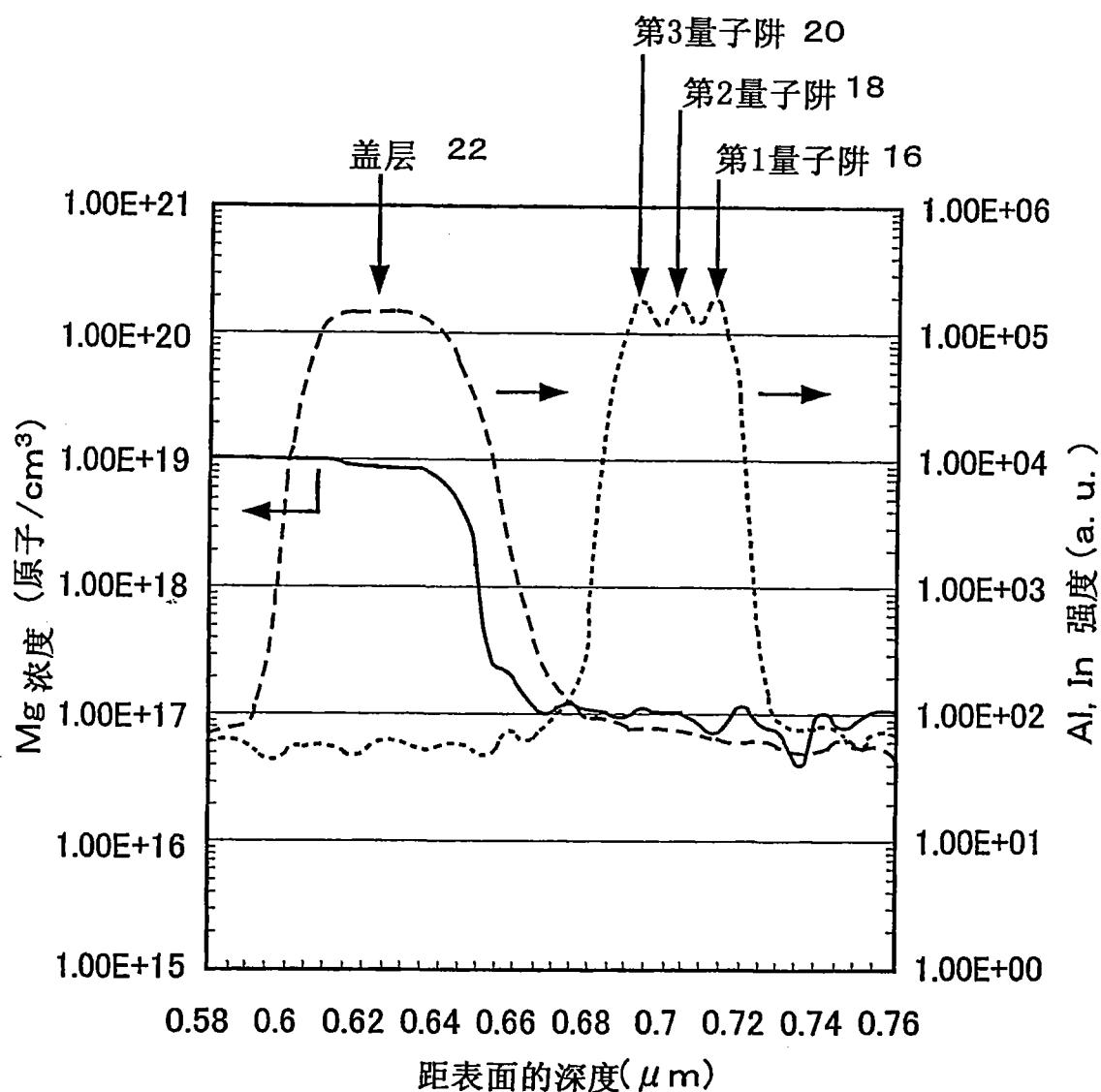


图10

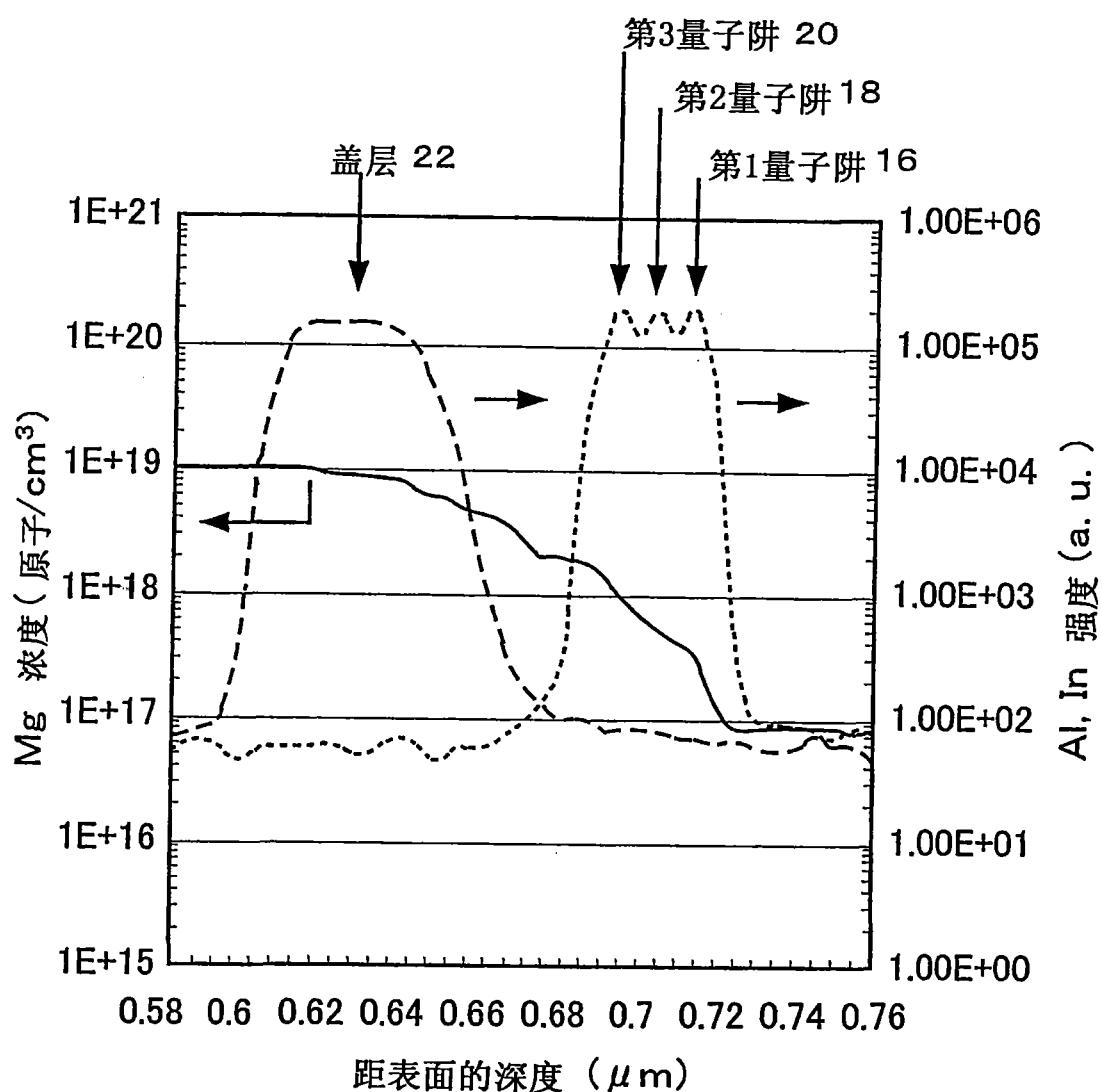


图11

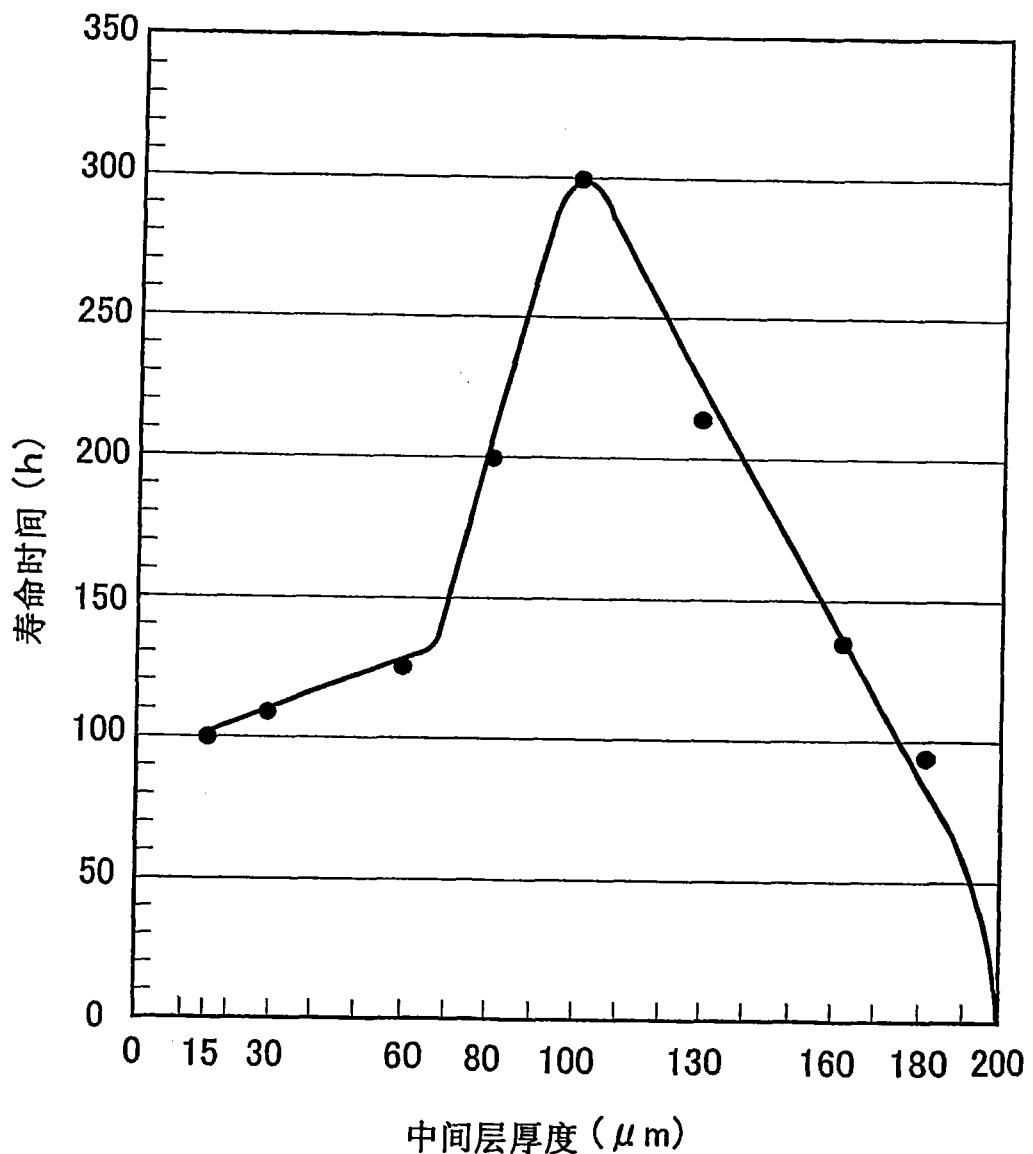


图12

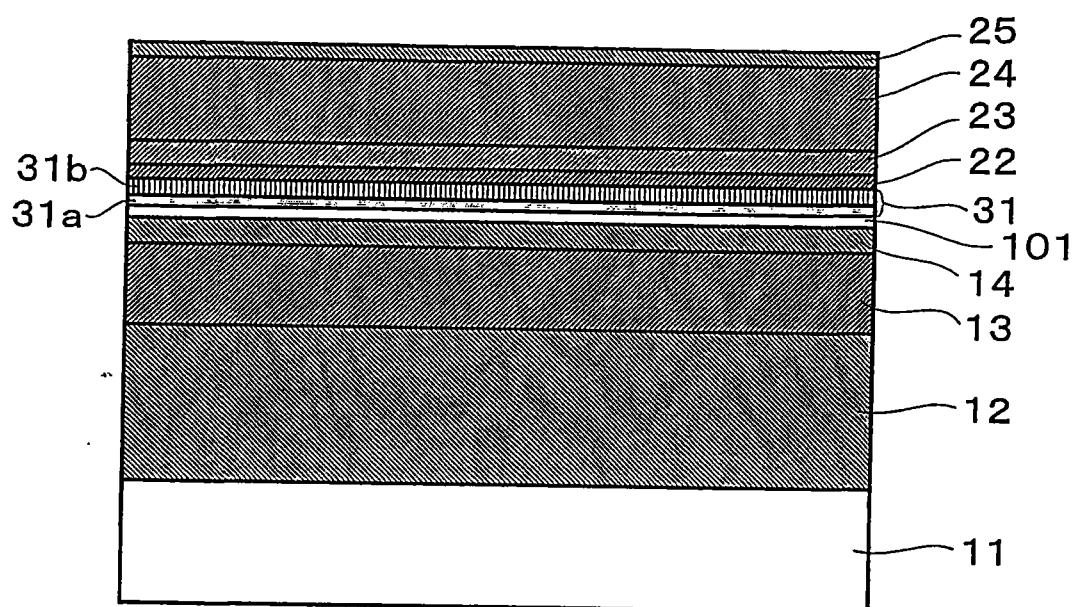


图13

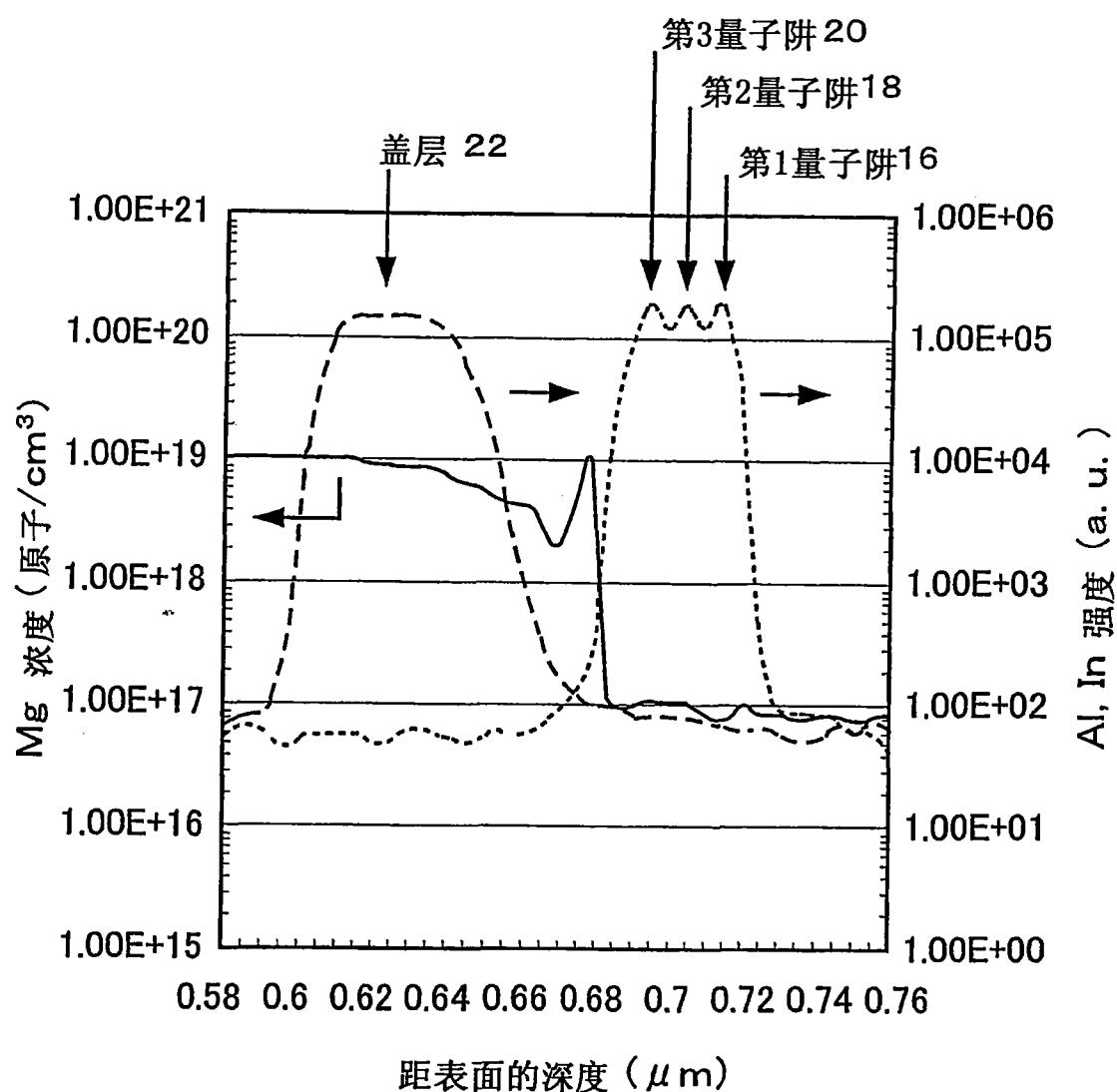


图14

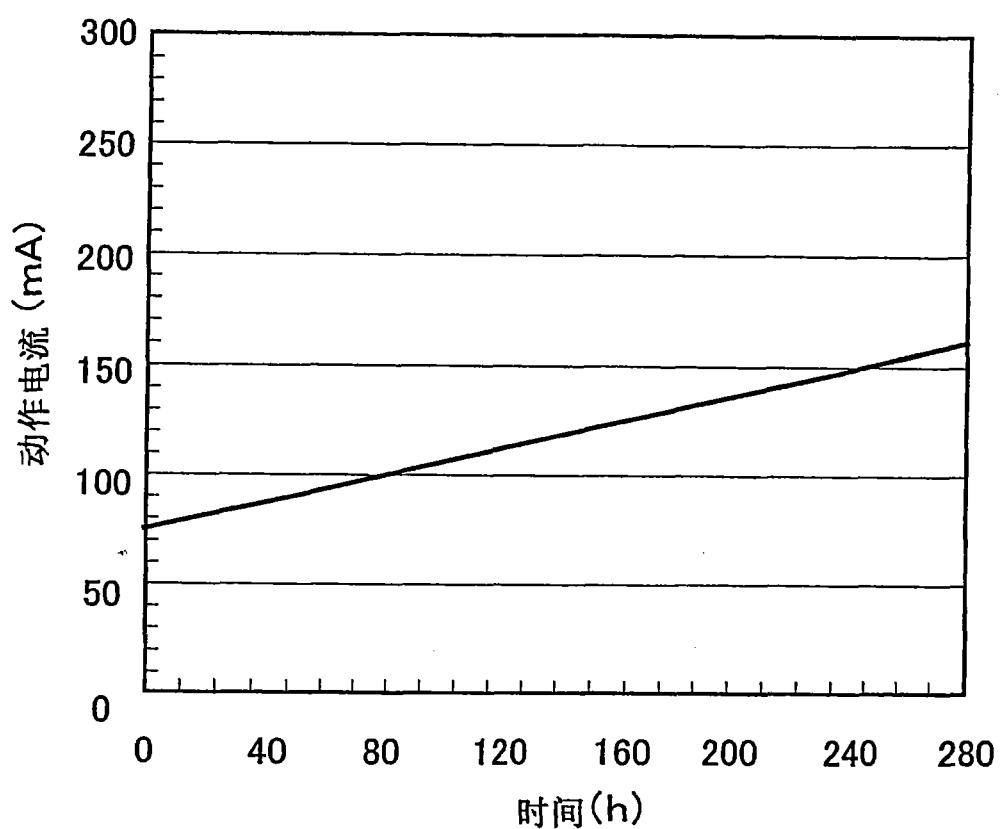


图15

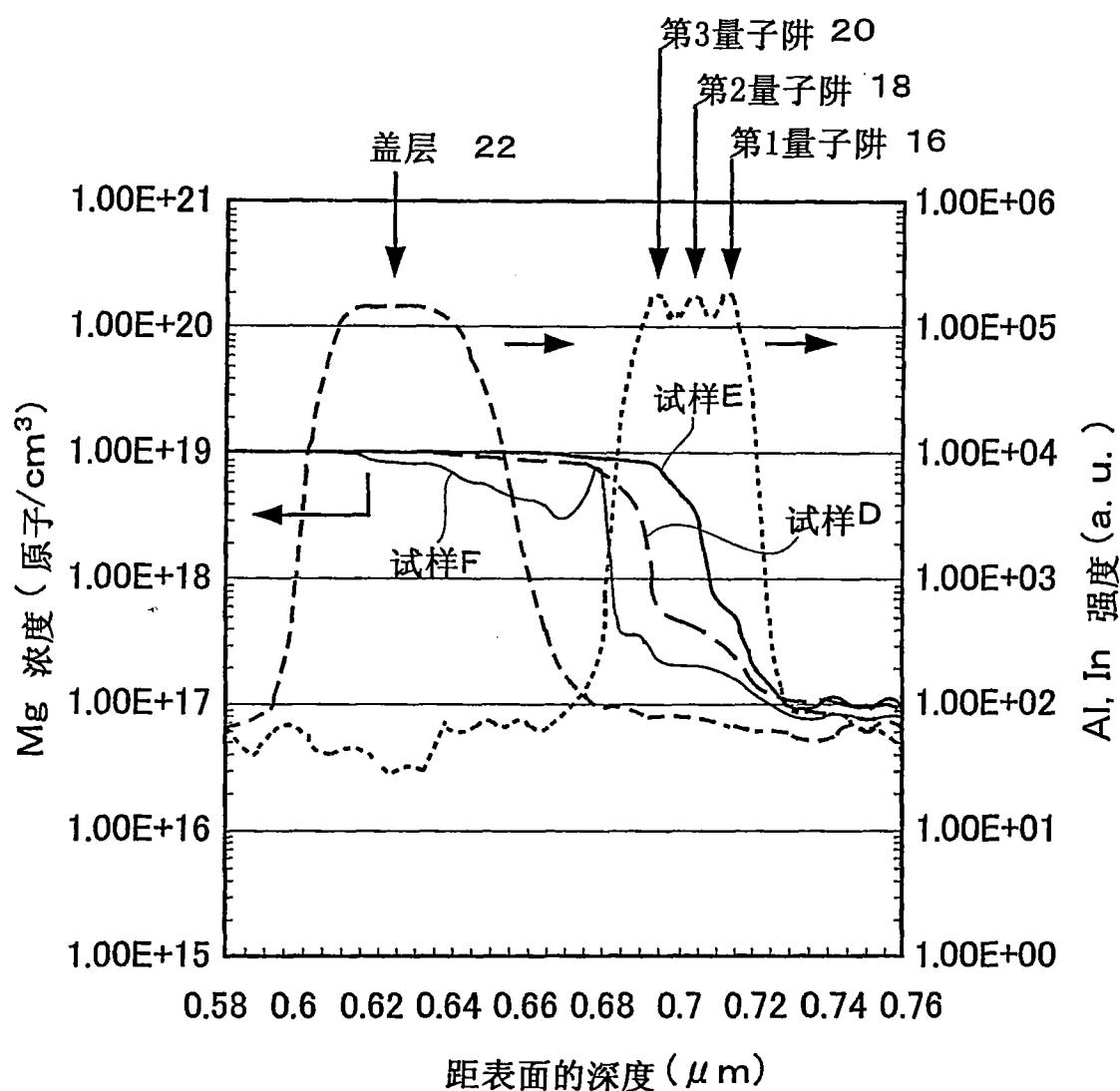


图16

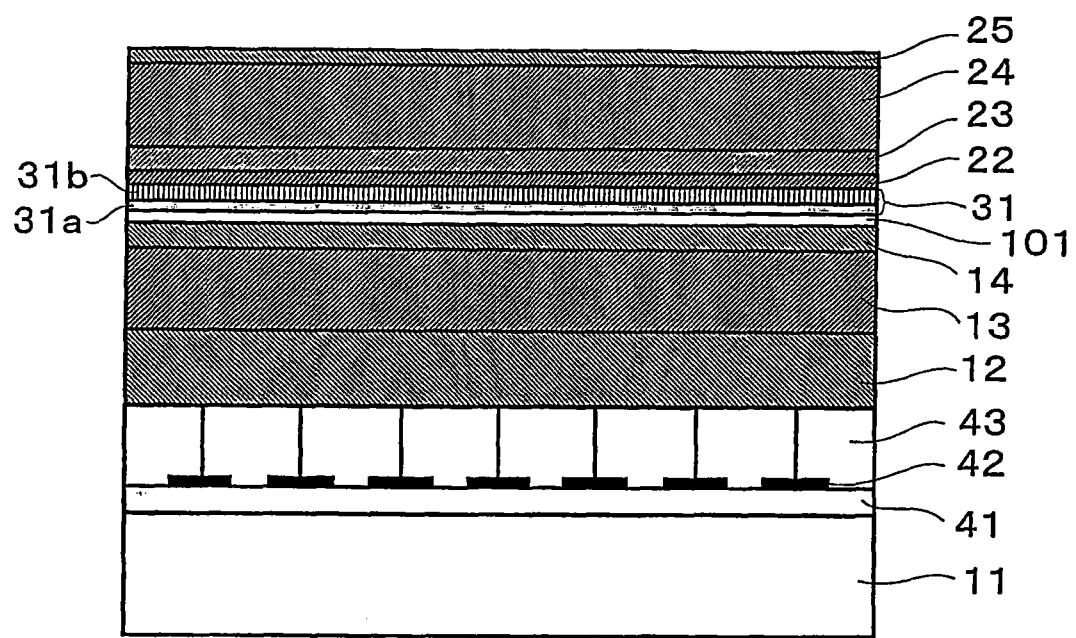


图17

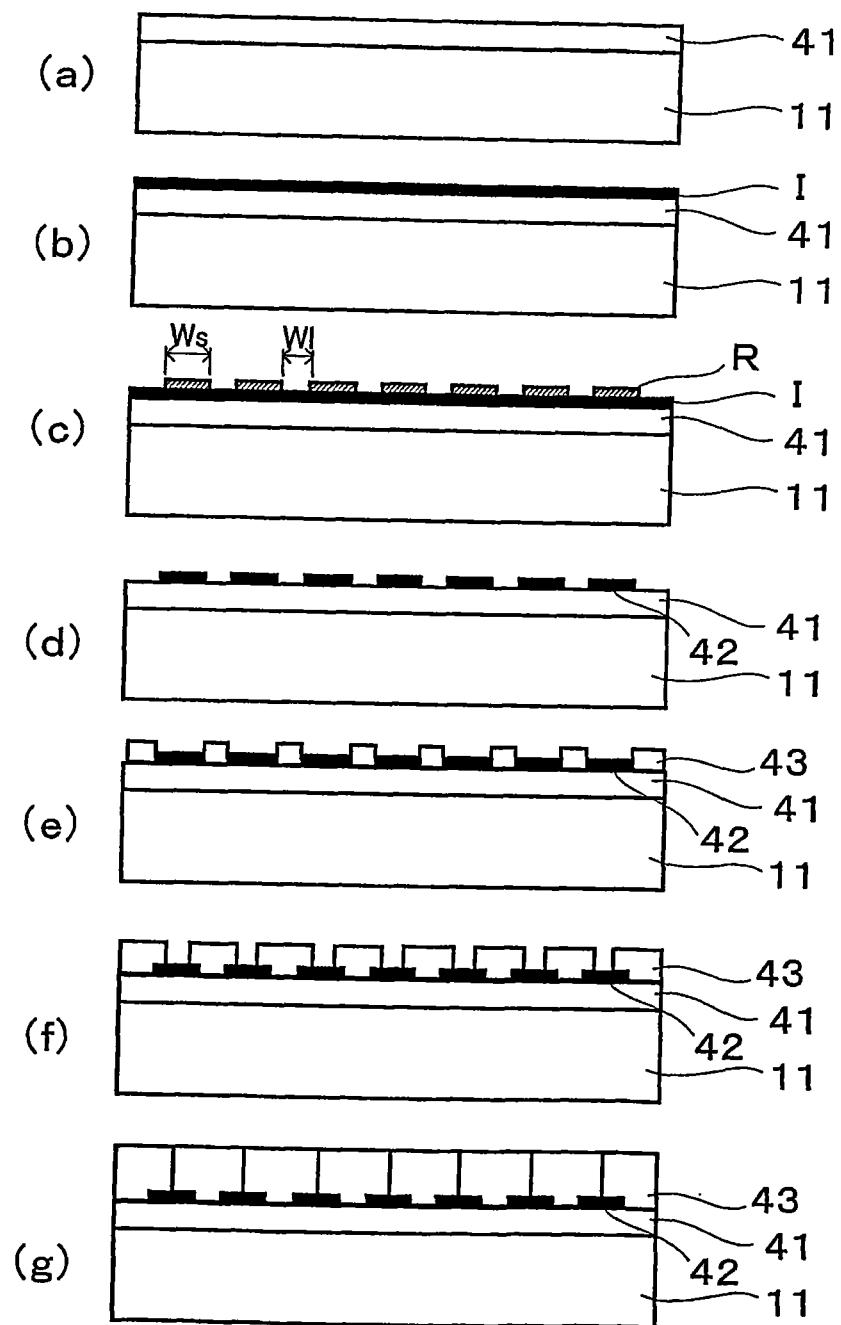


图18

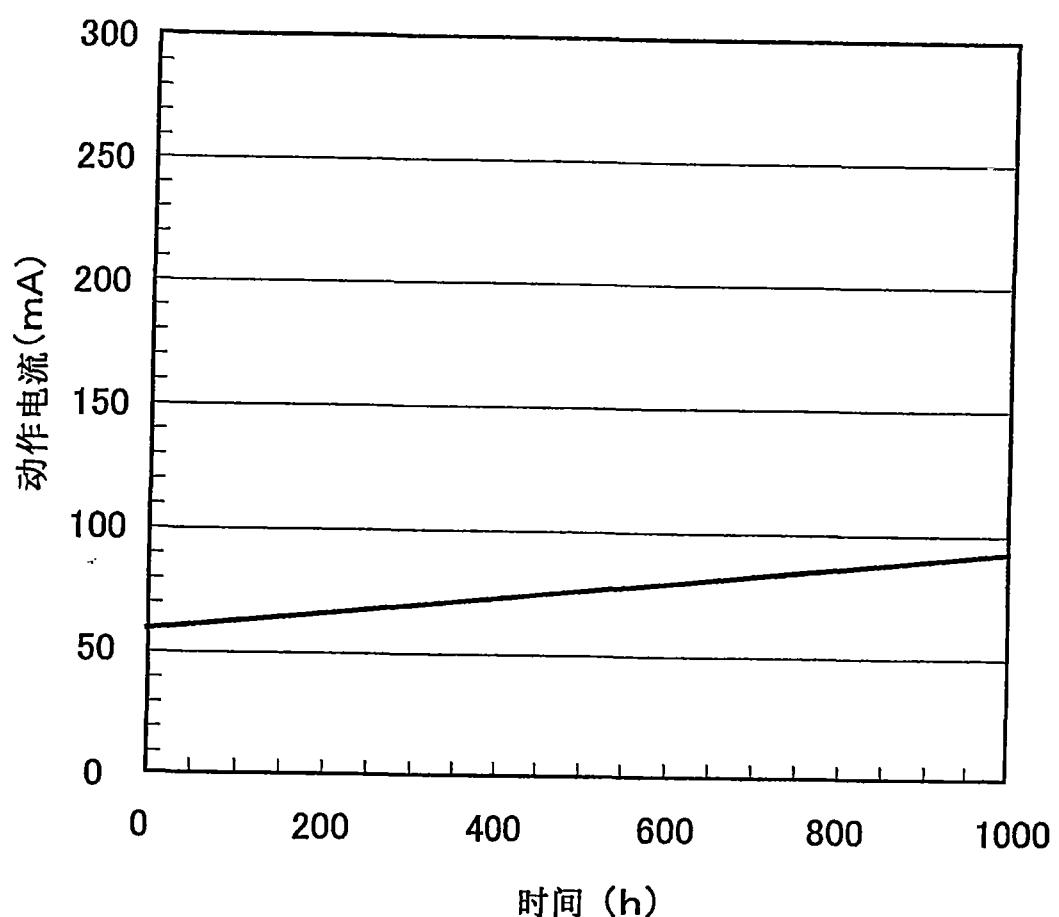


图19