



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680018108.7

[43] 公开日 2008年5月14日

[11] 公开号 CN 101180745A

[22] 申请日 2006.3.3

[21] 申请号 200680018108.7

[30] 优先权

[32] 2005.6.9 [33] JP [31] 169056/2005

[86] 国际申请 PCT/JP2006/304102 2006.3.3

[87] 国际公布 WO2006/132013 日 2006.12.14

[85] 进入国家阶段日期 2007.11.23

[71] 申请人 罗姆股份有限公司

地址 日本京都府

[72] 发明人 中原健

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
代理人 陶凤波

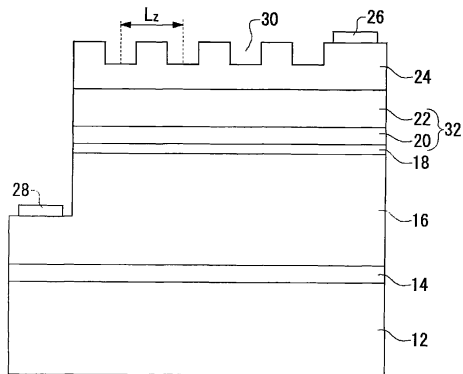
权利要求书 5 页 说明书 16 页 附图 6 页

[54] 发明名称

半导体发光元件

[57] 摘要

提高半导体发光元件的光取出效率。半导体发光元件(10)在蓝宝石衬底(12)上层叠有缓冲层(14)、n型GaN层(16)、InGaN发光层(18)、p型GaN层(32)。在p型GaN层(32)上,设置作为透明电极发挥作用的ZnO层24,在ZnO层(24)的表面,以二维的周期性间隔形成凹部。在来自InGaN发光层(18)的光在空气中的波长记为 λ ,将该波长 λ 时的ZnO层的折射率记为 $n_{z\lambda}$,将ZnO层和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_z 时,进行设定使得相邻的凹部的周期间隔 L_z 在 $\lambda/n_{z\lambda} \leq L_z \leq \lambda/(n_{z\lambda} \times (1 - \sin\theta_z))$ 范围内。



1.一种在衬底上层叠了 n 型 GaN 层、发光层、p 型 GaN 层的半导体发光元件，其特征在于：

在上述 p 型 GaN 层上设置 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$)，

在上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的表面，以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。

2.根据权利要求 1 所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z\lambda}$ ，将上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_z 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_z 在

$$\frac{\lambda}{n_{z\lambda}} \leq L_z \leq \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin\theta_z)}$$

范围内。

3.根据权利要求 1 所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z\lambda}$ ，将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$ ，将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}$ ，将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}$ ，将上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_z 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_z 在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}} \right\} \leq L_z \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin\theta_z)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)} \right\}$$

范围内。

4.根据权利要求 1 所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z\lambda}$ ，将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$ ，将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的

折射率记为 $n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}$, 将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的上述 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}$, 将上述 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_z 时, 相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_z 在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}} \right\} \leq L_z \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin^2\theta_z)}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin^2\theta_z)}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin^2\theta_z)} \right\}$$

范围内。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的半导体发光元件, 其特征在于:

上述形成于 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的凹部或者凸部, 被配置成正方晶格状或者三角晶格状。

6. 一种层叠了 p 型 GaN 层、发光层、n 型 GaN 层的半导体发光元件, 其特征在于:

在上述 n 型 GaN 层的表面, 以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。

7. 根据权利要求 6 所述的半导体发光元件, 其特征在于:

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ , 将该波长 λ 时的上述 n 型 GaN 层的折射率记为 $n_{g\lambda}$, 将上述 n 型 GaN 层和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_g 时, 相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_g 在

$$\frac{\lambda}{n_{g\lambda}} \leq L_g \leq \frac{\lambda}{n_{g\lambda}(1-\sin^2\theta_g)}$$

范围内。

8. 根据权利要求 6 所述的半导体发光元件, 其特征在于:

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ , 将该波长 λ 时的上述 n 型 GaN 层的折射率记为 $n_{g\lambda}$, 将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$, 将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述 n 型 GaN 层的折射率记为 $n_{g(\lambda-\Delta\lambda)}$, 将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的上述 n 型 GaN 层的折射率记为 $n_{g(\lambda+\Delta\lambda)}$, 将上述 n 型 GaN 层和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_g 时, 相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_g 在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{g\lambda}}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{g(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{g(\lambda+\Delta\lambda)}} \right\} \leq L_g \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{g\lambda}(1-\sin^2\theta_g)}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{g(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin^2\theta_g)}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{g(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin^2\theta_g)} \right\}$$

范围内。

9.根据权利要求6所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述n型GaIn层的折射率记为 $n_{g\lambda}$ ，将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$ ，将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述n型GaIn层的折射率记为 $n_{g(\lambda - \Delta\lambda)}$ ，将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的上述n型GaIn层的折射率记为 $n_{g(\lambda + \Delta\lambda)}$ ，将上述n型GaIn层和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_g 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_g 在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{g\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{g(\lambda - \Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{g(\lambda + \Delta\lambda)}} \right\} \leq L_g \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{g\lambda}(1 - \sin^2 \theta_g)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{g(\lambda - \Delta\lambda)}(1 - \sin^2 \theta_g)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{g(\lambda + \Delta\lambda)}(1 - \sin^2 \theta_g)} \right\}$$

范围内。

10.根据权利要求6至9中任一项所述的半导体发光元件，其特征在于：

形成于上述n型GaIn层的凹部或者凸部，被配置成正方晶格状或者三角晶格状。

11.一种在衬底上层叠了n型GaIn层、发光层、p型GaIn层的半导体发光元件，其特征在于：

上述衬底是SiC衬底，

在上述SiC衬底的表面，以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。

12.根据权利要求11所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述SiC衬底的折射率记为 $n_{s\lambda}$ ，将上述SiC衬底和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_s 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_s 在

$$\frac{\lambda}{n_{s\lambda}} \leq L_s \leq \frac{\lambda}{n_{s\lambda}(1 - \sin^2 \theta_s)}$$

范围内。

13.根据权利要求11所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述SiC衬底的折射率记为 $n_{s\lambda}$ ，将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$ ，将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述SiC衬底的折射率记为 $n_{s(\lambda - \Delta\lambda)}$ ，将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时

的上述 SiC 衬底的折射率记为 $n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}$ ，将上述 SiC 衬底和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_s 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_s 在

$$\min\left\{\frac{\lambda}{n_{s\lambda}}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}}\right\} \leq L_s \leq \max\left\{\frac{\lambda}{n_{s\lambda}(1-\sin\theta_s)}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_s)}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_s)}\right\}$$

范围内。

14.根据权利要求 11 所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述 SiC 衬底的折射率记为 $n_{s\lambda}$ ，将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$ ，将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述 SiC 衬底的折射率记为 $n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}$ ，将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的上述 SiC 衬底的折射率记为 $n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}$ ，将上述 SiC 衬底和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_s 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_s 在

$$\min\left\{\frac{\lambda}{n_{s\lambda}}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}}\right\} \leq L_s \leq \max\left\{\frac{\lambda}{n_{s\lambda}(1-\sin^2\theta_s)}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin^2\theta_s)}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin^2\theta_s)}\right\}$$

范围内。

15.根据权利要求 11 至 14 中任一项所述的半导体发光元件，其特征在于：

形成于上述 SiC 衬底的凹部或者凸部，被配置成正方晶格状或者三角晶格状。

16.根据权利要求 11 至 15 中任一项所述的半导体发光元件，其特征在于：

在上述 p 型 GaN 层上设置 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$)，

在上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的表面，以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。

17.根据权利要求 16 所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z\lambda}$ ，将上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_z 时，相邻的凹部的周期间隔或者相

邻的凸部的周期间隔 L_z 在

$$\frac{\lambda}{n_{z\lambda}} \leq L_z \leq \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin\theta_z)}$$

范围内。

18.根据权利要求 16 所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z\lambda}$ ，将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$ ，将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}$ ，将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}$ ，将上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_z 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_z 在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}} \right\} \leq L_z \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin\theta_z)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)} \right\}$$

范围内。

19.根据权利要求 16 所述的半导体发光元件，其特征在于：

在将来自上述发光层的光在空气中的波长记为 λ ，将该波长 λ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z\lambda}$ ，将来自上述发光层的光在空气中的半幅值记为 $\Delta\lambda$ ，将波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}$ ，将波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的折射率记为 $n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}$ ，将上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的全反射角记为 θ_z 时，相邻的凹部的周期间隔或者相邻的凸部的周期间隔 L_z 在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}} \right\} \leq L_z \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin 2\theta_z)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin 2\theta_z)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin 2\theta_z)} \right\}$$

范围内。

20.根据权利要求 16 至 19 中任一项所述的半导体发光元件，其特征在于：

形成于上述 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的凹部或者凸部，被配置成正方晶格状或者三角晶格状。

半导体发光元件

技术领域

本发明涉及半导体发光元件，特别涉及 GaN 系半导体发光元件。

背景技术

近年，作为蓝色的半导体发光元件，已知有使用了 GaN 系半导体的半导体发光元件。组合了蓝色的半导体发光元件和黄色的发光体的白色 LED 作为移动电话等的 LED 背光源来使用的需求正在增大。此外，由于白色 LED 具有功耗低、寿命长的特点，因此可以期待今后被作为替代荧光灯、白炽灯等的光源来使用。

以往的 GaN 系半导体发光元件是在蓝宝石衬底上依次结晶生长了 GaN 缓冲层、n 型 GaN 层、发光层、p 型 GaN 层的结构。然而，在以往的这种结构中，存在如下问题：由于 p 型 GaN 层的折射率与跟 p 型 GaN 层相接的空气、树脂的折射率的差较大，导致在 p 型 GaN 层和与 p 型 GaN 层相接的空气、树脂的界面的全反射角变小，所以在发光层产生的光的大部分被与 p 型 GaN 层相接的空气、树脂的界面全反射，光取出效率较低。

例如，在半导体发光元件在空气中发光时，GaN 的折射率在光的波长为 450nm 时为约 2.5，所以 p 型 GaN 层与空气的界面的全反射角较小，约为 24°。从发光层发出的、以大于该全反射角的角度入射到 p 型 GaN 层与空气的界面的光，被 p 型 GaN 层与空气的界面全反射，因而无法从半导体发光元件取出。

对于这个问题，提出有以发光波长程度的间隔在 p 型 GaN 层上周期性地形成凹凸的方法（例如专利文献 1）。在这种结构中，通过周期性地形成的凹凸所引起的衍射效应来改变从发光层发出的光的前进方向，光被衍射为不形成全反射的角度，所以半导体发光元件的光取出效率提高了。

在 p 型 GaN 层上形成这种周期性地形成的凹凸时，首先在已结晶生长的 p 型 GaN 层上形成抗蚀剂（resist），利用干涉曝光法等形成抗蚀图形（resist pattern）。之后，利用 RIE 法等干蚀刻除去没有被抗蚀图形所覆

盖的部分，从而在 p 型 GaN 层上形成凹凸。

专利文献 1：特开 2005-5679 号公报

发明内容

〔发明所要解决的课题〕

但是，在利用干蚀刻对 p 型 GaN 层进行了蚀刻的情况下，由于等离子损伤（plasma damage），在被蚀刻后的 p 型 GaN 层的表面会产生氮空穴。由于该氮空穴作为施主（donor）发挥作用，所以会导致在被蚀刻后的 p 型 GaN 层的表面产生被 n 型化的部分。若在 p 型 GaN 层的表面的一部分存在被 n 型化的部分，则该部分由于存在 n/p 结而从 n 侧被“+”偏置，所以成为逆偏置状态，结果，导致半导体发光元件的正向电压上升。而且，被 n 型化的部分不仅被注入发光层的电流减少，并且 p 型 GaN 层的电阻变高，没有电流扩散，结果，导致半导体发光元件的有效的发光区域减少。

因此，需要利用湿蚀刻等方法来除去 p 型 GaN 层的被 n 型化了的的部分，而 GaN 的湿蚀刻不容易进行，也难以完全除去，而且还增加制造工艺，由此导致制造成本增加。

本发明是鉴于这种情况而完成的，其目的在于提供一种提高了光取出效率的半导体发光元件。

〔用于解决课题的手段〕

为了解决上述课题，本发明的一种方案的半导体发光元件，是在衬底上层叠了 n 型 GaN 层、发光层、p 型 GaN 层的半导体发光元件，在 p 型 GaN 层上，设置 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层（ $0 \leq x \leq 0.5$ ），在 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层（ $0 \leq x \leq 0.5$ ）的表面，以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。

根据该方案，在 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层（ $0 \leq x \leq 0.5$ ）的表面以二维的周期性间隔形成有凹部或者凸部，所以来自发光层的光被衍射。衍射光中以小于 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层（ $0 \leq x \leq 0.5$ ）和与其相接的介质的界面的全反射角的角度入射到界面的衍射光不被全反射，被取出到半导体发光元件的外部。由于不是在 p 型 GaN 层，而是在 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层（ $0 \leq x \leq 0.5$ ）形成有凹部或者凸部，所以干蚀刻时的等离子不会直接溅到 p 型 GaN 层，不会引起损伤所造成的 p 型 GaN 层表面的 n 型化，因此，不会使正向电压上升，能够提高光取出效率。而且，由于不再需要以往所必需的干蚀刻后的湿蚀刻工艺，因此，能够削减制造

成本。

形成于 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的凹部或者凸部也可以被配置成正方晶格状或者三角晶格状。在配置成正方晶格状时,能够以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。在配置成三角晶格状时,可以提高以二维的周期性间隔形成的凹部或者凸部的密度,能良好地提高光取出效率。

本发明的另一方案也是半导体发光元件。该半导体发光元件是层叠了 p 型 GaN 层、发光层、n 型 GaN 层的半导体发光元件,在 n 型 GaN 层的表面,以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。

根据该方案,在 n 型 GaN 层的表面以二维的周期性间隔形成有凹部或者凸部,所以来自发光层的光被衍射。衍射光中以小于 n 型 GaN 层和与其相接的介质的界面的全反射角的角度入射到界面的衍射光不被全反射,被取出到半导体发光元件的外部。虽然由于对 n 型 GaN 层进行干蚀刻也会产生氮空穴,导致 n 型 GaN 层的表面 n 型化,但由于 n 型 GaN 层原本就是 n 型,所以不会成为被施加逆偏置的状态,正向电压不会上升,能提高光取出效率。在这种情况下,也不再需要以往所必需的干蚀刻后的湿蚀刻工艺,因此,能够削减制造成本。

形成于 n 型 GaN 层的凹部或者凸部,也可以被配置成正方晶格状或者三角晶格状。在配置成正方晶格状时,能够以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。在配置成三角晶格状时,可以提高以二维的周期性间隔形成的凹部或者凸部的密度,能很好地提高光取出效率。

本发明的另一方案也是半导体发光元件。该半导体发光元件在衬底上层叠了 n 型 GaN 层、发光层、p 型 GaN 层,衬底是 SiC 衬底,在 SiC 衬底的表面,以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。

根据该方案,在 SiC 衬底的表面,以二维的周期性间隔形成有凹部或者凸部,所以从发光层向 SiC 衬底方向射出的光被衍射。由此能够提高光取出效率。即使对 SiC 衬底进行干蚀刻,也不会出现由于等离子损伤而导致正向电压上升的问题,所以易于加工。

形成于 SiC 衬底的凹部或者凸部,也可以被配置成正方晶格状或者三角晶格状。在配置成正方晶格状时,能够以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。在配置成三角晶格状时,可以提高以二维的周期性间隔形成的凹部或者凸部的密度,能很好地提高光取出效率。

也可以在 p 型 GaN 层上设置 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$)，在 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的表面，以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。在这种情况下，在 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的表面以二维的周期性间隔形成有凹部或者凸部，所以从发光层向 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 方向射出的光被衍射。衍射光中以小于 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的全反射角的角度，入射到 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 和与其相接的介质的界面的衍射光能够不被全反射地取出到半导体发光元件的外部。

形成于 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层 ($0 \leq x \leq 0.5$) 的凹部或者凸部，也可以被配置成正方晶格状或者三角晶格状。在配置成正方晶格状时，能够以二维的周期性间隔形成凹部或者凸部。在配置成三角晶格状时，可以提高以二维的周期性间隔形成的凹部或者凸部的密度，能很好地提高光取出效率。

〔发明效果〕

通过本发明的半导体发光元件，能够提高光取出效率。

附图说明

图 1 是本发明的第 1 实施方式的半导体发光元件的剖面图。

图 2 是表示凹部的配置例的图。

图 3 是表示凹部的其他配置例的图。

图 4 是表示半导体发光元件的电流-亮度特性的图。

图 5 是用于说明凹部的周期性间隔的图。

图 6 是本发明的第 2 实施方式的半导体发光元件的剖面图。

图 7 是表示本发明的第 2 实施方式的半导体发光元件的变形例的图。

图 8 是本发明的第 3 实施方式的半导体发光元件的剖面图。

图 9 是本发明的第 4 实施方式的半导体发光元件的剖面图。

〔标号说明〕

10 半导体发光元件，12 蓝宝石衬底，14 缓冲层，16 n 型 GaN 层，18 InGaN 发光层，24 ZnO 层，26 p 侧电极，28 n 侧电极，30 凹部，32 p 型 GaN 层

具体实施方式

(第 1 实施方式)

图1是本发明的第1实施方式的半导体发光元件的剖面图。如图1所示,半导体发光元件10是层叠了作为接触层的n型GaN层16、InGaN发光层18、以及p型GaN层32的双异质结构的GaN系半导体发光元件,其中,所述p型GaN层32由作为包(clad)层的p型AlGaN层20和作为接触层的p型GaN22构成。第1实施方式的半导体发光元件10的发光观测面是作为透明电极的ZnO层24侧。另外,各附图以说明各层等的位置关系为目的,并非一定表示实际的尺寸关系。此外,在各实施方式中,对于相同或对应的结构要素标注相同的标号,并适当省略重复的说明。

半导体发光元件10利用使GaN系半导体在蓝宝石衬底12上外延生长而形成。

在蓝宝石衬底12上设置缓冲层14。缓冲层14是使用PLD(Pulsed Laser Deposition: 脉冲激光沉积)法以550℃左右的低温形成的AlGaN的非晶质层。缓冲层14的厚度取10~20nm程度。缓冲层14是用于使结晶性良好的GaN膜在蓝宝石衬底12上生长的基底,具有作为防止与蓝宝石衬底12的晶格不匹配所导致的晶格缺陷增加的缓冲层的功能。而且,缓冲层14也可以是结晶性的缓冲层。在这种情况下,以800~1000℃程度使AlGaN结晶生长。使用结晶性缓冲层时的厚度没有特殊限制,只要在10nm~100nm左右就足够。

在缓冲层14上使用MOCVD法设置掺杂了Si的n型GaN层16。n型GaN层16作为接触层发挥作用。掺杂剂也可以是Ge。形成n型GaN层16时蓝宝石衬底12的温度保持在1000~1200℃程度。若n型GaN层16较薄,则n型GaN层16的薄膜电阻变高,会招致动作电压的增加,所以n型GaN层16的厚度优选3~10μm程度。该n型GaN层16也具有作为n型包层的功能。

在n型GaN层16上使用MOCVD法设置InGaN发光层18。形成InGaN发光层18时蓝宝石衬底12的温度保持在700~1000℃程度。InGaN发光层18具有交替地层叠了InGaN层、和GaN层或In组分比小于发光的InGaN层的InGaN层的多量子阱(MQW: Multiple Quantum Well)结构。阱数可以是5~10的程度。InGaN层的厚度取1~10nm程度,InGaN层取3~30nm程度。例如,InGaN层取3nm,GaN层取10nm。若增加InGaN层的In组分比,则带隙能量变小,发光峰值波长变长。因此,可以通过改变

InGaN层的In组分比或厚度来控制半导体发光元件10的发光波长。

也可以在InGaN发光层18上使用MOCVD法设置无掺杂GaN层(未图示)。无掺杂GaN层的厚度取10~100nm程度。该无掺杂GaN层作为保护层发挥作用,具有防止在结晶生长过程中因InGaN发光层18成为高温而造成InGaN发光层18的结晶劣化的功能。

在InGaN发光层18上设置掺杂了Mg的p型AlGaIn层20。p型AlGaIn层20也可以是p型GaN层。p型AlGaIn层20作为包层发挥作用。形成p型AlGaIn层20时蓝宝石衬底12的温度保持在1000~1200℃程度。p型AlGaIn层20的厚度取0.1~0.3μm,例如取1.5μm左右。

在p型AlGaIn层20上设置掺杂了Mg的p型GaN层22。p型GaN层22作为接触层发挥作用。形成p型GaN层22时蓝宝石衬底12的温度保持在700~1000℃程度。p型GaN层22的厚度取20nm~0.2μm程度。

在p型GaN层22上使用PLD法设置掺杂了Ga的ZnO层24。ZnO层24也可以使用溶胶·凝胶法、热CVD法等来形成。ZnO层24的厚度取1~2μm程度。ZnO层24对于GaN系半导体发光元件的发光波长带的透射率较高,作为透明电极发挥作用。ZnO层24也可以是 $Mg_xZn_{1-x}O$ 层($0 \leq x \leq 0.5$)。

作为透明电极,虽然其他如ITO(Indium Tin Oxide: 铟锡氧化物)也广为人知,但存在如下这样的问题:当利用溅射法等形成ITO时,ITO所包含的Sn相对于p型GaN层22成为n型的掺杂剂,p型GaN层22的表面n型化,结果,导致半导体发光元件的正向电压上升。而第1实施方式中使用的ZnO层24,由于Zn相对于p型GaN层22成为p型的掺杂剂,所以不会产生这样的问题。而且,GaN和ZnO的结晶取同样的纤锌矿(wurtzite)结构,因此,易于获得良好的分界面。

在ZnO层24的表面以二维的周期性间隔形成多个凹部30。所谓ZnO层24的表面,是指与ZnO层24和p型GaN层22相接的面相对的面。图2是表示凹部30的配置例的图。图3是表示凹部30的其他配置例的图。凹部30也可以如图2所示那样配置形成正方晶格状。在配置成正方晶格状的情况下,能够以二维的周期性间隔形成凹部30。此外,凹部30也可以如图3所示那样配置成三角晶格状。在配置成三角晶格状时,能够提高以二维的周期性间隔形成的凹部30的密度,能良好地提高光取出效率。

凹部 30 的俯视形状可以如图 2 或图 3 所示那样为圆形,也可以是四角形或六角形。其直径或 1 边的长度可以是 100nm 左右。凹部 30 的深度可以是 500nm 左右。关于凹部 30 的优选周期间隔,在后面叙述。

该凹部 30 通过如下步骤形成:在 ZnO 层 24 上形成了抗蚀剂后,利用电子束曝光法、纳米压印法等方法将抗蚀剂图形化成所希望的形状,以抗蚀剂为掩模进行 RIE 法等的干蚀刻。

之后,通过蚀刻除去 ZnO 层 24、p 型 GaN 层 22、p 型 AlGaIn 层 20、InGaIn 发光层 18 和 n 型 GaN 层 16 的一部分区域。蚀刻到 n 型 GaN 层 16 中部,在露出的 n 型 GaN 层 16 的上面形成 n 侧电极 28。n 侧电极 28 是欧姆接触 (ohmic contact),优选接触比电阻小并且热稳定的材料,可以使用 Al 或者 Ti/Al。为使其成为欧姆接触,优选在形成了 n 侧电极 28 之后,以 600°C 程度进行烧结 (sinter)。n 侧电极 28 的厚度可以是 2500Å 左右。

最后,在 ZnO 层 24 上的没有设置凹部的一部分区域形成 p 侧电极 26。P 侧电极 26 为了实现欧姆接触可以利用 Al、Ti、Ag 等。关于 p 侧电极 26 的厚度,Pt 可以是 1000Å 左右,Au 可以是 3000Å 左右。p 侧电极 26 和 n 侧电极 28 可以使用蒸镀法、溅射法来形成。

图 4 是表示半导体发光元件的电流-亮度特性的图。图 4 的横轴表示半导体发光元件 10 的正向电流,纵轴表示亮度。曲线 34 表示没有在 ZnO 层 24 的表面形成凹部 30 时的电流-亮度特性,曲线 36 表示在 ZnO 层 24 的表面形成了凹部 30 时的电流-亮度特性。如图 4 所示,通过在 ZnO 层 24 的表面形成凹部 30,亮度得到提高。这意味着半导体发光元件 10 的光取出效率得到提高。

第 1 实施方式的半导体发光元件 10 由于在 ZnO 层 24 的表面以二维周期性间隔形成有凹部,所以来自 InGaIn 发光层 18 的光被衍射。衍射光中以小于在 ZnO 层 24 与空气的界面的全反射角 θ_z 的角度入射到界面的衍射光不被全反射,被取出到半导体发光元件 10 的外部,因而能够提高光取出效率。

第 1 实施方式的半导体发光元件 10 由于不是在 p 型 GaN 层 22,而是在 ZnO 层 24 形成有凹部,所以不会引起干蚀刻时的等离子损伤所造成的 p 型 GaN 层 22 表面的 n 型化,因此,不会使正向电压上升,能够良好地提高光取出效率。

图 5 是用于说明凹部 30 的周期间隔的图。所谓凹部 30 的周期间隔,

是指在二维的面内纵或横方向上相邻的凹部中心之间的间隔。将周期间隔记为 L_z ，将来自 InGaN 发光层 18 的光在空气中的峰值波长记为 λ ，将该波长 λ 在上述 ZnO 层 24 的折射率记为 $n_{z\lambda}$ ，将来自上述发光层的光入射到 ZnO 层 24 与空气层的界面时的全反射角记为 θ_z 。全反射角 θ_z 成为 $\theta_z = \sin^{-1}(1/n_{z\lambda})$ ，因此，例如在设波长 $\lambda=450\text{nm}$ 时的 ZnO 的折射率 $n_{z\lambda}$ 为 2.3，空气的折射率取为 1.0 时，全反射角 θ_z 约为 25.8° 。

在图 5 中，从在 ZnO 层 24 中沿横方向传播的光 48 向与 ZnO 层 24 的法线方向呈 θ_m 角的方向衍射的衍射光 50 和衍射光 52 相互增强的条件，可以表示为

$$\frac{L_z}{\lambda/n_{z\lambda}} 2\pi - \frac{L_z \sin \theta_m}{\lambda/n_{z\lambda}} 2\pi = 2m\pi \quad \dots\dots\dots (1)$$

m 是整数，代表衍射光的次数。在式 (1) 中，左边表示衍射光 50 与衍射光 52 的相位差。在相位差是 2π 的整数倍时，衍射光 50 与衍射光 52 相互增强。若针对 L_z 将式 (1) 进行变形，则式 (1) 可以表示为。

$$L_z = \frac{m\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin \theta_m)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

在衍射光 50 与衍射光 52 相互增强的角度 θ_m 小于全反射角 θ_z 时，即 θ_m 在 $0 \leq \theta_m \leq \theta_z$ 的范围内时，相互增强的衍射光 50 与衍射光 52 不在 ZnO 层 24 与空气的界面发生全反射，能够取出到半导体发光元件 10 的外部。即，当周期间隔 L_z 在

[式 3]

$$\frac{m\lambda}{n_{z\lambda}} \leq L_z \leq \frac{m\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin \theta_z)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

的范围内时，相互增强的衍射光 50 与衍射光 52 被射出到半导体发光元件 10 的外部。实质上 1 次衍射光的强度最强，因此，可以以 $m=1$ 来设定周期间隔 L_z 。即，优选设定为满足

$$\frac{\lambda}{n_{z\lambda}} \leq L_z \leq \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin \theta_z)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

的周期间隔 L_z 。例如，设波长 $\lambda=450\text{nm}$ ，ZnO 的折射率 $n_{z\lambda}=2.3$ ， $m=1$ ，

$\theta_z=25.8^\circ$ ，使用上述式(4)来计算周期间隔 L_z ，则周期间隔 L_z 成为 $196\text{nm}\leq L_z\leq 346\text{nm}$ 。

此外，半导体发光元件与半导体激光器不同，其发光光谱宽，所以也可以考虑在空气中的半幅值 $\Delta\lambda$ 来设定周期间隔 L_z 。即，对应于从发光峰值波长 λ 偏移了 $\Delta\lambda$ 的波长 $\lambda\pm\Delta\lambda$ 来设定周期间隔 L_z ，也具有发光效率改善的效果。此处，所谓半幅值 $\Delta\lambda$ ，是指从发光峰值波长 λ 至发光强度成为 1/2 的波长的波长幅度。考虑了半幅值 $\Delta\lambda$ 时的周期间隔 L_z 的范围可以表示为

$$\min\left\{\frac{m\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{m(\lambda-\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{m(\lambda+\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}}\right\} \leq L_z \leq \max\left\{\frac{m\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin\theta_z)}, \frac{m(\lambda-\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)}, \frac{m(\lambda+\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)}\right\} \dots\dots\dots (5)$$

。 $n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}$ 表示波长 $\lambda-\Delta\lambda$ 时的 ZnO 层的折射率， $n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}$ 表示波长 $\lambda+\Delta\lambda$ 时的 ZnO 层的折射率。此处也是实质上 1 次衍射光的强度最强，因此，可以以 $m=1$ 来设定周期间隔 L_z 。即，可以设定为满足

[式 6]

$$\min\left\{\frac{\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}}\right\} \leq L_z \leq \max\left\{\frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin\theta_z)}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_z)}\right\} \dots\dots\dots (6)$$

的周期间隔 L_z 。在这种情况下，例如，设波长 $\lambda=450\text{nm}$ ，半幅值 $\Delta\lambda$ 为 15nm ， $\theta_z=25.8^\circ$ ，波长 λ 时的 ZnO 的折射率 $n_{z\lambda}$ 与波长 $\lambda+\Delta\lambda$ 时的 ZnO 的折射率 $n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}$ 相等，都是 2.3，则根据式(6)，周期间隔 L_z 成为 $189\text{nm}\leq L_z\leq 358\text{nm}$ 。

进而，如上述那样，衍射光 50 与衍射光 52 相互增强的角度 θ_m 小于全反射角 θ_z 的情况下是最希望的，但实质上即使 θ_m 小于 θ_z 的 2 倍，也具有发光效率改善的效果。即 θ_m 也可以是 $0\leq\theta_m\leq 2\theta_z$ 的范围。此时，周期间隔 L_z 的范围可以表示为

$$\min\left\{\frac{m\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{m(\lambda-\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{m(\lambda+\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}}\right\} \leq L_z \leq \max\left\{\frac{m\lambda}{n_{z\lambda}(1-\sin 2\theta_z)}, \frac{m(\lambda-\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin 2\theta_z)}, \frac{m(\lambda+\Delta\lambda)}{n_{z(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin 2\theta_z)}\right\} \dots\dots\dots (7)$$

。此处也是实质上 1 次衍射光的强度最强，因此，可以以 $m=1$ 来设定周期间隔 L_z 。即，优选设定为满足

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda - \Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda + \Delta\lambda)}} \right\} \leq L_z \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{z\lambda}(1 - \sin^2 \theta_z)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{z(\lambda - \Delta\lambda)}(1 - \sin^2 \theta_z)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{z(\lambda + \Delta\lambda)}(1 - \sin^2 \theta_z)} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

的周期间隔 L_z 。在这种情况下，例如，设波长 $\lambda=450\text{nm}$ ，半幅值 $\Delta\lambda$ 为 15nm ， $\theta_z=25.8^\circ$ ，波长 λ 时的 ZnO 的折射率 $n_{z\lambda}$ 与波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的 ZnO 的折射率 $n_{z(\lambda + \Delta\lambda)}$ 相等，都是 2.3，则根据式 (8)，周期间隔 L_z 成为 $189\text{nm} \leq L_z \leq 935\text{nm}$ 。

在第 1 实施方式中，对在 ZnO 层 24 的表面形成凹部的情况进行了说明，而在 ZnO 层 24 不是形成凹部，而是形成凸部，也同样具有光取出效率改善的效果。另外，在上述说明中，对半导体发光元件 10 在空气中发光的情况进行了说明，但也可以是半导体发光元件 10 被荧光体、透光性树脂覆盖的状态。在这种情况下，在求全反射角 θ_z 时，不是使用空气的折射率，而是只要使用作为与 ZnO 层 24 相接的介质的荧光体、透光性树脂的折射率，就能适用上述式 (3) ~ (8)。

(第 2 实施方式)

图 6 是本发明的第 2 实施方式的半导体发光元件的剖面图。如图 6 所示，半导体发光元件 60 是层叠了作为接触层的 p 型 GaN 层 32、InGaN 发光层 18、以及作为接触层的 n 型 GaN 层 16 的双异质结构的 GaN 系半导体发光元件，其中，所述 p 型 GaN 层 32 由作为接触层的 p 型 GaN22 和作为包层的 p 型 AlGaIn 层 20 构成。第 2 实施方式的半导体发光元件 60 的发光观测面是 n 型 GaN 层 16 侧。

第 2 实施方式的半导体发光元件 60，首先在蓝宝石衬底上层叠 n 型 GaN 层 16、InGaN 发光层 18、p 型 AlGaIn 层 20、以及 p 型 GaN 层 22。至此是与第 1 实施方式的半导体发光元件 10 同样的工艺，但这之后，利用激光剥离 (laser lift-off) 将蓝宝石衬底和缓冲层剥离。作为激光，可以使用波长 248nm 的 KrF 激光。

在通过剥离蓝宝石衬底和缓冲层而露出的 n 型 GaN 层 16 的表面，以二维的周期性间隔形成多个凹部 30。所谓 n 型 GaN 层 16 的表面，是指与 GaN 层 16 和 InGaN 发光层 18 相接的面相对的面。凹部 30 也可以如图 2 所示那样配置形成正方晶格状。此外，凹部 30 也可以如图 3 所示那样配置形成三角晶格状。

凹部 30 的俯视形状例如也可以如图 2 或图 3 所示那样为圆形，此外，也可

以是四角形、六角形。其直径或1边的长度可以是100nm左右。凹部30的深度可以是500nm左右。

凹部30可以与第1实施方式中的半导体发光元件10一样,通过进行RIE法等干蚀刻来形成。虽然由于对n型GaN层16进行干蚀刻也会产生氮空穴,导致n型GaN层16的表面n型化,但由于n型GaN层16本身就是n型,所以不会成为被施加逆偏置的状态,正向电压不会上升。

形成凹部30后,利用蚀刻除去p型GaN层22、p型AlGaIn层20、InGaIn发光层18和n型GaN层16的一部分区域。蚀刻至n型GaN层16中部,在露出的n型GaN层16的上面形成n侧电极28。

之后,在p型GaN层22上形成p侧电极26。半导体发光元件60的发光观测面在n型GaN层16侧,所以不需要在p型GaN层22上形成ZnO的透明电极层,而在n型GaN层16上直接形成p侧电极26。p侧电极26优选使用Pt/Au等。关于p侧电极26的厚度,Pt可以是1000Å左右,Au可以是3000Å左右。

在第2实施方式的半导体发光元件60中,由于在n型GaN层16的表面以二维周期性间隔形成有凹部,所以来自InGaIn发光层18的光被衍射。衍射光中以小于n型GaN层16与空气的界面的全反射角 θ_g 的角度入射到界面的衍射光不被全反射,被取出到半导体发光元件60的外部,因此,能够提高光取出效率。

凹部30的周期间隔 L_g ,优选在满足

$$\frac{\lambda}{n_{g\lambda}} \leq L_g \leq \frac{\lambda}{n_{g\lambda}(1-\sin\theta_g)} \dots\dots (9)$$

的范围内进行设定。 λ 表示来自InGaIn发光层18的光在空气中的峰值波长, $n_{g\lambda}$ 表示该波长 λ 时的n型GaN层16的折射率。

通过以满足式(9)的周期间隔 L_g 在n型GaN层16的表面形成凹部30,能将衍射光取出到半导体发光元件60的外部,可以提高光取出效率。例如,若波长 $\lambda=450\text{nm}$,n型GaN层16的折射率 $n_{g\lambda}=2.5$,全反射角 $\theta_g=23.6^\circ$,使用上述式(9)来计算周期间隔 L_g ,则周期间隔 L_g 成为 $180\text{nm} \leq L_g \leq 300\text{nm}$ 。

此外,与第1实施方式一样,考虑半导体发光元件60的半幅值 $\Delta\lambda$ 设定周期间隔 L_g ,也能提高光取出效率。即,相邻的凹部30的周期间隔 L_g 也可

以在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{e\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{e(\lambda - \Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{e(\lambda + \Delta\lambda)}} \right\} \leq L_g \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{e\lambda}(1 - \sin\theta_g)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{e(\lambda - \Delta\lambda)}(1 - \sin\theta_g)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{e(\lambda + \Delta\lambda)}(1 - \sin\theta_g)} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

的范围内。 $n_{e(\lambda - \Delta\lambda)}$ 表示波长 $\lambda - \Delta\lambda$ 时的n型GaN层16的折射率， $n_{e(\lambda + \Delta\lambda)}$ 表示波长 $\lambda + \Delta\lambda$ 时的n型GaN层16的折射率。

进而，与第1实施方式一样，衍射光相互增强的角度 θ_m 在 $0 \leq \theta_m \leq 2\theta_g$ 的范围内时也能提高光取出效率。即，相邻的凹部30的周期间隔 L_g 也可以在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{e\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{e(\lambda - \Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{e(\lambda + \Delta\lambda)}} \right\} \leq L_g \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{e\lambda}(1 - \sin 2\theta_g)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{e(\lambda - \Delta\lambda)}(1 - \sin 2\theta_g)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{e(\lambda + \Delta\lambda)}(1 - \sin 2\theta_g)} \right\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

的范围。

图7是表示本发明的第2实施方式的半导体发光元件的变形例的图。在图7所示的半导体发光元件62中，蓝宝石衬底12和缓冲层14不相剥离，在从ZnO层24侧蚀刻至n型GaN层16的中部而露出的n型GaN层16的表面的、形成n侧电极28的区域以外的位置，形成有凹部30。另外，由于在图7中对凹部30的大小进行了放大描绘，所以只描绘了1个凹部30，而实际上是形成有多个凹部30。

在InGaN发光层18所发出的、被缓冲层14与蓝宝石衬底12的界面反射的光入射到形成了凹部30的区域时，该光被凹部30衍射，所以前进方向发生改变，可以不被全反射地取出到半导体发光元件62的外部。由于在半导体发光元件60中也在n型GaN层16形成有凹部，所以不会由于n型GaN层16的表面n型化而导致正向电压上升。

在第2实施方式中，对在n型GaN层16的表面形成凹部的情况进行了说明，但在n型GaN层16不形成凹部，而是形成凸部，也同样具有光取出效率改善的效果。而且，在上述说明中，对半导体发光元件60或62在空气中发光的情况进行了说明，但也可以是半导体发光元件60或62被荧光体、透光性树脂覆盖的状态。在这种情况下，在求全反射角 θ_g 时，不是使用空气的折射率，而只需使用作为与n型GaN层16相接的介质的荧光体、透光性树脂的折射率，

就能适用上述式(9)~(11)。

(第3实施方式)

图8是本发明的第3实施方式的半导体发光元件的剖面图。如图8所示,半导体发光元件70是在SiC衬底40上层叠了作为接触层的n型GaN层16、InGaN发光层18、以及p型GaN层32的双异质结构的GaN系半导体发光元件,其中,所述p型GaN层32由作为包层的p型AlGaIn层20和作为接触层的p型GaN₂₂构成。半导体发光元件70的发光观测面是ZnO层24侧或者SiC衬底40侧。在将ZnO层24侧作为发光观测面的情况下,在使用半导体发光元件70时,可以在SiC衬底40与安装衬底之间设置例如由银(Ag)构成的反射板(未图示)。通过设置反射板,可以使从SiC衬底40侧射出的光反射至作为发光观测面的ZnO层24侧。

第3实施方式的半导体发光元件70是通过使GaN系半导体在SiC衬底40上外延生长而形成,之后,在SiC衬底40的表面形成凹部30。在ZnO层24上具有作为透明电极发挥作用的ZnO层24,但没有在ZnO层24形成凹部。

由于SiC与蓝宝石不同,是具有导电性的,所以不需要象第1或第2实施方式那样对p型GaN层、InGaIn发光层等进行蚀刻来形成连接n型GaN层16的n侧电极的工艺,可以谋求使制造工艺简单化和提高可靠性。

在SiC衬底40的表面以二维的周期性间隔形成多个凹部30。所谓SiC衬底40的表面,是指与SiC衬底40和n型GaN层16相接的面相对的面。凹部30也可以如图2所示那样配置形成正方晶格状。此外,凹部30也可以如图3所示那样配置形成三角晶格状。

凹部30的俯视形状例如可以如图2或图3所示那样为圆形,此外,也可以是四角形、六角形。其直径或1条边的长度可以是100nm左右。凹部30的深度可以是500nm左右。

凹部30可以与第1实施方式中的半导体发光元件10一样通过进行RIE法等干蚀刻来形成。即使对SiC衬底40进行干蚀刻,也不会产生等离子损伤所导致的正向电压上升的问题。

在SiC衬底40上的没有形成凹部30的一部分区域设置n侧电极28。n侧电极28优选形成在SiC衬底40的表面中央附近。n侧电极28还作为反

射层发挥作用，可以使用 Ni、Ti、Ni/Ti/Au、或者 NiTi 合金 (Alloy) 等。
n 侧电极 28 的厚度可以是 2500Å 左右。

在 ZnO 层 24 上的一部分区域形成 p 侧电极 26。在将 SiC 衬底 40 用作衬底时，优选在 ZnO 层 24 的表面中央附近形成 p 侧电极 26。p 侧电极 26 优选使用 Pt/Au 等。关于 p 侧电极 26 的厚度，Pt 可以是 1000Å 左右，Au 可以是 3000Å 左右。

在第 3 实施方式的半导体发光元件 70 中，由于在 SiC 衬底 40 的表面以二维周期性间隔形成有凹部，所以从 InGaN 发光层 18 向 SiC 衬底 40 方向射出的光在 SiC 衬底 40 与空气的界面衍射。向与 SiC 衬底 40 的法线呈小于全反射角 θ_s 的角度的方向被衍射的光，不被 SiC 衬底 40 与空气的界面全反射，能够取出到半导体发光元件 70 的外部，能够提高光取出效率。

凹部 30 的周期间隔 L_s ，优选在满足

$$\frac{\lambda}{n_{s\lambda}} \leq L_s \leq \frac{\lambda}{n_{s\lambda}(1-\sin\theta_s)} \dots\dots\dots (12)$$

的范围内进行设定。 λ 表示来自 InGaN 发光层 18 的光在空气中的峰值波长， $n_{s\lambda}$ 表示该波长 λ 时的 SiC 衬底 40 的折射率， θ_s 表示 SiC 衬底与空气的界面的全反射角。

通过以满足式 (12) 的周期间隔 L_s 形成凹部 30，能将衍射光取出到半导体发光元件 70 的外部，能够提高光取出效率。例如，若波长 $\lambda=450\text{nm}$ ，SiC 衬底 40 的折射率 $n_{s\lambda}=2.65$ ， $\theta_s=22.2^\circ$ ，使用上述式 (12) 来计算周期间隔 L_s ，则周期间隔 L_s 成为 $170\text{nm} \leq L_s \leq 273\text{nm}$ 。

此外，考虑半导体发光元件 70 的半幅值 $\Delta\lambda$ 地设定周期间隔 L_s ，也能提高光取出效率。即，相邻的凹部 30 的周期间隔 L_s 也可以在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{s\lambda}}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}} \right\} \leq L_s \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{s\lambda}(1-\sin\theta_s)}, \frac{\lambda-\Delta\lambda}{n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_s)}, \frac{\lambda+\Delta\lambda}{n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}(1-\sin\theta_s)} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

的范围。 $n_{s(\lambda-\Delta\lambda)}$ 表示波长 $\lambda-\Delta\lambda$ 时的 SiC 衬底 40 的折射率， $n_{s(\lambda+\Delta\lambda)}$ 表示波长 $\lambda+\Delta\lambda$ 时的 SiC 衬底 40 的折射率。

进而，衍射光相互增强的角度 θ_m 在 $0 \leq \theta_m \leq 2\theta_s$ 的范围时，也能提高光取出效率。即，相邻的凹部 30 的周期间隔 L_s 也可以在

$$\min \left\{ \frac{\lambda}{n_{s\lambda}}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{s(\lambda - \Delta\lambda)}}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{s(\lambda + \Delta\lambda)}} \right\} \leq L_s \leq \max \left\{ \frac{\lambda}{n_{s\lambda}(1 - \sin^2 \theta_s)}, \frac{\lambda - \Delta\lambda}{n_{s(\lambda - \Delta\lambda)}(1 - \sin^2 \theta_s)}, \frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_{s(\lambda + \Delta\lambda)}(1 - \sin^2 \theta_s)} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

的范围。

在第3实施方式中，对在SiC衬底40的表面形成凹部的情况进行了说明，但在SiC衬底40的表面不是形成凹部，而是形成凸部，也同样具有光取出效率改善的效果。另外，在上述说明中，对半导体发光元件70在空气中发光的情况进行了说明，但也可以是半导体发光元件70被荧光体、透光性树脂覆盖的状态。在这种情况下，不是使用空气的折射率，而只需使用作为与SiC衬底40相接的介质的荧光体、透光性树脂的折射率，就能适用上述式(12)~(14)。

(第4实施方式)

图9是本发明的第4实施方式的半导体发光元件的剖面图。如图9所示，半导体发光元件80是在SiC衬底40上层叠了作为接触层的n型GaN层16、InGaN发光层18、以及p型GaN层32的双异质结构的GaN系半导体发光元件，其中，所述p型GaN层32由作为包层的p型AlGaN层20和作为接触层的p型GaN22构成。第4实施方式的半导体发光元件80的发光观测面是ZnO层24侧或SiC衬底40侧。与第3实施方式一样，也可以在实际安装时设置反射板。

第4实施方式的半导体发光元件80在设置于p型GaN层22上的ZnO层24的表面形成凹部38这一点上，与第3实施方式的半导体发光元件70不同。在SiC衬底40的表面与第3实施方式一样地形成凹部30。

在ZnO层24的表面以二维的周期性间隔形成多个凹部38。所谓ZnO层24的表面，是指与ZnO层24和p型GaN22相接的面相对的面。凹部38的配置、形状等与第1实施方式的半导体发光元件10相同，周期间隔 L_z 可以适用式(3)~(8)进行设定。只是在将SiC衬底40用作衬底时，p侧电极26优选形成在ZnO层24的表面中央附近。

第4实施方式的半导体发光元件80由于在ZnO层24的表面以二维周期性间隔形成有凹部38，所以从InGaN发光层18向ZnO层24方向射出的光被衍射。衍射光中以小于ZnO层24与空气的界面的全反射角 θ_z 的角度入射到界面的衍射光不被全反射，能够取出到半导体发光元件80的外部。此外，

形成在 SiC 衬底 40 的表面的凹部 30 的效果，与第 3 实施方式的半导体发光元件 70 的情况相同。

第 4 实施方式的半导体发光元件 80 中，与第 1 实施方式一样，不是在 p 型 GaN 层 22，而是在 ZnO 层 24 形成有凹部，所以不会引起干蚀刻时的等离子损伤所造成的 p 型 GaN 层 22 表面的 n 型化，不会使正向电压上升。此外，与第 3 实施方式一样，即使对 SiC 衬底 40 进行干蚀刻，也不会引起等离子损伤所导致的正向电压上升。

以上基于实施方式对本发明进行了说明。这些实施方式只是例示，可以对其各个构成要素、各处理流程的组合进行各种各样的变形，本领域技术人员能够理解这些变形例也包含在本发明的范围内。

〔工业可利用性〕

本发明可利用于移动电话等所使用的半导体发光元件。

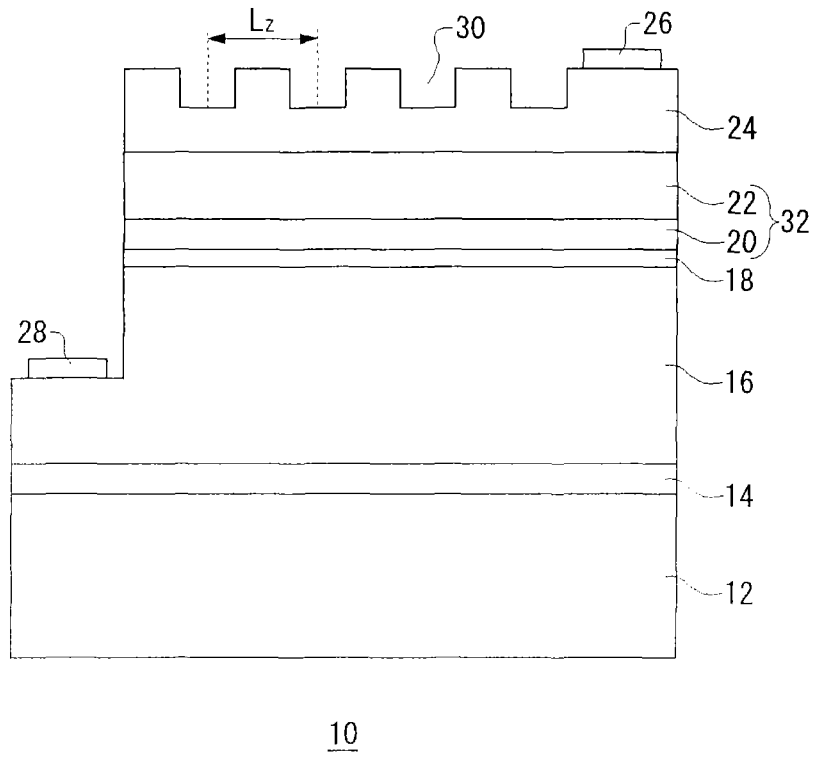


图 1

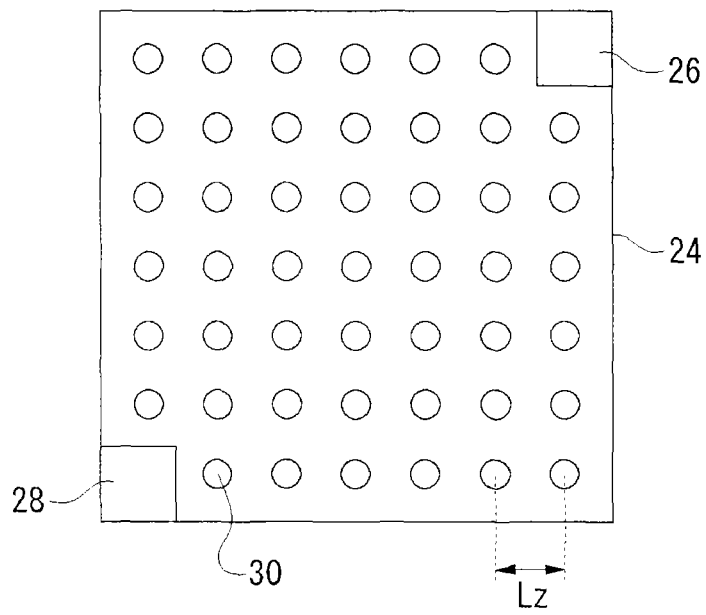


图 2

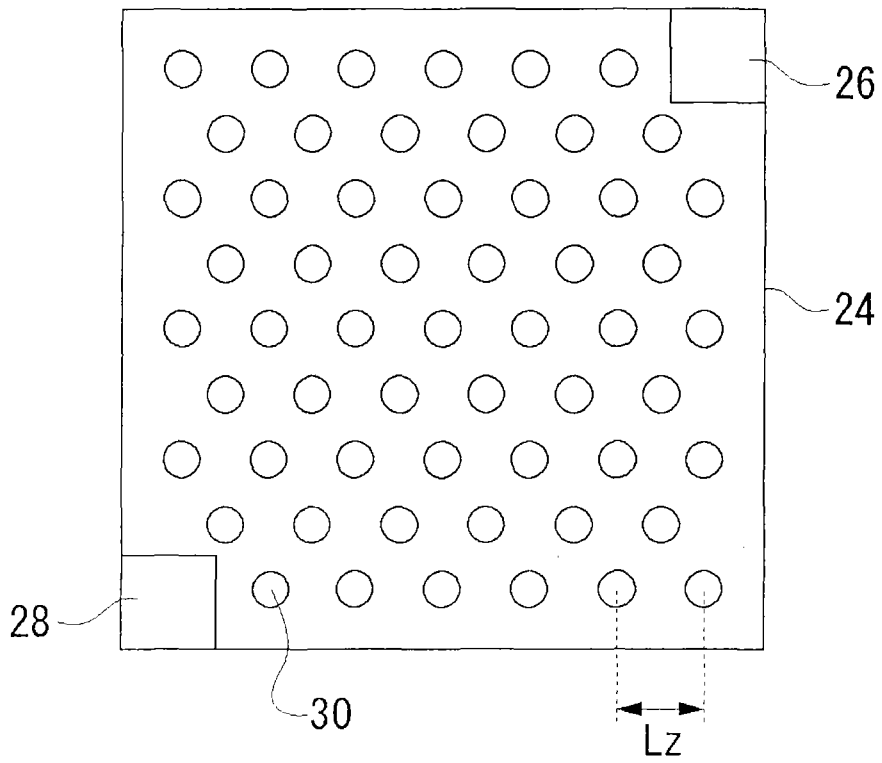


图 3

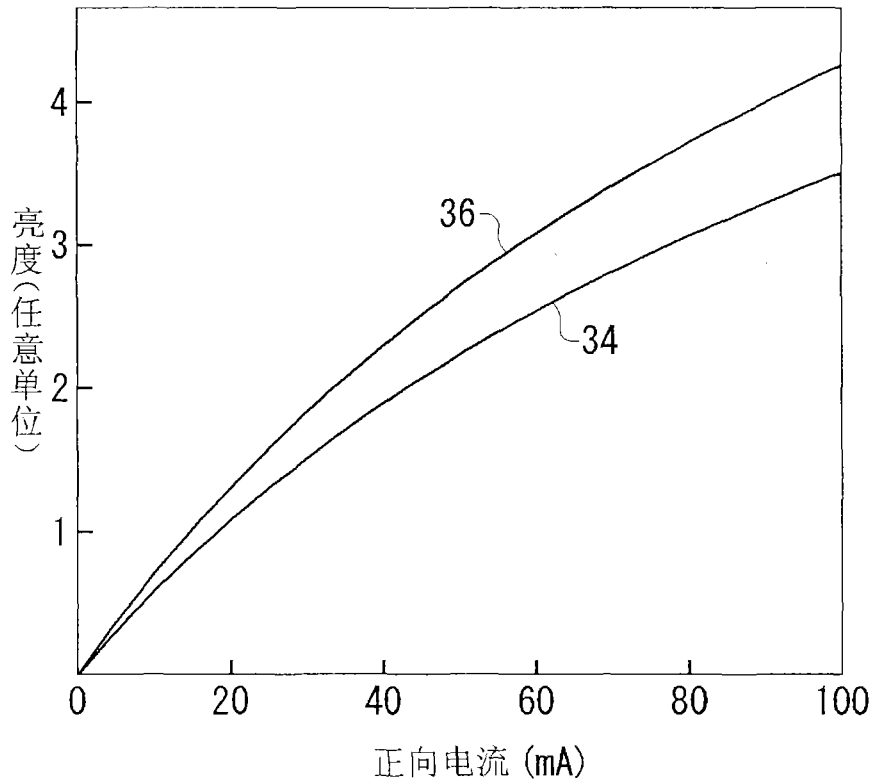


图 4

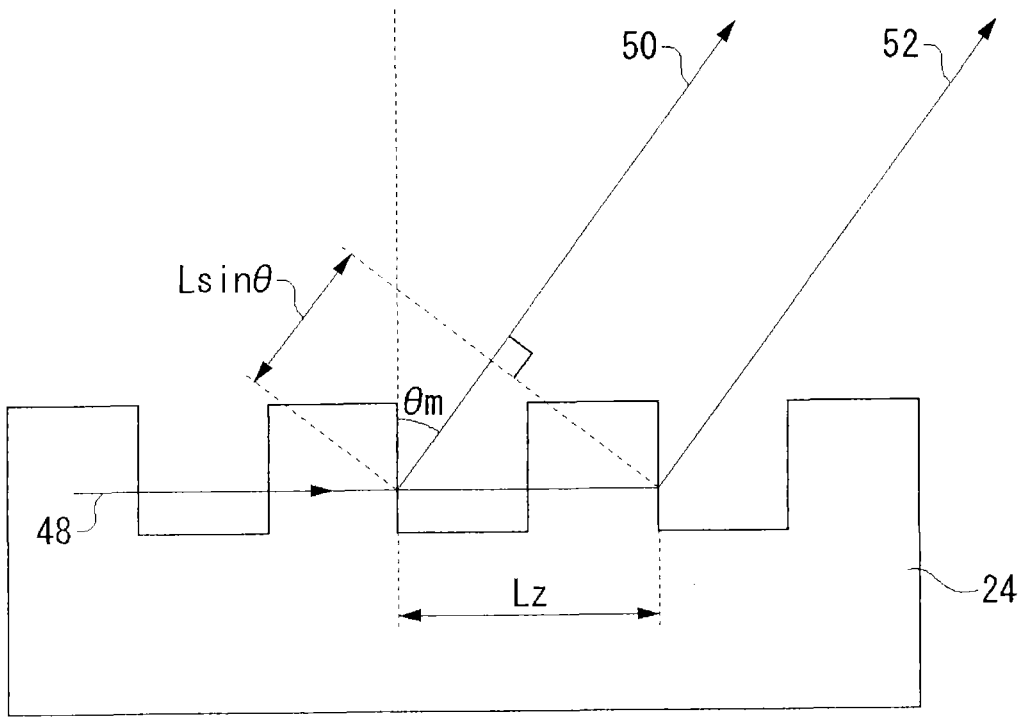
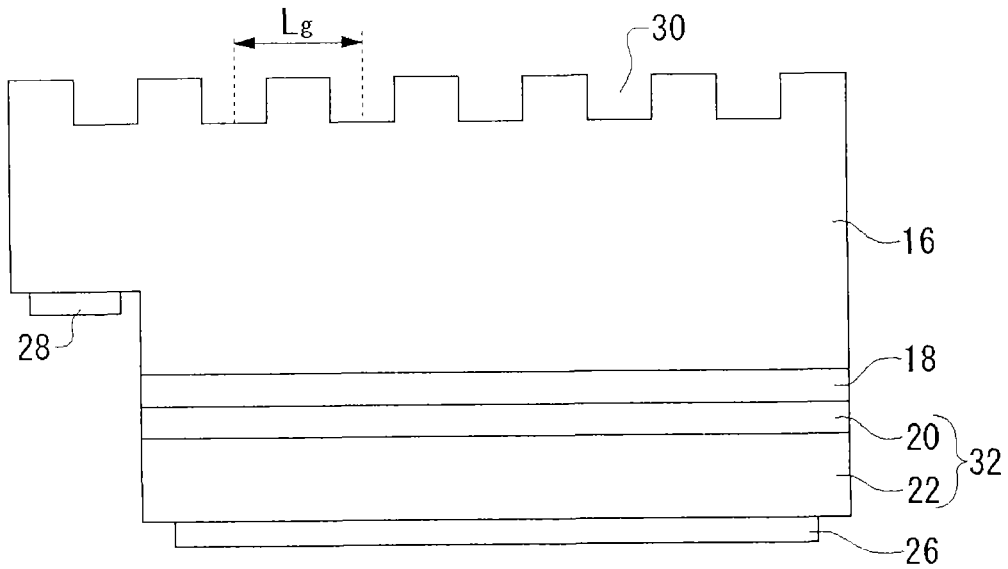
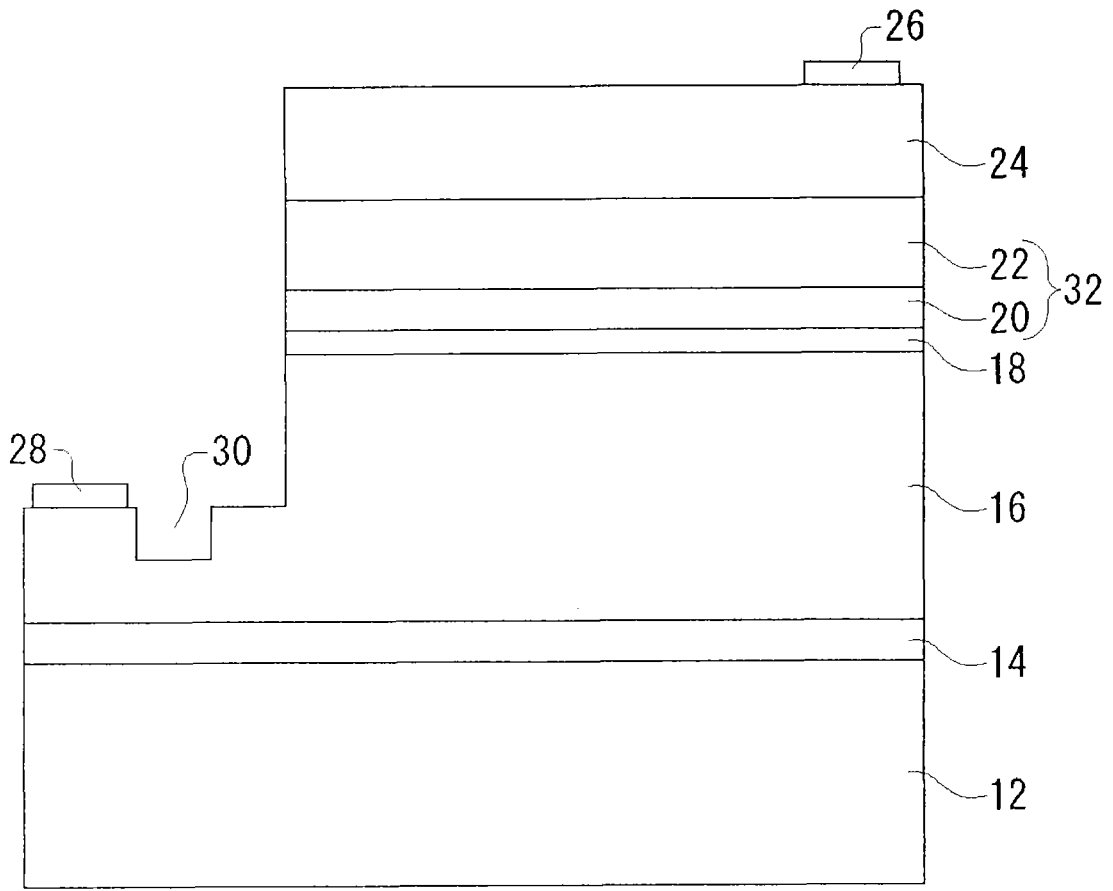


图 5



60

图 6



62

图 7

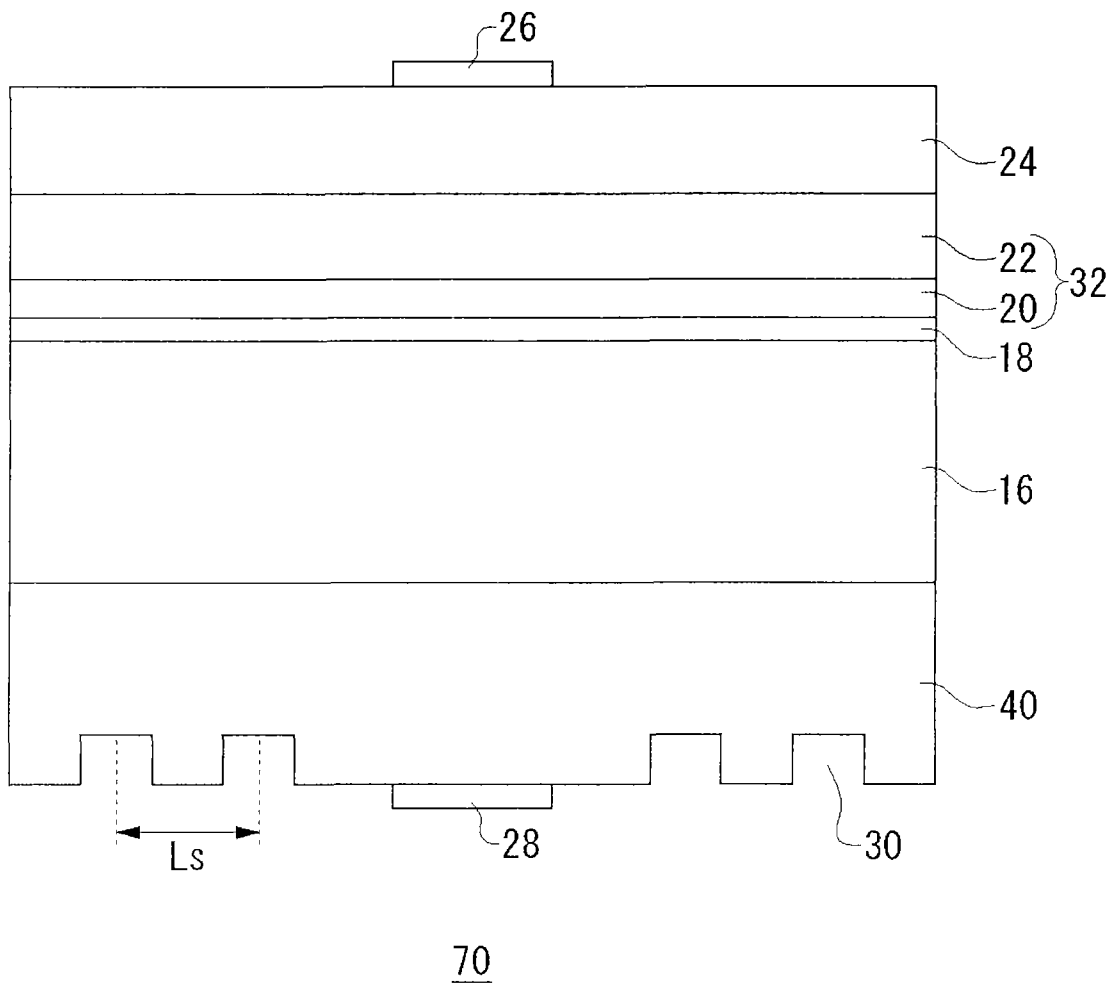


图 8

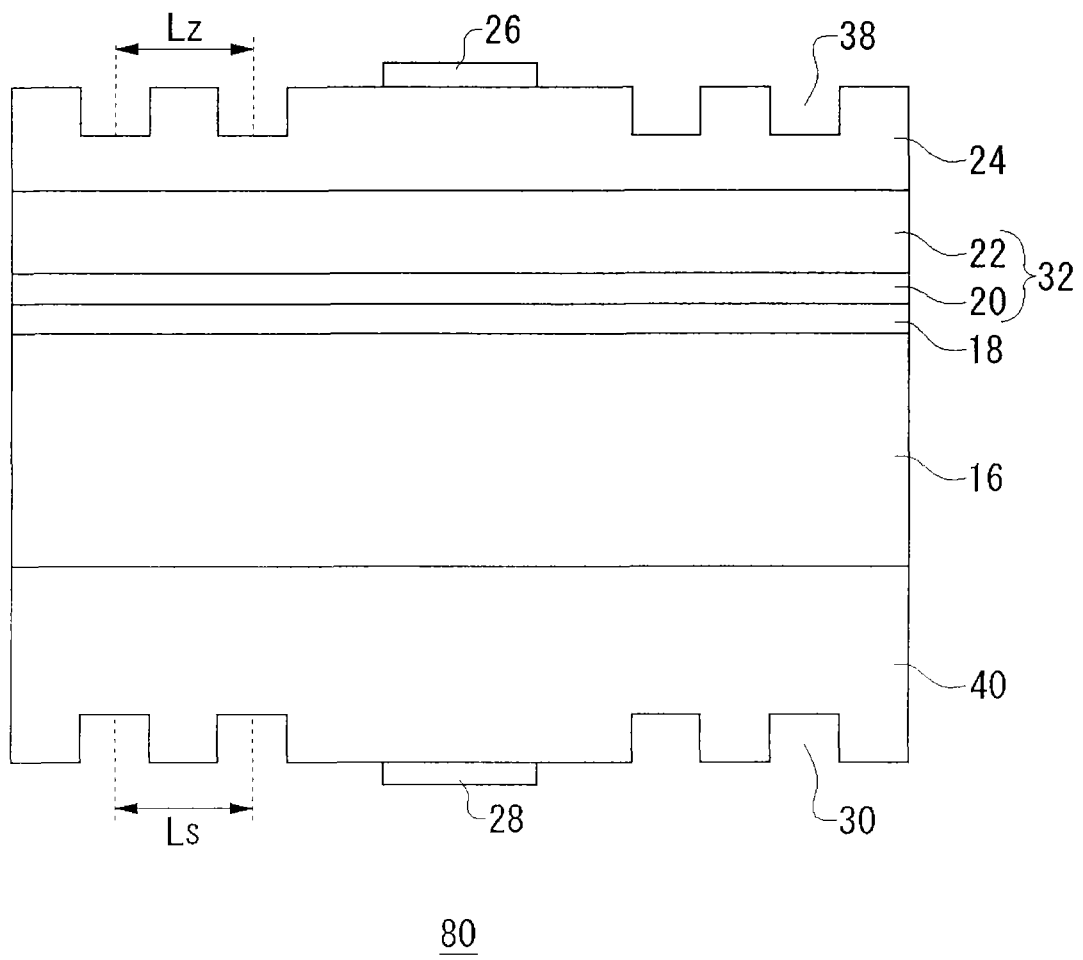


图 9