

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-17110

(P2017-17110A)

(43) 公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/20 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 7 0	5 F 0 4 5
HO 1 L 33/58 (2010.01)	HO 1 L 33/00 4 3 0	5 F 1 4 2
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205	5 F 2 4 1

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 43 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-130266 (P2015-130266)</p> <p>(22) 出願日 平成27年6月29日 (2015. 6. 29)</p> <p>(出願人による申告) 平成27年度、国立研究開発法人科学技術振興機構、研究成果最適展開支援プログラムに係る委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(71) 出願人 301022471 国立研究開発法人情報通信研究機構 東京都小金井市貫井北町4-2-1</p> <p>(74) 代理人 110001195 特許業務法人深見特許事務所</p> <p>(72) 発明者 井上 振一郎 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内</p> <p>(72) 発明者 谷口 学 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内</p> <p>Fターム(参考) 5F045 AA04 AB09 AB17 AB18 AF04 AF05 AF09 BB11 BB12 BB16 BB17 CA09 CA10 DA53 DA55 DA62</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

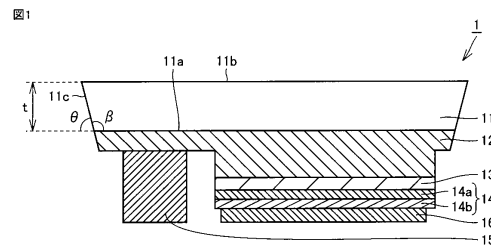
(54) 【発明の名称】 深紫外光を放射する半導体発光素子、該半導体発光素子を備える発光モジュール、及び該半導体発光素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 深紫外光を放射する半導体発光素子1は、第1の主面11aと、第1の主面11aと反対側の第2の主面11bと、第1の主面11aと第2の主面11bとの間に延在する側面11cとを有する基板11と、基板11の第1の主面上11aに設けられた活性層13とを備える。基板11の第1の主面11aと少なくとも一部の側面11cとがなす角の補角は、20°以上70°以下、または、100°以上140°以下である。基板11の光吸収係数 (cm⁻¹) 及び基板11の厚さt (μm) は、 $340 \exp(-0.16) t^{3.2} 00^{-0.7}$ を満たす。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の主面と、前記第 1 の主面と反対側の第 2 の主面と、前記第 1 の主面と前記第 2 の主面との間に延在する側面とを有する基板と、

前記基板の前記第 1 の主面上に設けられた活性層とを備え、

前記基板の前記第 1 の主面と少なくとも一部の前記側面とがなす角の補角は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であり、

前記基板の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び前記基板の厚さ t (μm) は、 $340 \exp(-0.16) t^{3200^{-0.7}}$ を満たす、深紫外光を放射する半導体発光素子。

【請求項 2】

前記基板は、窒化アルミニウムで形成される、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 3】

前記基板は、サファイアで形成される、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

前記側面は、前記補角の大きさが異なる複数の部分を含む、請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

前記半導体発光素子は、前記第 2 の主面に、前記半導体発光素子の前記活性層から放射される前記深紫外光を前記半導体発光素子の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造をさらに有する、請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】

前記半導体発光素子から放射される前記深紫外光は、 190 nm 以上 350 nm 以下の波長を有する、請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 7】

前記半導体発光素子から放射される前記深紫外光は、 200 nm 以上 320 nm 以下の波長を有する、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 8】

前記半導体発光素子から放射される前記深紫外光は、 220 nm 以上 300 nm 以下の波長を有する、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の半導体発光素子と、

前記半導体発光素子を支持する支持部材と、

前記半導体発光素子を収容するパッケージとを備え、

前記パッケージは前記半導体発光素子から放射される前記深紫外光に対して透明な透明部材を有する、発光モジュール。

【請求項 10】

前記半導体発光素子側の前記支持部材の表面に、反射部材が設けられる、請求項 9 に記載の発光モジュール。

【請求項 11】

前記半導体発光素子を封止する液体をさらに備え、前記液体は、前記半導体発光素子から放射される前記深紫外光に対して透明であり、

前記パッケージは前記液体をさらに収容する、請求項 9 または請求項 10 に記載の発光モジュール。

【請求項 12】

第 1 の主面と、前記第 1 の主面と反対側の第 2 の主面とを有するウエハの光吸収係数 (cm^{-1}) を求めることと、

前記ウエハの前記第 1 の主面上に活性層を形成することと、

前記ウエハの前記光吸収係数 (cm^{-1}) 及び前記ウエハの厚さ t (μm) が、 $340 \exp(-0.16) t^{3200^{-0.7}}$ を満たすように、前記ウエハの前記厚さ t を定めることと、

10

20

30

40

50

前記ウエハを、複数の基板に分割することとを備え、前記複数の基板のそれぞれは、前記活性層が形成された第1の主面と、前記第1の主面と反対側の第2の主面と、前記第1の主面と前記第2の主面との間に延在する側面とを有し、さらに、

前記基板の前記第1の主面と前記基板の少なくとも一部の側面とがなす角の補角が、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下になるように、前記基板の前記少なくとも一部の側面を加工することを備える、深紫外光を放射する半導体発光素子の製造方法。

【請求項13】

前記基板は、窒化アルミニウムで形成される、請求項12に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項14】

前記基板は、サファイアで形成される、請求項12に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項15】

前記基板の前記少なくとも一部の側面を加工することは、先端にテーパ部を有するブレードを用いることを含む、請求項12から請求項14のいずれか一項に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項16】

前記基板の前記少なくとも一部の側面を加工することは、前記基板の前記側面に、前記補角の大きさが異なる複数の部分を形成することを含む、請求項12から請求項15のいずれか一項に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項17】

前記ウエハの前記第2の主面に、前記半導体発光素子の前記活性層から放射される前記深紫外光を前記半導体発光素子の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造を形成することをさらに備える、請求項12から請求項16のいずれか一項に記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、深紫外光を放射する半導体発光素子、該半導体発光素子を備える発光モジュール、及び該半導体発光素子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、深紫外光を放射する半導体発光素子が知られている（非特許文献1）。また、可視または赤外の光を放射する半導体発光素子では、半導体発光素子の光取り出し効率を向上させるために、半導体発光素子の基板の側面を傾斜させることが知られている（非特許文献2、非特許文献3）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】James R. Grandusky、外8名、「270 nm Pseudomorphic Ultraviolet Light-Emitting Diodes with Over 60 mW Continuous Wave Output Power」、Applied Physics Express、2013年2月26日、第6巻、p.032101

【非特許文献2】M. R. Krames、外12名、「High-power truncated-inverted-pyramid (AlGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P/GaP light-emitting diodes exhibiting >50% external quantum efficiency」、Applied Physics Letters、1999年10月18日、第75巻、第16号、p.2365 - 2367

【非特許文献3】U. Strauss、外8名、「Progress of InGaN Light Emitting Diodes on SiC」、Physica Status Solidi (c)、2002年、第0巻、第1号 p.276 - 279

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

半導体発光素子の基板は、可視及び赤外の光よりも、格段に多くの深紫外光を吸収する。そのため、非特許文献 1 に記載された深紫外光を放射する半導体発光素子では、深紫外光の取り出し効率を高めるために、基板をできる限り薄くしている。しかし、非特許文献 1 に記載の深紫外光を放射する半導体発光素子は、依然として、深紫外光の取り出し効率が低い。他方、非特許文献 2 及び 3 に記載された可視及び赤外の光を放射する半導体発光素子では、可視及び赤外の光が基板で吸収されることを無視し得る。そのため、可視及び赤外の光を放射する半導体発光素子では、半導体発光素子から放射された光が基板で吸収されることが全く考慮されておらず、厚い基板が用いられている。これに対し、半導体発光素子の基板は、可視及び赤外の光よりも、格段に多くの深紫外光を吸収する。そのため、可視及び赤外の光を放射する半導体発光素子に用いられていた技術を、深紫外光を放射する半導体発光素子にそのまま適用すると、多くの深紫外光が基板で吸収されてしまい、深紫外光を放射する半導体発光素子の光取り出し効率を十分に向上させることができないことが、我々の検討の結果明らかになった。

10

【 0 0 0 5 】

本発明は、上記の課題を鑑みてなされたものであり、その目的は、向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子及びその製造方法を提供することである。

【 0 0 0 6 】

本発明の別の目的は、向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子を備える発光モジュールを提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の深紫外光を放射する半導体発光素子は、第 1 の主面と、第 1 の主面と反対側の第 2 の主面と、第 1 の主面と第 2 の主面との間に延在する側面とを有する基板と、基板の第 1 の主面上に設けられた活性層とを備え、基板の第 1 の主面と少なくとも一部の側面とがなす角の補角は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であり、基板の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び基板の厚さ $t (\mu\text{m})$ は、 $340 \exp(-0.16) t^{3.200^{-0.7}}$ を満たす。

30

【 0 0 0 8 】

本発明の深紫外光を放射する半導体発光素子の製造方法は、第 1 の主面と、第 1 の主面と反対側の第 2 の主面とを有するウエハの光吸収係数 (cm^{-1}) を求めることと、ウエハの第 1 の主面上に活性層を形成することと、ウエハの光吸収係数 (cm^{-1}) 及びウエハの厚さ $t (\mu\text{m})$ が、 $340 \exp(-0.16) t^{3.200^{-0.7}}$ を満たすように、ウエハの厚さ t を定めることと、ウエハを、複数の基板に分割することとを備える。複数の基板のそれぞれは、活性層が形成された第 1 の主面と、第 1 の主面と反対側の第 2 の主面と、第 1 の主面と第 2 の主面との間に延在する側面とを有する。本発明の深紫外光を放射する半導体発光素子の製造方法は、さらに、基板の第 1 の主面と基板の少なくとも一部の側面とがなす角の補角が、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下になるように、基板の少なくとも一部の側面を加工することを備える。

40

【 0 0 0 9 】

本発明の発光モジュールは、上記のような半導体発光素子と、半導体発光素子を支持する支持部材と、半導体発光素子を収容するパッケージとを備える。パッケージは、半導体発光素子から放射される光に対して透明な透明部材を有する。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明の半導体発光素子によれば、向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子を提供することができる。

【 0 0 1 1 】

本発明の半導体発光素子の製造方法によれば、向上した光取り出し効率を有する、深紫

50

外光を放射する半導体発光素子を製造する方法を提供することができる。

【0012】

本発明の発光モジュールによれば、向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子を備える発光モジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施の形態1に係る半導体発光素子 ($< 90^\circ$) の概略断面図である。

【図2】実施の形態1に係る半導体発光素子 ($> 90^\circ$) の概略断面図である。

【図3】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 1 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($< 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

10

【図4】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 1 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($> 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図5】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 3 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($< 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

20

【図6】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 3 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($> 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図7】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 9 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($< 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図8】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 9 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($> 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

30

【図9】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 20 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($< 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図10】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 20 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($> 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

40

【図11】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 30 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($< 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図12】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 30 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子 ($> 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図13】実施の形態1に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 40 cm^{-1} の光吸収係数、2.29の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有す

50

る場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta < 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図 14】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 40 cm^{-1} の光吸収係数 α 、 2.29 の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta > 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図 15】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 5.6 cm^{-1} の光吸収係数 α 、 2.18 の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta < 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

10

【図 16】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が、窒化アルミニウムで形成されるとともに、 5.6 cm^{-1} の光吸収係数 α 、 2.18 の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta > 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図 17】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が窒化アルミニウムで形成される場合の、光吸収係数 α と基板の厚さ t との関係のシミュレーション結果を示す図である。

【図 18】(A) は、実施の形態 1 に係る半導体発光素子 ($\theta < 90^\circ$) の基板の第 1 の主面の中央部の発光点から放射される光線を示す図である。(B) は、実施の形態 1 に係る半導体発光素子 ($\theta > 90^\circ$) の基板の第 1 の主面の中央部の発光点から放射される光線を示す図である。

20

【図 19】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が、サファイアで形成されるとともに、 9 cm^{-1} の光吸収係数 α 、 1.88 の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta < 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図 20】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が、サファイアで形成されるとともに、 9 cm^{-1} の光吸収係数 α 、 1.88 の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta > 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図 21】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が、サファイアで形成されるとともに、 1 cm^{-1} の光吸収係数 α 、 1.80 の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta < 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

30

【図 22】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板が、サファイアで形成されるとともに、 1 cm^{-1} の光吸収係数 α 、 1.80 の屈折率 n 及び $800\ \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板の厚さ t 及び補角 θ に対する半導体発光素子 ($\theta > 90^\circ$) の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図 23】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の基板がサファイアで形成される場合の、光吸収係数 α と基板の厚さ t との関係のシミュレーション結果を示す図である。

【図 24】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の製造方法のフローチャートを示す図である。

40

【図 25】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の製造方法における一つの工程を示す概略部分断面図である。

【図 26】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の製造方法における、図 25 の次の工程を示す概略断面図である。

【図 27】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の製造方法における、図 26 の次の工程を示す概略断面図である。

【図 28】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の製造方法における、図 27 の次の工程を示す概略断面図である。

【図 29】実施の形態 1 に係る半導体発光素子の製造方法における、図 28 の次の工程を示す概略断面図である。

50

【図30】実施の形態1に係る半導体発光素子の製造方法における、図29の次の工程を示す概略斜視図である。

【図31】実施の形態1に係る半導体発光素子 ($\theta < 90^\circ$) の製造方法における、図30に示す断面線XXXI-XXXIにおける概略断面図である。

【図32】実施の形態1に係る半導体発光素子 ($\theta > 90^\circ$) の製造方法における、図30に示す断面線XXXII-XXXIIにおける概略断面図である。

【図33】(A)は、実施の形態1の第1の変形例に係る半導体発光素子 ($\theta_1, \theta_2 < 90^\circ$) の概略断面図である。(B)は、実施の形態1の第1の変形例に係る半導体発光素子 ($\theta_1, \theta_2 > 90^\circ$) の概略断面図である。

【図34】(A)は、実施の形態1の第2の変形例に係る半導体発光素子 ($\theta_1 < 90^\circ$) の概略断面図である。(B)は、実施の形態1の第2の変形例に係る半導体発光素子 ($\theta_1 > 90^\circ$) の概略断面図である。

【図35】(A)は、実施の形態1の第3の変形例に係る半導体発光素子 ($\theta_1 < 90^\circ$) の概略断面図である。(B)は、実施の形態1の第3の変形例に係る半導体発光素子 ($\theta_1 > 90^\circ$) の概略断面図である。

【図36】実施の形態2に係る半導体発光素子 ($\theta < 90^\circ$) の概略断面図である。

【図37】実施の形態2に係る半導体発光素子 ($\theta > 90^\circ$) の概略断面図である。

【図38】実施の形態2に係る半導体発光素子の製造方法のフローチャートを示す図である。

【図39】実施の形態3に係る発光モジュールの概略断面図である。

【図40】実施の形態4に係る発光モジュールの概略断面図である。

【図41】実施の形態5に係る発光モジュールの概略断面図である。

【図42】実施の形態6に係る発光モジュールの概略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。特に説明しない限り、同一の構成には同一の符号を付し、説明を繰り返さない。

【0015】

(実施の形態1)

図1及び図2を参照して、実施の形態1に係る深紫外光を放射する半導体発光素子1は、主に、基板11と、n型半導体層12と、活性層13と、p型半導体層14と、n型電極15と、p型電極16とを備える。

【0016】

基板11は、第1の主面11aと、第1の主面11aと反対側の第2の主面11bと、第1の主面11aと第2の主面11bとの間に延在する側面11cとを有する。第2の主面11bは、出射面であってもよい。半導体発光素子1の光取り出し効率を向上させるために、基板11は、半導体発光素子1が放射する深紫外光の波長に対して、例えば50%以上のような、高い透過率を有することが好ましい。基板11の材料として、窒化アルミニウム(AlN)、サファイア(Al_2O_3)を例示することができる。基板11は、物理的蒸気輸送(PVT)、ハイドライド気相成長(HVPE)のような方法によって製造されてもよい。ハイドライド気相成長(HVPE)によって製造された窒化アルミニウム(AlN)からなる基板11は、基板11の製造条件に依るが、例えば、330nm、265nm、220nmの波長において、それぞれ、 5.6 cm^{-1} 、 9.0 cm^{-1} 、 14.5 cm^{-1} の光吸収係数を有する。サファイア(Al_2O_3)からなる基板11は、基板11の製造方法及び製造条件に依るが、例えば、265nm、220nmの波長において、それぞれ、 1 cm^{-1} 、 9 cm^{-1} の光吸収係数を有する。基板11は、半導体発光素子1から放射される深紫外光の波長において、 1 cm^{-1} 以上、好ましくは、 0.1 cm^{-1} 以上、さらに好ましくは 0.01 cm^{-1} 以上の光吸収係数を有してもよい。

【0017】

基板11の厚さの範囲は、後述するように、深紫外光に対する基板11の光吸収係数に

10

20

30

40

50

よって主に定まる。基板 11 は、好ましくは $50\ \mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $100\ \mu\text{m}$ 以上の厚さを有してもよい。基板 11 の厚さは、基板 11 の第 1 の主面 11 a と第 2 の主面 11 b との最短距離で定義される。基板 11 は $50\ \mu\text{m}$ 以上の厚さを有するため、半導体発光素子 1 の機械的強度が向上して、半導体発光素子 1 の取り扱いが容易になる。基板 11 は $50\ \mu\text{m}$ 以上の厚さを有するため、基板 11 が割れにくくなる。基板 11 は $50\ \mu\text{m}$ 以上の厚さを有するため、基板 11 と、活性層 13 を含む半導体層、n 型電極 15 及び p 型電極 16 との間の熱膨張係数の差に起因して発生する応力等により、基板 11 が反ることを抑制することができる。基板 11 の機械的な強度の向上及び基板 11 の反りの抑制は、半導体発光素子 1 の作製プロセスにおいて歩留りが低下すること、並びに、半導体発光素子 1 の信頼性及び品質が低下することを防ぐことができる。基板 11 を $50\ \mu\text{m}$ 以上に厚くできることは、基板 11 の厚みを薄くするプロセスを省略したり、基板 11 の厚みを薄くするプロセスに要する時間を短くすることができる。そのため、半導体発光素子 1 の製造コストを抑制し、半導体発光素子 1 の生産スループットを向上させることができる。

10

20

30

40

50

【0018】

基板 11 の側面 11 c は、基板 11 の第 1 の主面 11 a に対して傾斜している。本実施の形態では、基板 11 の側面 11 c の全てが、基板 11 の第 1 の主面 11 a に対して同じ角度で傾斜している。特定的には、基板 11 の第 1 の主面 11 a と側面 11 c とがなす角の補角は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下である。図 1 は、 90° より小さい補角を有する半導体発光素子 1 を示す。 $< 90^\circ$ である場合には、補角は、 20° 以上 70° 以下、好ましくは 20° 以上 60° 以下、さらに好ましくは 30° 以上 60° 以下であってもよい。図 2 は、 90° より大きい補角を有する半導体発光素子 1 を示す。 $> 90^\circ$ である場合には、補角は、 100° 以上 140° 以下、好ましくは 110° 以上 140° 以下であってもよい。 $> 90^\circ$ である場合には、基板 11 の厚さ t は、 $t = 0.5w \tan(180 - \theta)$ であることが好ましい。ここで、 w は、基板 11 の第 1 の主面 11 a における幅である。 $t > 0.5w \tan(180 - \theta)$ であると、基板 11 の形状が逆三角形となり、実質的に基板 11 の厚さ t が小さくなるからである。

【0019】

基板 11 の第 1 の主面 11 a の上に、n 型半導体層 12 が設けられる。n 型半導体層 12 は、 AlInGa_zN からなる窒化物半導体から構成されてもよい。より特定的には、n 型半導体層 12 は、 $\text{Al}_{x_1}\text{In}_{y_1}\text{Ga}_{z_1}\text{N}$ (x_1, y_1, z_1 は、 $0 \leq x_1 \leq 1.0, 0 \leq y_1 \leq 0.1, 0 \leq z_1 \leq 1.0$ を満たす有理数とし、 $x_1 + y_1 + z_1 = 1.0$ である) から構成されてもよい。n 型半導体層 12 は、珪素 (Si)、ゲルマニウム (Ge)、スズ (Sn)、酸素 (O)、炭素 (C) のような n 型不純物を含むことが好ましい。n 型半導体層 12 における n 型不純物の濃度は、 $1.0 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$ 以下、好ましくは、 $1.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ 以下であってもよい。n 型半導体層 12 は、 $100 \sim 10000\ \text{nm}$ 、好ましくは $500 \sim 3000\ \text{nm}$ の膜厚を有してもよい。基板 11 の側面 11 c と同様に、n 型半導体層 12 の側面は、基板 11 の第 1 の主面 11 a に対して傾斜してもよい。

【0020】

n 型半導体層 12 によって活性層 13 に電子及び正孔を閉じ込めるとともに、活性層 13 から放射される深紫外光が n 型半導体層 12 によって吸収されることを抑制するために、n 型半導体層 12 は、活性層 13 から放射される深紫外光のエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有することが好ましい。n 型半導体層 12 は、活性層 13 よりも低い屈折率を有し、クラッド層として機能してもよい。n 型半導体層 12 は、単層から構成されてもよいし、Al 組成、In 組成、もしくは Ga 組成が互いに異なる複数層から構成されてもよい。Al 組成、In 組成、もしくは Ga 組成が互いに異なる複数層は、超格子構造、または、その組成が徐々に変化する傾斜組成構造を有してもよい。

【0021】

n 型半導体層 12 の上に、活性層 13 が設けられる。半導体発光素子 1 は、 $190\ \text{nm}$

以上350nm以下の波長を有する深紫外光を放射する。半導体発光素子1は、好ましくは200nm以上320nm以下、より好ましくは220nm以上300nm以下の波長を有する深紫外光を放射してもよい。特定的には、半導体発光素子1の活性層13から、190nm以上350nm以下の波長を有する深紫外光が放射される。本明細書において、半導体発光素子1から放射される深紫外光の波長は、半導体発光素子1から放射される深紫外光のピーク発光波長を意味してもよい。

【0022】

活性層13は、AlInGa_nNからなる窒化物半導体から構成されてもよい。より特定的には、活性層13は、Al_{x₂}In_{y₂}Ga_{z₂}N (x₂、y₂、z₂は、0 ≤ x₂ ≤ 1.0、0 ≤ y₂ ≤ 0.1、0 ≤ z₂ ≤ 1.0を満たす有理数とし、x₂+y₂+z₂=1.0である)から構成される井戸層と、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きいAl_{x₃}In_{y₃}Ga_{z₃}N (x₃、y₃、z₃は、0 ≤ x₃ ≤ 1.0、0 ≤ y₃ ≤ 0.1、0 ≤ z₃ ≤ 1.0を満たす有理数とし、x₃+y₃+z₃=1.0である)から構成される障壁層とを含む多重量子井戸(MQW)構造を有してもよい。n型半導体層12及びp型半導体層14によって活性層13に電子及び正孔を閉じ込めるために、活性層13は、n型半導体層12及びp型半導体層14よりも小さなバンドギャップエネルギーを有することが好ましい。活性層13は、n型半導体層12及びp型半導体層14よりも高い屈折率を有してもよい。

10

【0023】

活性層13の上に、p型半導体層14が設けられる。p型半導体層は、活性層13側に位置する第1のp型半導体層14aと、活性層13と反対側に位置する第2のp型半導体層14bとから構成されてもよい。

20

【0024】

第1のp型半導体層14aは、AlInGa_nNからなる窒化物半導体から構成されてもよい。より特定的には、第1のp型半導体層14aは、Al_{x₄}In_{y₄}Ga_{z₄}N (x₄、y₄、z₄は、0 ≤ x₄ ≤ 1.0、0 ≤ y₄ ≤ 0.1、0 ≤ z₄ ≤ 1.0を満たす有理数とし、x₄+y₄+z₄=1.0である)から構成されてもよい。第1のp型半導体層14aは、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、ベリリウム(Be)のようなp型不純物を含むことが好ましい。第1のp型半導体層14aにおけるp型不純物の濃度は、1.0×10¹⁷cm⁻³以上、好ましくは、1.0×10¹⁸cm⁻³以上であってもよい。第1のp型半導体層14aは、5~1000nm、好ましくは10~500nm以下の膜厚を有してもよい。

30

【0025】

第1のp型半導体層14aによって活性層13に電子及び正孔を閉じ込めるとともに、活性層13から放射される深紫外光が第1のp型半導体層14aによって吸収されることを抑制するために、第1のp型半導体層14aは、活性層13から放射される深紫外光のエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有してもよい。第1のp型半導体層14aは、活性層13よりも低い屈折率を有し、クラッド層として機能してもよい。第1のp型半導体層14aは、単層から構成されてもよいし、Al組成、In組成、もしくはGa組成が互いに異なる複数層から構成されてもよい。Al組成、In組成、もしくはGa組成が互いに異なる複数層は、超格子構造、または、その組成が徐々に変化する傾斜組成構造を有してもよい。

40

【0026】

第2のp型半導体層14bは、AlInGa_nNからなる窒化物半導体から構成されてもよい。より特定的には、第2のp型半導体層14bは、Al_{x₅}In_{y₅}Ga_{z₅}N (x₅、y₅、z₅は、0 ≤ x₅ ≤ 1.0、0 ≤ y₅ ≤ 0.1、0 ≤ z₅ ≤ 1.0を満たす有理数とし、x₅+y₅+z₅=1.0である)から構成されてもよい。第2のp型半導体層14bは、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、ベリリウム(Be)のようなp型不純物を含むことが好ましい。第2のp型半導体層14bは、第1のp型半導体層14aよりも高いp型伝導度を有し、p型コンタクト層として機能してもよい。第2のp型半導体層14bにおけるp型不純物の濃度は、1.0×10¹⁷cm⁻³以上、好ましくは、1.0×10¹⁸cm⁻³以上であってもよい。活性層13から放射される深紫外光が第2のp型半導体層14bに

50

よって吸収されることを抑制するためと、第2のp型半導体層14bにおいて良好なp型コンタクトを得るために、第2のp型半導体層14bは、1~500nmの膜厚を有してもよい。

【0027】

第1のp型半導体層14aと第2のp型半導体層14bとが窒化物半導体から構成される場合には、窒化物半導体のAl組成が小さくバンドギャップが小さいほど、第2のp型半導体層14bから活性層13により均一に正孔を注入することができ、良好なp型コンタクト特性を得ることができる。そのため、第2のp型半導体層14bは、小さなAl組成比を有してもよい。活性層13から放射される深紫外光が第2のp型半導体層14bによって吸収されることを抑制するために、第2のp型半導体層14bは、活性層13から放射される深紫外光のエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有してもよい。

10

【0028】

n型電極15は、n型半導体層12の露出面に設けられる。n型半導体層12の露出面は、基板11の上に、n型半導体層12、活性層13、及びp型半導体層14を積層した後、n型半導体層12の一部と、活性層13と、p型半導体層14とを部分的に除去することによって、n型半導体層12が露出した面を意味する。p型電極16は、p型半導体層14の表面、より特定的には、p型コンタクト層として機能してもよい第2のp型半導体層14bの表面に設けられる。

20

【0029】

図3から図16に、基板11が窒化アルミニウム(AlN)で形成されるとともに、所定の光吸収係数、所定の屈折率n及び800 μ mの幅wを有する場合の、基板11の厚さt及び補角 θ に対する半導体発光素子1の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。図3から図16のそれぞれにおける半導体発光素子1の規格化光取り出し効率は、所定の光吸収係数、所定の屈折率n、厚さtと、補角 θ とを有する基板11を備える半導体発光素子1の光取り出し効率を、当該所定の光吸収係数と当該所定の屈折率nを有する基板11を備える半導体発光素子の光取り出し効率の最大値で割った値として定義される。例えば、図3及び図4を参照して、基板の屈折率nが2.29であり、基板11の光吸収係数 $\alpha = 1 \text{ cm}^{-1}$ である場合には、補角 θ が20°である半導体発光素子1の光取り出し効率が最大となる。そこで、基板の屈折率nが2.29であり、基板11の光吸収係数 $\alpha = 1 \text{ cm}^{-1}$ であり、補角 θ を有する半導体発光素子1の光取り出し効率を、基板の屈折率nが2.29であり、基板11の光吸収係数 $\alpha = 1 \text{ cm}^{-1}$ であり、補角 θ が20°である半導体発光素子1の最大光取り出し効率で割った値が、図3及び図4に示されている。

30

【0030】

図3、5、7、9、11、13は、それぞれ、図1に示されるように補角 θ が90°より小さく、窒化アルミニウムで形成された基板の屈折率nが2.29であり、基板11の光吸収係数 $\alpha = 1 \text{ cm}^{-1}$ 、 3 cm^{-1} 、 9 cm^{-1} 、 20 cm^{-1} 、 30 cm^{-1} 、 40 cm^{-1} である場合の、半導体発光素子1の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。基板11の屈折率nは、基板11に入射する光の波長によってほぼ決まる。窒化アルミニウム(AlN)は、265nmの波長を有する深紫外光に対して、2.29の屈折率を有する。これに対し、基板11の光吸収係数 α は、基板11に入射する光の波長及び基板11の製造方法等によって変化する。図3、5、7、9、11、13は、基板11の光吸収係数 α を変化させたときの、265nmの波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子1の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。

40

【0031】

図3、5、7、9、11、13を参照して、20°以上70°以下の補角 θ を有する基板11を備える本実施の形態の半導体発光素子1の規格化光取り出し効率は、90°の補角 θ を有する基板を備える比較例の半導体発光素子の規格化光取り出し効率より大きくなる。20°以上70°以下の補角 θ を有する基板11を備える本実施の形態の半導体発光

50

素子 1 は、 90° の補角 θ を有する基板を備える比較例の半導体発光素子の光取り出し効率よりも、向上した光取り出し効率を有する。第一に、基板 11 の第 1 の主面 11 a に対して基板 11 の側面 11 c を補角 θ で傾斜させることによって、基板 11 の側面 11 c の面積が大きくなるからである。第二に、基板 11 の第 1 の主面 11 a に対して基板 11 の側面 11 c を補角 θ で傾斜させることによって、基板 11 の側面 11 c で全反射される深紫外光の割合、及び基板 11 の側面 11 c で全反射された深紫外光が基板 11 の第 2 の主面 11 b でさらに全反射される深紫外光の割合を急速に減少するからである。

【0032】

図 3、5、7、9、11、13 を参照して、 20° 以上 70° 以下の補角 θ を有する本実施の形態の半導体発光素子 1 が小さな厚さ t を有する基板 11 を備えるとき、基板 11 の厚さ t が増加するにつれて、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率が向上する。基板 11 の厚さ t が増加するほど、傾斜した基板 11 の側面 11 c の面積が大きくなる。そのため、基板 11 の厚さ t が増加するほど、活性層 13 から基板 11 の側面 11 c に入射する深紫外光の割合が増加する。基板 11 の厚さ t が増加することによる、基板 11 の側面 11 c から出射される深紫外光の増加が、基板 11 の厚さ t が増加することによる、基板 11 における深紫外光の吸収の増加よりも大きいため、基板 11 の厚さ t が増加するにつれて、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率が向上する。半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率は、ある基板 11 の厚さ t_{max} において最大となり、基板 11 の厚さ t がさらに大きくなると、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率は減少する。基板 11 の厚さ t が t_{max} より大きい場合には、基板 11 の厚さ t が増加することによる、基板 11 の側面 11 c から出射される深紫外光の増加よりも、基板 11 の厚さ t が増加することによる、基板 11 における深紫外光の吸収の増加が大きくなるためである。以上に述べた、基板 11 の厚さ t に対する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化は、基板 11 による光の吸収を無視することができない深紫外光を放射する半導体発光素子 1 に特有であり、基板による光の吸収が無視できるほど小さい可視または赤外の光を放射する半導体発光素子では見られない。

【0033】

図 4、6、8、10、12、14 は、それぞれ、図 2 に示されるように補角 θ が 90° より大きく、窒化アルミニウムで形成された基板の屈折率 n が 2.29 であり、基板 11 の光吸収係数 $\alpha = 1 \text{ cm}^{-1}$ 、 3 cm^{-1} 、 9 cm^{-1} 、 20 cm^{-1} 、 30 cm^{-1} 、 40 cm^{-1} である場合の、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率を示す。図 4、6、8、10、12、14 は、基板 11 の光吸収係数 α を変化させたときの、 265 nm の波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。

【0034】

図 4、6、8、10、12、14 を参照して、 100° 以上 140° 以下の補角 θ を有する基板 11 を備える本実施の形態の半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率は、 90° の補角 θ を有する基板を備える比較例の半導体発光素子の規格化光取り出し効率より大きくなる。 100° 以上 140° 以下の補角 θ を有する基板 11 を備える本実施の形態の半導体発光素子 1 は、 90° の補角 θ を有する基板を備える比較例の半導体発光素子の光取り出し効率よりも、向上した光取り出し効率を有する。第一に、基板 11 の第 1 の主面 11 a に対して基板 11 の側面 11 c を補角 θ で傾斜させることによって、基板 11 の側面 11 c の面積が大きくなり、活性層 13 から基板 11 の側面 11 c に入射する深紫外光の割合が増加するからである。第二に、基板 11 の第 1 の主面 11 a に対して基板 11 の側面 11 c を補角 θ で傾斜させることによって、基板 11 の側面 11 c で全反射される深紫外光の割合、及び基板 11 の側面 11 c で全反射された深紫外光が基板 11 の第 2 の主面 11 b でさらに全反射される深紫外光の割合を急速に減少するからである。

【0035】

図 4、6、8、10、12、14 を参照して、 100° 以上 140° 以下の補角 θ を有する本実施の形態の半導体発光素子 1 が小さな厚さ t を有する基板 11 を備えるとき、基

10

20

30

40

50

板 1 1 の厚さ t が増加するにつれて、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率が向上する。基板 1 1 の厚さ t が増加するほど、傾斜した基板 1 1 の側面 1 1 c の面積が大きくなる。そのため、基板 1 1 の厚さ t が増加するほど、活性層 1 3 から基板 1 1 の側面 1 1 c に入射する深紫外光の割合が増加する。基板 1 1 の厚さ t が増加することによる、基板 1 1 の側面 1 1 c から出射される深紫外光の増加が、基板 1 1 の厚さ t が増加することによる、基板 1 1 における深紫外光の吸収の増加よりも大きいため、基板 1 1 の厚さ t が増加するにつれて、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率が向上する。半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率は、ある基板 1 1 の厚さ t_{max} において最大となり、基板 1 1 の厚さ t がさらに大きくなると、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率は減少する。基板 1 1 の厚さ t が t_{max} より大きい場合には、基板 1 1 の厚さ t が増加することによる、

10

【 0 0 3 6 】

また、 90° より大きい補角 を有する半導体発光素子 1 は、 90° より小さい補角 を有する半導体発光素子 1 よりも、基板 1 1 の厚さ t が増加しても、規格化光取り出し効率が減少しにくい。これは、 90° より大きい補角 を有する半導体発光素子 1 における、基板 1 1 の側面 1 1 c から出射される深紫外光の基板 1 1 内の経路長が、 90° より小さい補角 を有する半導体発光素子 1 における、基板 1 1 の側面 1 1 c から出射される深紫外光の基板 1 1 内の経路長よりも短く（図 1 8 (A) 及び (B) を参照）、 90° より大きい補角 を有する半導体発光素子 1 は、 90° より小さい補角 を有する半導体発光素子 1 よりも、基板 1 1 に吸収される深紫外光が少なくなるからである。

20

【 0 0 3 7 】

図 1 5 は、図 1 に示されるように補角 が 90° より小さく、基板の屈折率 n が 2 . 1 8 であり、基板 1 1 の光吸収係数 $= 5 . 6 \text{ cm}^{-1}$ である場合の、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。基板 1 1 の屈折率 n は、基板 1 1 に入射する光の波長によってほぼ決まる。窒化アルミニウム (AlN) は、 330 nm の波長を有する深紫外光に対して、2 . 1 8 の屈折率を有する。図 1 5 は、窒化アルミニウムで形成された基板 1 1 が $5 . 6 \text{ cm}^{-1}$ の光吸収係数 を有するときの、 330 nm の波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。図 1 5 に示される半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化は、図 3、5、7、9、11、13 に示される半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化と同様の傾向を示す。基板 1 1 の屈折率 n が変化しても、すなわち、半導体発光素子 1 の発光波長が変化しても、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率を効果的に向上させることができる補角 、厚さ t 及び光吸収係数 の範囲は大きく変化しないことが分かる。

30

【 0 0 3 8 】

図 1 6 は、図 2 に示されるように補角 が 90° より大きく、基板の屈折率 n が 2 . 1 8 であり、基板 1 1 の光吸収係数 $= 5 . 6 \text{ cm}^{-1}$ である場合の、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。基板 1 1 の屈折率 n は、基板 1 1 に入射する光の波長によってほぼ決まる。窒化アルミニウム (AlN) は、 330 nm の波長を有する深紫外光に対して、2 . 1 8 の屈折率を有する。図 1 6 は、窒化アルミニウムで形成された基板 1 1 が $5 . 6 \text{ cm}^{-1}$ の光吸収係数 を有するときの、 330 nm の波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。図 1 6 に示される半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化は、図 4、6、8、10、12、14 に示される半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化と同様の傾向を示す。基板 1 1 の屈折率 n が変化しても、すなわち、半導体発光素子 1 の発光波長が変化しても、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率を効果的に向上させ

40

50

ることができる補角、厚さ t 及び光吸収係数の範囲は大きく変化しないことが分かる。

【0039】

図17は、図3から図16に示されるシミュレーション結果から得られた、半導体発光素子1の規格化光取り出し効率が50%となる、基板11の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び基板11の厚さ t (μm) の範囲を示す図である。図17に示される一方の点線は、 20° 以上 70° 以下または 100° 以上 140° 以下の補角を有する基板11を備える半導体発光素子1の規格化光取り出し効率が50%となる基板の上限厚さの近似線 $t = 3200 \cdot e^{-0.7}$ である。図17に示される他方の点線は、 20° 以上 70° 以下または 100° 以上 140° 以下の補角を有する基板11を備える半導体発光素子1の規格化光取り出し効率が50%となる基板の下限厚さの近似線 $t = 340 \cdot \exp(-0.16)$ である。図17を参照して、基板11の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び基板11の厚さ t (μm) がこの2本の点線の間位置する場合に、半導体発光素子1の規格化光取り出し効率が50%以上となる。具体的には、基板11の第1の主面11aと少なくとも一部の側面11cとがなす角の補角が、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であり、かつ、基板11の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び基板11の厚さ t (μm) が、 $340 \cdot \exp(-0.16) \cdot t \cdot 3200 \cdot e^{-0.7}$ を満たす場合に、半導体発光素子1の規格化光取り出し効率が50%以上となる。このように、基板11の光吸収係数 (cm^{-1})、基板11の厚さ t (μm) 及び基板11の補角を定めることによって、本実施の形態の半導体発光素子1の光取り出し効率は、 90° の補角を有する基板を備える比較例の半導体発光素子よりも、向上した光取り出し効率を有する。半導体発光素子1から放射される深紫外光の一部が基板11で吸収されることを考慮することによってはじめて、深紫外光を放射する半導体発光素子1の光取り出し効率を向上させることができる基板11を正確に設計することができる。

10

20

【0040】

図19から図22に、基板11がサファイア (Al_2O_3) で形成されるとともに、所定の光吸収係数、所定の屈折率 n 及び $800 \mu\text{m}$ の幅 w を有する場合の、基板11の厚さ t 及び補角に対する半導体発光素子1の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。図19から図22のそれぞれにおける半導体発光素子1の規格化光取り出し効率は、所定の光吸収係数、所定の屈折率 n 、厚さ t と、補角とを有する基板11を備える半導体発光素子1の光取り出し効率を、当該所定の光吸収係数と当該所定の屈折率 n を有する基板11を備える半導体発光素子1の光取り出し効率の最大値で割った値として定義される。例えば、図19及び図20を参照して、基板の屈折率 n が 1.88 であり、基板11の光吸収係数 $= 9 \text{ cm}^{-1}$ である場合には、補角が 35° である半導体発光素子1の光取り出し効率が最大となる。そこで、基板の屈折率 n が 1.88 であり、基板11の光吸収係数 $= 9 \text{ cm}^{-1}$ であり、補角を有する半導体発光素子1の光取り出し効率を、基板の屈折率 n が 1.88 であり、基板11の光吸収係数 $= 9 \text{ cm}^{-1}$ であり、補角が 35° である半導体発光素子1の最大光取り出し効率で割った値が、図19及び図20に示されている。

30

【0041】

図19は、図1に示されるように補角が 90° より小さく、基板の屈折率 n が 1.88 であり、基板11の光吸収係数 $= 9 \text{ cm}^{-1}$ である場合の、半導体発光素子1の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。基板11の屈折率 n は、基板11に入射する光の波長によってほぼ決まる。サファイア (Al_2O_3) は、 220 nm の波長を有する深紫外光に対して、 1.88 の屈折率を有する。図19は、サファイアで形成された基板11が 9 cm^{-1} の光吸収係数を有するときの、 220 nm の波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子1の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。図21は、図1に示されるように補角が 90° より小さく、基板の屈折率 n が 1.80 であり、基板11の光吸収係数 $= 1 \text{ cm}^{-1}$ である場合の、半導体発光素子1の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。基板11の屈折率 n は、基板11に入射する光

40

50

の波長によってほぼ決まる。サファイア (Al_2O_3) は、265 nm の波長を有する深紫外光に対して、1.80 の屈折率を有する。図 21 は、サファイアで形成された基板 11 が 1 cm^{-1} の光吸収係数を有するときの、265 nm の波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。

【0042】

図 19 及び図 21 を参照して、 20° 以上 70° 以下の補角を有する本実施の形態の半導体発光素子 1 は、図 3、5、7、9、11、13 に示される半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化と同様の傾向を示す。具体的には、本実施の形態の半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率は、ある基板 11 の厚さ t_{max} において最大となる。このような、基板 11 の厚さ t に対する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化は、基板 11 による光の吸収を無視することができない深紫外光を放射する半導体発光素子 1 に特有であり、基板による光の吸収が無視できるほど小さい可視または赤外の光を放射する半導体発光素子では見られない。

10

【0043】

図 20 は、図 2 に示されるように補角が 90° より大きく、基板の屈折率 n が 1.88 であり、基板 11 の光吸収係数 $\alpha = 9\text{ cm}^{-1}$ である場合の、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。サファイア (Al_2O_3) は、220 nm の波長を有する深紫外光に対して、1.88 の屈折率を有する。図 20 は、サファイアで形成された基板 11 が 9 cm^{-1} の光吸収係数を有するときの、220 nm の波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。図 22 は、図 2 に示されるように補角が 90° より大きく、基板の屈折率 n が 1.80 であり、基板 11 の光吸収係数 $\alpha = 1\text{ cm}^{-1}$ である場合の、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を示す。サファイア (Al_2O_3) は、265 nm の波長を有する深紫外光に対して、1.80 の屈折率を有する。図 22 は、サファイアで形成された基板 11 が 1 cm^{-1} の光吸収係数を有するときの、265 nm の波長を有する深紫外光を放射する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率のシミュレーション結果を表す。

20

【0044】

図 20 及び図 22 を参照して、 100° 以上 140° 以下の補角を有する本実施の形態の半導体発光素子 1 は、図 4、6、8、10、12、14 に示される半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化と同様の傾向を示す。具体的には、本実施の形態の半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率は、ある基板 11 の厚さ t_{max} において最大となる。このような、基板 11 の厚さ t に対する半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率の変化は、基板 11 による光の吸収を無視することができない深紫外光を放射する半導体発光素子 1 に特有であり、基板による光の吸収が無視できるほど小さい可視または赤外の光を放射する半導体発光素子では見られない。また、 90° より大きい補角を有する半導体発光素子 1 は、 90° より小さい補角を有する半導体発光素子 1 よりも、基板 11 の厚さ t が増加しても、規格化光取り出し効率が減少しにくい。これは、 90° より大きい補角を有する半導体発光素子 1 における、基板 11 の側面 11c から出射される深紫外光の基板 11 内の経路長が、 90° より小さい補角を有する半導体発光素子 1 における、基板 11 の側面 11c から出射される深紫外光の基板 11 内の経路長よりも短く (図 18 (A) 及び (B) を参照)、 90° より大きい補角を有する半導体発光素子 1 は、 90° より小さい補角を有する半導体発光素子 1 よりも、基板 11 に吸収される深紫外光が少なくなるからである。

30

40

【0045】

図 23 は、図 19 から図 22 に示されるシミュレーション結果から得られた、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率が 50% 以上となる、基板 11 の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び基板 11 の厚さ t (μm) の範囲を示す図である。図 23 に示される一方の点線は、 $t = 3200 \cdot 10^{-7}$ を表す線である。図 23 に示される他方の点線は、 $t = 340 \cdot \exp(-0.16 \cdot \alpha)$ を表す線である。図 23 を参照して、基板 11 の光吸収係数 (cm

50

$^{-1}$) 及び基板 11 の厚さ t (μm) がこれら 2 本の点線の間位置すれば、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率が 50% 以上となる。具体的には、基板 11 の第 1 の主面 11a と少なくとも一部の側面 11c とがなす角の補角 θ が、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であり、かつ、基板 11 の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び基板 11 の厚さ t (μm) が、 $340 \exp(-0.16) t^{3.2} 0.0^{-0.7}$ を満たす場合に、半導体発光素子 1 の規格化光取り出し効率が 50% 以上となる。このように、基板 11 の光吸収係数 (cm^{-1})、基板 11 の厚さ t (μm) 及び基板 11 の補角 θ を定めることによって、本実施の形態の半導体発光素子 1 の光取り出し効率は、 90° の補角 θ を有する基板を備える比較例の半導体発光素子よりも、向上した光取り出し効率を有する。半導体発光素子 1 から放射される深紫外光の一部が基板 11 で吸収されることを考慮することによってはじめて、深紫外光を放射する半導体発光素子 1 の光取り出し効率を向上させることができる基板 11 を正確に設計することができる。

10

【0046】

図 24 から図 32 を参照して、本実施の形態に係る半導体発光素子 1 の製造方法の一例を説明する。

【0047】

図 24 を参照して、本実施の形態の半導体発光素子 1 の製造方法は、第 1 の主面 10a と、第 1 の主面 10a と反対側の第 2 の主面 10b とを有するウエハ 10 の光吸収係数 (cm^{-1}) を求めること (S1) を備える。具体的には、図 25 を参照して、第 1 の主面 10a と、第 1 の主面 10a と反対側の第 2 の主面 10b とを有するウエハ 10 を準備する。それから、分光エリプソメータまたは分光光度計を用いて、ウエハ 10 の光吸収係数 (cm^{-1}) を求めてもよい。

20

【0048】

図 24 を参照して、本実施の形態の半導体発光素子 1 の製造方法は、ウエハ 10 の第 1 の主面 10a 上に活性層 13 を形成すること (S2) を備える。具体的には、図 26 を参照して、ウエハ 10 の第 1 の主面 10a 上に、 n 型半導体層 12、活性層 13、および p 型半導体層 14 がこの順で堆積される。 n 型半導体層 12、活性層 13、および p 型半導体層 14 を含む半導体層は、有機金属化学気相成長法 (MOCVD 法)、有機金属気相成長法 (MOVPE 法)、分子線エピタキシー法 (MBE 法)、ハイドライド気相成長法 (HVPE 法) 等の方法で堆積される。

30

【0049】

図 27 を参照して、 n 型半導体層 12、活性層 13、及び p 型半導体層 14 を含む半導体層の一部を、エッチング等により部分的に除去し、メサ構造を形成する。 n 型半導体層 12、活性層 13、及び p 型半導体層 14 を含む半導体層の一部を、エッチング等により部分的に除去することは、反応性イオンエッチング、誘導結合プラズマエッチング等のエッチングによって行ってもよい。エッチングによるダメージを除去するために、半導体層のエッチングされた面に、酸またはアルカリの溶液で表面処理を施すことが好ましい。

【0050】

図 28 を参照して、 n 型半導体層 12 上に n 型電極 15 を形成し、 p 型半導体層 14 上に p 型電極 16 を形成する。特定的には、 n 型電極 15 を形成した後に、 p 型電極 16 を形成してもよい。

40

【0051】

n 型電極 15 及び p 型電極 16 のパターンニングは、リフトオフ法を用いて実施してもよい。具体的には、電極を形成する面にフォトレジストを塗布した後、紫外線をフォトレジストに部分的に照射する。その後、現像液にフォトレジストを浸漬させて、感光したフォトレジストを溶解させることにより所望のパターンのレジスト膜を形成する。パターンニングされたレジスト膜上に電極となるべき金属膜を堆積させる。剥離液でレジスト膜を溶解し、レジスト膜上に位置していた金属膜を除去することにより、レジスト膜が形成されていない領域に位置する金属膜を残存させて所定のパターンを有する金属膜 (電極) を形成する。

50

【0052】

電極をパターンニングする方法として、さらに以下の別の方法を例示することができる。電極を形成しようとする面（たとえばn型半導体層12の露出面）に電極となるべき金属膜を形成する。金属膜上にフォトレジストを塗布後、露光、現像工程を経てフォトレジストをパターンニングする。その後、上記パターンニングされたフォトレジスト（レジスト膜）をマスクとして用いて、金属膜にドライエッチングまたはウェットエッチングを施して、金属膜を部分的に除去する。その後、剥離液でフォトレジストを溶解する。

【0053】

n型電極15及びp型電極16を構成する金属膜を堆積する方法は、真空蒸着法、スパッタリング法、化学気相成長法などの方法を用いることができる。金属膜中の不純物を排除する観点から、真空蒸着法を用いることが好ましい。n型電極15となるべき金属膜を堆積後、n型半導体層12とn型電極15との電気的コンタクトを向上させるため、300以上1100以下の温度で、30秒以上3分以下の時間、アニールすることが好ましい。p型電極16となるべき金属膜を堆積後、p型半導体層14（第2のp型半導体層14b）との電気的コンタクトを向上させるため、200以上800以下の温度で、30秒以上3分以下の時間、アニールすることが好ましい。

【0054】

図24を参照して、本実施の形態の半導体発光素子1の製造方法は、ウエハ10の光吸収係数（ cm^{-1} ）及びウエハ10の厚さ t （ μm ）が、 $340 \exp(-0.16) t^{3200^{-0.7}}$ を満たすように、ウエハ10の厚さ t を定めること（S3）を備える。ウエハ10の厚さ t は、ウエハ10の第1の主面10aと第2の主面10bとの最短距離で定義される。具体的には、ウエハ10の厚さを測定する。ウエハ10の厚さ t （ μm ）と、ウエハ10の光吸収係数（ cm^{-1} ）とが、 $340 \exp(-0.16) t^{3200^{-0.7}}$ を満たす場合には、ウエハ10を研磨しないでそのまま用いる。ウエハ10の厚さ t （ μm ）と、ウエハ10の光吸収係数（ cm^{-1} ）とが、 $340 \exp(-0.16) t^{3200^{-0.7}}$ を満たさない場合には、ウエハ10の光吸収係数（ cm^{-1} ）及びウエハ10の厚さ t （ μm ）が、 $340 \exp(-0.16) t^{3200^{-0.7}}$ を満たすように、ウエハ10の厚さを薄くしてもよい（図29を参照）。ウエハ10の厚みを薄くする方法として、化学的機械研磨（CMP）を例示することができる。本実施の形態において、ウエハ10の厚さ t を定めることは、ウエハ10を研磨しないでそのまま用いることと、ウエハ10の厚さを薄くすることの両者を含む。

【0055】

図24を参照して、本実施の形態の半導体発光素子1の製造方法は、ウエハ10を、複数の基板11に分割すること（S5）を備える。複数の基板11のそれぞれは、活性層13が形成された第1の主面11aと、第1の主面11aと反対側の第2の主面11bと、第1の主面11aと第2の主面11bとの間に延在する側面11cとを有する。基板11の第1の主面11a及び第2の主面11bは、それぞれ、ウエハ10の第1の主面10a及び第2の主面10bに対応する。図24を参照して、本実施の形態の半導体発光素子1の製造方法は、基板11の第1の主面11aと基板11の少なくとも一部の側面11cとがなす角の補角が、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下になるように、基板11の少なくとも一部の側面11cを加工すること（S6）をさらに備える。基板11の少なくとも一部の側面11cを加工することは、ウエハ10を複数の基板11に分割した後に、基板11の側面をエッチング、研磨または研削することを含んでもよい。

【0056】

ウエハ10を複数の基板11に分割する際に、基板11の少なくとも一部の側面11cを加工してもよい。すなわち、ウエハ10を、複数の基板11に分割すること（S5）と、基板11の少なくとも一部の側面11cを加工すること（S6）とを、一つの工程で行ってもよい。具体的には、図30を参照して、活性層13等を含む半導体層が形成されたウエハ10をダイシングテープ24上に貼着する。ウエハ10にダイシングライン27を

10

20

30

40

50

形成する。図31及び図32を参照して、ダイシングライン27に沿ってブレード37を動かして、ウエハ10を複数の半導体発光素子1に分割するとともに(S5)、基板11の少なくとも一部の側面11cを加工する(S6)。基板11の少なくとも一部の側面11cを加工することは、先端にテーパ部を有するブレードを用いることを含んでもよい(図31及び図32を参照)。ブレード37として、ダイヤモンドブレードを用いてもよい。

【0057】

図31を参照して、 90° より小さい補角を有する半導体発光素子1を製造する場合、活性層13等を含む半導体層が形成されたウエハ10のウエハ10側をダイシングテープ24に貼着する。先端にテーパ部37aを有するブレード37を用いてウエハ10を複数の半導体発光素子1に分割することによって、基板11の側面11cを、基板11の第1の主面11aに対して補角で傾斜させることができる。こうして、基板11の第1の主面11aと側面11cとがなす角の補角を 90° 未満とすることができる。より特定的には、基板11の第1の主面11aと側面11cとがなす角の補角を、 20° 以上 70° 以下、好ましくは、 20° 以上 60° 以下、 30° 以上 60° 以下としてもよい。半導体発光素子1をダイシングテープ24から剥離することによって、半導体発光素子1を得ることができる。

10

【0058】

図32を参照して、 90° より大きい補角を有する半導体発光素子1を製造する場合、活性層13等を含む半導体層が形成されたウエハ10の半導体層側をダイシングテープ24に貼着する。先端にテーパ部37aを有するブレード37を用いてウエハ10を複数の半導体発光素子1に分割することによって、基板11の側面11cを、基板11の第1の主面11aに対して補角で傾斜させることができる。こうして、基板11の第1の主面11aと側面11cとがなす角の補角を 90° より大きくすることができる。より特定的には、基板11の第1の主面11aと側面11cとがなす角の補角を、 100° 以上 140° 以下、好ましくは、 110° 以上 140° 以下としてもよい。半導体発光素子1をダイシングテープ24から剥離することによって、半導体発光素子1を得ることができる。

20

【0059】

本実施の形態の第1の変形例の半導体発光素子1aでは、図33(A)及び(B)に示すように、基板11の側面11cは、補角の大きさが異なる複数の部分(第1の部分11c1、第2の部分11c2)を含んでもよい。基板11の第1の主面11aと側面11cの第1の部分11c1とがなす角 θ_1 の補角 ϕ_1 は、基板11の第1の主面11aと側面11cの第2の部分11c2とがなす角 θ_2 の補角 ϕ_2 と異なってもよい。本実施の形態の第1の変形例の半導体発光素子1aの製造方法では、基板11の少なくとも一部の側面11cを加工すること(S6)は、基板11の側面11cに、補角の大きさが異なる複数の部分(側面11cの第1の部分11c1、側面11cの第2の部分11c2)を形成することを含んでもよい。本実施の形態の第1の変形例では、基板11の第1の主面11aと側面11cの第1の部分11c1とがなす角 θ_1 の補角 ϕ_1 と、基板11の第1の主面11aと側面11cの第2の部分11c2とがなす角 θ_2 の補角 ϕ_2 とは、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下である。基板11の側面11cが、補角の大きさが異なる複数の部分(第1の部分11c1、第2の部分11c2)を含むため、半導体発光素子1の用途に応じて半導体発光素子1の配光特性等を変化させることができる。

30

40

【0060】

本実施の形態の第2の変形例の半導体発光素子1bでは、図34(A)及び(B)に示すように、基板11の側面11cの周方向において基板11の一部の側面11c(側面11cの第1の部分11c1)が、基板11の第1の主面11aに対して、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下の補角で傾斜してもよい。基板11の第1の主面11aと側面11cの第1の部分11c1とがなす角 θ_1 の補角 ϕ_1 は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であるが、基板11の第1の主面11aと

50

側面 11c の第 2 の部分 11c3 とがなす角 θ_2 の補角 θ_2' は、 20° 未満、 70° より大きく 100° 未満、または、 140° より大きくてもよい。基板 11 の第 1 の主面 11a と側面 11c の第 1 の部分 11c1 とがなす角 θ_1 の補角 θ_1' は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であるが、基板 11 の第 1 の主面 11a と側面 11c の第 2 の部分 11c3 とがなす角 θ_2 と、角 θ_2 の補角 θ_2' とは 90° であり、基板 11 の第 1 の主面 11a に対して傾斜していなくてもよい。基板 11 の第 1 の主面 11a と少なくとも一部の側面 11c (側面 11c の第 1 の部分 11c1) とがなす角の補角 θ_1' は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であるため、本実施の形態と同様の効果が得られる。

【0061】

本実施の形態の第 3 の変形例の半導体発光素子 1c では、図 35 (A) 及び (B) に示すように、基板 11 の厚さ方向において基板 11 の一部の側面 11c (側面 11c の第 1 の部分 11c1) が、基板 11 の第 1 の主面 11a に対して、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下の補角で傾斜してもよい。基板 11 の第 1 の主面 11a と側面 11c の第 1 の部分 11c1 とがなす角 θ_1 の補角 θ_1' は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であるが、基板 11 の第 1 の主面 11a と側面 11c の第 2 の部分 11c3 とがなす角 θ_2 の補角 θ_2' は、 20° 未満、 70° より大きく 100° 未満、または、 140° より大きくてもよい。基板 11 の第 1 の主面 11a と側面 11c の第 1 の部分 11c1 とがなす角 θ_1 の補角 θ_1' は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であるが、基板 11 の第 1 の主面 11a と側面 11c の第 2 の部分 11c3 とがなす角 θ_2 と、角 θ_2 の補角 θ_2' とは 90° であり、基板 11 の第 1 の主面 11a に対して傾斜していなくてもよい。基板 11 の第 1 の主面 11a と少なくとも一部の側面 11c (側面 11c の第 1 の部分 11c1) とがなす角の補角 θ_1' は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下であるため、本実施の形態と同様の効果が得られる。

【0062】

本実施の形態 (第 1 の変形例から第 3 の変形例を含む) に係る半導体発光素子 1 及びその製造方法の効果を説明する。

【0063】

本実施の形態の半導体発光素子 1 では、基板 11 の第 1 の主面 11a と少なくとも一部の側面 11c とがなす角の補角 θ_1' は、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下である。基板 11 の光吸収係数 (cm^{-1}) 及び基板 11 の厚さ t (μm) は、 $340 \exp(-0.16) t^{3.200 \cdot 10^{-0.7}}$ を満たす。本実施の形態の半導体発光素子 1 の製造方法は、ウエハ 10 の光吸収係数 (cm^{-1}) 及びウエハ 10 の厚さ t (μm) が、 $340 \exp(-0.16) t^{3.200 \cdot 10^{-0.7}}$ を満たすように、ウエハ 10 の厚さ t を定めること (S3) と、ウエハ 10 を、複数の基板 11 に分割することと、基板 11 の第 1 の主面 11a と基板 11 の少なくとも一部の側面 11c とがなす角の補角 θ_1' が、 20° 以上 70° 以下、または、 100° 以上 140° 以下になるように、基板 11 の少なくとも一部の側面 11c を加工すること (S6) を備える。そのため、本実施の形態の半導体発光素子 1 及びその製造方法によれば、向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子及びその製造方法を提供することができる。

【0064】

基板 11 の側面 11c は、補角 θ_1' の大きさが異なる複数の部分 (側面 11c の第 1 の部分 11c1、側面 11c の第 2 の部分 11c2) を含んでもよい。基板 11 の側面 11c が、補角 θ_1' の大きさが異なる複数の部分 (側面 11c の第 1 の部分 11c1、側面 11c の第 2 の部分 11c2) を含むため、半導体発光素子 1 の用途に応じて半導体発光素子 1 の配光特性等を変化させることができる。

【0065】

(実施の形態 2)

図 36 及び図 37 を参照して、実施の形態 2 に係る半導体発光素子 2 を説明する。本実

10

20

30

40

50

施の形態の半導体発光素子 2 は、基本的には、図 1 及び図 2 に示す実施の形態 1 の半導体発光素子 1 と同様の構成を備え、同様の効果を得ることができるが、主に以下の点で異なる。

【0066】

本実施の形態の半導体発光素子 2 は、活性層 13 から放射される深紫外光を半導体発光素子 2 の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造 17 を含む。図 36 は、 90° より小さい補角を有する半導体発光素子 2 を示す。図 37 は、 90° より大きい補角を有する半導体発光素子 2 を示す。より具体的には、深紫外光を半導体発光素子 2 の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造 17 は、半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 11b）に含まれてもよい。凹凸構造 17 は、半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 11b）において、活性層 13 から放射される深紫外光が全反射されることを低減する。そのため、半導体発光素子 2 に凹凸構造 17 を設けることによって、半導体発光素子 2 の外部に深紫外光を取り出す効率を向上させることができる。

10

【0067】

凹凸構造 17 は、凹部と凸部とがランダムに配列されてもよい。凹凸構造 17 は、凹部と凸部とが周期的に配列されてもよい。凹凸構造 17 は、三角格子、正方格子、または六方格子で配列されてもよい。凹凸構造 17 は、フィリングファクターが最大となる三角格子で配列されることが好ましい。凹凸構造 17 の凹部または凸部の形状は、角柱、円柱、円錐、角錐、球または半楕円球の形状を有してもよい。凹凸構造 17 は、フォトニック結晶構造を含んでもよい。

20

【0068】

本実施の形態に係る半導体発光素子 2 の製造方法を説明する。本実施の形態に係る半導体発光素子 2 の製造方法の一例は、図 24 から図 32 に示される製造方法と基本的に同じであるが、ウエハ 10 の第 2 の主面 10b に、半導体発光素子 2 の活性層 13 から放射される深紫外光を半導体発光素子 2 の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造 17 を形成すること（S4）をさらに備える（図 38 を参照）。より特定的には、n 型電極 15 及び p 型電極 16 を形成した後、かつ、ウエハ 10 を複数の基板 11 に分割する前に、ウエハ 10 の第 1 の主面 10a と反対側の第 2 の主面 10b に、半導体発光素子 2 の活性層 13 から放射される深紫外光を半導体発光素子 2 の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造 17 を形成することを含む。

30

【0069】

ウエハ 10 の第 2 の主面 10b に凹凸構造 17 を形成することは、ウエハ 10 の第 2 の主面 10b にパターンニングされたマスクを形成することと、パターンニングされたマスクを用いてウエハ 10 の第 2 の主面 10b をエッチングすることとを含んでもよい。ウエハ 10 の第 2 の主面 10b をエッチングすることは、誘導結合プラズマ（ICP）エッチング、もしくは反応性イオンエッチング（RIE）等のドライエッチング、または酸性溶液、もしくはアルカリ性溶液をエッチング液として用いるウェットエッチングなどによって行ってもよい。それから、ウエハ 10 をダイシングして、個片化された半導体発光素子 2 が得られる。

【0070】

本実施の形態の半導体発光素子 2 及びその製造方法は、実施の形態 1 の半導体発光素子 1 及びその製造方法が有する作用及び効果に加えて、以下の作用及び効果を説明する。

40

【0071】

凹凸構造 17 は、深紫外光の出射面である半導体発光素子 2 の第 2 の主面 11b において、半導体発光素子 2 の活性層 13 から放射される深紫外光が全反射されることを低減する。そのため、凹凸構造 17 は、半導体発光素子 2 の外部に深紫外光を取り出す効率を向上させることができる。本実施の形態の半導体発光素子 2 及びその製造方法によれば、さらに向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子及びその製造方法を提供することができる。

【0072】

50

(実施の形態3)

図39を参照して、実施の形態3に係る発光モジュール5を説明する。

【0073】

図39を参照して、実施の形態3に係る発光モジュール5は、主に、深紫外光を放射する半導体発光素子1と、半導体発光素子1を支持する支持部材(30)と、半導体発光素子1を収容するパッケージ(30, 40, 44)とを備える。パッケージ(30, 40, 44)は、基台30と、透明部材40と、キャップ44とを含んでもよい。

【0074】

基台30は、半導体発光素子1を支持する。半導体発光素子1は、基台30上にフリップチップボンディングされている。本実施の形態の発光モジュール5では、図2に示される90°より大きい補角を有する半導体発光素子1が用いられている。本実施の形態における半導体発光素子1は、第1の主面11aと、第1の主面11aと反対側の第2の主面11bと、第1の主面11aと第2の主面11bとの間に延在する側面11cとを有する基板11と、基板11の第1の主面11a上に設けられた活性層13とを備える。基板11の第1の主面11aと少なくとも一部の側面11cとがなす角の補角は、100°以上140°以下である。

【0075】

基台30に用いられる材料として、金属、樹脂、セラミックを例示することができる。本明細書において、金属で形成される基台30を含むパッケージ(30, 40, 44)をメタルパッケージと呼び、樹脂で形成される基台30を含むパッケージ(30, 40, 44)を樹脂パッケージと呼び、セラミックで形成される基台30を含むパッケージ(30, 40, 44)をセラミックパッケージと呼ぶ。本実施の形態のパッケージ(30, 40, 44)は、メタルパッケージ、樹脂パッケージ、セラミックパッケージのいずれかであってもよい。基台30は、高い熱伝導性を有する材料から構成され、ヒートシンクとして機能してもよい。

【0076】

パッケージ(30, 40, 44)は、サブマウント20をさらに含んでもよい。本実施の形態では、基台30は、サブマウント20を介して、半導体発光素子1を支持する。サブマウント20は、半導体発光素子1を載置する。サブマウント20の材料として、窒化アルミニウム(AlN)、アルミナ(Al₂O₃)、炭化珪素(SiC)、ダイヤモンド、珪素(Si)を例示することができる。サブマウント20は、高い熱伝導性を有する材料から構成されることが好ましい。そのため、サブマウント20は、好ましくは、160~250W/(m·K)の熱伝導率を有する窒化アルミニウム(AlN)から構成されてもよい。半導体発光素子1が載置されるサブマウントの表面は、平らな面であってもよいし、曲面であってもよい。半導体発光素子1が載置されるサブマウント20の表面に、半導体発光素子1が放射する深紫外光を反射するために、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)、ニッケル(Ni)、金(Au)、または銀(Ag)などで形成される反射部材が設けられてもよい。

【0077】

半導体発光素子1が載置されるサブマウント20の表面に、第1の導電パッド21と第2の導電パッド22とが設けられてもよい。導電性を有する接合部材25を用いて、半導体発光素子1のn型電極15とサブマウント20の第1の導電パッド21とが電氣的及び機械的に接続され、半導体発光素子1のp型電極16とサブマウント20の第2の導電パッド22とが電氣的及び機械的に接続される。接合部材25として、金-すず(AuSn)、銀-すず(AgSn)などからなる半田、金(Au)や銅(Cu)などからなる金属バンプ、銀ペーストなどの導電性ペーストを例示することができる。

【0078】

本実施の形態では、半導体発光素子1はサブマウント20の上にフリップチップボンディングされてもよい。すなわち、半導体発光素子1の基板11側の面をサブマウント20及び基台30と反対側に向けるとともに、半導体発光素子1の半導体層(n型半導体層1

10

20

30

40

50

2、活性層13、p型半導体層14)側の面をサブマウント20及び基台30の側に向けて、半導体発光素子1をサブマウント20の上に載置してもよい。半導体発光素子1がサブマウント20の上にフリップチップボンディングされると、活性層13から放射される深紫外光がp型半導体層14で吸収されることを抑制しながら、活性層13から放射される深紫外光を半導体発光素子1の外部に取り出すことができる。

【0079】

サブマウント20は、金-すず(AuSn)などからなる共晶半田、銀ペーストなどの導電性ペースト、または接着剤を用いて、基台30に固着される。半導体発光素子1から放射される深紫外光を効率的にパッケージ(30,40,44)の外部に取り出すために、半導体発光素子1は、基台30の主面30aの中央付近に載置されることが好ましい。

10

【0080】

本実施の形態のパッケージ(30,40,44)は、さらに、リードピン31と、導電ワイヤ33とを含んでもよい。リードピン31は基台30に固定されてもよい。導電ワイヤ33は、リードピン31と、第1の導電パッド21及び第2の導電パッド22とを電気的に接続する。導電ワイヤ33として、金(Au)ワイヤを例示することができる。リードピン31、第1の導電パッド21、第2の導電パッド22、接合部材25を介して、図示されない外部の電源から、半導体発光素子1に電流が供給され、半導体発光素子1は深紫外光を放射する。

【0081】

パッケージ(30,40,44)は、半導体発光素子1から放射される深紫外光に対して透明な透明部材40を有する。本実施の形態では、透明部材40は、平板である。透明部材40は、表面にレンズが形成された透明板であってもよい。このレンズによって、半導体発光素子1aから放射された深紫外光の配光特性を変化させることができる。透明部材40は、キャップ44によって機械的に支持されてもよい。キャップ44に用いられる材料として、金属または樹脂を例示することができる。キャップ44は、接着剤42または溶接等によって、基台30に固定されてもよい。

20

【0082】

透明部材40は、半導体発光素子1から放射される深紫外光に対して透明である。本明細書において、透明部材40は、半導体発光素子1から放射される深紫外光に対して透明であるとは、透明部材40は、半導体発光素子1から放射される深紫外光の波長において、60%以上の透過率を有することを意味する。透明部材40は、半導体発光素子1から放射される深紫外光の波長において、好ましくは75%以上、さらに好ましくは90%以上の透過率を有してもよい。ここで、透明部材40の透過率は、単位長さ当たりの透明部材40の透過率が高いほど高くなり、透明部材40が厚いほど低くなる。透明部材40は、190nm以上350nm以下、好ましくは200nm以上320nm以下、さらに好ましくは220nm以上300nm以下の波長を有する深紫外光に対して低い光吸収係数と高い光透過率を有してもよい。透明部材40は、半導体発光素子1から放射される深紫外光の波長において、100 μ mの経路長当たり80%以上、好ましくは90%以上、さらに好ましくは95%以上の透過率を有する材料から構成されてもよい。

30

【0083】

透明部材40は、合成石英、石英ガラス、無アルカリガラス、サファイア、蛍石(CaF₂)などの無機化合物、および樹脂のいずれかから構成されてもよい。

40

【0084】

透明部材40に用いることができる樹脂として、芳香族環を有しないシリコン樹脂、非晶質のフッ素含有樹脂、ポリイミド、エポキシ樹脂、ポリオレフィン、ポリメタクリル酸メチルなどのアクリル樹脂、ポリカーボネート、ポリエステル、ポリウレタン、ポリスルホン系樹脂、ポリシラン、ポリビニルエーテル、無機化合物が添加された樹脂を例示することができる。

【0085】

芳香環を有しないシリコン樹脂として、ポリジメチルシロキサンであるJCR6122(東

50

レ・ダウコーニング製)、JCR6140(東レ・ダウコーニング製)、HE59(日本山村硝子製)、HE60(日本山村硝子製)、HE61(日本山村硝子製)、KER2910(信越化学工業製)、含フッ素系オルガノポリシロキサンであるFER7061(信越化学工業製)を例示することができる。

【0086】

非晶質のフッ素含有樹脂として、ペルフルオロ(4-ビニルオキシ-1-ブテン)重合体(サイトップ(登録商標)、旭硝子製)、2,2-ビストリフルオロメチル-4,5-ジフルオロ-1,3-ジオキソール重合体(テフロン(登録商標)AF、DuPont製)を例示することができる。

【0087】

ポリイミドとして、芳香族化合物が脂環式化合物に置換されたポリイミドが好ましい。脂環式ポリイミドとして、脂環式酸二無水物と脂環式ジアミンの反応物を例示することができる。脂環式酸二無水物として、ビシクロ[2.2.1]ヘプタ-2-endo,3-endo,5-exo,6-exo-テトラカルボン酸-2,3:5,6-二無水物、ビシクロ[2.2.1]ヘプタ-2-exo,3-exo,5-exo,6-exo-テトラカルボン酸-2,3:5,6-二無水物、ビシクロ[2.2.2]オクタ-2-endo,3-endo,5-exo,6-exo-テトラカルボン酸2,3:5,6-二無水物、ビシクロ[2.2.2]オクタ-2-exo,3-exo,5-exo,6-exo-テトラカルボン酸2,3:5,6-二無水物、(4arH,8acH)-デカヒドロ-1t,4t:5c,8c-ジメタノナフタレン2c,3c,6c,7c-テトラカルボン酸-2,3:6,7-二無水物を例示することができる。脂環式ジアミンとして、ビス(アミノメチルビシクロ[2.2.1]ヘプタン)を例示することができる。

【0088】

エポキシ樹脂として、芳香環が脂環式化合物に変更されたエポキシ樹脂が好ましい。芳香環が脂環式化合物に変更されたエポキシ樹脂としては、3',4'-エポキシシクロヘキシルメチル3,4-エポキシシクロヘキサンカルボキシレート(セロキサイド2021P,ダイセル製)、-カプロラクトン変性3',4'-エポキシシクロヘキシルメチル3,4-エポキシシクロヘキサンカルボキシレート(セロキサイド2081,ダイセル製)、1,2-エポキシ-4-ビニルシクロヘキサン(セロキサイド2000,ダイセル製)を例示することができる。

【0089】

ポリオレフィンとして、ポリエチレン、ポリプロピレン、メチルペンテンなどの鎖状オレフィンの重合体、ノルボルネンなどの環状オレフィンの重合体、TPX(三井化学製)、APEL(三井化学製)、ARTON(JSR製)、ZEONOR(日本ゼオン製)、ZEONEX(日本ゼオン製)、TOPAS(ポリプラスチックス製)を例示することができる。

【0090】

無機化合物が添加された樹脂として、酸化マグネシウム、酸化ジルコニウム、酸化ホフニウム、-酸化アルミニウム、-酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、フッ化カルシウム、ルテチウムアルミニウムガーネット、二酸化ケイ素、マグネシウムアルミネート、サファイア、ダイヤモンドなどの無機化合物を、上記の樹脂に添加したものを例示することができる。

【0091】

本実施の形態に係る発光モジュール5の作用及び効果を説明する。

本実施の形態に係る発光モジュール5は、図2に示される半導体発光素子1と、半導体発光素子1を支持する支持部材(30)と、半導体発光素子1を収容するパッケージ(30,40,44)とを備える。パッケージ(30,40,44)は、半導体発光素子1から放射される光に対して透明な透明部材40を有する。本実施の形態の発光モジュール5によれば、向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子1を備える発光モジュールを提供することができる。

【0092】

10

20

30

40

50

透明部材 40 は、半導体発光素子 1 から放射される深紫外光に対して透明であるので、透明部材 40 は、深紫外光の波長において、低い光吸収係数及び高い光透過率を有する。そのため、半導体発光素子 1 から放射される深紫外光をパッケージ (30, 40, 44) の外部へ効率よく取り出すことができる。さらに、透明部材 40 が深紫外光に長時間さらされても、深紫外光の波長における透明部材 40 の光透過率が低下することを防ぐことができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 によれば、向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子 1 を備える、信頼性が高くかつ高い光出力を有する発光モジュールを提供することができる。

【0093】

(実施の形態 4)

図 40 を参照して、実施の形態 4 に係る発光モジュール 5 a を説明する。本実施の形態の発光モジュール 5 a は、基本的には、図 39 に示す実施の形態 3 の発光モジュール 5 と同様の構成を備え、同様の効果を得ることができるが、主に以下の点で異なる。本実施の形態に係る発光モジュール 5 a は、主に、深紫外光 18 を放射する半導体発光素子 2 と、半導体発光素子 2 を支持する支持部材 (60) と、半導体発光素子 2 を収容するパッケージ (40、60) とを備える。

【0094】

本実施の形態の発光モジュール 5 a では、パッケージ (40、60) は、基台 60 と透明部材 40 とを含む。本実施の形態のパッケージ (40、60) は、実施の形態 3 の基台 30 に代えて、基台 60 を含む。基台 60 に用いられる材料として、金属、樹脂、セラミックを例示することができる。本明細書において、金属で形成される基台 60 を含むパッケージ (40、60) をメタルパッケージと呼び、樹脂で形成される基台 60 を含むパッケージ (40、60) を樹脂パッケージと呼び、セラミックで形成される基台 60 を含むパッケージ (40、60) をセラミックパッケージと呼ぶ。本実施の形態のパッケージ (40、60) は、メタルパッケージ、樹脂パッケージ、セラミックパッケージのいずれかであってもよい。基台 60 は、高い熱伝導性を有する材料から構成され、ヒートシンクとして機能してもよい。本実施の形態では、基台 60 の材料として、窒化アルミニウム (AlN) を用いてもよい。

【0095】

基台 60 は、その周囲に側壁 61 が設けられている。透明部材 40 の周縁部は、基台 60 の側壁 61 の頂部に載置され、透明部材 40 は、基台 60 の側壁 61 によって、機械的に支持される。透明部材 40 は、接着剤 42 などを用いて、基台 60 の側壁 61 の上に固定される。

【0096】

側壁 61 の内部には、半導体発光素子 1 を収容する凹部 62 が形成されている。基台 30 は、半導体発光素子 1 を載置する。基台 60 は半導体発光素子 1 を支持する。より特定的には、半導体発光素子 1 は、基台 60 の凹部 62 の底面 64 上にフリップチップボンディングされている。本実施の形態の発光モジュール 5 a では、図 1 に示される 90° より小さい補角を有する半導体発光素子 1 が用いられている。本実施の形態における半導体発光素子 1 は、第 1 の主面 11 a と、第 1 の主面 11 a と反対側の第 2 の主面 11 b と、第 1 の主面 11 a と第 2 の主面 11 b との間に延在する側面 11 c とを有する基板 11 と、基板 11 の第 1 の主面 11 a 上に設けられた活性層 13 とを備える。基板 11 の第 1 の主面 11 a と少なくとも一部の側面 11 c とがなす角の補角は、20° 以上 70° 以下である。

【0097】

側壁 61 は、凹部 62 に面する側面 63 を有する。基台 60 の凹部 62 の底面 64 に、第 1 の導電パッド 65 と第 2 の導電パッド 66 とが設けられる。基台 60 は、凹部 62 と反対側の底面 67 を有する。基台 60 の底面 67 の上に、第 3 の導電パッド 68 と第 4 の導電パッド 69 とが設けられている。基台 60 には、第 1 の貫通孔 71 と第 2 の貫通孔 72 とが設けられている。第 1 の貫通孔 71 と第 2 の貫通孔 72 とは、底面 67 と凹部 62

10

20

30

40

50

の底面 6 4 とを接続する。第 1 の貫通孔 7 1 と第 2 の貫通孔 7 2 とに、導電部材 7 4 が設けられている。導電部材 7 4 を用いて、第 1 の導電パッド 6 5 と第 3 の導電パッド 6 8 が電氣的に接続され、第 2 の導電パッド 6 6 と第 4 の導電パッド 6 9 が電氣的に接続される。

【 0 0 9 8 】

導電性を有する接合部材 2 5 を用いて、半導体発光素子 1 の n 型電極 1 5 と基台 6 0 の第 1 の導電パッド 6 5 とが電氣的及び機械的に接続され、半導体発光素子 1 の p 型電極 1 6 と基台 6 0 の第 2 の導電パッド 6 6 とが電氣的及び機械的に接続される。接合部材 2 5、第 1 の導電パッド 6 5、第 2 の導電パッド 6 6、導電部材 7 4、第 3 の導電パッド 6 8、及び第 4 の導電パッド 6 9 を介して、図示されない外部の電源から、半導体発光素子 1 に電流が供給されて、半導体発光素子 1 は深紫外光を放射する。

10

【 0 0 9 9 】

本実施の形態の発光モジュール 5 a では、半導体発光素子 1 側の支持部材 (基台 6 0) の表面、より特定的には、側壁 6 1 の側面 6 3 及び凹部 6 2 の底面 6 4 の少なくとも 1 つに、反射部材 7 6 が設けられてもよい。本実施の形態の発光モジュール 5 a のように、半導体発光素子 1 側の支持部材 (基台 6 0) の表面に反射部材 7 6 を設けることによって、半導体発光素子 1 から基板 1 1 の第 1 の主面 1 1 a 側、すなわち支持部材 (基台 6 0) 側に放射される深紫外光を、透明部材 4 0 の方に方向変換することができる。その結果、反射部材 7 6 によって、発光モジュール 5 a の光出力を向上させることができる。

20

【 0 1 0 0 】

本実施の形態の発光モジュール 5 a は、実施の形態 3 の発光モジュール 5 が有する作用及び効果に加えて、以下の作用及び効果を説明する。

【 0 1 0 1 】

本実施の形態の発光モジュール 5 a では、半導体発光素子 1 側の支持部材 (基台 6 0) の表面に、反射部材 7 6 が設けられてもよい。反射部材 7 6 を設けることによって、半導体発光素子 1 から支持部材 (基台 6 0) に向けて放射された深紫外光を、透明部材 4 0 の方に方向転換することができる。本実施の形態の発光モジュール 5 a によれば、光出力が向上された発光モジュールを提供することができる。

【 0 1 0 2 】

本実施の形態の発光モジュール 5 a では、外部の電源から半導体発光素子 1 に電流を供給するための導電ワイヤを用いていないので、ワイヤボンディング工程を省略することができる。そのため、本実施の形態の発光モジュール 5 a によれば、発光モジュールの生産性を向上させ、生産コストを低下させることができる。

30

【 0 1 0 3 】

(実施の形態 5)

図 4 1 を参照して、実施の形態 5 に係る発光モジュール 5 b を説明する。本実施の形態の発光モジュール 5 b は、基本的には、図 4 0 に示す実施の形態 4 の発光モジュール 5 a と同様の構成を備え、同様の効果を得ることができるが、主に以下の点で異なる。

【 0 1 0 4 】

本実施の形態の発光モジュール 5 b では、図 3 6 に示される 90° より小さい補角を有する半導体発光素子 2 が用いられている。半導体発光素子 2 は、基板 1 1 の第 2 の主面 1 1 b に、半導体発光素子 2 の活性層 1 3 から放射される深紫外光を半導体発光素子 2 の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造 1 7 を有する。凹凸構造 1 7 は、半導体発光素子 2 の出射面 (第 2 の主面 1 1 b) において、半導体発光素子 2 の活性層 1 3 から放射される深紫外光が全反射されることを低減する。

40

【 0 1 0 5 】

本実施の形態に係る発光モジュール 5 b では、半導体発光素子 2 は凹凸構造 1 7 を有するため、半導体発光素子 2 の外部に深紫外光を取り出す効率を向上させることができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 b によれば、さらに向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子を備える発光モジュールを提供することが

50

できる。

【0106】

(実施の形態6)

図42を参照して、実施の形態6に係る発光モジュール5cを説明する。本実施の形態の発光モジュール5cは、基本的には、図39に示す実施の形態3の発光モジュール5と同様の構成を備え、同様の効果を得ることができるが、主に以下の点で異なる。本実施の形態に係る発光モジュール5cは、主に、深紫外光18を放射する半導体発光素子2と、半導体発光素子2を支持する支持部材(30)と、半導体発光素子2を封止する液体50と、半導体発光素子2と液体50とを収容するパッケージ(30、40c)とを備える。

【0107】

本実施の形態の発光モジュール5cでは、図37に示される90°より大きい補角を有する半導体発光素子2が用いられている。半導体発光素子2は、基板11の第2の主面11bに、半導体発光素子2の活性層13から放射される深紫外光を半導体発光素子2の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造17を有する。凹凸構造17は、半導体発光素子2の出射面(第2の主面11b)において、半導体発光素子2の活性層13から放射される深紫外光が全反射されることを低減する。

【0108】

本実施の形態に係る発光モジュール5cでは、パッケージ(30、40c)は、基台30と、透明部材40cを含む。本実施の形態のパッケージ(30、40c)は、実施の形態3の透明部材40及びキャップ44に代えて、透明部材40cを含む。

【0109】

透明部材40cは、半導体発光素子2を覆うように、基台30の上に設けられてもよい。基台30と透明部材40cとは、接着剤42等によって接合されてもよい。

【0110】

透明部材40cは、実施の形態3の透明部材40と同様に、半導体発光素子2から放射される深紫外光18に対して透明である。透明部材40cは、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、好ましくは75%以上、さらに好ましくは90%以上の透過率を有してもよい。ここで、透明部材40cの透過率は、単位長さ当たりの透明部材40cの透過率が高いほど高くなり、透明部材40cが厚いほど低くなる。透明部材40cは、190nm以上350nm以下、好ましくは200nm以上320nm以下、さらに好ましくは220nm以上300nm以下の波長を有する深紫外光に対して低い光吸収係数と高い光透過率を有してもよい。透明部材40cは、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、100μmの経路長当たり80%以上、好ましくは90%以上、さらに好ましくは95%以上の透過率を有する材料から構成されてもよい。

【0111】

透明部材40cは、実施の形態3の透明部材40と同様の材料から構成されてもよい。すなわち、透明部材40cは、合成石英、石英ガラス、無アルカリガラス、サファイア、蛍石(CaF₂)などの無機化合物、および樹脂のいずれかから構成されてもよい。

【0112】

透明部材40cは、一方に開口を有し、内部に空間を有する凹の形状を有してもよい。透明部材40cは、キャップであってもよい。本明細書において、キャップとは、一方に開口を有し、内部に空間を有する殻の形状を有するものをいう。本実施の形態では、キャップである透明部材40cは、一方に開口を有し、内部に空間を有する半球殻の形状を有してもよい。透明部材40cを半球殻の形状を有するキャップで構成することによって、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の透明部材40cへの入射角を垂直に近づけることができる。透明部材40cは、半楕円球殻、及び砲弾の形状を有する殻のいずれかの形状を有するキャップであってもよい。キャップである透明部材40cによって、半導体発光素子2から放射された深紫外光18は、屈折され得る。そのため、キャップである透明部材40cの形状を変化させることによって、半導体発光素子2から放射された深紫外光18の配光特性を多様に変化させることができる。

10

20

30

40

50

【0113】

液体50は、パッケージ(30、40c)の内部空間に充填され、半導体発光素子2を封止する。具体的には、液体50は、基台30と透明部材40cとの間の空間に充填され、半導体発光素子2を封止する。液体50は、少なくとも半導体発光素子2の出射面(基板11の第2の主面11b)を封止してもよい。

【0114】

液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18に対して透明である。本明細書において、液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18に対して透明であるとは、液体50が、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、60%以上の透過率を有することを意味する。液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、好ましくは75%以上、さらに好ましくは90%以上の透過率を有してもよい。ここで、液体50の透過率は、単位長さ当たりの液体50の透過率が高いほど高くなり、液体50が厚いほど低くなる。液体50は、190nm以上350nm以下、好ましくは200nm以上320nm以下、さらに好ましくは220nm以上300nm以下の波長を有する深紫外光18に対して低い光吸収係数と高い光透過率を有する。液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、100 μ mの経路長(厚さ)当たり80%以上、好ましくは90%以上、さらに好ましくは95%以上の透過率を有する材料から構成されてもよい。

10

【0115】

液体50は、純水、液体有機化合物、塩溶液、及び微粒子分散液のいずれかから構成されてもよい。

20

【0116】

液体有機化合物は、飽和炭化水素化合物、芳香環を有しない有機溶媒、有機ハロゲン化合物、シリコーン樹脂、シリコーンオイルのいずれかから構成されてもよい。

【0117】

液体50に用いることができる飽和炭化水素化合物として、鎖式飽和炭化水素化合物と、環式飽和炭化水素化合物とを例示することができる。鎖式飽和炭化水素化合物として、n-ペンタン、n-ヘキサン、n-ヘプタン、n-オクタン、n-ノナン、n-デカン、n-ウンデカン、n-ドデカン、n-トリデカン、n-テトラデカン、n-ペンタデカン、n-ヘキサデカン、n-ヘプタデカン、n-オクタデカン、2,2-ジメチルブタン、2-メチルペンタンを例示することができる。環式飽和炭化水素化合物として、シクロペンタン、シクロヘキサン、シクロヘプタン、シクロオクタン、シクロノナン、シクロデカン、メチルシクロヘキサン、エチルシクロヘキサン、プロピルシクロヘキサン、ブチルシクロヘキサン、メチルキュバン、メチルジノルボルネン、オクタヒドロインデン、2-エチルノルボルネン、1,1'-ビシクロヘキシル、trans-デカヒドロナフタレン、cis-デカヒドロナフタレン、exo-テトラヒドロジシクロペンタジエン、トリシクロ[6.2.1.0^{2,7}]ウンデカン、ペルヒドロフルオレン、3-メチルテトラシクロ[4.4.0.1^{2,5}.1^{7,10}]ドデカン、1,3-ジメチルアダマンタン、ペルヒドロフェナントレン、ペルヒドロピレンを例示することができる。飽和炭化水素化合物として、IF131(DuPont製)、IF132(DuPont製)、IF138(DuPont製)、IF169(DuPont製)、HIL-001(JSR製)、HIL-002(JSR製)、HIL-203(JSR製)、HIL-204(JSR製)、Delphi(三井化学製)、Babylon(三井化学製)をさらに例示することができる。

30

40

【0118】

液体50に用いることができる芳香環を有しない有機溶媒として、ヒドロキシル基を有する化合物と、カルボニル基を有する化合物と、スルフィニル基を有する化合物と、エーテル結合を有する化合物、ニトリル基を有する化合物、アミノ基を有する化合物、及び含硫黄化合物を例示することができる。ヒドロキシル基を有する化合物として、イソプロパノール、イソブタノール、グリセロール、メタノール、エタノール、プロパノール、ブタノールを例示することができる。カルボニル基を有する化合物として、N-メチルピロリドン、N,N-ジメチルホルムアミド、アセトン、メチルエチルケトン、ジエチルケトン

50

、シクロヘキサノン、シクロペンタノン、メタクリル酸メチル、アクリル酸メチル、n-アクリル酸ブチルを例示することができる。スルフィニル基を有する化合物として、ジメチルスルホキシドを例示することができる。エーテル結合を有する化合物として、テトラヒドロフラン、1,8-シネオールを例示することができる。ニトリル基を有する化合物として、アセトニトリルを例示することができる。アミノ基を有する化合物として、トリエチルアミン、ホルムアミドを例示することができる。含硫黄化合物として、二硫化炭素を例示することができる。

【0119】

液体50に用いることができる有機ハロゲン化物として、フッ素化合物、塩素化合物、臭素化合物、及びヨウ素化合物を例示することができる。フッ素化合物として、ペルフルオロ(4-ビニルオキシ-1-ブテン)重合体(サイトップ)(登録商標)、2,2-ビストリフルオロメチル-4,5-ジフルオロ-1,3-ジオキソール重合体(テフロン(登録商標)AF、DuPont製)を例示することができる。塩素化合物として、ジクロロメタン、ジクロロエタン、トリクロロエタン、テトラクロロエタン、ペンタクロロエタン、クロロプロパン、ジクロロプロパン、トリクロロプロパン、テトラクロロプロパン、ペンタクロロプロパン、ヘキサクロロプロパン、クロロヘキサノール、トリクロロアセチルクロリド、四塩化炭素、クロロアセトン、1-クロロブタン、クロロシクロヘキサン、クロロホルム、クロロエタノール、クロロヘキサン、クロロヘキサノン、エピクロロヒドリンを例示することができる。臭素化合物として、プロモエタン、プロモエタノール、ジプロモメタン、ジプロモエタン、ジプロモプロパン、プロモホルム、トリプロモエタン、トリプロモプロパン、テトラプロモエタン、1-プロモプロパンを例示することができる。ヨウ素化合物として、ヨウ化メチル、ヨウ化エチル、ヨウ化プロピル、ジヨードメタン、ジヨードプロパンなどのヨウ素化合物を例示することができる。

【0120】

液体50に用いることができるシリコーン樹脂またはシリコーンオイルは、オルガノポリシロキサンを主鎖とし、Si原子に有機基が結合している。有機基として、炭素原子を含む官能基、フッ素原子を含む官能基、塩素原子を含む官能基、臭素原子を含む官能基、ヨウ素原子を含む官能基、窒素原子を含む官能基、酸素原子を含む官能基、硫黄原子を含む官能基のいずれか1つ以上を含む官能基を例示することができる。炭素原子を含む官能基として、メチル基、エチル基、プロピル基を例示することができる。フッ素原子を含む官能基として、トリフルオロメチル基、トリフルオロエチル基、トリフルオロプロピル基を例示することができる。塩素原子を含む官能基として、トリクロロメチル基、トリクロロエチル基、トリクロロプロピル基を例示することができる。臭素原子を含む官能基として、トリプロモメチル基、トリプロモエチル基、トリプロモプロピル基を例示することができる。ヨウ素原子を含む官能基として、トリヨードメチル基、トリヨードエチル基、トリヨードプロピル基を例示することができる。窒素原子を含む官能基として、アミノ基、ニトリル基、イソシアネート基、ウレイド基を例示することができる。酸素原子を含む官能基として、エポキシ基、メタクリル基、エーテル基を例示することができる。硫黄原子を含む官能基として、メルカプト基、スルフィニル基を例示することができる。シリコーン樹脂、またはシリコーンオイルとして、JCR6122(東レ・ダウコーニング製)、JCR6140(東レ・ダウコーニング製)、HE59(日本山村硝子製)、HE60(日本山村硝子製)、HE61(日本山村硝子製)、KER2910(信越化学工業製)、FER7061(信越化学工業製)をさらに例示することができる。これらの材料の中には、深紫外光以外の光を照射したり加熱したりすることによって硬化し得る材料が含まれるが、本実施の形態では、これらの材料を硬化処理しないで液体の状態のものを、液体50として利用する。

【0121】

液体50に用いることができる塩溶液は、酸溶液、無機塩溶液、有機塩溶液のいずれかから構成されてもよい。

【0122】

液体50に用いることができる酸溶液に含まれる酸として、リン酸、硫酸、塩酸、臭化

10

20

30

40

50

水素酸、硝酸、クエン酸、メタンスルホン酸、メタクリル酸、酪酸、イソ酪酸、カプロン酸、カプリル酸、ラウリン酸、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸を例示することができる。

【0123】

液体50に用いることができる無機塩溶液に含まれる無機塩として、塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化セシウム、塩化アンモニウム、塩化カルシウム、塩化リチウム、塩化ルビジウム、塩化テトラメチルアンモニウム、塩化アルミニウム6水和物、臭化ナトリウム、臭化亜鉛、臭化リチウム、臭化カリウム、臭化ルビジウム、臭化セシウム、臭化アンモニウム、硫酸リチウム、硫酸ナトリウム、硫酸カリウム、硫酸ルビジウム、硫酸セシウム、硫酸マグネシウム、硫酸ガドリニウム、硫酸亜鉛、ミョウバン、アンモニウムミョウバン、硫酸水素ナトリウム、亜硫酸水素ナトリウム、リン酸水素ナトリウム、リン酸二水素ナトリウム、リン酸二水素カリウム、過塩素酸ナトリウム、チオシアン酸ナトリウム、チオ硫酸ナトリウム、亜硫酸ナトリウムを例示することができる。

10

【0124】

液体50に用いることができる有機塩溶液に含まれる有機塩として、酢酸リチウム、酢酸ナトリウム、酢酸カリウム、酢酸ルビジウム、酢酸セシウム、酢酸テトラメチルアンモニウム、酢酸テトラエチルアンモニウム、酢酸テトラプロピルアンモニウム、酢酸トリエチルアンモニウム、酢酸ジエチルジメチルアンモニウム、酢酸テトラブチルアンモニウム、塩化テトラメチルアンモニウム、臭化テトラメチルアンモニウム、メタンスルホン酸バリウム、メタンスルホン酸ランタン、メタンスルホン酸セシウム、メタンスルホン酸シクロヘキシルトリメチルアンモニウム、シクロヘキサンスルホン酸ナトリウム、シクロヘキシルメタンスルホン酸ナトリウム、デカヒドロナフタレン-2-スルホン酸ナトリウム、1-アダマンタンメタンスルホン酸カリウム、1-アダマンタンスルホン酸カリウム、メタンスルホン酸デシルトリメチルアンモニウム、メタンスルホン酸ヘキサデシルトリメチルアンモニウム、メタンスルホン酸アダマンチルトリメチルアンモニウム、メタンスルホン酸シクロヘキシルトリメチルアンモニウム、メタンスルホン酸1,1'-ジメチルピペリジニウム、メタンスルホン酸1-メチルキヌクリジニウム、メタンスルホン酸1,1'-ジメチルデカヒドロキノリニウム、メタンスルホン酸1,1,4,4'-テトラメチルピペラジン-1,4-ジウム、1,4-ジメチル1,4-ジアゾニアビシクロ[2.2.2]オクタンを例示することができる。

20

30

【0125】

塩溶液に用いる溶媒として、水、有機溶媒、及びシリコーン樹脂またはシリコーンオイルに溶解した溶液を例示することができるが、これらに限られない。有機溶媒として、シクロヘキサン、デカン、デカヒドロナフタレンなどの飽和炭化水素化合物溶液、n-アクリル酸ブチル、n-アクリル酸メチル、テトラヒドロフラン、クロロホルム、メチルエチルケトン、メタクリル酸メチル、ジクロロメタン、ジメチルシリコーンオイルを例示することができる。

【0126】

液体50に用いることができる微粒子分散液の微粒子として、酸化マグネシウム、酸化ジルコニウム、酸化ハフニウム、 γ -酸化アルミニウム、 δ -酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、フッ化カルシウム、ルテチウムアルミニウムガーネット、二酸化ケイ素(シリカ)、マグネシウムアルミネート、サファイア、ダイヤモンドなどの無機化合物を例示することができる。微粒子は、表面修飾ジルコニアのように、その表面が他の材料で修飾されてもよい。

40

【0127】

微粒子を分散させる溶媒として、水、有機溶媒、及びシリコーン樹脂またはシリコーンオイルに溶解した溶液を例示することができるが、これらに限られない。有機溶媒として、シクロヘキサン、デカン、デカヒドロナフタレンなどの飽和炭化水素化合物溶液、n-アクリル酸ブチル、n-アクリル酸メチル、テトラヒドロフラン、クロロホルム、メチルエチルケトン、メタクリル酸メチル、ジクロロメタン、ジメチルシリコーンオイルを例示

50

することができる。

【0128】

液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、1.32以上、好ましくは1.40以上、さらに好ましくは1.45以上の屈折率を有してもよい。液体50は、好ましくは、1.50以上、さらに好ましくは1.55以上の屈折率をさらに有してもよい。液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、1.32以上の屈折率を有するので、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長における液体50の屈折率を、深紫外光18の波長における半導体発光素子2の出射面(第2の主面11b)の屈折率(基板11の屈折率)により一層近づけることができる。

10

【0129】

液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18の波長において、半導体発光素子2の出射面(第2の主面11b)よりも小さな屈折率を有し、かつ、透明部材40より大きな屈折率を有してもよい。そのため、半導体発光素子2の出射面(第2の主面11b)と液体50との界面における反射率と、液体50と透明部材40との界面における反射率とを低下させることができる。

【0130】

液体50は、絶縁性を有することが好ましい。本実施の形態では、液体50は、n型電極15と、p型電極16と、第1の導電パッド21と、第2の導電パッド22と、接合部材25と、リードピン31と、導電ワイヤ33とに接触している。液体50が絶縁性を有すると、n型電極15とp型電極16とが短絡することを防ぐことができる。液体50が導電性を有する場合には、半導体発光素子2の表面と、第1の導電パッド21の表面と、第2の導電パッド22の表面と、接合部材25の表面と、リードピン31の表面と、導電ワイヤ33の表面とに薄い絶縁膜を設けてもよい。

20

【0131】

本実施の形態に係る発光モジュール5cの製造方法の一例は、以下の製造方法を備えてもよい。半導体発光素子2を準備する。半導体発光素子2を基台30の上に載置する。透明部材40の内部に液体50を充填する。半導体発光素子2が載置された基台30を、液体50が充填された透明部材40の開口部に被せる。その結果、液体50が充填された透明部材40の内部に半導体発光素子2は挿入されるとともに、基台30は透明部材40に当接される。透明部材40と基台30とを接着剤42によって接着する。

30

【0132】

本実施の形態に係る発光モジュール5cの作用及び効果を以下説明する。

本実施の形態に係る発光モジュール5cは、半導体発光素子2を封止する液体50をさらに備える。液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18に対して透明である。パッケージ(30, 40c)は、液体50をさらに収容する。

【0133】

透明部材40c及び液体50は、半導体発光素子2から放射される深紫外光18に対して透明であるので、透明部材40c及び液体50は、深紫外光18の波長において、低い光吸収係数及び高い光透過率を有する。そのため、半導体発光素子2から放射される深紫外光18をパッケージ(30, 40c)の外部へ効率よく取り出すことができる。さらに、透明部材40c及び液体50が深紫外光18に長時間さらされても、深紫外光18の波長における透明部材40c及び液体50の光透過率が低下することを防ぐことができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール5cによれば、深紫外光18を放射する半導体発光素子2を備える、信頼性が高くかつ高い光出力を有する発光モジュールを提供することができる。

40

【0134】

液体50は流動性を有するので、半導体発光素子2で生じた熱によって、液体50は、パッケージ(30, 40c)の内部空間を対流する。液体50は、パッケージ(30, 40c)の内部空間を対流するので、液体50の特定の一部分が、深紫外光18の光密度が

50

高い半導体発光素子 2 の近傍に存在し続けることがない。そのため、液体 5 0 の特定の一部分だけが、半導体発光素子 2 から放射された高い光密度の深紫外光 1 8 に照射され続けて、液体 5 0 が劣化すること及び深紫外光 1 8 の波長における液体 5 0 の光透過率が低下することを防ぐことができる。また、透明部材 4 0 c と深紫外光 1 8 を放射する半導体発光素子 2 との間に液体 5 0 が位置するので、透明部材 4 0 c における深紫外光 1 8 の光密度は、半導体発光素子 2 の近傍における深紫外光 1 8 の光密度よりも十分小さい。そのため、固体である透明部材 4 0 c が、液体 5 0 よりも、深紫外光 1 8 に対して高い光吸収係数を有していても、深紫外光 1 8 が透明部材 4 0 c に照射されることによって透明部材 4 0 c が劣化することを十分に抑制することができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、深紫外光 1 8 を放射する半導体発光素子 2 を備える、信頼性の高い発光モジュールを提供することができる。

10

【 0 1 3 5 】

これに対し、深紫外光 1 8 を放射する半導体発光素子 2 を硬化された樹脂によって封止する比較例では、硬化された樹脂は、液体 5 0 と異なり、流動しない。そのため、半導体発光素子 2 の近傍に位置する硬化された樹脂は、高い光密度の深紫外光 1 8 に照射され続けて、急速に劣化する。深紫外光 1 8 の波長領域において、硬化された樹脂は、液体 5 0 よりも、深紫外光 1 8 に対して高い光吸収係数を有することも、半導体発光素子 2 の近傍に位置する硬化された樹脂の劣化をさらに促進する。そのため、深紫外光 1 8 を放射する半導体発光素子 2 を硬化された樹脂によって封止する比較例では、信頼性の高い発光モジュールを提供することができない。

20

【 0 1 3 6 】

液体 5 0 を備える本実施の形態の発光モジュール 5 c では、半導体発光素子 2 は液体 5 0 によって封止される。一般に、液体 5 0 の屈折率は、空気の屈折率よりも大きい。深紫外光 1 8 の波長における、液体 5 0 の屈折率と、半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）の屈折率（基板 1 1 の屈折率）との差を、深紫外光 1 8 の波長における、空気の屈折率と半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）の屈折率（基板 1 1 の屈折率）との差よりも小さくできる。そのため、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、半導体発光素子 2 の活性層 1 3 から放射される深紫外光 1 8 が半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）で全反射されることを低減し、半導体発光素子 2 の活性層 1 3 から放射される深紫外光 1 8 を、半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）の外部に効率的に取り出すことができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、高い光出力を有する発光モジュールを提供することができる。

30

【 0 1 3 7 】

さらに、深紫外光 1 8 の波長領域において、液体 5 0 は、深紫外光 1 8 の波長に対して比較的高い光透過率を有する硬化された樹脂よりも、高い屈折率を有する。深紫外光 1 8 の波長における、液体 5 0 の屈折率と半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）の屈折率（基板 1 1 の屈折率）との差を、深紫外光 1 8 の波長における、硬化された樹脂の屈折率と半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）の屈折率（基板 1 1 の屈折率）との差よりも小さくできる。そのため、半導体発光素子 2 が液体 5 0 によって封止された本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、半導体発光素子 2 が硬化された樹脂によって封止された比較例の発光モジュールよりも、半導体発光素子 2 の活性層 1 3 から放射される深紫外光 1 8 が半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）で全反射されることを低減し、半導体発光素子 2 の活性層 1 3 から放射される深紫外光 1 8 を、半導体発光素子 2 の出射面（第 2 の主面 1 1 b）の外部に効率的に取り出すことができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、比較例の発光モジュールよりも、高い光出力を有する発光モジュールを提供することができる。

40

【 0 1 3 8 】

本実施の形態の発光モジュール 5 c では、透明部材 4 0 c は液体 5 0 を収容しており、透明部材 4 0 c は液体 5 0 と接している。液体 5 0 の屈折率は、一般に、空気の屈折率よりも大きい。深紫外光 1 8 の波長における、液体 5 0 の屈折率と透明部材 4 0 c の屈折率

50

との差を、深紫外光 18 の波長における、空気の屈折率と透明部材 40 c の屈折率との差よりも小さくすることができる。そのため、半導体発光素子 2 から放射される深紫外光 18 が透明部材 40 c で反射されることを低減し、半導体発光素子 2 から放射される深紫外光 18 を、発光モジュール 5 c の外部に効率的に取り出すことができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、高い光出力を有する発光モジュールを提供することができる。

【0139】

液体 50 は流動性を有するので、パッケージ (30、40 c) の内部空間に液体 50 を注入するだけで、深紫外光 18 を放射する半導体発光素子 2 を封止することができる。そのため、本実施の形態に係る発光モジュール 5 c によれば、信頼性が高くかつ高い光出力を有する発光モジュールを低コストで提供することができる。

10

【0140】

液体 50 は流動性を有するので、パッケージ (30、40 c) の内部空間の形状に応じて、液体 50 の形状は変化する。そのため、本実施の形態に係る発光モジュール 5 c によれば、様々な内部空間の形状を有するパッケージ (30、40 c) を備える様々なタイプの発光モジュールに、容易かつ安価に半導体発光素子 2 を封止することができる。

【0141】

本実施の形態に係る発光モジュール 5 c では、透明部材 40 c は、キャップであってもよい。キャップは、一方に開口を有し、内部に空間を有する殻の形状を有するものであり、板と比べて十分薄い厚さを有する。本実施の形態の発光モジュール 5 c における、キャップである透明部材 40 c の厚さは、比較例において半導体発光素子 2 を封止するために用いられる硬化された樹脂の厚さよりも十分薄い。本実施の形態の発光モジュール 5 c では、キャップである透明部材 40 c における深紫外光 18 の吸収を、半導体発光素子を封止する硬化された樹脂における深紫外光 18 の吸収よりも小さくすることができる。そのため、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、パッケージ (30、40) からの深紫外光 18 の取り出し効率を向上させることができる。

20

【0142】

また、キャップである透明部材 40 c の厚さは薄いため、キャップである透明部材 40 c の形状を容易かつ低コストで変化させることができる。さらに、パッケージ (30、40 c) の内部空間の形状に応じて、液体 50 の形状は自由に変化する。そのため、本実施の形態に係る発光モジュール 5 c によれば、キャップである透明部材 40 c と液体 50 とを用いることにより、様々な内部空間の形状を有するパッケージ (30、40) を備える様々なタイプの発光モジュールを容易かつ安価に製造することができる。

30

【0143】

これに対し、半導体発光素子 2 が硬化された樹脂によって封止された比較例の発光モジュールでは、半導体発光素子 2 を封止する硬化された樹脂は、半導体発光素子 2 に樹脂をポッティングした後、樹脂を硬化させることによって製造される。そのため、硬化された樹脂の外表面の形状を任意の形状に成形することが難しい。また、半導体発光素子 2 が硬化された樹脂によって封止された比較例の発光モジュールでは、半導体発光素子 2 を封止する硬化された樹脂は、樹脂を金型に流し込んだ後にこの樹脂を硬化させることによって製造されてもよい。しかし、様々な内部空間の形状を有するパッケージ (30、40 c) を備える様々なタイプの発光モジュールに対応して、様々な形状を有する金型を準備しなければならない。その結果、半導体発光素子 2 が硬化された樹脂によって封止された比較例の発光モジュールでは、様々な内部空間の形状を有するパッケージを備える様々なタイプの発光モジュールを容易かつ安価に製造することは難しい。

40

【0144】

本実施の形態に係る発光モジュール 5 c では、透明部材 40 c は、半球殻を有してもよい。半球殻を有する透明部材 40 c によって、半導体発光素子 2 から放射される深紫外光 18 の透明部材 40 c への入射角を垂直に近づけることができる。そのため、半導体発光素子 2 から放射される深紫外光 18 が透明部材 40 c で反射されることを抑制することが

50

できる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、高い光出力を有する発光モジュールを提供することができる。

【0145】

本実施の形態に係る発光モジュール 5 c では、半導体発光素子 2 は凹凸構造 17 を有するため、半導体発光素子 2 の外部に深紫外光 18 を取り出す効率を向上させることができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、さらに向上した光取り出し効率を有する、深紫外光を放射する半導体発光素子 2 を備える発光モジュールを提供することができる。

【0146】

本実施の形態に係る発光モジュール 5 c は、半導体発光素子 2 と、半導体発光素子 2 を封止する液体 50 とを備え、半導体発光素子 2 は、半導体発光素子 2 の活性層 13 から放射される深紫外光を半導体発光素子 2 の外部に取り出す効率を向上させる凹凸構造 17 を含んでもよい。液体 50 は、硬化された樹脂よりも高い流動性を有するため、液体 50 は、凹凸構造 17 の凹部に隙間なく充填され得る。一般に、液体 50 の屈折率は、空気の屈折率よりも大きい。そのため、深紫外光 18 の波長における液体 50 の屈折率と、深紫外光 18 の波長における半導体発光素子 2 の凹凸構造 17 が形成された面の屈折率との差を、小さくすることができる。本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、半導体発光素子 2 の活性層 13 から放射される深紫外光 18 が半導体発光素子 1 の出射面（第 2 の主面 11 b）で全反射されることを凹凸構造 17 と液体 50 とによって低減し、半導体発光素子 2 の活性層 13 から放射される深紫外光 18 を、半導体発光素子 2 の外部に効率的に取り出すことができる。その結果、本実施の形態の発光モジュール 5 c によれば、高い光出力を有する発光モジュールを提供することができる。

【0147】

これに対して、凹凸構造 17 が形成された半導体発光素子 2 を硬化された樹脂で封止すると、硬化された樹脂は凹凸構造 17 の凹部の一部に空隙が生じる。この空隙は、硬化前の樹脂が凹凸構造 17 の凹部の一部に入り込まなかったこと、または樹脂を硬化する際に樹脂が熱収縮したことのために生じたと考えられる。凹凸構造 17 における空隙において、半導体発光素子 2 は、低い屈折率を有する空気、ガスまたは真空と接する。そのため、この空隙と接する半導体発光素子 1 の出射面から半導体発光素子 2 の外部に、半導体発光素子 2 の活性層 13 から放射された深紫外光を高い効率で取り出すことは難しい。

【0148】

実施の形態 3 から実施の形態 6 のうちの複数の実施の形態を組み合わせてもよい。例えば、実施の形態 3 から実施の形態 5 におけるパッケージが液体 50 をさらに収容し、半導体発光素子 1, 2 は液体 50 によって封止されてもよい。実施の形態 3 及び実施の形態 4 における半導体発光素子 1 を、図 36 (A) から図 37 に示される半導体発光素子 1 a、1 b、1 c、2 に置き換えてもよい。実施の形態 5 及び実施の形態 6 における凹凸構造 17 を有する半導体発光素子 2 を、図 1、図 2 並びに図 36 (A) から図 39 (B) に示される半導体発光素子 1、1 a、1 b、1 c に置き換えてもよい。

【0149】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明ではなく特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることを意図される。

【符号の説明】

【0150】

1, 1 a, 1 b, 1 c, 2 半導体発光素子、5, 5 a, 5 b, 5 c 発光モジュール、10 ウエハ、10 a, 11 a 第 1 の主面、10 b, 11 b 第 2 の主面、11 基板、11 c 側面、11 c 1 第 1 の部分、11 c 2, 11 c 3 第 2 の部分、12 n 型半導体層、13 活性層、14 p 型半導体層、14 a 第 1 の p 型半導体層、14 b 第 2 の p 型半導体層、15 n 型電極、16 p 型電極、17 凹凸構造、18 深紫

10

20

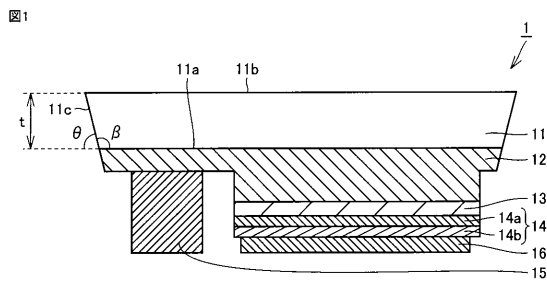
30

40

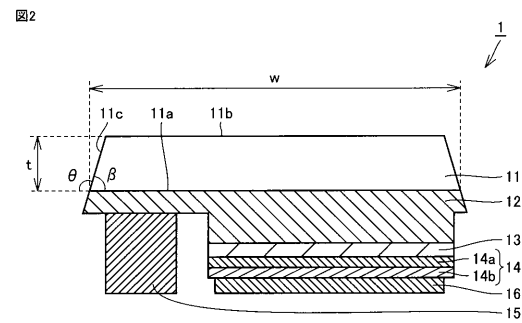
50

外光、20 サブマウント、21, 65 第1の導電パッド、22, 66 第2の導電パッド、24 ダイシングテープ、25 接合部材、27 ダイシングライン、30, 60 基台、30a 主面、31 リードピン、33 導電ワイヤ、37 ブレード、37a テーパ部、40, 40c 透明部材、42 接着剤、44 キャップ、50 液体、61 側壁、62 凹部、63 側面、64 底面、67 底面、68 第3の導電パッド、69 第4の導電パッド、71 第1の貫通孔、72 第2の貫通孔、74 導電部材、76 反射部材。

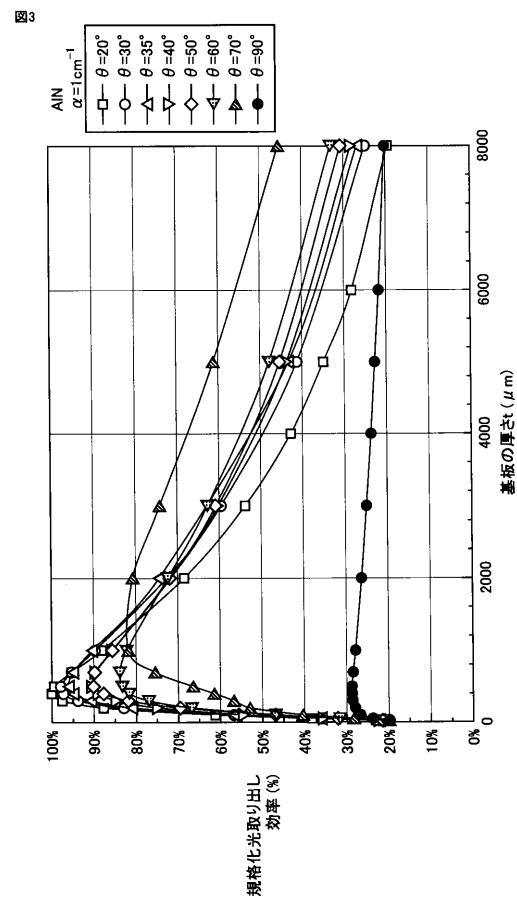
【図1】



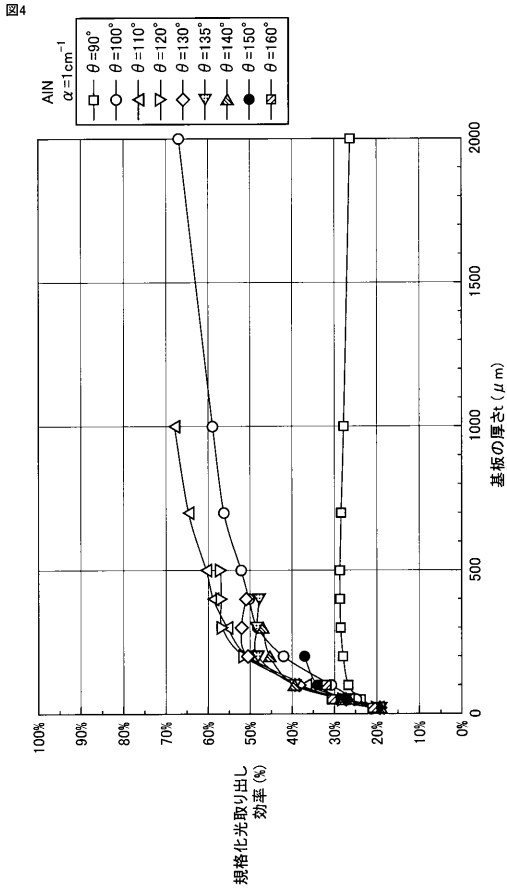
【図2】



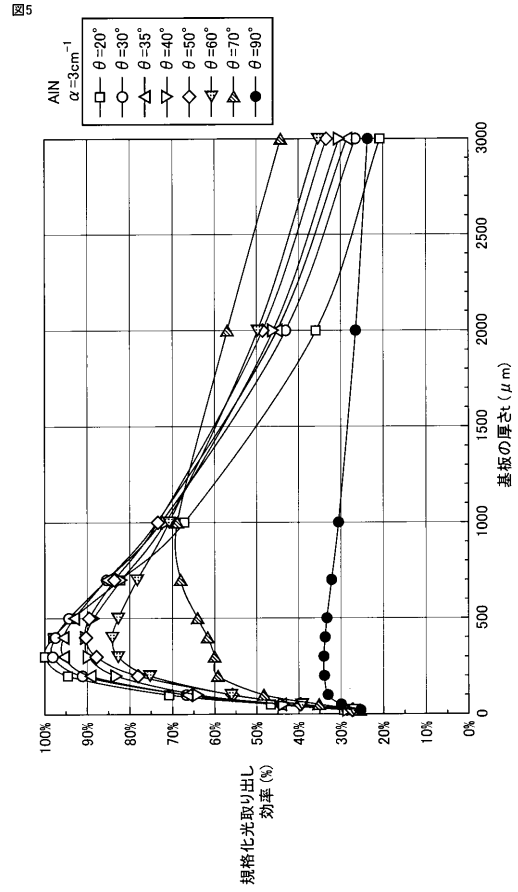
【図3】



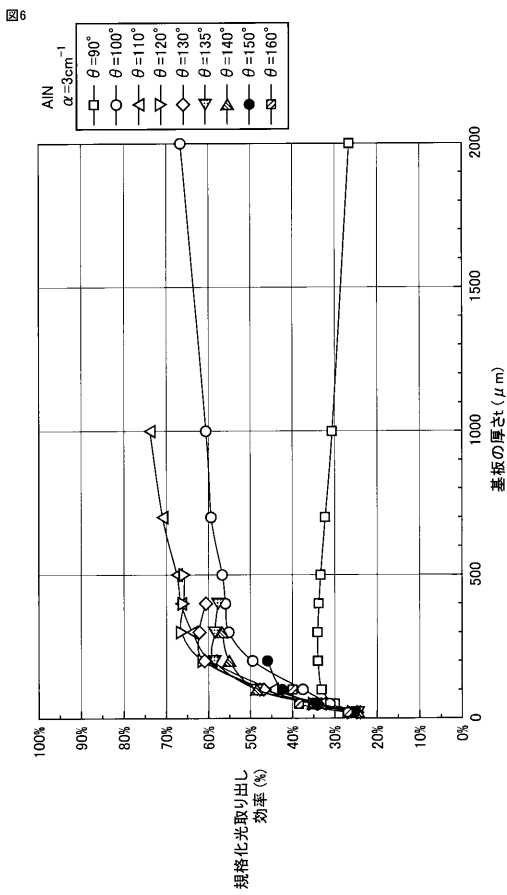
【 図 4 】



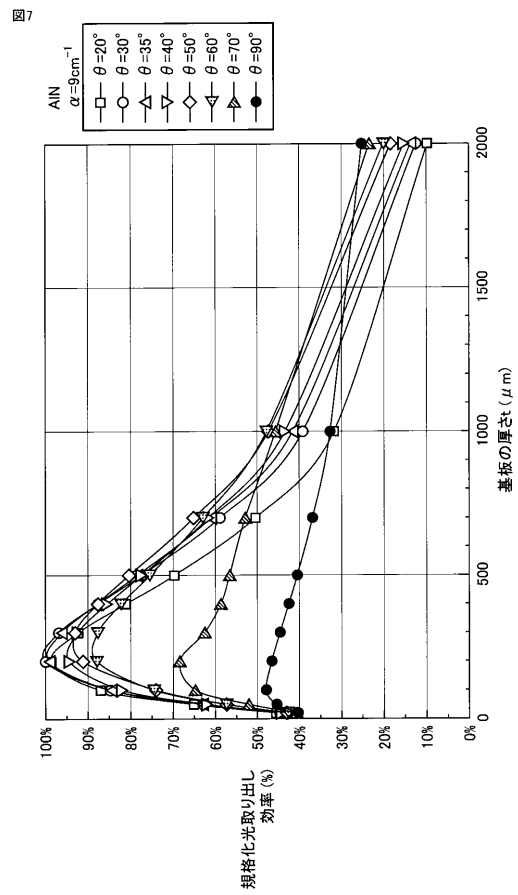
【 図 5 】



【 図 6 】

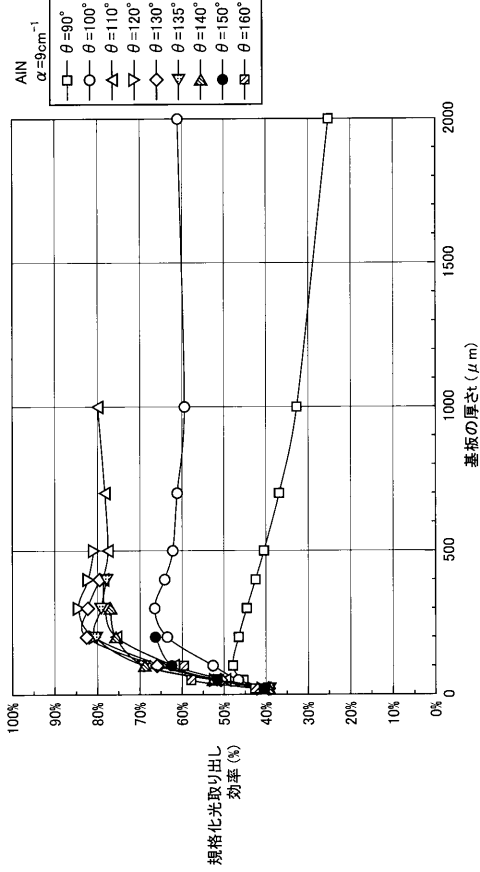


【 図 7 】



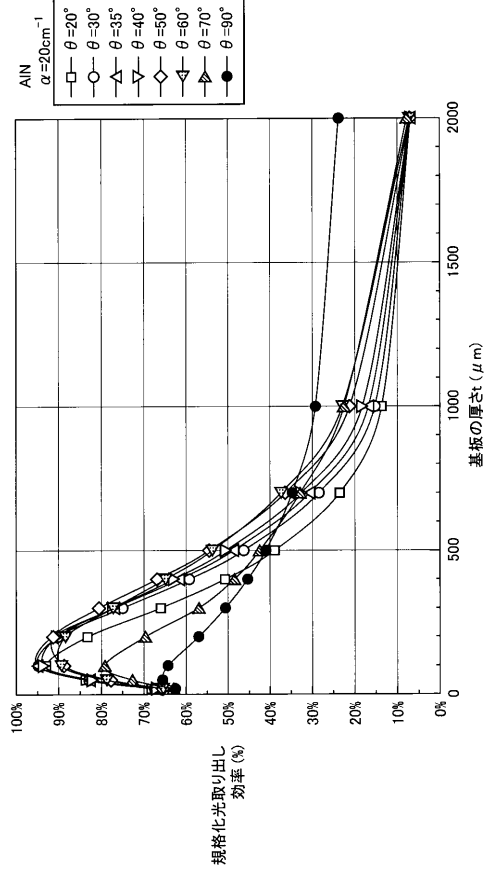
【 図 8 】

図8



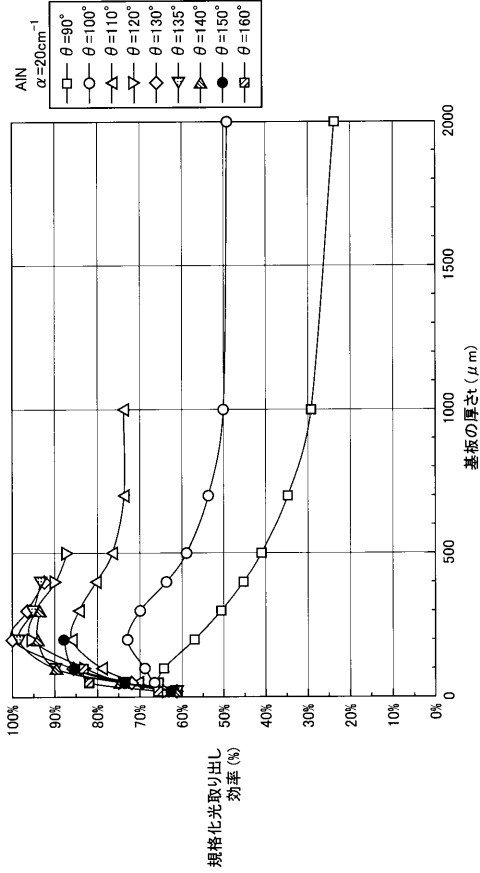
【 図 9 】

図9



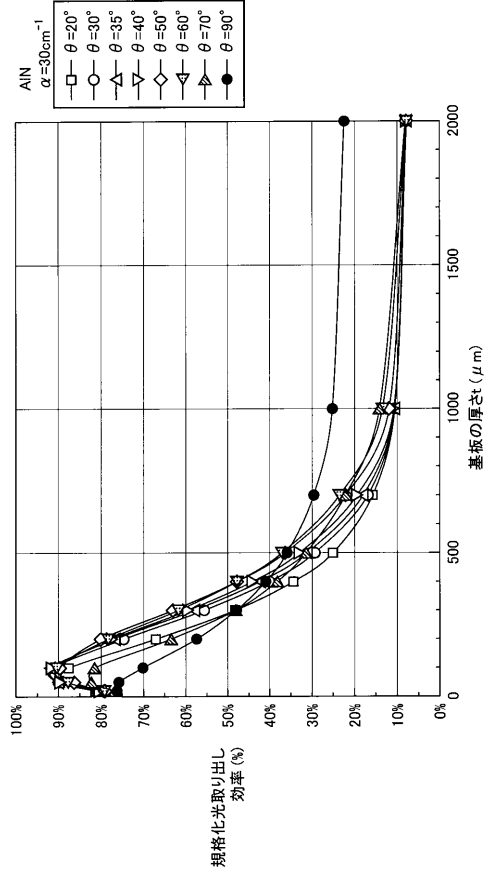
【 図 10 】

図10



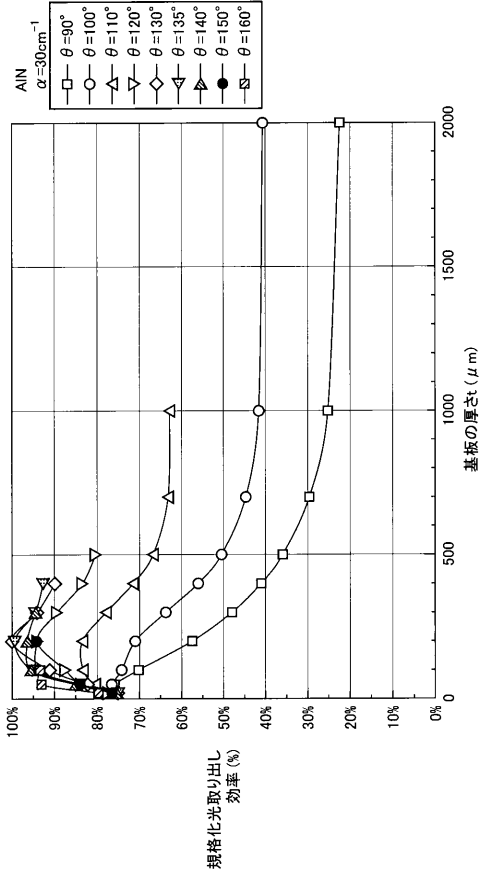
【 図 11 】

図11



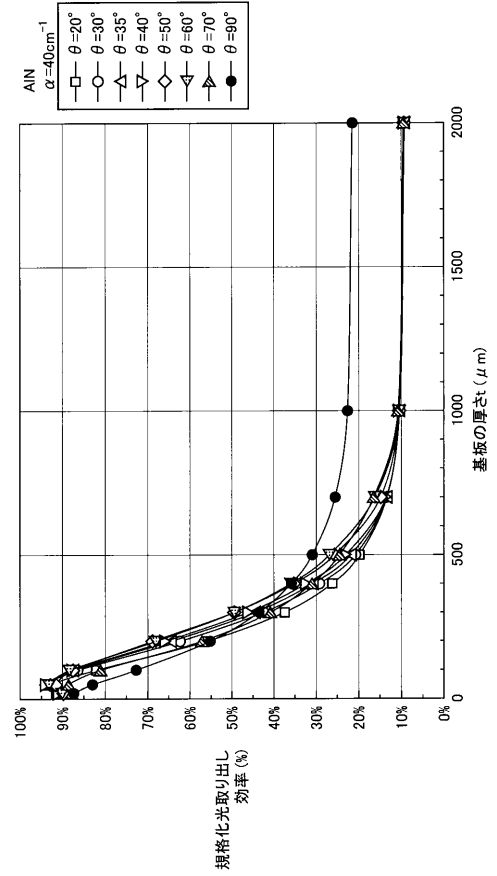
【 図 1 2 】

図 12



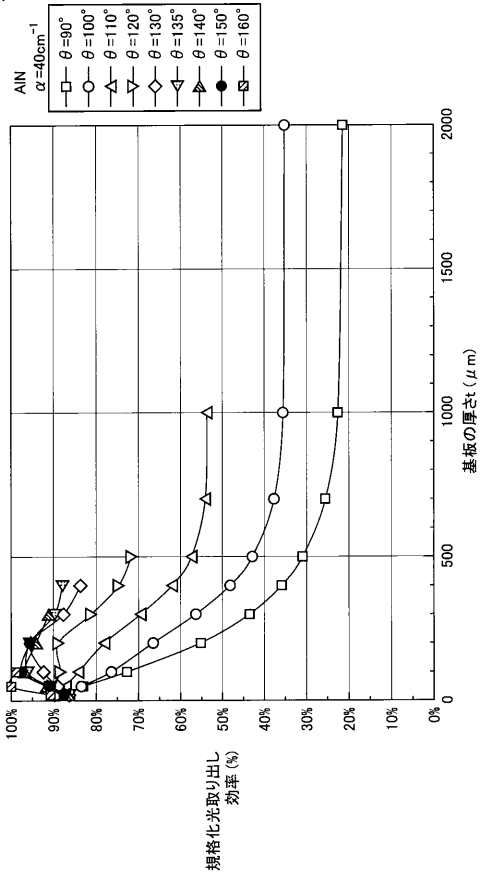
【 図 1 3 】

図 13



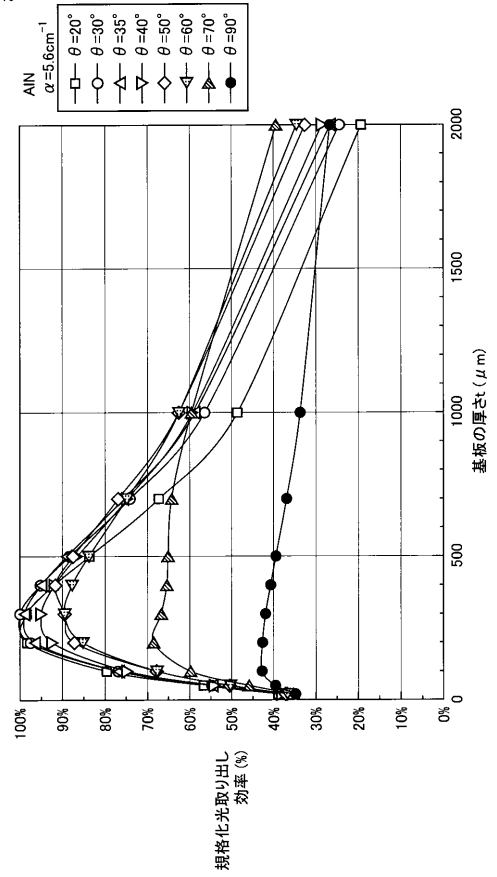
【 図 1 4 】

図 14



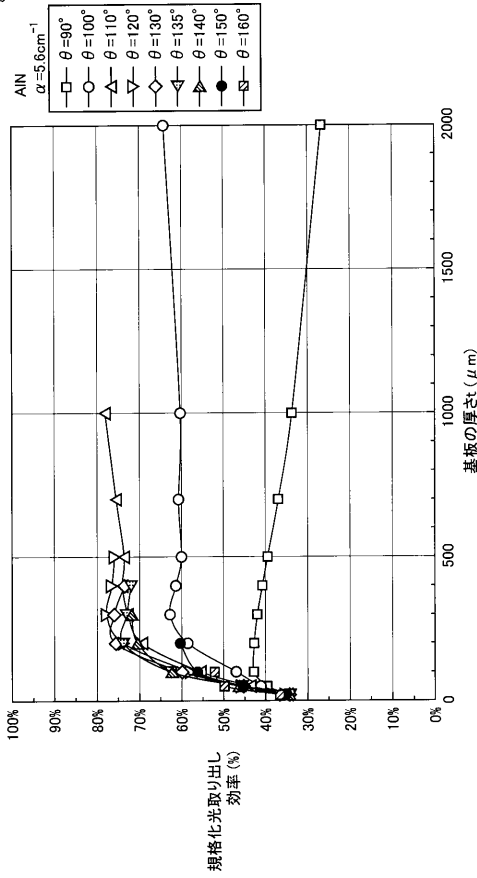
【 図 1 5 】

図 15



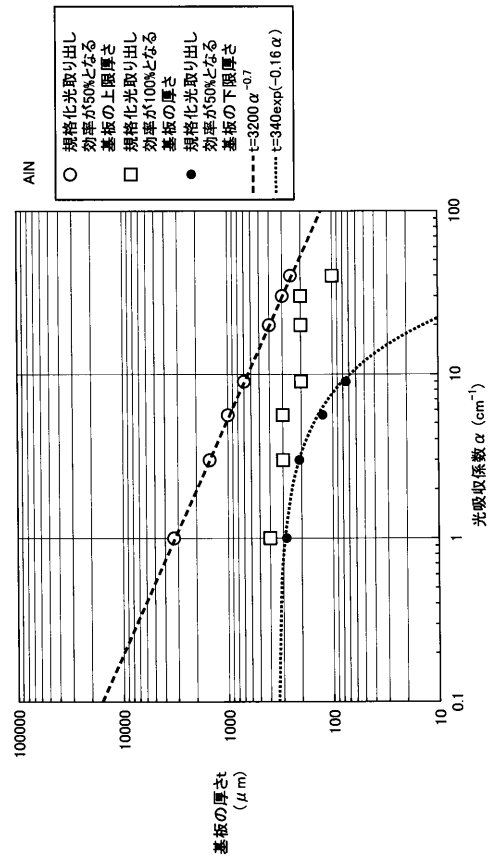
【 図 1 6 】

図 16



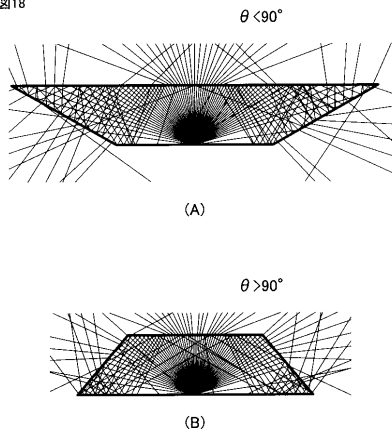
【 図 1 7 】

図 17



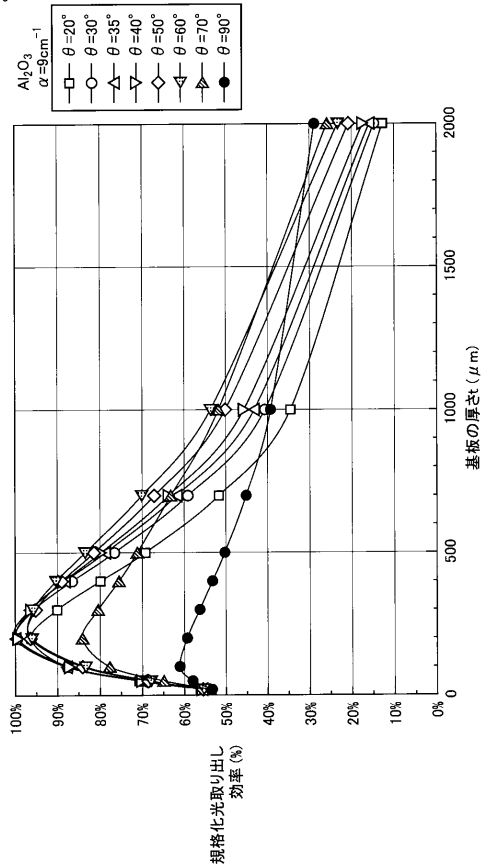
【 図 1 8 】

図 18

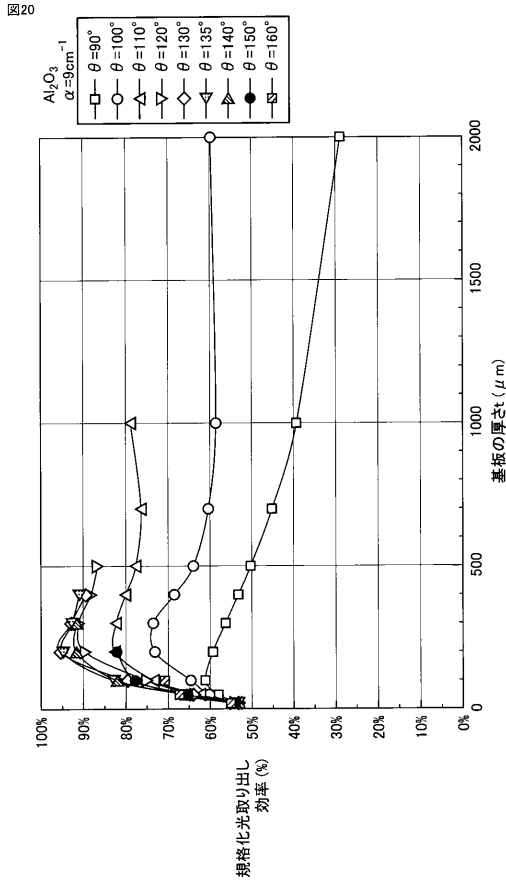


【 図 1 9 】

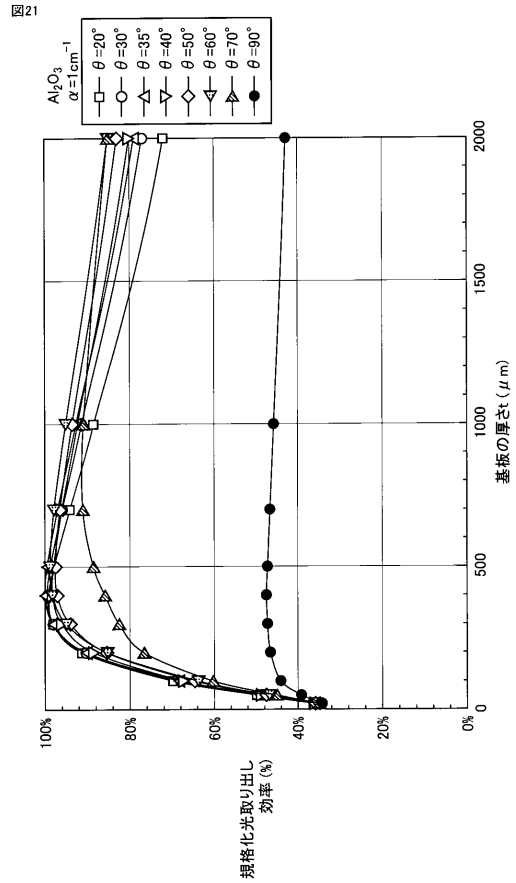
図 19



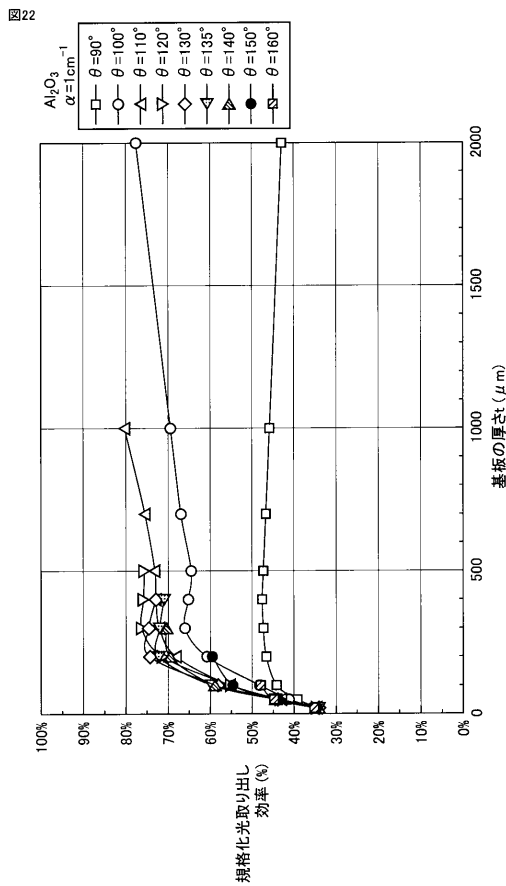
【 図 2 0 】



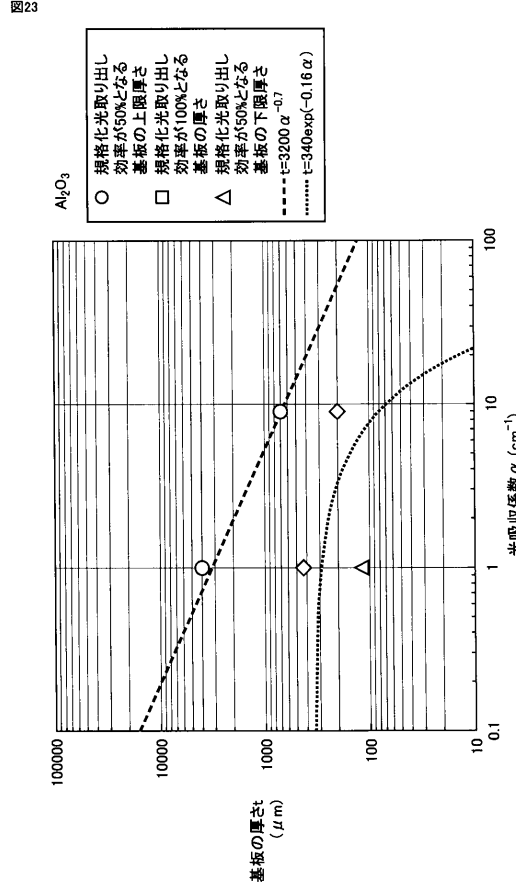
【 図 2 1 】



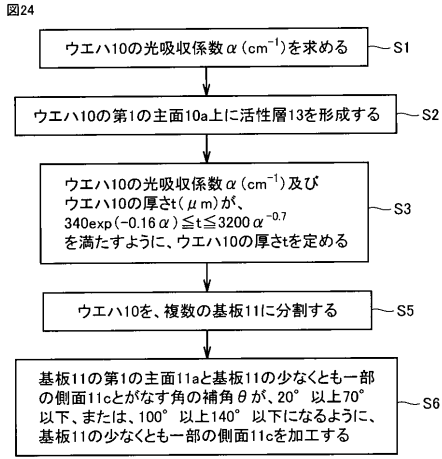
【 図 2 2 】



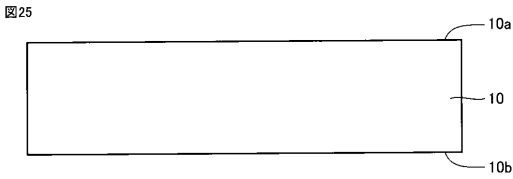
【 図 2 3 】



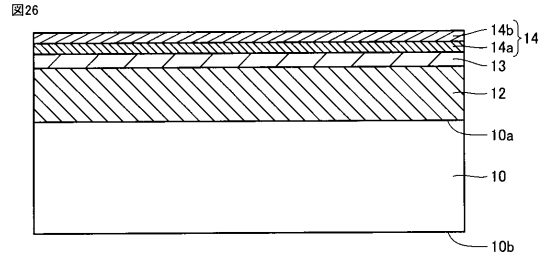
【 図 2 4 】



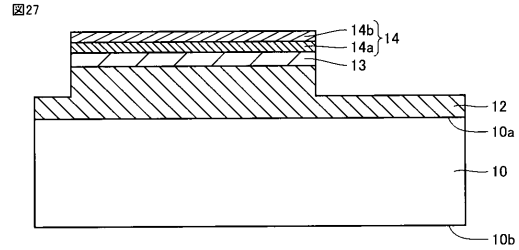
【 図 2 5 】



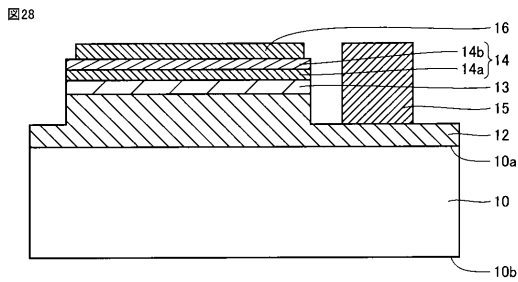
【 図 2 6 】



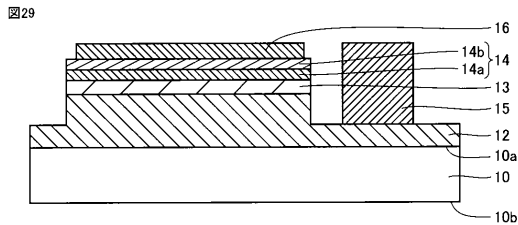
【 図 2 7 】



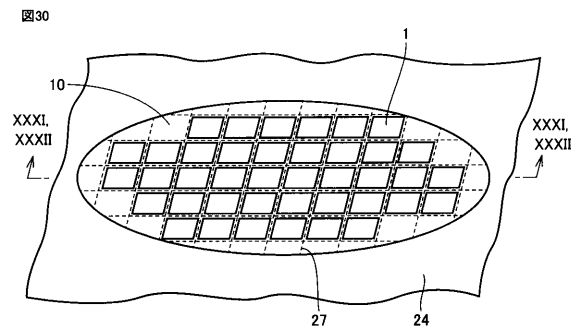
【 図 2 8 】



【 図 2 9 】

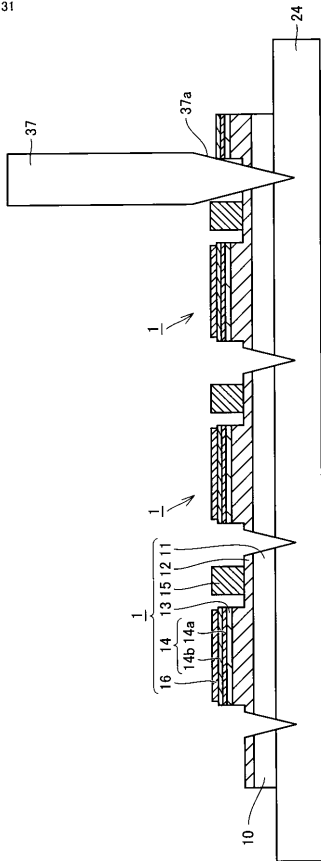


【 図 3 0 】



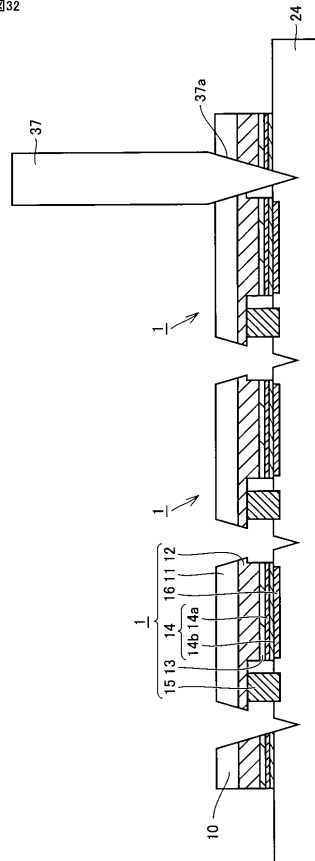
【 図 3 1 】

図31



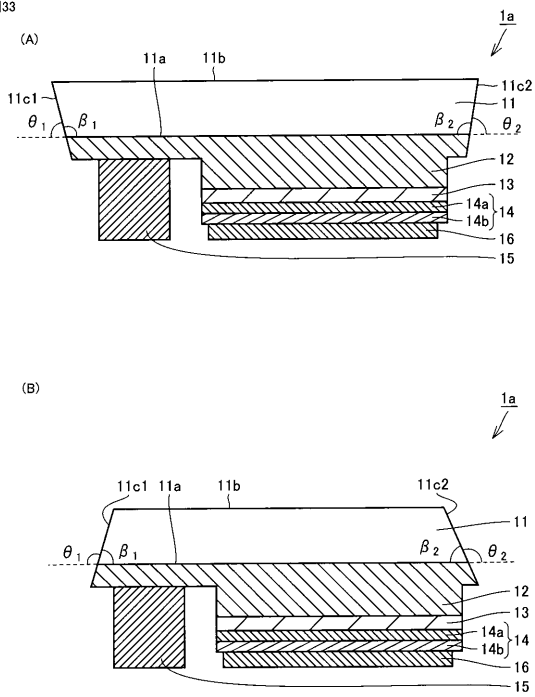
【 図 3 2 】

図32



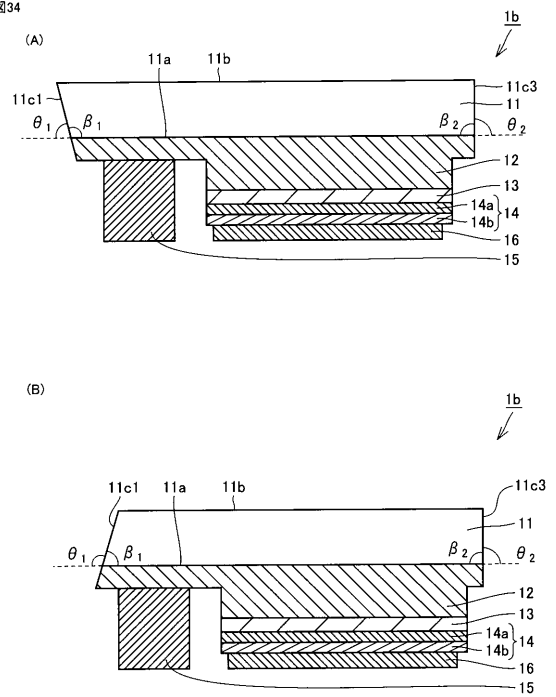
【 図 3 3 】

図33

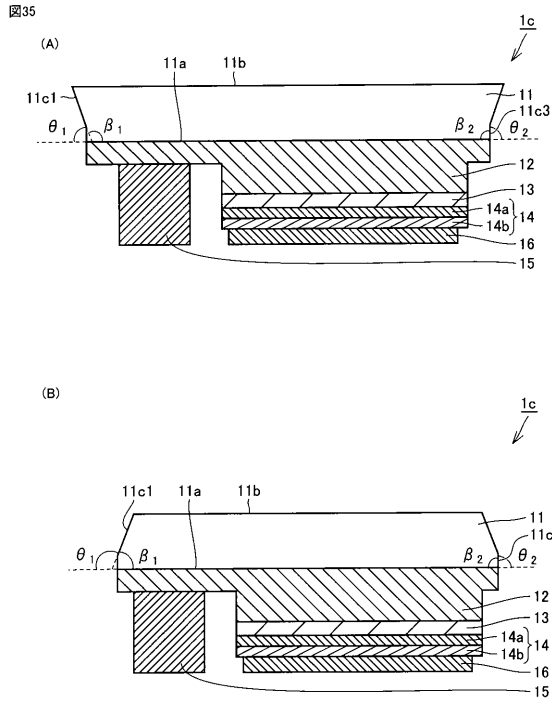


【 図 3 4 】

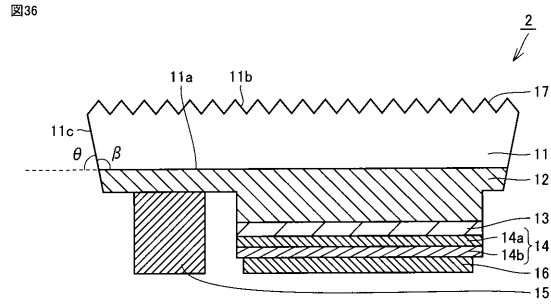
図34



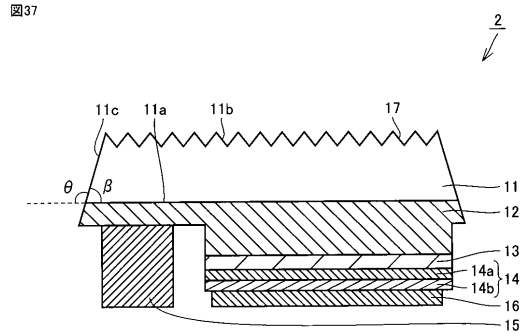
【図35】



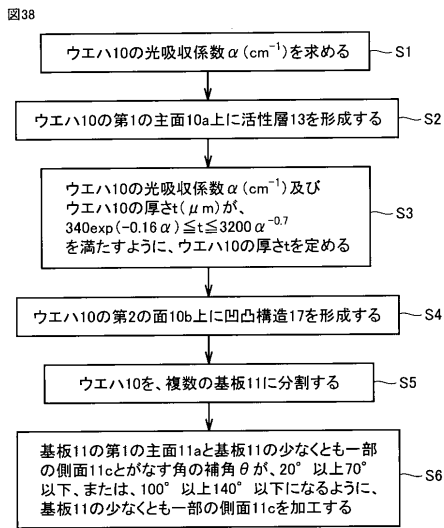
【図36】



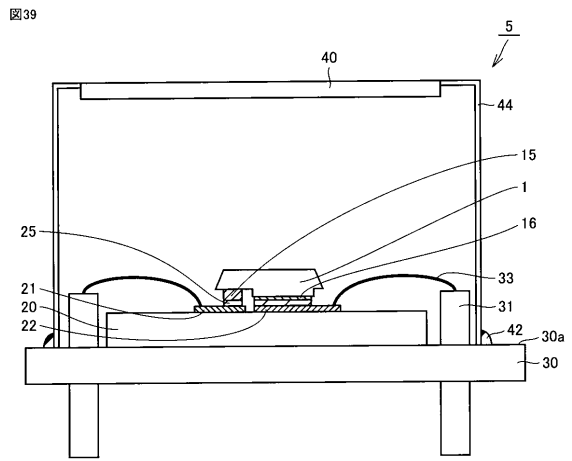
【図37】



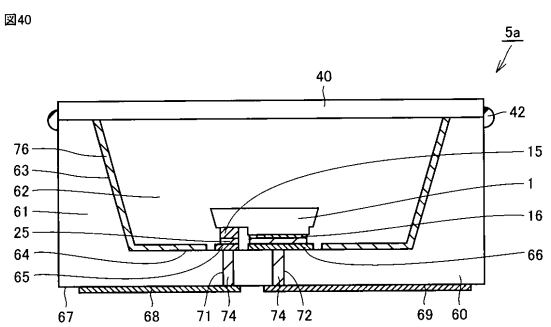
【図38】



【図39】

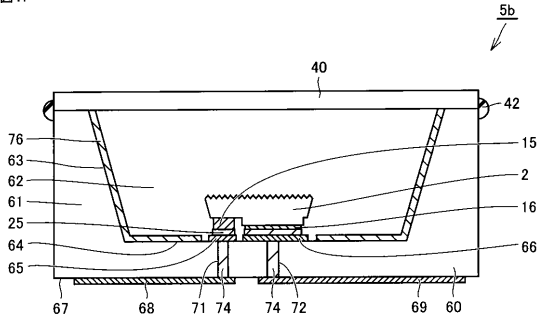


【図40】



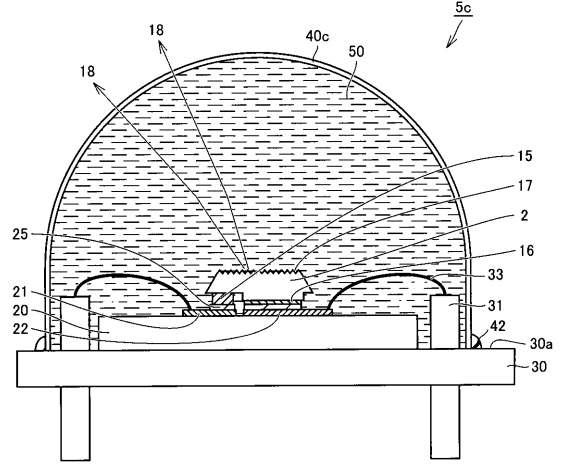
【 図 4 1 】

図41



【 図 4 2 】

図42



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F142 AA03 BA02 BA32 BA34 CA01 CA11 CA13 CB03 CC03 CC23
CC26 CC27 CD02 CD13 CD17 CD18 CD44 CD47 CE08 CE13
CF02 CF13 CG03 CG05 CG07 DB02 GA31
5F241 AA03 CA05 CA13 CA40 CA49 CA57 CA64 CA65 CA66 CA73
CA74 CA76 CB11 CB36