

(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2007-273975
(P2007-273975A)

(43) 公開日 平成19年10月18日(2007.10.18)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
 HO 1 L 33/00 (2006.01) HO 1 L 33/00 C 5 F O 4 1

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 32 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-59647 (P2007-59647) (22) 出願日 平成19年3月9日(2007.3.9) (31) 優先権主張番号 特願2006-65141 (P2006-65141) (32) 優先日 平成18年3月10日(2006.3.10) (33) 優先権主張国 日本国(JP)</p>	<p>(71) 出願人 000005832 松下電工株式会社 大阪府門真市大字門真1048番地 (74) 代理人 100067828 弁理士 小谷 悦司 (74) 代理人 100096150 弁理士 伊藤 孝夫 (74) 代理人 100099955 弁理士 樋口 次郎 (72) 発明者 福島 博司 大阪府門真市大字門真1048番地 松下 電工株式会社内 (72) 発明者 安田 正治 大阪府門真市大字門真1048番地 松下 電工株式会社内</p>
---	--

最終頁に続く

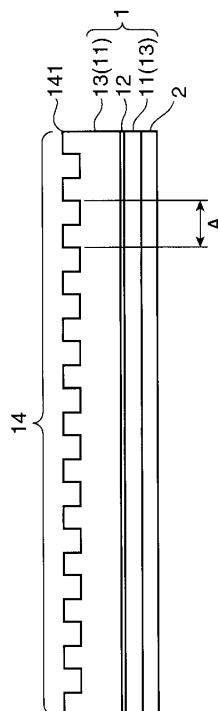
(54) 【発明の名称】 発光素子

(57) 【要約】

【課題】本発明は、光を効率良く外部に取り出すことが可能な発光素子及びその製造方法を提供する。

【解決手段】本発明の発光素子は、発光層12を含む半導体層1と、半導体層1の光取り出し面に、発光層12から放出された光の半導体層1中での波長よりも大きなピッチで形成された凹凸からなる凹凸部14と、光取り出し面とは反対面に形成され、反射率が90%以上である反射層とを備える。このような構成の発光素子では、反射層と凹凸部との相乗効果によって効率良く光が取り出される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発光層を含む半導体層と、
前記半導体層の光が取り出される側の面の全域あるいは一部に、前記発光層から放出された光の半導体層中での波長よりも大きなピッチで形成された凹凸からなる凹凸部と、
前記光が取り出される側の面とは反対側の前記半導体層の面に形成され、反射率が 90% 以上である反射層とを備えること
を特徴とする発光素子。

【請求項 2】

前記凹凸部の凹凸は、周期的又はランダムに形成されていること
を特徴とする請求項 1 記載の発光素子。

10

【請求項 3】

前記凹凸部は、レンズ作用を有する形状が付与されていること
を特徴とする請求項 1 記載の発光素子。

【請求項 4】

前記レンズ作用を有する形状は、フレネルレンズ形状であること
を特徴とする請求項 3 記載の発光素子。

【請求項 5】

前記半導体層は、GaN系の材料から構成され、
前記反射層は、銀を主成分とする合金から構成されること
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

20

【請求項 6】

前記反射層は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化物層と、前記導電性酸化物層の上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化物層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されること
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 7】

前記反射層は、DBRから構成されること
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに 1 項に記載の発光素子。

30

【請求項 8】

前記反射層は、アルミニウム、銀又は銀を主成分とする銀合金の金属層と、前記金属層の上に積層されたDBRとから構成されること
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 9】

前記DBRは、前記発光層から放出された光のうち、光束強度の大きな範囲で、透過率の低い角度範囲の光の前記反射層での反射率が増大するように、前記DBRを構成する各層の厚みが定められていること
を特徴とする請求項 8 に記載の発光素子。

【請求項 10】

前記反射層は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化物層と、前記導電性酸化物層の上に積層されたDBRと、前記DBRの上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化物層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されること
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

40

【請求項 11】

前記DBRは、メッシュ状又は島状に形成されていること
を特徴とする請求項 10 に記載の発光素子。

【請求項 12】

50

前記反射層は、フォトリソグラフィから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 13】

前記凹凸部の底部を含む面と、前記凹凸部に対して反対側の前記半導体層の面との距離は、前記発光層から放出された光の前記半導体層での波長の数倍以内であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 14】

前記反射層は、p 型電極とされ、前記半導体層の面に形成され、反射率が 80% 以上であって前記 p 型電極と組となる n 型電極をさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 13 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

10

【請求項 15】

前記 n 型電極は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化層と、前記導電性酸化層の上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されることを特徴とする請求項 14 に記載の発光素子。

【請求項 16】

前記 n 型電極は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化層と、前記導電性酸化層の上に積層された DBR と、前記 DBR の上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されることを特徴とする請求項 14 に記載の発光素子。

20

【請求項 17】

前記 DBR は、メッシュ状又は島状に形成されていることを特徴とする請求項 16 に記載の発光素子。

【請求項 18】

前記半導体層の光が取り出される側の面に形成され、前記半導体層で発光される光の波長を変換して放射する波長変換層をさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 17 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

30

【請求項 19】

発光層を含む半導体層と、前記半導体層の光が取り出される側の面の全面あるいは一部に、前記発光層から放出された光の半導体層中での波長よりも大きなピッチで形成された凹凸からなる凹凸部と、前記光が取り出される側の面とは反対側の前記半導体層の面に形成され、反射率が 90% 以上である反射層とを備える半導体素子の製造方法であって、前記半導体層の屈折率と実質的に同一の材料を蒸着することで前記凹凸部を形成することを特徴とする発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体から構成される発光素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、III-V 化合物（以下、ナイトライドと呼ぶ）または II-VI 化合物を用いて、その中に量子井戸を形成し、外部から電流を流して、この量子井戸で電子と正孔とを結合させて光を発生する発光素子の発展が目覚ましい。

【0003】

III-V 化合物として最もよく用いられている物質は、前記ナイトライドの GaN で

50

ある。このGaNを始めとして、ナイトライドの屈折率は、1より大きいため、発光素子内から大気中へ光を取り出すことに課題がある。GaNの場合を例にとると、屈折率が約2.5であるため、GaNと大気との境界の法線に対して、所定角度（例えば23.6度）より大きい角度で境界に入射された光は、大気中に放射されず、境界面で全反射され、発光素子におけるGaN層の中へ閉じ込められてしまう。以下、この法線に対して所定角度より小さい角度の領域に形成された円錐領域が脱出円錐（エスケープコーン）と呼称される。

【0004】

そして、このGaN層中に閉じ込められた光の大部分は、結晶や電極材料に再吸収されて熱に変化してしまい外部に取り出されない。このため、平坦なGaN層では、光取り出し効率が向上されないという問題がある。

10

【0005】

そこで、このような問題に対して、特許文献1では、図34に示すように、発光素子から光が放射される光取り出し面に、ピッチ2~4μm、深さ $\cdot(2n+1)/4$ ($n=1, 2, \dots$)の矩形の凹凸を形成する技術が開示されている。この技術によれば、凹部と凸部とでそれぞれ反射される光が互いの位相の $\pi/2$ だけ異なることによって打ち消され、これによって光取り出し面で反射される光が低減し、結果的に光取り出し効率を向上させることが可能となる。

【0006】

また、特許文献2には、図35に示すように、LEDの任意の界面に周期的な規則的界面ストラクチャーを形成し、光取り出し効率を向上させる技術が開示されている。この技術によると、全反射角以上の角度で入射した光の光取り出し効率が向上し、形状によっては、このストラクチャーがない場合に比べて2倍以上の光取り出し効率を得ることが可能となる。

20

【0007】

ここで、通常の場合表面形状がない場合、発光層が含まれる部分の屈折率 n_1 と、外部の屈折率を n_2 とすると、一つの界面又は表面から取り出される光取り出し効率は、脱出円錐の立体角を考慮すると、 $n_2^2/4 \cdot n_1^2$ で与えられることが知られている。従って、半導体層がGaNであって外部が空気である場合では、 $n_1=2.5$ 、 $n_2=1$ であることから、取り出し効率は、4%と算出される。なお、底面以外のすべての面から光が取り出され、上面だけに前記ストラクチャーが形成され、約2倍の取り出し効率が得られるとすると、計算上、光取り出し効率 $=4 \times 4$ (側面) $+ 4 \times 2$ (上面は凹凸構造で2倍) $= 24\%$ の取り出し効率が得られることになる。

30

【0008】

また、非特許文献1には、図36に示すように、半導体LEDの表面にランダムなテクスチャーを形成する又は粗仕上げを施す技術が開示されている。この技術によれば、表面に形成されたランダムなテクスチャーによって、素子内の光線の角度分布がランダム化され、素子構造による多重パス後に、光が脱出する確率が高くなる結果、光取り出し効率を向上させることが可能となる。なお、図36におけるハッチの層は、活性層である。

【特許文献1】特開平07-202257号公報

40

【特許文献2】特開平10-4209号公報

【非特許文献1】Schnitzer, et al. In Applied Physics Letters 63,2174(1993)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献1、2の手法では、全反射角以上の角度で入射した光は、GaNから取り出されないため、光取り出し効率を向上させるためには一定の限界がある。また、表面に凹凸が形成されているため、平滑面に比べれば一つの点光源から取り出される光の入射角は、広がるが、本来取り出される角度における光取り出し効率が減少し、高々2倍程度の光取り出し効率の向上しか得られない。

50

【0010】

また、特許文献2には、共振器構造を採用することによって、発光する光の配光を脱出円錐内に限定し、光取り出し効率を向上する方法についても開示されている。しかしながら、この方法では、共振器構造を採るため、共振器長(半導体層の膜厚)の精度が要求され、歩留まりを向上することが困難となる。また、共振器構造では、原理的にすべての発光を脱出円錐内へ制御することができるわけではなく、光取り出し効率の向上も約50%が限界である。

【0011】

また、非特許文献1の技術では、多重パスを取る光線は、脱出するまでに、電極等の反射層における吸収によって、強度が大幅に低下してしまう。また、仮に反射層の反射率を向上したとしても、図36から分かるように、ピッチのみではなく、形状までもランダムな場合は、却って光取り出し効率が低下する場合があります。光取り出し効率が向上しない。本発明者らが多結晶シリコンのウェットエッチングによって得られるランダムな粗面形状を光取り出し面に転写再現することによって、本事実、実験により確認されている。

10

【0012】

本発明は、上述の事情に鑑みて為された発明であり、その目的は、光を効率良く外部に取り出すことが可能な半導体発光素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明者は、種々検討した結果、上記目的は、以下の本発明により達成されることを見出した。即ち、本発明の一態様に係る発光素子は、発光層を含む半導体層と、前記半導体層の光が取り出される側の面の全域あるいは一部に、前記発光層から放出された光の半導体層中での波長よりも大きなピッチで形成された凹凸からなる凹凸部と、前記光が取り出される側の面とは反対側の前記半導体層の面に形成され、反射率が90%以上である反射層とを備えることを特徴とする。そして、好ましくは、凹凸部は、凹凸の断面形状が略相似形である。

20

【0014】

この構成によれば、発光層により放出された光のうち、脱出円錐外に放出された光は、凹凸部による角度変換作用を受けて光が取り出される側の面で反射されるため、半導体層内部で反射を繰り返すうちに、外部に取り出される。ここで、光が取り出される側の面に対して反対側の面には、反射率が90%以上の反射層が形成されている。そのため、反射層と凹凸部との相乗効果により、効率良く光を取り出すことができる。もちろん、この反射率は、反射層が半導体層の面に形成されるので、半導体層に対する反射層の反射率である。

30

【0015】

上述したように、本発明者は、光が取り出される側の面に凹凸部が形成されていない、すなわち、光が取り出される側の面が角度変換作用のない平滑な構造では、光が取り出される側の面と反対側の面に反射率が85%を超える高反射層が形成されたとしても、光取り出し効率がさほど向上しないのに較べて、光が取り出される側の面に凹凸部が形成され、かつ、光が取り出される側の面とは反対側の面に反射層が形成された場合、反射層の反射率が85%を超えたあたりから、光取り出し効率が急激に増大することを見出した。反射率が90%以上では、例えば、反射層の反射率を90%から95%と5%高くなるだけで、光取り出し効率は、20%以上向上する。そのため、光が取り出される側の面に凹凸を形成すると共に、光が取り出される面とは反対側の面に反射率が90%以上の反射層を形成することで、光取り出し率を大幅に向上させることができる。

40

【0016】

そして、上記発光素子において、前記凹凸部の凹凸は、周期的又はランダムに形成されていることを特徴とする。この構成によれば、凹凸部のピッチを、ランダムにした場合は、光が取り出される側の面において光は、様々な方向に反射され、多重反射後、脱出する確率が高まり、光取り出し効率をより向上させることができる。また、凹凸部のピッチを

50

周期的とした場合も、多重反射後、脱出する確率が高まり、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0017】

また、上述の発光素子において、前記凹凸部は、レンズ作用を有する形状が付与されていることを特徴とする。この構成によれば、凹凸部は、レンズ作用を有する形状が付与されているため、取り出される光の配光をレンズ作用によって制御することが可能となり、照明器具等に好適な発光素子を提供することができる。

【0018】

さらに、上記発光素子において、前記レンズ作用を有する形状は、フレネルレンズ形状であることを特徴とする。この構成によれば、凹凸部はフレネルレンズ形状を有しているため、凹凸部の厚みを厚くすることなく、焦点距離を制御することが可能となる。

10

【0019】

そして、これら上述の発光素子において、前記半導体層はGaN系の材料から構成され、前記反射層は、銀を主成分とする合金からなることを特徴とする。この構成によれば、反射層が、GaNに対して良好な電気伝導性を有する銀を主成分とする合金から構成されているため、光取り出し効率をより良くすることができる。

【0020】

また、これら上述の発光素子において、前記反射層は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化層と、前記導電性酸化層の上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されることを特徴とする。この構成によれば、反射層が白金層と導電性酸化層と金属層とから構成されているので、反射層が高反射率を有しかつ半導体層とオーミックコンタクトするから、光取り出し効率をより良くすることができる。

20

【0021】

さらに、これら上述の発光素子において、前記反射層は、DBRからなることを特徴とする。この構成によれば、反射層はDBRにより構成されているため、反射層の反射率をより高くすることができる。

【0022】

そして、これら上述の発光素子において、前記反射層は、アルミニウム、銀、又は銀を主成分とする金属層と、前記金属層の上に積層されたDBRとから構成されることを特徴とする。この構成によれば、DBRの入射角と反射率との関係を示す反射率特性と、アルミニウム、銀、又は銀合金の反射率特性との両方を合成した反射率特性を有する反射層を実現することができ、光取り出し効率をより高めることができる。すなわち、DBRでの反射率が低く、DBRを透過する入射角の光に対しては、アルミニウム、銀、又は銀合金により反射され、アルミニウム、銀、又は銀合金での反射率が低い入射角の光に対しては、DBRにより反射されることとなり、光取り出し効率が高まることとなる。

30

【0023】

また、上記発光素子において、前記DBRは、前記発光層から放出された光のうち、光束強度の大きな範囲で、透過率の低い角度範囲の光の前記反射層での反射率が增大するように、前記DBRを構成する各層の厚みが定められていることを特徴とする。この構成によれば、光束強度の大きな範囲で、透過率の低い角度範囲で入射する光の反射層での反射率が增大されるため、当該入射角の光が反射層にて多く反射される結果、当該入射角の光の光取り出し効率を向上させることができる。

40

【0024】

さらに、これら上述の発光素子において、前記反射層は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化層と、前記導電性酸化層の上に積層されたDBRと、前記DBRの上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されることを特徴とする。この構成によれ

50

ば、反射層が白金層と導電性酸化物層とDBRと金属層とから構成されているので、反射層がより高い反射率を有しかつ半導体層とオーミックコンタクトするから、光取り出し効率をさらにより良くすることができる。

【0025】

そして、上記発光素子において、前記DBRは、メッシュ状又は島状に形成されていることを特徴とする。この構成によれば、DBRが上面視にてメッシュ状又は島状に形成されているので、DBRの導電性が低い場合でも導電性酸化物層と金属層との間における電気伝導を確保することができる。

【0026】

また、これら上述の発光素子において、前記反射層は、フォトリソグラフィから構成されていることを特徴とする。この構成によれば、反射層がフォトリソグラフィから構成されているため、どのような入射角の光に対しても高い反射率を有する反射層を提供することができる。

10

【0027】

さらに、これら上述の発光素子において、前記凹凸部の底部を含む面と、前記凹凸部に対して反対側の前記半導体層の面との距離は、前記発光層から放出された光の前記半導体層での波長の数倍以内であることを特徴とする。この構成によれば、光が取り出される側の面の法線方向に対して大きな角度、例えば90度に近い角度や、横方向に放射し、本来光が取り出される側の面に到達しない光も、凹凸部による角度変換作用を受けることになり、光取り出し効率をより高めることができる。

20

【0028】

そして、これら上述の発光素子において、前記反射層は、p型電極とされ、前記半導体層の面に形成され、反射率が80%以上であって前記p型電極と組となるn型電極をさらに備えることを特徴とする。この構成によれば、反射層のp型電極と組となるn型電極も反射率が80%以上であるので、発光素子の平均反射率が向上され、光取り出し効率をより良くすることができる。

【0029】

また、これら上述の発光素子において、前記n型電極は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化物層と、前記導電性酸化物層の上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化物層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されることを特徴とする。この構成によれば、n型電極が白金層と導電性酸化物層と金属層とから構成されているので、n型電極が高い反射率を有しかつ半導体層とオーミックコンタクトするから、光取り出し効率をより良くすることができる。

30

【0030】

さらに、上記発光素子において、前記n型電極は、前記半導体層の面に形成された導電性酸化物層と、前記導電性酸化物層の上に積層されたDBRと、前記DBRの上に積層された銀、アルミニウム、銀を主成分とする銀合金又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金の金属層と、前記半導体層と前記導電性酸化物層との間に介在されメッシュ状又は島状に形成された白金層とから構成されることを特徴とする。この構成によれば、n型電極が白金層と導電性酸化物層とDBRと金属層とから構成されているので、n型電極がより高い反射率を有しかつ半導体層とオーミックコンタクトするから、光取り出し効率をさらにより良くすることができる。

40

【0031】

そして、上記発光素子において、前記DBRは、メッシュ状又は島状に形成されていることを特徴とする。この構成によれば、DBRが上面視にてメッシュ状又は島状に形成されているので、DBRの導電性が低い場合でも導電性酸化物層と金属層との間における電気伝導を確保することができる。

【0032】

また、これら上述の発光素子において、前記半導体層の光が取り出される側の面に形成

50

され、前記半導体層で発光される光の波長を変換して放射する波長変換層をさらに備えることを特徴とする。この構成によれば、波長変換層をさらに備えるので、半導体層で発光される色の光だけでなく、他の色の光も放射することができる。特に、半導体層が青色の光を放出すると共に、波長変換層が青色の光を緑色及び赤色の光に変換することによって、白色の光を放射することができる。

【0033】

本発明の他の一態様に係る発光素子の製造方法は、発光層を含む半導体層と、前記半導体層の光が取り出される側の面の全面あるいは一部に、前記発光層から放出された光の半導体層中での波長よりも大きなピッチで周期的に形成された凹凸からなる凹凸部と、前記光が取り出される側の面とは反対側の前記半導体層の面に形成され、反射率が90%以上である反射層とを備える半導体素子の製造方法であって、前記半導体層の屈折率と実質的に同一の材料を蒸着することで前記凹凸部を形成することを特徴とする。

10

【0034】

この構成によれば、高価なエッチング装置を用いることなく発光素子を製造することが可能となり、光取り出し効率の高い発光素子を低コストで製造することができる。

【発明の効果】

【0035】

本発明によれば、半導体層の光が取り出される側の面に凹凸部を形成し、かつ、光が取り出される側の面と反対側の半導体層の面に反射率が90%以上の反射層を形成したため、効率よく光を取り出すことができる。そして、本発明による発光素子は、LEDのみならず、例えば、レーザダイオード、有機EL、無機EL等にも適用することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下、本発明に係る実施の一形態を図面に基づいて説明する。なお、各図において同一の符号を付した構成は、同一の構成であることを示し、その説明を省略する。

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1による発光素子の構造を示す断面図であり、図2は、その上面図である。図2において、図1の切断面は、参照符号I-Iで示されている。図1は、1チップ分の断面であり、1チップのサイズは、例えば、0.3~1mm角である。図2は、図1の一部正面図を示している。

30

【0037】

図1に示すように発光素子は、GaN系の材料から構成された半導体層1と、半導体層1の下面に形成された反射層2とを備えている。半導体層1は、反射層2の上面に形成されたp型半導体層11と、p型半導体層11の上面に形成された発光層12と、発光層12の上面に形成されたn型半導体層13とを備えている。

【0038】

n型半導体層13の上面には、凸部141が一定の間隔A(周期A)で形成されている。間隔Aは、発光層12から放出される光の半導体層1内での波長より長い。具体的には、発光層12から放出される光の波長を λ 、半導体層1の屈折率をnとすると、間隔Aは、 $A = \lambda / n$ である。図1に示す例では、光が取り出される側の面は、n型半導体層13の上面である。なお、光取り出し効率を向上させる観点から、凸部141における凹凸の断面形状が略相似形であることが好ましい。

40

【0039】

図2に示すように、凸部141は、上面視からの形状が円形である。すなわち、凸部141は、それぞれ、高さが同一、かつ、半径が同一の円筒形状を有している。

【0040】

反射層2は、発光層12で発光される光の波長に対して、90%以上の反射率を有する金属等の部材から構成されている。なお、この種の発光素子は、当業者には公知のMOCVD法を用いて容易に製造することができる。

【0041】

50

図3は、凹凸部14の効果を示す図であり、図3(a)は、凹凸部14が形成されていない発光素子を示し、図3(b)は、凹凸部14が形成された発光素子を示し、図3(c)は、凹凸部14の凸部141の間隔Aを光の波長の10倍以上に設定した場合を示している。図3(a)に示すように、半導体層1の上面(光が取り出される側の面)S1に凹凸部14が形成されていない場合、すなわち、半導体層1の上面が平坦面である場合、発光層12から放出された光のうち、脱出円錐外の方向に放出された光L1は、半導体層1の上面S1から取り出されず、正反射され、半導体層1の下面S2へと導かれ、下面S2において正反射されるというように、半導体層1内で正反射が繰り返され、永久に脱出円錐内に入ることにはない。そのため、光取り出し効率が低くなる。

【0042】

一方、図3(b)に示すように、上面S1の表面に、発光層12から放出される光の波長よりも大きな間隔Aを有する凹凸部14を形成すると、凹凸部14から取り出されずに反射された光L1は、凹凸部14によって、回折、散乱の影響を受け、上面S1に対して正反射以外の方向に反射されることになる(角度変換作用)。これにより、発光当初、脱出円錐外の方向に放出された光も、多重反射を繰り返すことにより、やがて脱出し、凹凸部14から取り出される。

【0043】

更に、図3(c)に示すように、凹凸部14の間隔Aを発光層12から放出される光の波長の10倍以上にした場合、半導体層1を微視的にみると、脱出円錐外に放出された光L2は、点Pにおいて正反射されているが、半導体層1を巨視的にみると、光L2は、凹凸部14が形成された上面S1に対して正反射とは大きく異なる方向に反射され、凹凸部14による角度変換作用が大きくなることが分かる。

【0044】

図4は、凹凸部14と反射層2とを組み合わせることによる効果を示すグラフである。図4に示すグラフにおいて、縦軸は、光取り出し効率を示し、横軸は、反射層の反射率を示している。また、白丸がプロットされたグラフC1は、半導体層1の上面S1に凹凸部14が形成された半導体層1と反射層2とを備える実施の形態1による発光素子を示し、黒四角がプロットされたグラフC2は、上面S1に凹凸部14が形成されていない平面状の半導体層と反射層とを備える発光素子を示している。また、このグラフにおいて、凹凸部14の間隔Aが350nm、凸部141の直径が245nm、凸部141の高さが100nmの発光素子が用いられている。

【0045】

グラフC1に示すように、実施の形態1による発光素子では、反射層2の反射率が0~85%までは、光取り出し効率が緩やかに増大しているが、反射層2の反射率が85%以上になると、光取り出し効率が急激に増大していることが分かる。特に、反射層2の反射率が90%以上の領域では、反射層2の反射率が5%増大すると、光取り出し効率が約20%も上昇していることが分かる。以上のことから、反射層2の反射率は、85%以上が好ましく、より好ましくは90%~100%、更に好ましくは95%~100%であることが分かる。

【0046】

一方、グラフC2に示すように、凹凸部14を備えていない発光素子では、反射層2の反射率が増大するにつれて、光取り出し効率は、線形に増大しているものの、その増大率は、グラフC1の反射率が0~85%の領域の増大率よりも著しく低く、また、反射層2の反射率が100%となっても、光取り出し効率は、10%に満たない。そのため、反射層2を設けても、凹凸部14を設けていなければ、光取り出し効率は、ほとんど向上されないことが分かる。従って、実施の形態1による発光素子では、凹凸部14と反射層2とを組み合わせることによる相乗効果により、光取り出し効率を大幅に向上させることができる。

【0047】

以上、説明したように、実施の形態1による発光素子によれば、上記実験事実によって

10

20

30

40

50

半導体層 1 の上面 S 1 に凹凸部 1 4 を形成すると共に、下面 S 2 に反射率が 90% 以上の反射層 2 を形成したため、光取り出し効率を向上させることができる。

【0048】

なお、上述の実施の形態 1 では、半導体層 1 は、反射層 2 の上面に形成された p 型半導体層 1 1 と、p 型半導体層 1 1 の上面に形成された発光層 1 2 と、発光層 1 2 の上面に形成された n 型半導体層 1 3 とを備え、n 型半導体層 1 3 の上面に凸部 1 4 1 が一定の間隔 A で形成されたが、半導体層 1 は、反射層 2 の上面に形成された n 型半導体層 1 3 と、この n 型半導体層 1 3 の上面に形成された発光層 1 2 と、この発光層 1 2 の上面に形成された p 型半導体層 1 1 とを備え、p 型半導体層 1 1 の上面に凸部 1 4 1 が一定の間隔で形成されてもよい。n 型半導体層 1 3 と p 型半導体層 1 1 とは、以下の実施の形態においても同様に、積層位置を相互に交換可能である。

10

【0049】

(実施の形態 2)

次に、実施の形態 2 による発光素子について説明する。実施の形態 2 による発光素子は、実施の形態 1 による発光素子に対して凹凸部 1 4 の構造が異なることを特徴としている。

【0050】

図 5 は、実施の形態 2 による発光素子の凹凸部 1 4 を斜め上方視から拡大して示した図である。なお、実施の形態 2 による発光素子は、実施の形態 1 による発光素子に対し、凹凸部 1 4 以外の構造は、同一であるため、その説明を省略する。

20

【0051】

図 5 に示すように、凸部 1 4 1 は、六角錐の形状を有している。また、凸部 1 4 1 は、間隔 A が、発光層 1 2 から放出される光の波長の半導体層 1 内での波長の数倍（例えば 2 倍、5 倍、10 倍等）を中心として、前記波長を下回らない所定範囲内でランダムにバラツキを持たせて配列されている。例えば、半導体層 1 が GaN 系の材料から構成される場合、屈折率は、約 2.5 であるため、発光層 1 2 から波長が 460 nm の光が放出されるとすると、放出された光の半導体層 1 内における波長は、184 (= 460 / 2.5) nm となる。従って、数百（例えば 500）nm を中心として、184 nm を下回らない範囲内においてランダムに一定のバラツキを持たせた間隔 A で凸部 1 4 1 が配列されると、凹凸部 1 4 から取り出されなかった光は、正反射以外の角度で、しかも一定のバラツキを持った角度で反射されるため、多重反射後に脱出して凹凸部 1 4 から取り出される確率をより高くすることができる。

30

【0052】

なお、間隔 A がランダムとなるような凸部 1 4 1 は、KOH 溶液（水酸化カリウム溶液）を用いて、光照射しつつエッチングする光アシストエッチングにより、マスクレスで簡易、かつ、低コストで製造可能となる。なお、凸部 1 4 1 の形状としては、製造の容易性の観点から六角錐が採用されたが、これに限定されず、半導体層 1 として採用された材料の特性に応じて、製造容易な形状、例えば四角錐、三角錐、円錐等が採用されてもよい。

【0053】

以上説明したように、実施の形態 2 による発光素子によれば、間隔 A がランダムとなるように、半導体層 1 の上面 S 1 に凸部 1 4 1 が形成されたため、凹凸部 1 4 から取り出されなかった光が、種々の角度で反射されるため、光取り出し効率をより高めることができる。

40

【0054】

(実施の形態 3)

次に、実施の形態 3 による発光素子について説明する。図 6 は、実施の形態 3 による発光素子の構造を示す断面図である。図 6 に示すように、実施の形態 3 による発光素子は、半導体層 1 の上面 S 1 の形状を、レンズ作用を有する形状にしたことを特徴とする。レンズ作用とは、凸レンズまたは凹レンズのように集光または発散する作用である。なお、実施の形態 3 において、実施の形態 1、2 と同一のものは同一の符号を付し、その説明を省

50

略する。より具体的には、図6に示す例では、凹凸部14aを構成する各凸部141aの形状が凸レンズ状にされていることを特徴としている。また、凸部141aの間隔Aは、実施の形態1と同様、発光層12から放出される光の波長を、半導体層1の屈折率をnとすると、 $A = \lambda / n$ である。

【0055】

このように、凸部141aの形状を凸レンズ状にすることによって、凹凸部14aから取り出される光の配光を制御することが可能となり、照明器具の発光素子として好適な発光素子の提供が可能となる。なお、凸部141aの形状は、凸レンズ状に限定されず、凹凸部14aから取り出される光の配光をどのように制御したいかに応じて適宜に変更される。

10

【0056】

例えば、凸部141aの形状は、図6に示す凸レンズ状に代えて、図7に示すようにフレネルレンズ形状にされてもよい。図7は、凸部141aをフレネルレンズ形状にした場合の凸部141aの上面図を示している。図8は、図7に示す凸部141aを参照符号VIIII-VIIIIで示す線で切断した場合における発光素子の断面図を示している。

【0057】

ここで、図8で示すフレネルレンズを構成する小レンズ部142aは、図9(a)に示すように半径の異なる複数の微細な円筒状の凸部143aからなるサブ波長回折格子によって構成されてもよい。図9(a)は、サブ波長回折格子の詳細な構造を示す図であり、図9(b)は、(a)の上面図であり、(c)は、(b)の領域D1の拡大図である。

20

【0058】

図9(b)に示すように、凸部143aの半径は、小レンズ部142a表面の水平面に対する傾きに応じて変更されている。より具体的には、小レンズ部142a表面の傾きが緩やかにつれて半径が大きくなるように凸部143aの半径が定められている。凸部143aの半径は、発光層12から放出される光の半導体層1内での波長よりも小さい。このように、図8に示すフレネルレンズを図9(a)~(c)に示すサブ波長回折格子により構成しても、フレネルレンズと同一の作用を奏することができる。

【0059】

また、図7に示す凸部141aは、図10に示すようにゾーンプレートによって構成されてもよい。なお、実施の形態3に示す凹凸部14aは、公知のサーマルリフロー法やナノプリント法を用いることによって容易に実現することができる。

30

【0060】

以上説明したように、実施の形態3による発光素子によれば、凸部141aがレンズ作用を有する形状とされたため、照明機器に好適な発光素子が提供可能となる。また、凸部141aがフレネルレンズ形状、サブ波長回折格子形状、ゾーンプレート形状とされることによって、凸部141aの厚さが厚くなることなく、凸部141aを透過する光の焦点距離が制御可能となる。

【0061】

(実施の形態4)

次に、実施の形態4による発光素子について説明する。実施の形態4による発光素子は、実施の形態1~3の発光素子の反射層2を構成する部材として銀を主成分とする合金(銀合金)を採用したことを特徴とする。特に、実施の形態4では、反射層2として、AgPdCu系銀合金を採用している。反射率を高めるという観点から反射層2としてAgを採用することが好ましい。しかしながら、Agは、GaNとの電気伝導性が良くなく、酸化もされやすいため、GaNとの電気伝導性が良く酸化もされにくい銀合金を採用することがより好ましい。

40

【0062】

以上説明したように、実施の形態4による発光素子によれば、反射層2として銀合金を採用したため、反射層2が高反射率を有し、かつGaNとの電気伝導性も良好となり、光取り出し効率の高い発光素子が提供可能となる。

50

【0063】

(実施の形態5)

次に、実施の形態5による発光素子について説明する。図11は、実施の形態5による発光素子の構造を示す断面図である。図11に示すように、実施の形態5による発光素子は、実施の形態1~4の発光素子の反射層2として、白金層21と、導電性酸化層22と、金属層23とから構成される反射層2aを採用したことを特徴としている。

【0064】

図11に示すように発光素子は、GaN系の材料から構成された半導体層1と、半導体層1の面上に形成された反射層2aとを備えている。

【0065】

半導体層1は、反射層2aの面上に形成されたp型半導体層11と、p型半導体層11の面上に形成された発光層12と、発光層12の面上に形成されたn型半導体層13とを備えている。n型半導体層13の面上には、凸部または凹部141が一定の間隔A(周期A)で形成されている。間隔Aは、発光層12から放出される光の半導体層1内での波長より長い。具体的には、発光層12から放出される光の波長を λ 、半導体層1の屈折率をnとすると、間隔Aは、 $A = \lambda / n$ である。図11に示す例では、光が取り出される側の面は、n型半導体層13の上表面である。

【0066】

反射層2aは、発光層12で発光される光の波長に対して、90%以上の反射率を有する層であり、本実施の形態では、白金層21と、導電性酸化層22と、金属層23とを備えている。

【0067】

白金層21は、上面視にてメッシュ状あるいは島状に形成された白金(Pt)から成る層であり、半導体層1におけるp型半導体層11の面上に形成される。島の形状は、例えば、上面視にて、例えば、楕円形(円形を含む。)および四角形や六角形等の多角形等である。白金層21は、p型半導体層11と導電性酸化層22との電気的な接続を確保するために形成される。

【0068】

導電性酸化層22は、例えばITO(Indium Tin Oxide)やZnO等の導電性を有し、発光層12で発光する光の波長に対して透明な金属酸化物から成る層である。導電性酸化層22は、白金層21がメッシュ状あるいは島状であるため、その一部が半導体層1のp型半導体層11に接触するように、白金層21の面上に形成される。言い換えれば、半導体層1のp型半導体層11と導電性酸化層22との間にメッシュ状又は島状の白金層21が介在するように、導電性酸化層22が半導体層1におけるp型半導体層11の面上に形成される。導電性酸化層22が半導体層1のp型半導体層11と金属層23との間に介在することによって、コンタクト抵抗が低下し、導電性、即ちキャリア注入効率が向上する。

【0069】

金属層23は、例えば、銀(Ag)、銀を主成分とする銀合金、アルミニウム(Al)又はアルミニウムを主成分とする合金(アルミニウム合金)等の金属(合金を含む)から成る層である。金属層23での高い反射率を維持するために、導電性酸化層22の半導体層1に接触する面積(開口率)は、80%以上が好ましい。

【0070】

このような反射層2aは、一実施例では、例えば、白金層21が1.5nm以下とされ、導電性酸化層22が5nm以下のITOとされ、金属層23が300nmの銀とされる。そして、図示しないが電極パッドとするために、銀の金属層23の下面に、下地層としての厚み30nmのニッケル(Ni)層と、厚み1000nmの金(Au)層とが形成される。

【0071】

以上説明したように、このような構成の発光素子によれば、白金層21と導電性酸化物

10

20

30

40

50

層 2 2 と金属層 2 3 とから成る反射層 2 a を採用したため、金属層 2 3 が高反射率を有し、かつ p 型半導体層 1 1 とオーミックコンタクトし、光取り出し効率の高い発光素子が提供可能となる。例えば、上記一実施例では、反射層 2 a が約 91.5% の反射率を示し、n 型半導体層 1 3 の上面に形成された凹凸部 1 4 との相乗効果によって、約 60% 以上の光取り出し効率が期待できる。

【0072】

なお、上述の実施形態において、より良好なオーミックコンタクトとするために、p 型半導体層 1 1 に例えばマグネシウム (Mg) 等の p 型ドーパントが添加されてもよい。

【0073】

(実施の形態 6)

次に、実施の形態 6 による発光素子について説明する。図 1 2 は、実施の形態 6 による発光素子の構造を示す断面図である。図 1 2 に示すように実施の形態 6 による発光素子は、実施の形態 1 ~ 4 の発光素子の反射層 2 として、DBR (distributed bragg reflector) から構成される反射層 2 b を採用したことを特徴としている。なお、実施の形態 6 において、実施の形態 1 ~ 4 と同一のものは同一の符号を付し、その説明を省略する。本実施の形態では、DBR は、発光層 1 2 から放出される光の半導体層 1 内における波長の 1/4 波長の厚みを持つ互いに屈折率の異なる層を複数層積み重ねて構成される反射鏡である。DBR では、光の干渉効果によるブラッグ反射によって各層での反射波が強め合うことで、高い反射率が得られる。本実施の形態では、AlGaIn/GaN の 1 ペア層が 50 ペア分積層された DBR を採用している。これにより、反射層 2 は、99% 以上の反射率を実現することができる。このような DBR は、例えば、電子ビーム (EB) の蒸着により形成可能である。

10

20

【0074】

DBR は、ほぼ 100% の反射率を実現することが可能であるが、公知の DBR では図 1 2 に示す AB 面の法線方向に入射する光、つまり、入射角 0 度で入射する光に対して、反射率が 100% となるように設計される。これは、DBR を構成する各層の層厚 d_1 が、入射する光の波長の 1/4 に設定されているからである。

【0075】

しかしながら、図 1 3 (a) に示すように発光層 1 2 から放出される光の配光分布は、入射角が 0 度から 90 度に近づくにつれて、光束が増大する。また、図 1 3 (b) に示すように凹凸部 1 4 の形状に応じて、入射角と凹凸部 1 4 からの透過率との関係も異なる。

30

【0076】

図 1 3 (a) は、発光層 1 2 から放出される光の配光分布を示したグラフであり、縦軸は、光束 (lm) の相対強度を示し、横軸は、角度 (deg) を示している。なお、角度は、発光層 1 2 から光の法線方向に対する角度を示している。図 1 3 (a) に示すように、発光層 1 2 から放出される光束は、角度が大きくなるにつれて増大していることが分かる。

【0077】

図 1 3 (b) は、凹凸部 1 4 の形状による透過特性を示したグラフであり、縦軸は、凹凸部 1 4 からの透過率 (光取り出し効率) を示し、横軸は、上面 S 1 への入射角を示している。また、図 1 3 (b) において、グラフ C 3 1 は、凹凸部 1 4 の断面形状を平面状にした場合を示し、グラフ C 3 2 は、凹凸部 1 4 の断面形状を三角波状にした場合を示し、グラフ C 3 3 は、凹凸部 1 4 の断面形状を正弦波状にした場合を示し、グラフ C 3 4 は、凹凸部 1 4 の断面形状を方形波状にした場合を示し、グラフ C 3 5 は、凹凸部 1 4 の形状を円状にした場合を示し、そして、グラフ C 3 6 は、凹凸部 1 4 の断面形状をすり鉢状にした場合を示している。

40

【0078】

図 1 3 (b) に示すように、凹凸部 1 4 の形状に応じて、光の透過特性が大きく異なることが分かる。ここで、一回の透過での光取り出し効率は、一般に、下式によって表される。

50

【0079】

光取り出し効率 = (透過率() × 配光分布()) d

そのため、凹凸部14から実際に外部に取り出される光量は、図13(a)に示すグラフと図13(b)に示すグラフC31~C36のいずれか1つのグラフとが重なった領域となる。

【0080】

例えば、図13(b)の方形波を示すグラフC34においては、光束強度が大きい範囲で透過率が低い角度である30度から90度の範囲内の中間の60度の角度に対して、DBRの反射率が99%以上になるようにDBRが設計されればよい。これは、図14に示すように、法線方向に対して角度(= 60度)の直線上における各層の長さが、発光層12から放出される光の半導体層1中での波長 λ の1/4となるように、DBRの層厚d1が設定されることによって実現される。これにより、30度から90度までの透過率が増大し、光取り出し効率を増大させることが可能となる。

10

【0081】

また、図13(b)の三角形波を示すグラフC32においては、透過率の低い70度あたりの光の反射率が99%以上になるようにDBRが設計されればよい。これは、図14に示すように、法線方向に対する角度(= 70度)の直線状における各層の長さが、発光層12から放出される光の半導体層1中での波長 λ の1/4となるように、DBRの層厚d1が設定されることによって実現される。なお、グラフC32において、角度40度付近の透過率も低いため、角度40度付近の光の反射率が高くなるようにDBRを設計することも考えられる。しかしながら、図13(a)に示すように、角度40度付近よりも角度70度付近の方が光束の値が大きいため、光取り出し効率を高めるためには、角度70度付近の反射率が高まるようにDBRが設計されることが好ましい。

20

【0082】

以上説明したように実施の形態6による発光素子によれば、反射層2bがDBRによって構成されたため、反射層2bの反射率が高められ、光取り出し効率がより高められる。また、凹凸部14の形状に応じて定まる透過特性において透過率が低い角度の光のDBRでの反射率が高まるようにDBRの層厚が設定されているため、一回で透過し得ない光の多重反射によるロスが低減され、光取り出し効率がより高められる。

【0083】

(実施の形態7)

次に、実施の形態7による発光素子について説明する。図15は、実施の形態7による発光素子の構造を示す断面図である。図15に示すように、実施の形態7による発光素子は、実施の形態1~4の発光素子の反射層2として、アルミニウム、銀又は銀合金からなる金属層23と、この金属層23の上に積層されたDBR24とによって構成される反射層2cを採用したことを特徴としている。この反射層2cにおけるDBR24の上に半導体層1が形成される。即ち、実施の形態7による発光素子は、実施の形態6による発光素子におけるDBRの下面にさらに金属層が積層された構成である。なお、実施の形態7において、実施の形態1~4と同一のものは、同一の符号を付し、その説明を省略する。

30

【0084】

図16は、銀又は銀合金(銀/銀合金)とDBRとの入射角と反射率との関係、及び、アルミニウム(A1)とDBRとの入射角と反射率との関係を示す反射率特性のグラフである。図16の縦軸は、反射率(%)を示し、横軸は入射角を示している。図16(a)において、実線は、銀又は銀合金の反射率特性を示し、一点鎖線は、アルミニウムの反射率特性を示し、そして、二点鎖線は、DBRの反射率特性を示している。図16(a)に示すように、銀又は銀合金の反射率及びアルミニウムの反射率は、入射角が0度から75度あたりまでは、DBRより低い、75度を越えたあたりからDBRより高くなる。なお、銀又は銀合金の反射率の方がアルミニウムの反射率よりも高い。

40

【0085】

従って、図15のように反射層2cが構成されれば、反射層2cは、図16(b)に示

50

すようなDBRの反射率特性と銀又は銀合金の反射率特性とが合成された反射率特性を有することになる。あるいは、図16(b)に示すようなDBRの反射率特性とアルミニウムの反射率特性とが合成された反射率特性を有することになる。

【0086】

その結果、全入射角に対して高い反射率を有する反射層2cを構成することが可能となる。なお、一般にDBRは、複数のペア層から構成されるが、特別な場合として、この高反射の金属層とDBRとを積層した反射層2cの場合では、DBRの層数は、1層でもよい。

【0087】

このような反射層2cにおける反射率の角度依存性についてシミュレーションを行った。図17は、シミュレーションに用いられた反射層2cの構造を示す図である。図18は、反射層2cにおける反射率の角度依存性を示すシミュレーション結果である。図18の縦軸は、強度反射率を示し、横軸は、GaNからDBRへの入射角度を示す。C41は、DBR24と銀の金属層23からなる反射層2cの場合における反射率を示し、C42は、DBRからなる反射層2bの場合における反射率を示す。

10

【0088】

図17に示すように、シミュレーションに用いられた反射層2cは、p型半導体層11としてのGaN層上にDBR24が積層され、DBR24上に厚み300nmの銀から成る金属層23が積層される。DBR24は、TiO₂とMgF₂とのペア層が15層積層され、さらに、TiO₂が積層されている。波長(=460nm)の1/4nとすべく、TiO₂は、その屈折率が2.24であり、その膜厚が51.34nmとされ、MgF₂は、その屈折率が1.38であり、その膜厚が83.33nmとされている。銀の複素屈折率は、0.055 - 3.32i(iは、虚数単位)である。

20

【0089】

図18から分かるように、反射層2がDBRから成る反射層2bである場合では、入射角が約17度から約50度までの範囲及び約60度から約90度までの範囲において、反射率の低下が見られる。一方、反射層2がDBRと銀の金属層から成る反射層2cである場合では、入射角が0度から90度の全範囲にわたってほとんど反射率の低下が見られず、約95%以上の反射率が保たれている。

【0090】

以上説明したように実施の形態7による発光素子によれば、反射層2cがDBR24と金属層23とによって構成されたため、各層が補い合って0度から90度までの広い範囲の入射角にわたって反射層2cの反射率が高められ、光取り出し効率がより高められる。

30

【0091】

(実施の形態8)

次に、実施の形態8による発光素子について説明する。図19は、実施の形態8による発光素子の構造を示す断面図である。図19に示すように、実施の形態8による発光素子は、実施の形態1~4の発光素子の反射層2として、白金層21と、導電性酸化物層22と、金属層23と、DBR24とから構成される反射層2dを採用したことを特徴としている。この反射層2dの白金層21の上に半導体層1が形成される。なお、実施の形態8において、実施の形態1~4と同一のものは、同一の符号を付し、その説明を省略する。

40

【0092】

反射層2dは、発光層12で発光される光の波長に対して、90%以上の反射率を有する層であり、本実施の形態では、白金層21と、導電性酸化物層22と、金属層23と、DBR24とを備えている。白金層21及び導電性酸化物層22は、実施の形態5による発光素子の白金層21および導電性酸化物層22と同一であり、その説明を省略する。

【0093】

DBR24は、実施の形態7による発光素子のDBR24と同様であり、本実施の形態8では、上面視にてメッシュ状あるいは島状に形成され、導電性酸化物層22の下面に形成される。島の形状は、例えば、上面視にて、例えば、楕円形(円形を含む。)および四

50

角形や六角形等の多角形等である。このようにDBR24がメッシュ状又は島状に形成されているので、DBR24の導電率が低い場合でも導電性酸化層22と金属層23との間における電気伝導を確保することができる。なお、導電性酸化層22と金属層23との間における電気伝導を確保する上で十分な導電率をDBR24が有している場合には、DBR24は、導電性酸化層22と金属層23との界面全面に形成されてもよい。

【0094】

金属層23は、実施の形態7による発光素子の金属層23と同様であり、本実施の形態8では、DBR24がメッシュ状あるいは島状であるため、その一部が導電性酸化層22に接触するように、DBR24の下面に形成される。言い換えれば、導電性酸化層22と金属層23との間にメッシュ状又は島状のDBR24が介在するように、金属層23が導電性酸化層22の下面に形成される。

10

【0095】

このような反射層2dは、一実施例では、例えば、白金層21が1.5nm以下とされ、導電性酸化層22が5nm以下のITOとされ、金属層23が300nmの銀とされ、DBR24がTiO₂とMgF₂との組を15組積層すると共に最後にTiO₂を積層した反射鏡とされる。そして、図示しないが電極パッドとするために、銀の金属層23の下面に、下地層としての厚み30nmのニッケル(Ni)層と、厚み1000nmの金(Au)層とが形成される。

【0096】

このような反射層2dにおける反射率の角度依存性についてシミュレーションを行った。図20は、シミュレーションに用いられた反射層2dの構造を示す図である。図21は、反射層2dにおける反射率の角度依存性を示すシミュレーション結果である。図21の縦軸は、強度反射率を示し、横軸は、GaNからDBRへの入射角度を示す。C51は、DBR24と銀の金属層23からなる反射層2cの場合における反射率を示し、C52及びC53は、ITOの導電性酸化層22とDBR24と銀の金属層23とからなる反射層2dの場合における反射率を示す。C52は、ITOの膜厚が5nmである場合を示し、ITOの膜厚が50nmである場合を示す。

20

【0097】

図20に示すように、シミュレーションに用いられた反射層2dは、p型半導体層11としてのGaN層上にITOの導電性酸化層22が形成され、導電性酸化層22上にDBR24が形成され、DBR24上に厚み300nmの銀から成る金属層23が形成される。ITOは、その膜厚が5nm及び50nmである各場合がシミュレートとされ、その複素屈折率は、 $2.3 - 0.008i$ である。DBR24は、TiO₂とMgF₂とのペア層が15層積層され、さらに、TiO₂が積層されている。波長(=460nm)の $1/4n$ とすべく、TiO₂は、その屈折率が2.24であり、その膜厚が51.34nmとされている。すなわち、図20に示す反射層2dは、図17に示す反射層2cに対しITOがGaNとDBRとの間に介在する構成である。

30

【0098】

図21から分かるように、反射層2がITOを含む反射層2dである場合では、ITOが光を若干吸収するため、反射層2がITOを含まない反射層2cである場合に較べて、反射率が多少低下するが、入射角が0度から90度の全範囲にわたって良好な反射率が保たれている。ITOの膜厚が薄いほど全体的に反射率がより良好である。特に、ITOの膜厚が5nmである場合では、入射角が0度から90度の全範囲にわたってほぼ90%以上の反射率が保たれている。また、ITOの膜厚が50nmである場合でも、入射角が0度から約70度の範囲にわたってほぼ90%以上の反射率が保たれている。

40

【0099】

以上説明したように、このような構成の発光素子によれば、白金層21と導電性酸化層22と金属層23とDBR24から成る反射層2dを採用したため、0度から90度までの広い範囲の入射角にわたって反射層2dの反射率が高められ、かつ、反射層2dがp型半導体層11とオーミックコンタクトし、光取り出し効率のより高い発光素子が提供可

50

能となる。

【0100】

なお、上述の実施形態において、DBR24は、DBRを構成する各ペア層の膜厚や屈折率が徐々に変化するチャープDBRでもよい。チャープDBR構造にすることによって、DBRにおけるDBR構造に入射する光の特定の波長帯や角度帯で発生する局所的な反射率の低下である反射率のリップルが減少し、全体の反射率が向上する。チャープDBRとすることによって反射率の波長依存性が低減される。反射層2dの場合、DBRの層数は、1層でもよい。

【0101】

(実施の形態9)

次に、実施の形態9による発光素子について説明する。図22は、実施の形態9による発光素子の構造を示す断面図である。実施の形態9による発光素子は、反射層2eとして、フォトニック結晶を採用したことを特徴としている。フォトニック結晶は、あらゆる入射角度に対してもほぼ100%の反射率を実現することができる。なお、実施の形態9において、実施の形態1~4と同一のものは、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0102】

図23は、フォトニック結晶としてインバースオパール構造のフォトニック結晶を採用した場合における反射層2eの拡大図を示している。図23に示すように3次元のフォトニック結晶は、球形からなる複数の泡状に配列された空洞を含むことを特徴としている。この空洞のピッチは、発光層12から放出される光の半導体層1内における波長の約1/2の長さを有している。より具体的には、半導体層1としてGaNを採用し、発光層12から460nmの光が放出されるとすると、GaNの屈折率は約2.5であるため、空洞のピッチは、 $(460/2.5) \times (1/2) = \text{約}100\text{nm}$ にすることが好ましい。

【0103】

このインバースオパール構造を有するフォトニック結晶は、公知のインバースオパール法によって容易に作成され得る。このインバースオパール法では、まず、空洞に相当する微粒子が積層される。次に、積層された微粒子が有機溶剤に浸漬される。そして、この有機溶剤が焼き固められ、有機溶剤を炭化させた後に、微粒子が溶かされる。これによって、インバースオパール構造が形成される。なお、カーボンは、導電性を有するため、別途電極を形成しなくとも、フォトニック結晶をそのまま電極として用いることが可能である。

【0104】

また、実施の形態9では、反射層2eに採用するフォトニック結晶として、ポーラスSiフォトニック結晶(2次元のフォトニック結晶)が採用されてもよい。図24は、ポーラスSiフォトニック結晶の断面図を示している。図24に示すように、2次元のフォトニック結晶は、パイプ状の空洞がマトリックス状に配列された構造を有している。なお、半導体層1は、このパイプ上の空洞の長手方向と直交する方向が半導体層1の上面S1と平行になるように、ポーラスSiフォトニック結晶上に積層される。

【0105】

なお、ポーラスSiフォトニック結晶とGaNとを貼り付けることによって、発光素子が製造されてもよいが、ポーラスSiフォトニック結晶を成長基板としてGaNを成長させることによって、発光素子を製造してもよい。このようにすることで、ポーラスSiフォトニック結晶とGaNとの貼り付け工程が省略され、かつ、GaNの品質が向上可能となり、発光素子内部の量子効率が向上される。

【0106】

ポーラスSiフォトニック結晶は、空洞の長手方向、すなわち、法線方向に対してはフォトニックバンドが存在しないため、反射率は、多少弱まるが、法線方向に対して斜めの方向には、フォトニックバンドを持つため、この方向の光に対しては、高い反射率を実現される。なお、ポーラスSiフォトニック結晶は、導電性を有するため、そのまま、電極として用いることが可能である。

10

20

30

40

50

【0107】

更に、実施の形態9では、反射層2eに採用するフォトニック結晶として、斜め回転蒸着法（GLAD）によって作成されたフォトニック結晶が採用されてもよい。図25は、斜め回転蒸着法によって作成されたフォトニック結晶の拡大図を示している。斜め回転蒸着法は、傾斜した成長基板を所定周期で回転させ、フォトニック結晶を成長基板上にスパイラル状に成長させる手法である。

【0108】

以上説明したように、実施の形態9による発光素子によれば、フォトニック結晶からなる反射層2eが採用されたため、どのような入射角度に対しても高い反射率を有する反射層2eを実現することが可能となり、光取り出し効率を高めることが可能となる。

10

【0109】

（実施の形態10）

次に、実施の形態10による発光素子について説明する。図26は、実施の形態10による発光素子の構造を示す断面図である。実施の形態10による発光素子は、実施の形態1～9による発光素子に対して、半導体層1の厚さ、すなわち、半導体層1の凹凸部14の底部を含む面S1と下面S2との距離d2を、発光層12から放出される光の半導体層1内での波長の数倍以内であることを特徴とする。なお、実施の形態10において、実施の形態1～9と同一のものは、同一の符号を付し、その説明を省略する。図27は、発光層12から放出される光の発光分布を立体的に示した図である。図27に示すように、発光層12から放出される光は、図中黒く示すように法線方向の成分が最も多い。しかしながら、法線方向の光は、凸部141の上面が法線方向と直交しているため、凹凸部14による角度変換作用を受けることができない虞がある。

20

【0110】

そこで、距離d2を発光層12から放出された光の波長の数倍、好ましくは、1～5倍、さらに好ましくは、同じにすることで、法線方向の光も、凹凸部14による角度変換作用を受け、光取り出し効率をより高めることができる。具体的には、距離d2は、発光層12からの光の波長を460nm、半導体層1の屈折率を2.5とすると、180nm～1000nmにすることが好ましい。

【0111】

以上説明したように、実施の形態10による発光素子によれば、距離d2が波長の数倍或いはほぼ同一とされたため、光取り出し効率をより高めることが可能となる。

30

【0112】

（実施の形態11）

次に、実施の形態11による発光素子について説明する。図28は、実施の形態11による発光素子の構造を示す断面図である。図28(a)は、発光素子が縦型である場合を示し、図28(b)は、発光素子がフリップチップ型である場合を示す。実施の形態11による発光素子は、実施の形態1～10による発光素子に対して、半導体層1の発光層12へ電力を供給するp型及びn型電極を設け、さらに、n型電極も高反射率の電極を採用したことを特徴としている。なお、実施の形態11において、実施の形態1～10と同一のものは、同一の符号を付し、その説明を省略する。

40

【0113】

半導体層1の発光層12へ電力を供給する場合、一組のp型及びn型電極が発光層12を挟んで互いに対向するように配設される縦型と、一組のp型及びn型電極が発光層12に対して同一側に配設されるフリップチップ型（以下、「FC型」と略記する。）とがある。

【0114】

この縦型の発光素子は、例えば、図28(a)に示すように、実施の形態1～10による発光素子における反射層2(2a～2e)がp型電極とされており、半導体層1におけるn型半導体層13の上面にn型電極5が形成され、p型電極の反射層2(2a～2e)とn型電極5とが発光層12を挟んで互いに対向するように配設されている。そして、こ

50

の縦型の発光素子には、p型電極の反射層2(2a~2e)に正側電圧(+側電圧)を印加するための配線金属層3が反射層2(2a~2e)の下面に形成され、これら半導体層1、反射層2(2a~2e)及び配線金属層3を支持する支持層4が配線金属層3の下面に配設されている。

【0115】

また、FC型の発光素子は、例えば、図28(b)に示すように、実施の形態1~10による発光素子における反射層2(2a~2e)がp型電極とされており、発光層12に対して反射層2(2a~2e)が形成されている側で半導体層1におけるn型半導体層13が外部に臨むように発光層12、p型半導体層11及び反射層2(2a~2e)が取り除かれることによって、露出面が形成され(あるいは、このような露出面が形成されるように、n型半導体層13、発光層12及びp型半導体層11が形成され、このp型半導体層11の下面に反射層2(2a~2e)が形成され)、この露出面にn型電極5が形成され、p型及びn型電極が発光層12に対して同一側に配設されている。そして、このFC型の発光素子には、p型電極の反射層2(2a~2e)に正側電圧(+側電圧)を印加するための配線金属層31が反射層2(2a~2e)の下面に形成される共に、n型電極5に負側電圧(-側電圧)を印加するための配線金属層32がn型電極5の下面に形成され、これら半導体層1、反射層2(2a~2e)及び配線金属層31、32を支持する支持層4が配線金属層31、32の下面に配設されている。

10

【0116】

図29は、n型電極5の構造を示す断面図である。このような縦型又はFC型の発光素子に用いられるn型電極5には、例えば、図29(a)に示すように、白金層51と、導電性酸化物層52と、金属層53とから構成され、80%以上の反射率を有するn型電極5aが採用される。

20

【0117】

白金層51は、上面視にてメッシュ状あるいは島状に形成された白金(Pt)から成る層であり、半導体層1におけるn型半導体層13の面上に形成される。島の形状は、例えば、上面視にて、例えば、楕円形(円形を含む。)および四角形や六角形等の多角形等である。

【0118】

導電性酸化物層52は、例えばITOやZnO等の導電性を有し、発光層12で発光する光の波長に対して透明な金属酸化物から成る層である。導電性酸化物層52は、白金層51がメッシュ状あるいは島状であるため、その一部が半導体層1のn型半導体層13に接触するように、白金層51の面上に形成される。言い換えれば、半導体層1のn型半導体層13と導電性酸化物層52との間にメッシュ状又は島状の白金層51が介在するように、導電性酸化物層52が半導体層1のn型半導体層13の面上に形成される。導電性酸化物層52が半導体層1のn型半導体層13と金属層53との間に介在することによって、コンタクト抵抗が低下し、導電性、即ちキャリア注入効率が向上する。

30

【0119】

金属層53は、例えば、銀、銀を主成分とする銀合金、アルミニウム又はアルミニウムを主成分とするアルミニウム合金等の金属(合金を含む)から成る層である。金属層53での高い反射率を維持するために、導電性酸化物層22の半導体層1に接触する面積(開口率)は、80%以上が好ましい。

40

【0120】

このようなn型電極5aは、一実施例では、例えば、白金層51が1nm以下とされ、導電性酸化物層52が5nm以下のITOとされ、金属層53が300nmの銀とされる。そして、図示しないが電極パッドとするために、銀の金属層53の面上に、下地層としての厚み30nmのニッケル(Ni)層と、厚み1000nmの金(Au)層とが形成される。

【0121】

あるいは、このような縦型又はFC型の発光素子に用いられるn型電極5には、例えば

50

、図29(b)に示すように、図29(a)に示すn型電極5aにおける導電性酸化物層52と金属層53との間に、実施の形態6や実施の形態7におけるDBR24と同様なDBR54がさらに設けられたn型電極5bが採用されてもよい。また、このDBR54は、実施の形態8におけるDBR24のように、上面視にてメッシュ状あるいは島状に形成されてもよい。

【0122】

一般に、n型電極は、比較的反射率の低い例えばニッケル(Ni)等の金属で形成され、光取り出し効率を向上させるために、反射率が考慮されていない事情にある。特に、FC型では、p型電極が形成された領域に対応する発光層12の領域のみで発光すると考えられるため、n型電極の反射率は、光取り出しに効率の向上に寄与しないと考えられている事情にある。通常、n型電極の面積は、素子面積全体の約10%であるため、n型電極の反射率が比較的低いと、例えば30%程度であると、p型電極の反射率を85%以上に向上しても、発光素子の平均反射率は、80%程度になってしまう。そのため、発光素子内を多重反射する光を取り出す上で、低反射率のn型電極は、光取り出し効率の向上を妨げることになる。

10

【0123】

このため、n型電極が例えば図29に示すn型電極5a、5bのような80%以上の反射率を有する電極とされることによって、発光素子の平均反射率の向上が可能となる。

【0124】

以上説明したように、このような構成の発光素子によれば、白金層51と導電性酸化物層52と金属層53とを備えるn型電極5a、5bを採用したため、金属層53が高反射率を有し、かつn型半導体層13とオーミックコンタクトし、光取り出し効率の高い発光素子が提供可能となる。そして、さらにDBR54を備えるn型電極5bが採用される場合では、さらに、光取り出し効率の高い発光素子が提供可能となる。

20

【0125】

なお、上述のn型電極5a、5bの場合において、n型半導体層13とのコンタクト抵抗を下げるために、シリコン(Si)、銅(Cu)、テルル(Te)、ゲルマニウム(Ge)及び錫(Sn)のうちの一つ以上のn型ドーパント物質を含む銀合金又はアルミニウム合金が金属層53に用いられてもよい。金属層53として、例えば、日立金属社製ATDシリーズの銀合金が挙げられる。

30

【0126】

次に、実施の形態1の凹凸部14を半導体層1に蒸着する場合の発光素子の製造方法について説明する。図30は、凹凸部14を蒸着する場合の製造方法を示した図である。まず、半導体層1の上面にレジストR1を塗布する(図30(a))。次に、塗布されたレジストR1に、露光及び現像、或いはナノプリント法を用いて、凹凸部14に相当する形状を付与する(図30(b))。次に、形状が付与されたレジストR1に、半導体層1とほぼ同じ屈折率を有する材料を蒸着する(図30(c))。本実施形態では、半導体層1として用いられるGaNの屈折率とほぼ同じ屈折率を有するTiO₂をレジストR1に蒸着する。次に、レジストをリフトオフする(図30(d))。これにより、半導体層1に凹凸部14を蒸着させることが可能となる。

40

【0127】

凹凸部14のような半導体面に形成される微細構造はドライエッチング等のエッチングによって形成してもよいが、エッチングを実現するための装置は、非常に高価である。そこで、図30に示すように、半導体層1とほぼ同じ屈折率を有する部材を半導体層1に蒸着させて、凹凸部14を形成することで、高価なエッチングの装置を使用する必要がなくなり、低コストで、凹凸部14を形成することができる。

【0128】

(実施の形態12)

次に、実施の形態12による発光装置について説明する。図31は、実施の形態12による発光装置の構造を示す断面図である。実施の形態12による発光装置は、実施の形態

50

1 ~ 1 1 による発光素子を用いた白色光を放射する装置である。

【0129】

実施の形態12による発光装置は、図31に示すように、円板状の基板61上に実施の形態11による発光素子が載置され、この発光素子の光取り出し面上にこの発光素子で発光される光の波長を変換して放射する波長変換層62が形成され、これらが封止部材63によって封止されて構成される。

【0130】

基板61は、発光素子から放射された光が封止部材63へ効率よく反射されるように、発光素子が載置される面が高反射率にされている。基板61は、例えば、銀やアルミニウム等の高反射率な金属（合金を含む）で形成される。

【0131】

図31に示す例では、この実施の形態11による発光素子は、FC型である。その支持層4は、発光層12で生成される熱を放射するヒートシンクと兼用されている。そして、配線金属層31、32には、金パンプが用いられている。この実施の形態11による発光素子は、例えば、青色の波長460nmに発光ピークを持つように構成されている。なお、この実施の形態11による発光素子は、縦型でもよい。

【0132】

波長変換層62は、本実施の形態の発光装置が白色光を放射するために、主に波長460nm付近の青色光を吸収して緑色光を蛍光で発光する緑色蛍光体と、主に波長460nm付近の青色光を吸収して赤色光を蛍光で発光する赤色蛍光体とが含有されている蛍光体分散ガラスで構成されている。緑色蛍光体として、例えば、 $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ や、 $\text{Y}_3(\text{Al},\text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ 等が用いられる。赤色蛍光体として、例えば、 $\text{CaS}:\text{Eu}^{2+}$ や、 $\text{SrS}:\text{Eu}^{2+}$ 等が用いられる。

【0133】

図32は、実施の形態12による発光装置における波長変換層の他の構成を示す断面図である。波長変換層62は、図32に示すように、主に波長460nm付近の青色光を吸収して赤色光を蛍光で発光する赤色蛍光体が含有されている赤色蛍光体分散ガラス層621と、青色光及び赤色光を透過すると共に緑色光を反射する波長選択フィルタ層622と、主に波長460nm付近の青色光を吸収して緑色光を蛍光で発光する緑色蛍光体が含有されている緑色蛍光体分散ガラス層623とを備え、これら赤色蛍光体分散ガラス層621、波長選択フィルタ層622及び緑色蛍光体分散ガラス層623が発光素子の光取り出し面から離れる方向に順次に積層された構造でもよい。即ち、赤色蛍光体分散ガラス層621が発光素子の光取り出し面上に形成され、赤色蛍光体分散ガラス層621の面上に波長選択フィルタ層622が形成され、波長選択フィルタ層622の面上に緑色蛍光体分散ガラス層623が形成される。波長選択フィルタ層622には、例えば、上述のような波長選択特性を備えるように構成されたDBRが用いられる。通常、蛍光体は、所定の波長で吸収ピークを持つが、所定に波長範囲にわたって光を吸収し、蛍光発光する。このため、赤色蛍光体は、緑色蛍光体で発光された緑色光も赤色光に波長変換するため、図31に示す発光装置から放射される緑色の発光強度が低下する場合がある。そのため、波長変換層62が赤色蛍光体分散ガラス層621と緑色蛍光体分散ガラス層623との間に波長選択フィルタ層622を挟み込んだ図32に示す構造とすることによって、緑色蛍光体分散ガラス層623で発光した緑色光は、波長選択フィルタ層622で反射され、図31に示す発光装置から放射される緑色の発光強度の低下が抑制される。

【0134】

封止部材63は、例えばガラスが用いられ、半球形状のドーム型に形成されている。一般に、例えばLED等の発光装置では、フレネルロスを低減するために、空気よりも屈折率の高い樹脂によって発光素子の周囲が充填されて封止されるが、本実施の形態12による発光装置では、上述したように、半導体層1の光取り出し面に凹凸部14が形成され、フレネルロスが低減されている。このため、封止部材63と実施の形態11による発光素子との間は、必ずしも樹脂によって充填される必要がなく、空気でもよい。なお、この観

10

20

30

40

50

点から波長変換層 6 2 の表面は、凸部が所定の間隔で形成された凹凸構造を備えることが好ましい。このように発光素子の周囲に樹脂が充填されない場合には、例えば熱や光によるこの樹脂の劣化に起因する発光装置の寿命の低下が抑制される。

【0135】

このような構成の発光装置では、光取り出し効率の高い発光装置が提供可能となる。

【0136】

図 3 3 は、角度平均反射率特性を示す図である。図 3 3 の縦軸は、反射率を示し、横軸は、波長 (nm) を示す。この場合における反射率は、0 度から 90 度までの各入射角に対する各反射率の平均値である角度平均反射率である。

【0137】

そして、このような構成の発光装置における一構成例として、例えば、p 型電極として機能する反射層 2 に図 1 9 に示す構成の反射層 2 d が採用され、n 型電極 5 に図 2 9 (b) に示す n 型電極 5 b が採用される場合には、図 3 3 に示すように、平均反射率は、約 370 nm ~ 約 700 nm の広い波長範囲の全体にわたって高くなる。このため、実施の形態 1 1 による発光素子が発光する青色光だけでなく、緑色蛍光体及び赤色蛍光体がそれぞれ発光する緑色光及び赤色光も p 型電極の反射層 2 及び n 型電極 5 でほとんど吸収されることなく反射される。したがって、実施の形態 1 2 による発光装置では、約 370 nm ~ 約 700 nm の広い波長範囲にわたって光取り出し効率が向上される。なお、この約 370 nm ~ 約 700 nm の波長範囲の光は、可視光である。

【0138】

本発明を表現するために、上述において図面を参照しながら実施形態を通して本発明を適切且つ十分に説明したが、当業者であれば上述の実施形態を変更及び/又は改良することは容易に為し得ることであると認識すべきである。従って、当業者が実施する変更形態又は改良形態が、請求の範囲に記載された請求項の権利範囲を離脱するレベルのものではない限り、当該変更形態又は当該改良形態は、当該請求項の権利範囲に包括されると解釈される。

【図面の簡単な説明】

【0139】

【図 1】本発明の実施の形態 1 による発光素子の構造を示す断面図である。

【図 2】実施の形態 1 による発光素子の上面図である。

【図 3】凹凸部 1 4 の効果を示す図である。(a) は、凹凸部 1 4 が形成されていない発光素子を示し、(b) は、凹凸部 1 4 が形成された発光素子を示し、(c) は、凹凸部 1 4 の凸部 1 4 1 の間隔 A を光の波長の 10 倍以上に設定した場合を示す。

【図 4】凹凸部 1 4 と反射層 2 とを組み合わせたことによる効果を示すグラフである。

【図 5】実施の形態 2 による発光素子の凹凸部 1 4 を斜め上方視から拡大して示した図である。

【図 6】実施の形態 3 による発光素子の構造を示す断面図である。

【図 7】凸部 1 4 1 a をフレネルレンズ形状にした場合の凸部 1 4 1 a を示す上面図である。

【図 8】図 7 に示す凸部 1 4 1 a を参照符号 V I I I - V I I I で示す線で切断した場合における発光素子の断面図である。

【図 9】図 8 に示すフレネルレンズの小レンズ部 1 4 2 a をサブ波長回折格子によって構成した場合の発光素子の構造を示す図である。(a) は、サブ波長回折格子の詳細な構造を示す断面図であり、(b) は、(a) の上面図であり、(c) は、(b) の領域 D 1 の拡大図である。

【図 10】凸部 1 4 1 a をゾーンプレートで構成した場合の断面図である。

【図 11】実施の形態 5 による発光素子の構造を示す断面図である。

【図 12】実施の形態 6 による発光素子の構造を示す断面図である。

【図 13】図 1 3 (a) は、発光層 1 2 から放出される光の配光分布を示したグラフであり、図 1 3 (b) は、凹凸部 1 4 の形状による透過特性を示したグラフである。

10

20

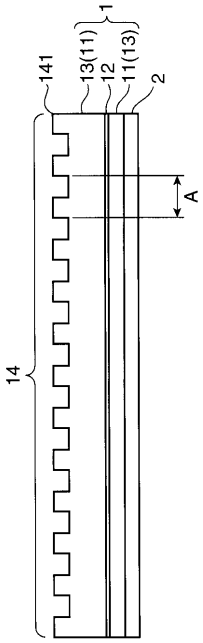
30

40

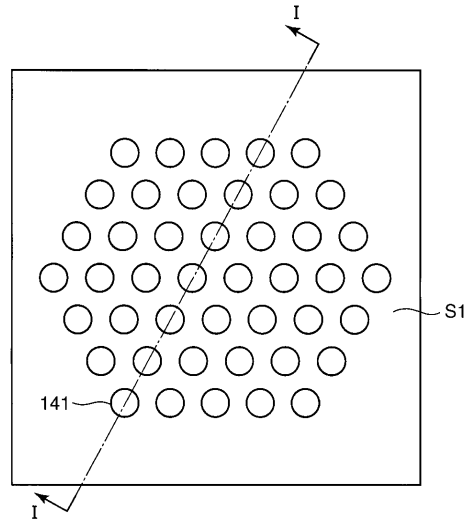
50

- 【図 1 4】DBR の層厚を説明するための図である。
- 【図 1 5】実施の形態 7 による発光素子の構造を示す断面図である。
- 【図 1 6】図 1 6 (a) は、銀又は銀合金と DBR との反射率特性、及び、アルミニウムと DBR との反射率特性を示すグラフであり、図 1 6 (b) は、図 1 5 の発光素子の反射率特性を示すグラフである。
- 【図 1 7】シミュレーションに用いられた反射層 2 c の構造を示す図である。
- 【図 1 8】反射層 2 c における反射率の角度依存性を示すシミュレーション結果である。
- 【図 1 9】実施の形態 8 による発光素子の構造を示す断面図である。
- 【図 2 0】シミュレーションに用いられた反射層 2 d の構造を示す図である。
- 【図 2 1】反射層 2 d における反射率の角度依存性を示すシミュレーション結果である。 10
- 【図 2 2】実施の形態 9 による発光素子の構造を示す断面図である。
- 【図 2 3】フォトリソグラフィとしてインバースオパール構造のフォトリソグラフィを採用した場合における反射層 2 e の拡大図である。
- 【図 2 4】ポーラス Si フォトリソグラフィの断面図である。
- 【図 2 5】回転蒸着法によって作成されたフォトリソグラフィの拡大図である。
- 【図 2 6】実施の形態 1 0 による発光素子の構造を示す断面図である。
- 【図 2 7】発光層 1 2 から放出される光の発光分布を立体的に示した図である。
- 【図 2 8】実施の形態 1 1 による発光素子の構造を示す断面図である。
- 【図 2 9】n 型電極 5 の構造を示す断面図である。
- 【図 3 0】凹凸部 1 4 を蒸着する場合の製造方法を示した図である。 20
- 【図 3 1】実施の形態 1 2 による発光装置の構造を示す断面図である。
- 【図 3 2】実施の形態 1 2 による発光装置における波長変換層の他の構成を示す断面図である。
- 【図 3 3】角度平均反射率特性を示す図である。
- 【図 3 4】従来技術を示す図である。
- 【図 3 5】従来技術を示す図である。
- 【図 3 6】従来技術を示す図である。
- 【符号の説明】
- 【0 1 4 0】
- 1 半導体層 30
 - 2、2 a ~ 2 e 反射層
 - 5、5 a、5 b n 型電極
 - 1 1 p 型半導体層
 - 1 2 発光層
 - 1 3 n 型半導体層
 - 1 4、1 4 a 凹凸部
 - 2 1、5 1 白金層
 - 2 2、5 2 導電性酸化物層
 - 2 3、5 3 金属層
 - 6 2 波長変換層 40
 - 1 4 1、1 4 1 a、1 4 3 a 凸部
 - 1 4 2 a 小レンズ部
 - 6 2 1 赤色蛍光体分散ガラス層
 - 6 2 2 波長選択フィルタ層
 - 6 2 3 緑色蛍光体分散ガラス層

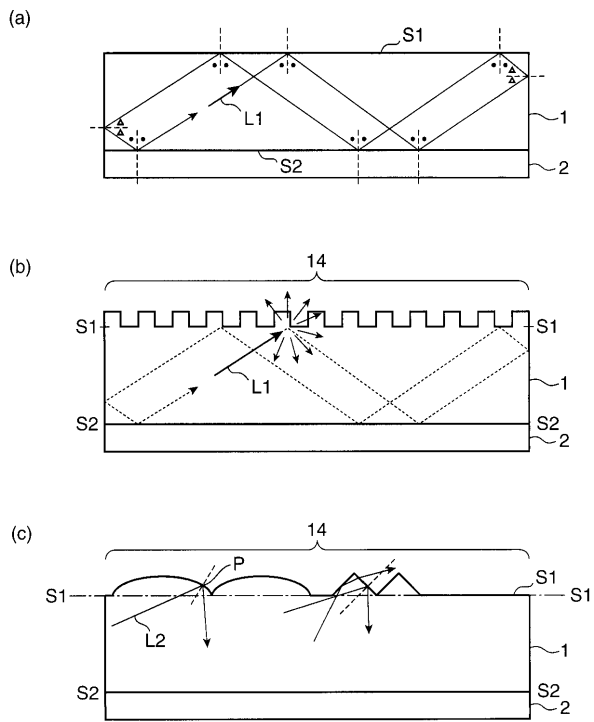
【 図 1 】



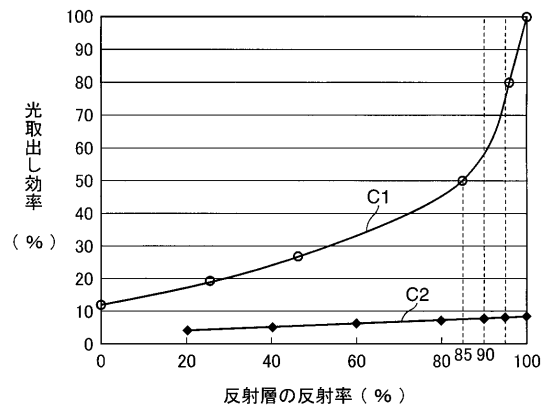
【 図 2 】



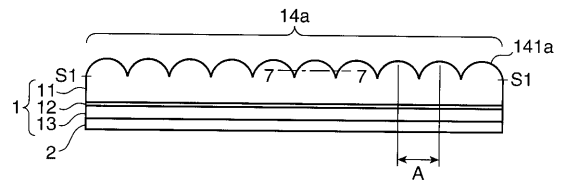
【 図 3 】



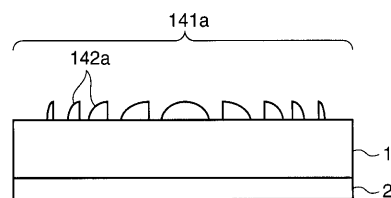
【 図 4 】



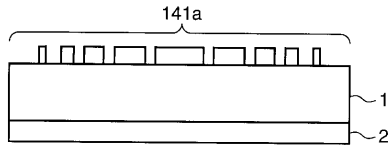
【 図 6 】



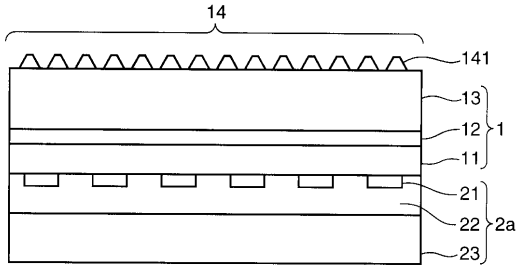
【 図 8 】



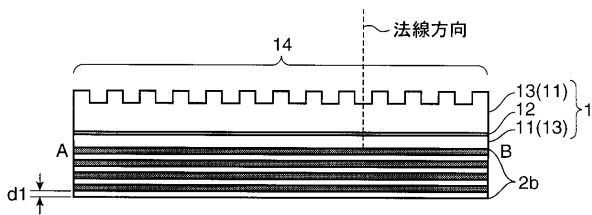
【 図 1 0 】



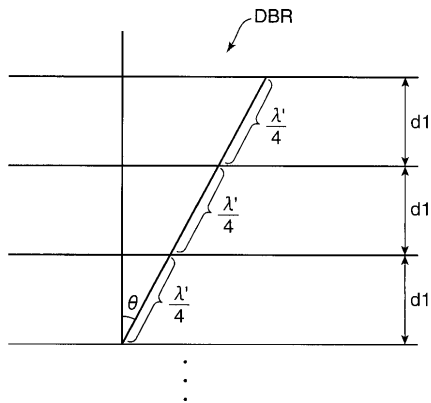
【 図 1 1 】



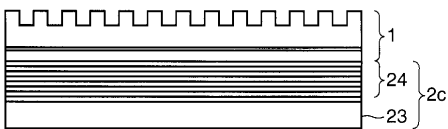
【 図 1 2 】



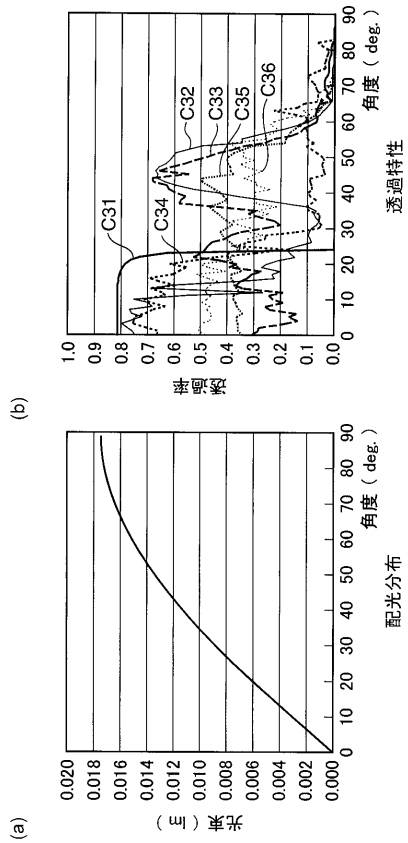
【 図 1 4 】



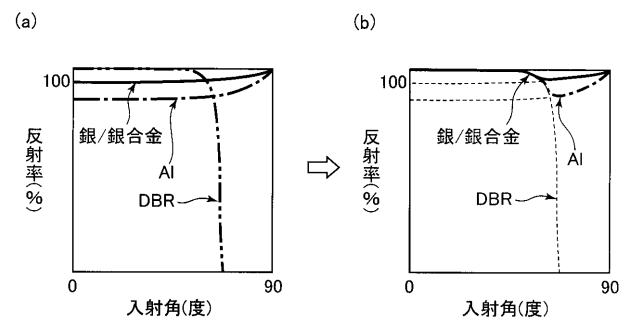
【 図 1 5 】



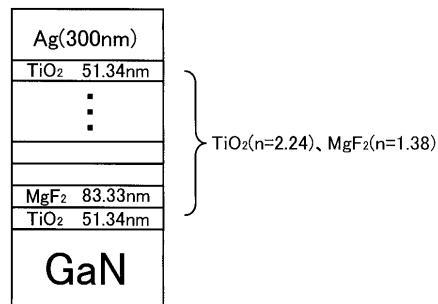
【 図 1 3 】



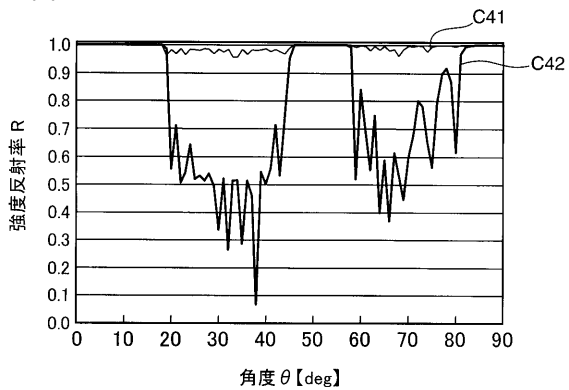
【 図 1 6 】



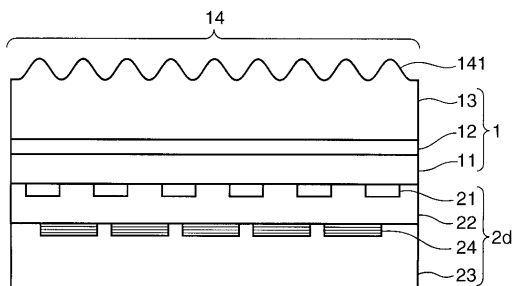
【 図 1 7 】



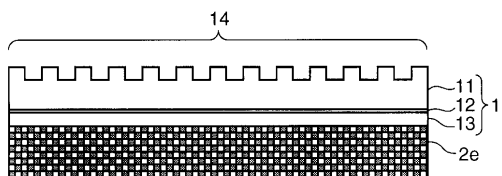
【 図 1 8 】



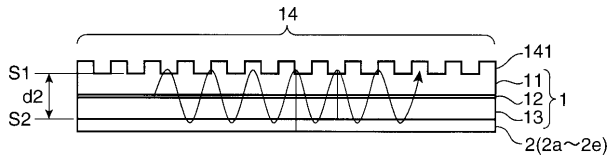
【 図 1 9 】



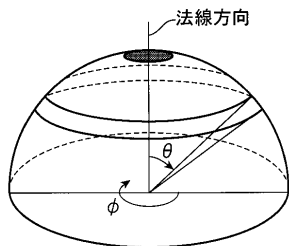
【 図 2 2 】



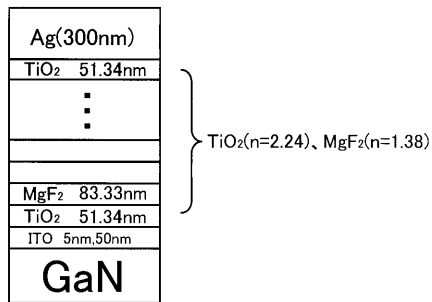
【 図 2 6 】



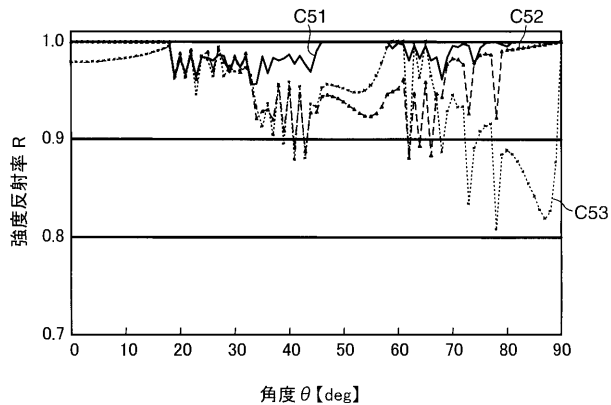
【 図 2 7 】



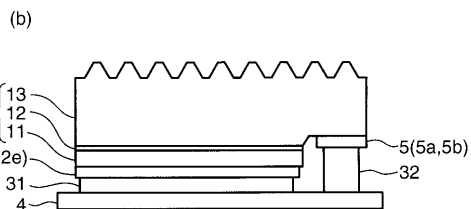
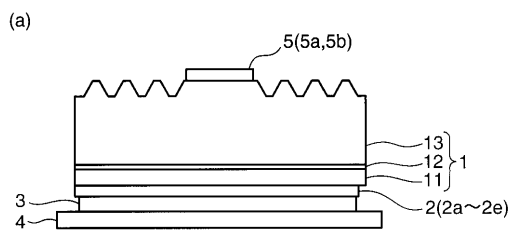
【 図 2 0 】



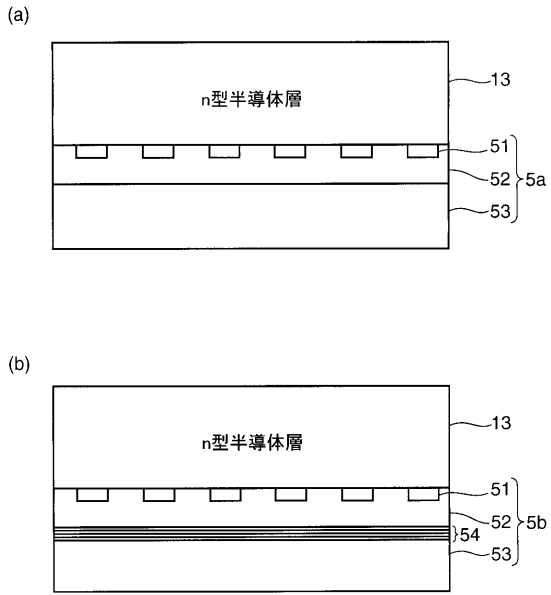
【 図 2 1 】



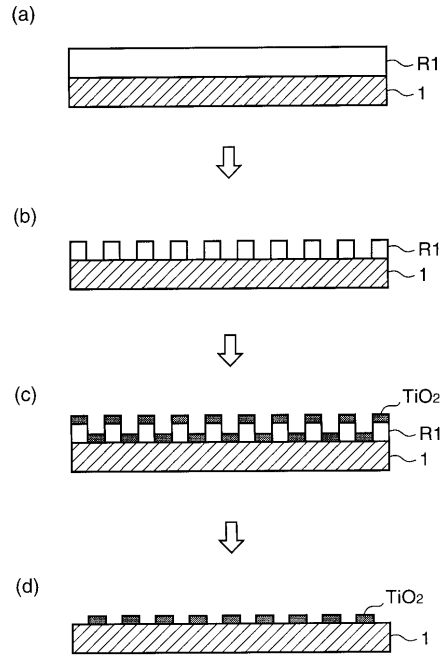
【 図 2 8 】



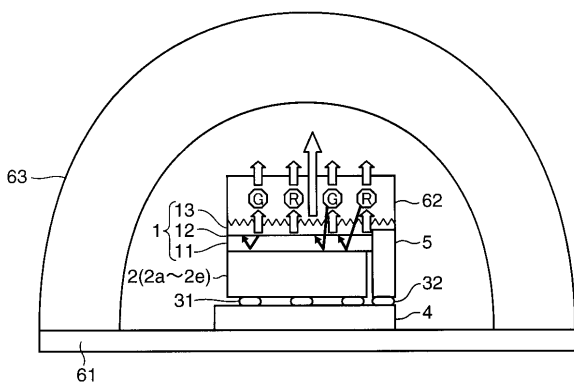
【 図 2 9 】



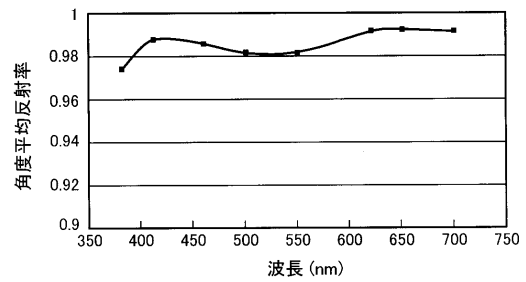
【 図 3 0 】



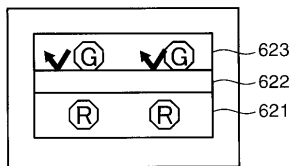
【 図 3 1 】



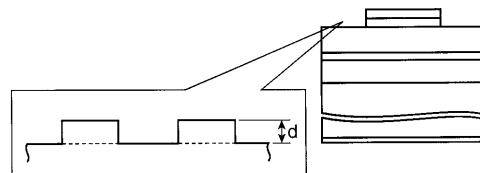
【 図 3 3 】



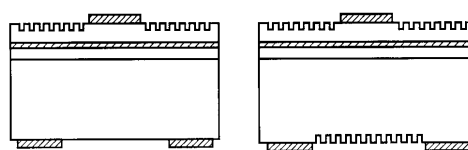
【 図 3 2 】



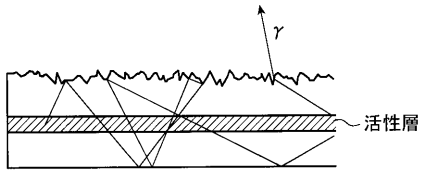
【 図 3 4 】



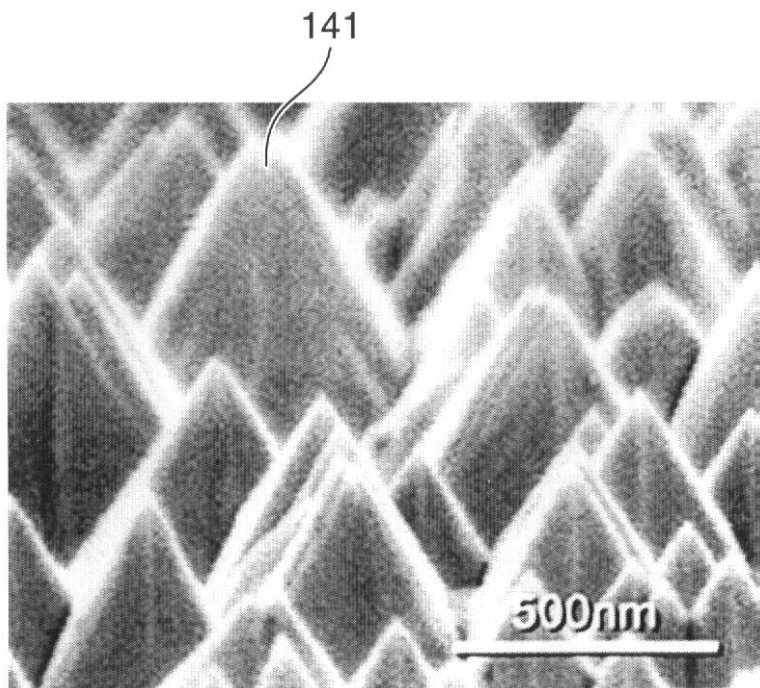
【 図 3 5 】



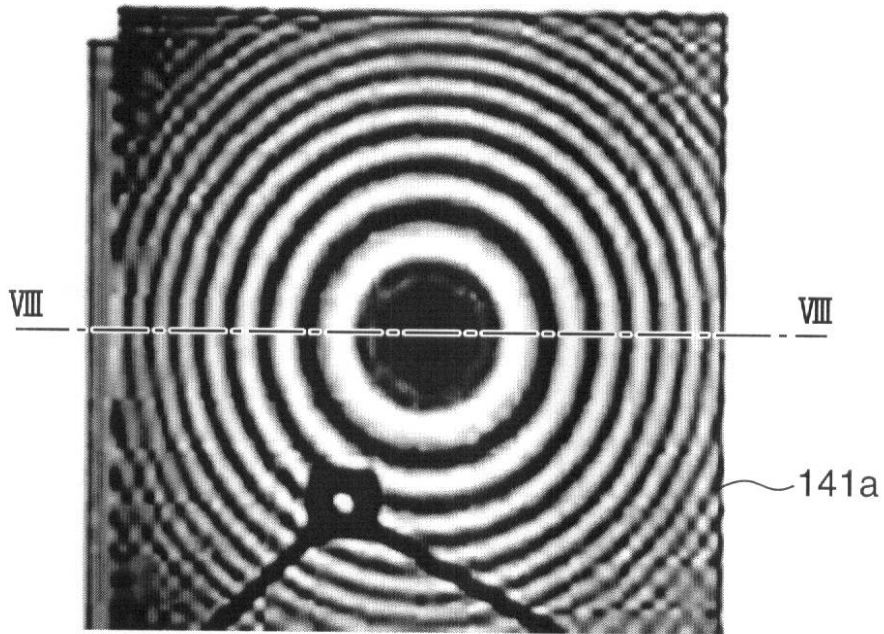
【 図 3 6 】



【 図 5 】

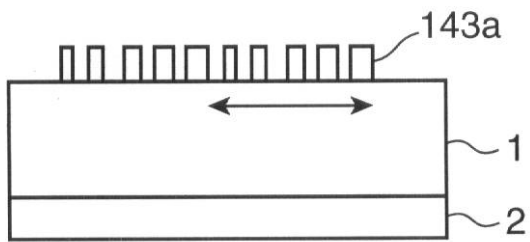


【 図 7 】



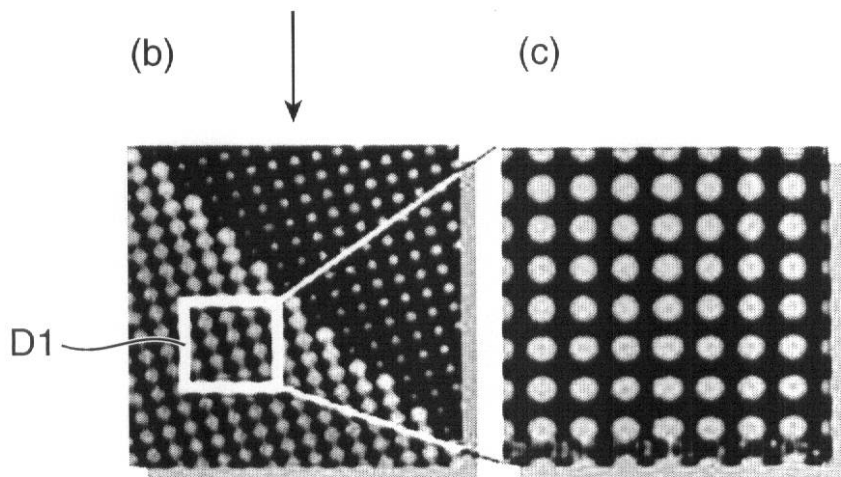
【 図 9 】

(a)

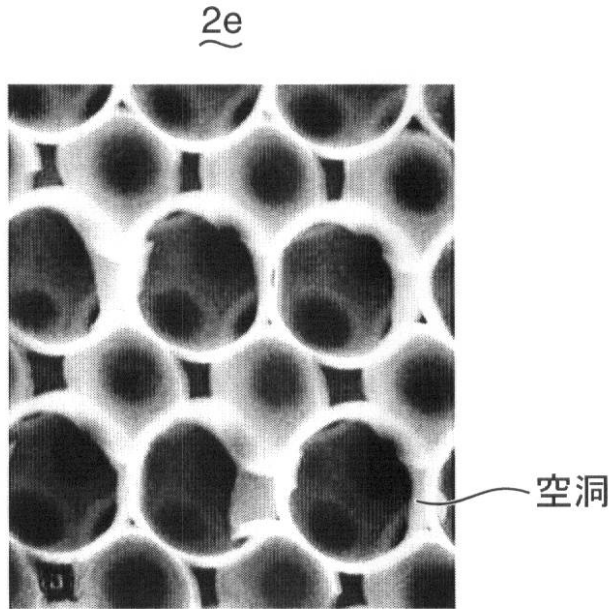


(b)

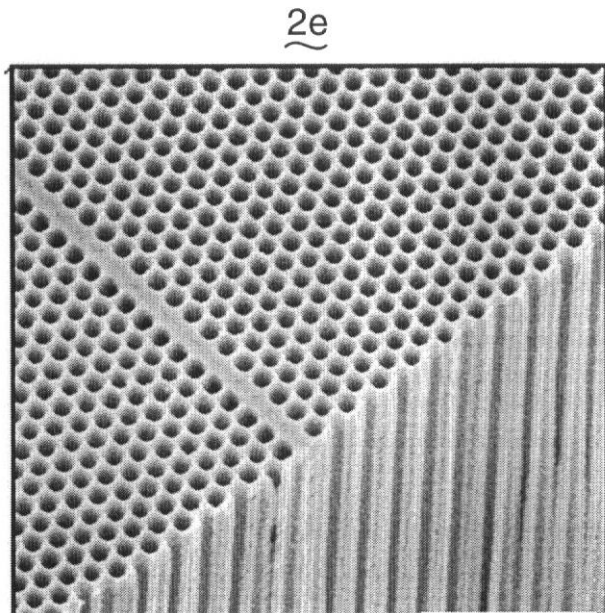
(c)



【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 山江 和幸

大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA04 CA13 CA40 CB14 CB15