(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 2 月 9 日(09.02.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/017685 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 33/22 (2010.01) *H01S 5/343* (2006.01)
H01L 33/32 (2010.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2011/004465

(22) 国際出願日: 2011 年 8 月 5 日(05.08.2011)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2010-177914 2010 年 8 月 6 日(06.08.2010) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真１００６番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 磯崎 瑛宏 (ISOZAKI, Akihiro). 井上 彰 (INOUE, Akira). 山田 篤志 (YAMADA, Atsushi). 横川 俊哉 (YOKOGAWA, Toshiya).

(74) 代理人: 奥田 誠司 (OKUDA, Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目８番１６号 大阪証券取引所ビル１０階 奥田国際特許事務所 Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

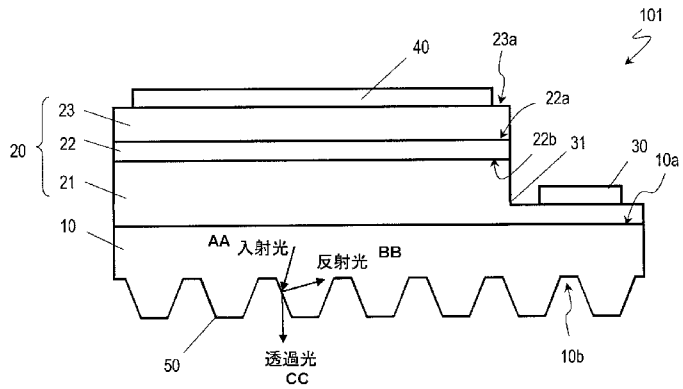
添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称 : 半導体発光素子

[図3]



AA INCOMING LIGHT
BB REFLECTED LIGHT
CC TRANSMITTED LIGHT

(57) **Abstract**: A semiconductor light emitting element of the present invention is provided with: an n-type nitride semiconductor layer (21); a p-type nitride semiconductor layer (23); an active layer region (22), which includes an m-plane nitride semiconductor layer, and which is sandwiched between the n-type nitride semiconductor layer and the p-type nitride semiconductor layer; an n-type electrode (30) electrically connected to the n-type nitride semiconductor layer; a p-type electrode (40) electrically connected to the p-type nitride semiconductor layer; a light outputting surface, which takes out polarized light generated in the active layer region to the outside; and a stripe structure (50), which is provided on the light outputting surface, and which has a plurality of protruding portions that extend substantially parallel to the a-axis direction of the m-plane nitride semiconductor layer.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/017685 A1

本発明の半導体発光素子は、ｎ型窒化物半導体層２１と、ｐ型窒化物半導体層２３と、ｍ面窒化物半導体層を含み、ｎ型窒化物半導体層およびｐ型窒化物半導体層に挟まれた活性層領域２２と、ｎ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｎ型電極３０と、ｐ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｐ型電極４０と、活性層領域で発生する偏光光を外部へ取出す出射面と、出射面に設けられたストライプ構造５０であって、ｍ面窒化物半導体層のａ軸方向と略平行に伸びる複数の凸部を有するストライプ構造５０とを備える。

明　細　書

発明の名称 ： 半導体発光素子

技術分野

[0001] 本発明は窒化物系半導体発光素子に関する。特に、ｍ面を主面とした半導体発光素子に関する。

背景技術

[0002] Ｖ族元素として窒素（Ｎ）を含む窒化物半導体は、そのバンドギャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望視されている。そのなかでも、窒化ガリウム系化合物半導体の研究が盛んに行われており、青色発光ダイオード（ＬＥＤ）、緑色ＬＥＤ、ならびに、窒化ガリウム系半導体を材料とする半導体レーザも実用化されている（例えば、特許文献１、２参照）。

[0003] 以下、窒化ガリウム系化合物半導体を窒化物系半導体と呼ぶ。窒化物系半導体には、Ｇａの一部または全部をアルミニウム（Ａｌ）およびインジウム（Ｉｎ）の少なくとも一方で置換した化合物半導体が含まれ、窒化物系半導体は、組成式$Al_xGa_yIn_zN$（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１、ｘ＋ｙ＋ｚ＝１）で表される。

[0004] ＧａをＡｌやＩｎで置換することによって、バンドギャップをＧａＮよりも大きくすることも小さくすることも可能である。これにより、青色や緑色などの短波長の光のみならず、オレンジ色や赤色の光を発光させることも可能となる。したがって、窒化物系半導体を用いることによって、理論的には、全可視域から任意に選択される波長の光を出射する発光素子を実現することが可能であり、窒化物系半導体発光素子を、画像表示装置や照明装置への応用することも期待されている。

[0005] 窒化物系半導体はウルツ鉱型結晶構造を有している。図１は、ウルツ鉱型結晶構造の面を４指数表記（六方晶指数）で示している。４指数表記では、ａ１、ａ２、ａ３およびｃで示される基本ベクトルを用いて結晶面や方位が表される。基本ベクトルｃは、［０００１］方向に延びており、この方向は

「ｃ軸」と呼ばれる。ｃ軸に垂直な面（ｐｌａｎｅ）は「ｃ面」または「（０００１）面」と呼ばれている。なお、「ｃ軸」および「ｃ面」は、それぞれ、「Ｃ軸」および「Ｃ面」と表記される場合もある。図２（ａ）は窒化物系半導体の結晶構造を棒球モデルで示しており、図２（ｂ）は、ｃ軸に垂直な平面における窒化物系半導体結晶のＧａおよびＮの位置を示している。

[0006] 従来、窒化物系半導体を用いて半導体素子を作製する場合、窒化物系半導体結晶を成長させる基板として、ｃ面基板すなわち（０００１）面を主面に有する基板が使用される。この場合、図２（ａ）および（ｂ）から分かるように、ｃ軸方向にはＧａ原子のみが配置される層と、Ｎ原子のみが配置される層が形成される。このようなＧａ原子およびＮ原子の配置に起因して、窒化物系半導体には自発的な分極（Electrical Polarization）が形成される。このため、「ｃ面」は「極性面」とも呼ばれている。

[0007] その結果、窒化物系半導体発光素子の活性層におけるＩｎＧａＮの量子井戸には、ｃ軸方向に沿ってピエゾ電界が発生し、活性層内における電子およびホールの分布に位置ずれが生じるため、キャリアの量子閉じ込めシュタルク効果により、活性層の内部量子効率が低下する。半導体レーザの場合、しきい値電流の増大が生じ、ＬＥＤの場合、消費電力の増大や発光効率の低下が生じる。また、注入キャリア密度の上昇と共にピエゾ電界のスクリーニングが起こり、発光波長の変化も生じる。

[0008] また、緑色やオレンジ色、さらには赤色など長波長域の光を発光させるために、活性層のＩｎ組成を増加すると、Ｉｎ組成と共にピエゾ電界の強度は益々増加し、内部量子効率は急激に低下する。このため、一般にｃ面の活性層を用いたＬＥＤでは、出射可能な光の波長は５５０ｎｍ程度であると言われている。

[0009] このような課題を解決するため、非極性面であるｍ面を主面に有する基板（ｍ面ＧａＮ系基板）を使用して、発光素子を製造することが検討されている。図１に示すように、ウルツ鉱型結晶構造におけるｍ面は、ｃ軸に平行であり、ｃ面と直交する６つの等価な面である。例えば、図１においてハッチ

ングで示された［１０－１０］方向に垂直な（１０－１０）面である。（１０－１０）面と等価な他のｍ面には、（－１０１０）面、（１－１００）面、（－１１００）面、（０１－１０）面、（０－１１０）面がある。ここで、ミラー指数を表すカッコ内の数字の左に付された「－」は、「バー」を意味する。

[0010] 図２（ｃ）は、ｍ面に垂直な面における窒化物系半導体結晶のＧａおよびＮの位置を示している。図２（ｃ）に示すように、ｍ面においては、Ｇａ原子およびＮ原子は同一原子面上に存在するため、ｍ面に垂直な方向に分極は発生しない。このため、ｍ面上に形成した半導体積層構造を用いて発光素子を作製すれば、活性層にピエゾ電界が発生せず、上述の課題を解決することができる。

[0011] また、活性層のＩｎ組成を大きく増加させることが可能であるため、青色のみならず、緑色や、オレンジ色、赤色など、より長波長の光を出射することのできるＬＥＤやレーザダイオードを同一の材料系を用いて実現することができる。

[0012] さらに、非特許文献１などに開示されているように、ｍ面上に形成された活性層を用いたＬＥＤは、その価電子帯の構造に由来した偏光特性を有している。具体的には、ｍ面上に形成された活性層はａ軸に平行な方向に電界強度が偏った光を主として出射する。なお、本明細書では、特定方向に電界強度が偏った光を「偏光光」と称する。例えば、Ｘ軸に平行な方向に大きな電界強度を有する偏った光を「Ｘ軸方向の偏光光」、上記Ｘ軸に平行な方向を「偏光方向」と称する。また、ある界面に対し、偏光光が入射したとき、上記偏光光に対する透過光が、上記偏光光と同程度の電界強度の偏りを持つ偏光光となる場合、「偏光特性が維持されている」と表記する。

[0013] ｍ面上に形成された活性層を用いたＬＥＤ（以下、「ｍ面発光素子」と表記する）は、上述のようにａ軸方向の偏光光を主として出射する。そのとき、ｃ軸方向の偏光光やｍ軸方向の偏光光も出射する。しかしながら、ｃ軸方向の偏光光とｍ軸方向の偏光光は、ａ軸方向の偏光光と比較し、強度が弱い

。そのため、本明細書では、ａ軸方向の偏光光に着目し、議論する。

[0014] ｍ面発光素子は、上述のような偏光特性を有するため、偏光光を出射することが可能な発光素子として利用することが期待される。例えば、液晶表示装置は、液晶の偏光特性を利用するため、光源として、偏光光を用いる必要がある。従来の液晶表示装置では、偏光光を出射する適切な光源がないため、ＬＥＤや冷陰極蛍光管（ＣＣＦＬ）などの光源を用い、偏光板に出射した光を通過させることによって、偏光光を得ていた。しかし、この様な構成によれば、光源から出射する光の大部分は偏光板で遮られるため、光の利用効率が低いという問題があった。したがって、ｍ面発光素子を液晶表示装置の光源として使用すれば、光の利用効率が向上し、液晶表示装置の消費電力を大幅に低減したり、偏光板を設けなくてよいことから、製造コストを低減することも可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献1：特開２００１－３０８４６２号公報

特許文献2：特開２００３－３３２６９７号公報

特許文献3：特開２００８－３０５９７１号公報

特許文献4：特開２００８－１０９０９８号公報

非特許文献

[0016] 非特許文献1：APPLIED PHYSICS LETTERS 92 (2008) 091105

非特許文献2：Thin Solid Films 515 (2008) 768-770

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0017] 上述したｍ面発光素子を実現する場合、活性層から出射する偏光光を高い光取出し効率で外部へ取り出すことが重要となる。従来の発光素子では、例えば、非特許文献２に開示されているように、発光素子の出射面にランダムな微細構造を設けることにより、光取出し効率を高めていた。出射面に、全

反射角よりも小さい角度で入射する活性層からの光は、出射面から外部へ出射することができないため、ランダムな微細構造を設けることによって、全反射角よりも大きい角度で出射面に入射する光の割合を高められ、光取出し効率が向上する。

[0018] しかし、このような構造を、偏光光を出射することが可能な発光素子に適用することはできない。m面発光素子などの偏光光を出射する発光素子において、偏光方向を維持した状態で光を外部へ取り出すためには、出射面に入射する光（入射光）の電界ベクトルの方向と入射面とが、垂直または平行をなすこと必要がある。ここで、出射面とは、窒化物系半導体発光素子の光を主として外部に取出す面とする。また、入射面とは、入射光の伝搬ベクトルと、出射面の法線ベクトルの作る平面とする。

[0019] これに対し、出射面にランダムな微細構造を設ければ、微細構造に入射する光の電界ベクトルの方向と入射面との関係は、ランダムなものとなる。その結果、微細構造を透過した光は、その光の偏光方向がさまざまな方向に曲げられ、電界強度の偏りが減少する。つまり、光取出し効率の向上と偏光特性の維持はトレードオフの関係にあるため、光取出し効率を向上させるほど、電界強度の偏りが減少してしまう。

[0020] 特許文献３は、非極性面または反極性面を主面とする半導体を有する発光素子において、出射する光の偏光方向に対して垂直方向に伸びるストライプ状の溝を形成することにより、出射効率の低下を抑制することを開示している。特許文献３によれば、ブリュースター角で出射面へ入射する光のうちＰ波成分は、反射することなく（反射率ゼロ）出射面から透過することができる。このため、出射する光の偏光方向に対して垂直方向に伸びるストライプ状の溝を構成する面を出射面とすれば、光の偏光方向はＰ波成分の方向と一致するため、偏光光の透過率を高めることができると記載されている。

[0021] また、特許文献４は、出射する光の配光特性を改善するために、特許文献３と同様、発光素子の偏光方向に対して垂直に伸びる凹凸形状が出射面に設けられた発光ダイオード装置を開示している。

[0022] しかし、本願発明者が特許文献３に開示された発光素子を詳細に検討したところ、出射する光の電界強度の偏りが減少していることが分かった。つまり、特許文献３の構造によれば、偏光特性が十分に維持した状態で光を取り出すことが困難であることが分かった。

[0023] また、本願発明者が検討したところ、特許文献３、４に開示された発光素子によれば、配光特性に大きな非対称性があることが分かった。

[0024] 本発明はこのような従来技術の課題の少なくとも１つを解決するものであって、その主な目的は、偏光特性を維持し、光取出し効率の向上を実現できる半導体発光素子を提供することになる。また、配光特性が改善された偏光光を出射する半導体発光素子を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0025] 本発明の半導体発光素子は、ｎ型窒化物半導体層と、ｐ型窒化物半導体層と、ｍ面窒化物半導体層を含み、前記ｎ型窒化物半導体層および前記ｐ型窒化物半導体層に挟まれた活性層領域と、前記ｎ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｎ型電極と、前記ｐ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｐ型電極と、前記活性層領域で発生する偏光光を外部へ取出す出射面と、前記出射面に設けられたストライプ構造であって、前記ｍ面窒化物半導体層のａ軸方向と略平行に伸びる複数の凸部を有するストライプ構造とを備える。

[0026] ある好ましい実施形態において、前記複数の凸部は、前記出射面と非平行な少なくとも１つの斜面を有する。

[0027] ある好ましい実施形態において、前記偏光光は、前記ａ軸方向よりもｃ軸方向に広い放射角度を有する配光特性で、前記活性層領域で発生する。

[0028] ある好ましい実施形態において、半導体発光素子は、第１および第２の主面を有するｎ型窒化物半導体基板をさらに備え、前記第１の主面は、前記ｎ型窒化物半導体層に接しており、前記出射面は、前記第２の主面である。

[0029] ある好ましい実施形態において、前記ｐ型窒化物半導体層は、第１および第２の主面を有し、前記第２の主面は前記活性層領域側に位置しており、前記出射面は前記第１の主面である。

[0030] ある好ましい実施形態において、半導体発光素子は、前記ｎ型窒化物半導体層に接して設けられたｎ型窒化物半導体基板と、第１および第２の主面を有する光出力部材とをさらに備え、前記第１の主面は、前記ｎ型窒化物半導体基板の前記ｎ型窒化物半導体層に接している面とは反対の面に接しており、前記出射面は、前記第２の主面である。

[0031] ある好ましい実施形態において、前記光出力部材の屈折率は１より大きい。

[0032] ある好ましい実施形態において、前記複数の凸部の伸びる方向と前記ａ軸方向とがなす角度は、±３°以内である。

[0033] ある好ましい実施形態において、前記複数の凸部の周期は３００ｎｍ以上、８μｍ以下である。

[0034] 本発明の半導体発光素子の製造方法は、ｎ型窒化物半導体層と、ｐ型窒化物半導体層と、前記ｎ型窒化物半導体層および前記ｐ型窒化物半導体層に挟まれており、ｍ面窒化物半導体層を含む活性層領域とを有する半導体積層構造を基板上に形成する工程と、前記ｎ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｎ型電極および前記ｐ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｐ型電極を形成する工程と、前記基板の前記半導体積層構造が設けられていない面に、前記ｍ面窒化物半導体層のａ軸方向と略平行に伸びる複数の凸部を有するストライプ構造を形成する工程とを包含する。

発明の効果

[0035] 本発明の半導体発光素子によれば、活性層領域で発光した光を取り出す出射面に、ａ軸と略平行に伸びるストライプ構造が設けられているため、ａ軸方向の偏光光を、ストライプを構成する凸部の斜面や上面にｓ波成分を主とする光として入射させることができる。このため、偏光特性を維持したまま、偏光光の外部への取出し効率を向上させることができる。また、さらに、ａ軸方向の偏光光は、ｍ軸に近づくように凸部の斜面と外部との境界で屈折するため、配光特性の非対称性が改善される。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]ウルツ鉱型結晶構造の基本ベクトルａ１、ａ２、ａ３、ｃを示す斜視図である。

[図2]（ａ）はＧａＮの単位格子を模式的に示す斜視図であり、（ｂ）および（ｃ）はそれぞれ、ｃ面の結晶構造およびｍ面の結晶構造を表す図である。

[図3]本発明による半導体発光素子の第１の実施形態を示す模式的断面図である。

[図4]（ａ）は第１の実施形態におけるストライプ構造を示す斜視図であり、（ｂ）はストライプ構造の凸部の模式的な断面図である。（ｃ）および（ｄ）は、ストライプの伸びる方向を示す模式的な上面図である。

[図5]（ａ）から（ｃ）は、ストライプ構造の凸部の例を示す模式的な断面図である。

[図6]（ａ）はストライプ構造への入射光と反射光の一例を示した図であり、（ｂ）はストライプ構造の斜面の角度と反射光の入射角度の関係を示した図である。

[図7]（ａ）および（ｂ）は、ストライプ構造の他の例を示す模式的な上面図である。

[図8]入射角と反射率および透過率の関係を示した図である。

[図9]（ａ）は、ａ軸方向の偏光光の伝搬ベクトルをしめす模式図であり、（ｂ）は、ｍ軸から見た場合におけるａ軸方向およびｃ軸方向の配光特性を示す図である。

[図10]第1の実施形態において、ストライプ構造の凸部に入射する偏光光の一例を模式的に示した図である。

[図11]偏光方向と垂直方向に形成されたストライプ構造の出射面に入射する偏光光の一例を模式的に示す図である。

[図12]（ａ）および（ｂ）はそれぞれａ軸方向から、およびｃ軸方向から、平坦出射面を有する半導体発光素子の出射面に対する入射光と透過光の一例を模式的に示した図であり、（ｃ）は第１の実施形態における窒化物系半導体発光素子の出射面に対する入射光と透過光の一例を模式的に示す図である

。

[図13]第１の実施形態の製造途中の構造を示す模式的断面図である。

[図14]本発明による半導体発光素子の第２の実施形態を示す模式的断面図である。

[図15]本発明による半導体発光素子の第３の実施形態を示す模式的断面図である。

[図16]本発明による半導体発光素子の第４の実施形態を示す模式的断面図である。

[図17]本発明による半導体発光素子の第５の実施形態を示す模式的断面図である。

[図18]本発明による半導体発光素子の第６の実施形態を示す模式的断面図である。

[図19]本発明による半導体発光素子の第７の実施形態を示す模式的断面図である。

[図20]（ａ）は平坦出射面を有する半導体発光素子の配光特性を示す図であり、（ｂ）および（ｃ）はそれぞれ（ａ）に示す結果を模式的に表した図である。

[図21]配光特性の測定に用いた測定系の構成を示す図である。

[図22]ストライプ構造の向きと配光特性の関係を示した図であって、（ａ）はａ軸方向の配光特性を示し、（ｂ）はｃ軸方向の配光特性を示した図である。

[図23]実施例１、実施例２、参考例１、参考例２、比較例１、比較例２における半導体発光素子のストライプ構造のピッチと偏光度の維持率の関係を示す図である。

[図24]偏光度の測定に用いた測定系の構成を示す図である。

[図25]実施例１、参考例１、比較例１における半導体発光素子のストライプ構造とａ軸のなす角と光取出し効率の関係を示した図である。

[図26]実施例３、参考例３、比較例３における半導体発光素子のストライプ

構造の角βと比偏光度の関係を示す図である。

[図27]（ａ）は実施例１、２、参考例１、２、比較例１、２におけるストライプ構造の断面形状を模式的に示した図であり、（ｂ）は実施例３、参考例３におけるストライプ構造の断面形状を模式的に示した図である。

発明を実施するための形態

[0037] 本願発明者は、ｍ面窒化物系半導体発光素子において活性層から発光する光の偏光特性および配光特性と出射面との関係を詳細に検討した。その結果、出射される光の偏光特性は、窒化物系半導体発光素子の活性層で発生した偏光光が持つ主たる電界ベクトルの方向と出射面の形状の関係に依存していることを見出した。また、出射される光の配光特性は、偏光光が持つ主たる伝搬ベクトルの方向と出射面の形状の関係に依存していることを見出した。これらの知見に基づき、本願発明者は、ｍ面発光素子において、出射面の形状を最適化することによって、出射する光における偏光特性の維持と光取出し効率向上と、配光特性の改善とを同時に実現できる窒化物系半導体発光素子を想到した。以下、図面を参照しながら本発明による発光素子の実施形態を説明する。以下の図面においては、説明の簡略化のため、実質的に同一の機能を有する構成要素を同一の参照符号で示す場合がある。なお、本発明は以下の実施の形態に限定されない。

[0038] （第１の実施形態）

図３は、本発明による半導体発光素子の第１の実施形態の断面構造を模式的に示している。図３に示すように半導体発光素子１０１は基板１０と、基板１０上に形成されており、活性層領域２２を含む半導体積層構造２０を備える。以下において詳細に説明するように、半導体発光素子１０１は、窒化物系半導体のｍ面を主面とする活性層で発光する偏光光を出射する。このため半導体積層構造２０は、ｍ面を主面とする活性層領域２２を含み、窒化物半導体、より具体的には、$Al_xIn_yGa_zN$（ｘ＋ｙ＋ｚ＝１、ｘ≧０、ｙ≧０、ｚ≧０）半導体から形成されている。

[0039] 半導体積層構造２０は活性層領域２２の他に、ｎ型窒化物半導体層２１お

よびｐ型窒化物半導体層２２を含み、活性層領域２２は、ｎ型窒化物半導体層２１およびｐ型窒化物半導体層２２に挟まれている。特に図示しないが、活性層領域２２とｐ型窒化物半導体層２３との間に、アンドープのＧａＮ層を設けても良い。

[0040] また、半導体発光素子１０１は、ｎ型窒化物半導体層２１およびｐ型窒化物半導体層２３にそれぞれ電気的に接続されたｎ型電極３０およびｐ型電極４０をさらに備えている。本実施の形態では、半導体積層構造２０に凹部３１を設けることによって、ｎ型窒化物半導体層２１の一部を露出させ、露出したｎ型窒化物半導体層２１上にｎ型電極３０が設けられている。ｎ型電極３０は、例えば、Ｔｉ層およびＰｔ層の積層構造（Ｔｉ／Ｐｔ）などで形成される。また、ｐ型窒化物半導体層２３上にｐ型電極４０が設けられている。ｐ型電極４０は概ねｐ型窒化物半導体層２３の表面全体を覆っていることが好ましい。ｐ型電極４０は例えば、Ｐｄ層およびＰｔ層の積層構造（Ｐｄ／Ｐｔ）などで形成される。

[0041] 基板１０は、半導体積層構造２０を形成するのに適したものが選ばれる。具体的には、ＧａＮ基板の他、酸化ガリウム、ＳｉＣ基板、Ｓｉ基板、サファイア基板などを用いることができる。基板１０上にm面を主面とする活性層領域を含む半導体積層構造２０をエピタキシャル成長させるためには、ＳｉＣ基板やサファイア基板の面方位もm面である方が好ましい。ただし、ｒ面サファイア基板上にａ面ＧａＮが成長することが報告されているように、ｍを主面とする活性層領域２２を成長させるために、基板１０の表面がm面であることは必須ではない。また、基板１０以外の他の基板上に半導体積層構造２０が形成された後、半導体積層構造２０を他の基板から剥がし取り、半導体積層構造２０を基板１０に貼り付けてもよい。

[0042] ｎ型窒化物半導体層２１は、例えばｎ型の$Al_uGa_vIn_wN$（ｕ＋ｖ＋ｗ＝１、ｕ≧０、ｖ≧０、ｗ≧０）から形成されている。ｎ型ドーパントとして、例えばシリコン（Ｓｉ）を用いることができる。

[0043] ｐ型窒化物半導体層２３は、例えばｐ型のAl_sGa_tN（ｓ＋ｔ＝１、ｓ≧

０、ｔ≧０）半導体から形成されている。ｐ型ドーパントとして、例えばマグネシウム（Ｍｇ）を用いることができる。Ｍｇ以外のｐ型ドーパントとして、例えば亜鉛（Ｚｎ）、ベリリウム（Ｂｅ）などを用いてもよい。ｐ型窒化物半導体層２３において、ＡＩの組成比率ｓは、厚さ方向に一様であってもよいし、ＡＩの組成比率ｓが厚さ方向に連続的または階段的に変化していてもよい。具体的には、ｐ型窒化物半導体層２３の厚さは、例えば、０．２μｍ以上２μｍ以下程度である。

[0044] ｐ型窒化物半導体層２３において、第１の主面２３ａ近傍、すなわち、ｐ型電極４０との界面近傍はＡＩの組成比率ｓがゼロであること、つまり、ＧａＮであることが好ましい。また、この場合、ＧａＮにはｐ型の不純物が高濃度で含まれており、コンタクト層として機能することが好ましい。特に図示しないが、ｐ型窒化物半導体層２３とｐ型電極４０との間にp^+－ＧａＮからなるコンタクト層が設けられていてもよい。

[0045] 活性層領域２２は、半導体発光素子１０１における発光領域であり、偏光特性に優れ、高い発光効率で偏光光を発光するため、ｍ面上に形成された窒化物半導体層を含む。活性層領域２２は、ｍ面に対して成長方向が垂直であり活性層領域の第１の主面２２ａおよび第２の主面２２ｂはｍ面である。ただし、第１の主面２２ａおよび第２の主面２２ｂは、ｍ面に対して完全に平行な面である必要はなく、ｍ面から所定の角度で傾斜していてもよい。傾斜角度は、第１の主面２２ａまたは第２の主面２２ｂの法線とｍ面の法線とが形成する角度により規定される。傾斜角度θの絶対値は、ｃ軸方向において５°以下、好ましくは１°以下の範囲であればよい。また、a軸方向において５°以下、好ましくは１°以下の範囲であればよい。このような傾斜角度であれば、活性層領域の第１の主面２２ａまたは第２の主面２２ｂは、全体的にｍ面から傾斜しているが、微視的には１から数原子層オーダーの高さのステップによって構成され、多数のｍ面領域を含んでいると考えられる。このため、ｍ面から絶対値で５°以下の角度で傾斜している面は、ｍ面と同様の性質を有すると考えられる。したがって、本実施形態のｍ面窒化物半導体層

は、ｍ面から絶対値で５°以下の角度で傾斜している面上に形成された窒化物半導体層を含む。なお、傾斜角度θの絶対値が５°より大きくなると、ピエゾ電界によって内部量子効率が低下する。したがって、傾斜角度θの絶対値を５°以下に設定する。

[0046] 活性層領域２２は、例えば、ｍ面窒化物半導体層である厚さ３ｎｍ以上２０ｎｍ以下程度の$Ga_{1-x}In_xN$井戸層（０＜ｘ＜１）と、厚さ５ｎｍ以上３０ｎｍ以下程度のＧａＮバリア層とが交互に積層されたＧａＩｎＮ／ＧａＮ多重量子井戸（ＭＱＷ）構造を有している。半導体発光素子１０１から出射する光の波長は、活性層領域２２を構成する半導体のバンドギャップの大きさ、より具体的には、井戸層の半導体組成である$Ga_{1-x}In_xN$半導体におけるＩｎの組成ｘによって決まる。ｍ面上に形成された活性層領域２２にはピエゾ電界が発生しない。このため、Ｉｎ組成を増加させても発光効率の低下が抑制される。その結果、窒化物系半導体を用いた発光素子であってもＩｎ組成を大きく増加することにより、赤色の発光ダイオードを実現することができる。また、ｍ面上に形成された活性層領域２２を用いることによって、ａ軸方向の偏光光を発光させることができる。

[0047] 基板１０は、第１の主面１０ａおよび第２の主面１０ｂを有し、第１の主面１０ａは半導体積層構造２０のｎ型窒化物半導体層２１と接している。第２の主面１０ｂは活性層領域２２で発光した偏光光を取り出す出射面となる。本実施形態では、第２の主面１０ｂにストライプ構造５０が設けられている。以下、ストライプ構造５０を詳細に説明する。

[0048] 図４（ａ）は、ストライプ構造５０を模式的に示した斜視図である。また、図４（ａ）の左上に、活性層領域２２に含まれるｍ面窒化物半導体層の結晶軸の方向を示している。図４（ａ）に示すように、ストライプ構造５０は、ｍ面窒化物半導体層のａ軸と平行に伸びる複数の凸部（尾根またはリッジ）５０ａを有している。ストライプ構造５０が設けられる第２の主面１０ｂ、つまり出射面は、ａ軸およびｃ軸と平行であり、ｍ軸に垂直である。

[0049] 複数の凸部５０ａの間にはａ軸と平行に伸びる複数の溝５０ｂが形成され

るため、ストライプ構造５０は、複数の溝５０ｂを備えているとも言える。本願明細書では、ストライプ構造５０が設けられる部材からの偏光光の出射を議論するため、ストライプ構造５０は「凸部」を有するとして説明する。しかし、ストライプ構造５０は、出射面に「溝」を設けることによって「凸部」を形成してもよい。

[0050] 本実施形態では、各凸部５０ａは、出射面である第２の主面１０ｂと平行な上面５３と、出射面と非平行な少なくとも１つの斜面５２とを含む。ただし、各凸部５０ａは、第２の主面１０ｂと非平行な、少なくとも１つの斜面５２を含んでいればよい。また、以下において説明するように、斜面５２は曲面であってもよい。各凸部５０ａの高さｈはλ／（４×ｎ）以上が好ましく、λ／（４×ｎ）以上１０μｍ以下がより好ましい。ここで、λは活性層領域２２の発光波長、ｎはストライプ構造５０を構成している材料の屈折率である。本実施形態では、基板１０を構成している材料の屈折率である。例えば、活性層領域２２で発生する偏光光の波長を４５０ｎｍ、ストライプ構造５０を構成している材料の屈折率ｎを２．５とすると、高さｈは４５ｎｍ以上であることが好ましい。

[0051] 高さｈをλ／（４×ｎ）以上とすることで、ストライプ構造５０は光取出し効率向上の効果が得られる。高さｈの上限は製造方法に依存する。例えば化学的ドライエッチングを用いた場合、ストライプ構造の斜面には、α＝６５°程度となる結晶面が発生しやすいため、ストライプ構造のアスペクト比は１．２程度になる。ここで、アスペクト比とは、ストライプ構造５０の底辺の長さｂとストライプ構造５０の高さｈの比で表し、式（１０）に示す値を言う。

[数10]

$$\text{アスペクト比} = \frac{\text{高さ h}}{\text{底辺の長さ b}} \qquad (10)$$

[0052] この場合、底辺の長さｂ＝１０μｍのとき、高さｈの上限は１２μｍとなる。ここで化学的ドライエッチングとは、塩素ラジカルなど、窒化物半導体

に対して化学反応性が高いプラズマ条件下でのドライエッチングのことである。

[0053] 一方、物理的ドライエッチングを用いた場合、ストライプ構造のアスペクト比は５程度まで高めることが可能である。この場合、底辺の長さｂ＝１０μｍのとき、高さｈは５０μｍとなる。ここで物理的ドライエッチングとは、塩素イオンなどのプラズマ条件下による物理的な窒化物半導体のドライエッチングのことである。

[0054] ただし、実際には高さｈは基板の厚さ以上の高さは実現できない。また好ましくは、高さｈは基板の厚さの半分程度以下にすることで、ストライプ構造形成後も基板の剛性を保つことが可能となり、取扱上の問題が生じない。

[0055] ｍ面（出射面あるいは第２の主面）とストライプ構造５０の斜面５２のなす角α（以下、「角α」と表記する）は（９０°－θ_c）／２＜α＜９０°以下であることが好ましい。ここで、θ_cはストライプ構造５０に入射する光の臨界角である。臨界角θ_cより大きな角度で入射した光は全反射し、透過率はゼロとなる。図４（ｂ）は、ストライプ構造５０の１つの凸部５０ａの長手方向（凸部５０ａの伸びる方向）に垂直な断面形状５６を一般的に示している。図４（ｂ）に示すように、斜面５２は複数の斜面部分を有していても良い。このとき、それぞれの斜面部分とｍ面のなす角をα_{ij}（ｉ，ｊは整数であり、０≦ｉ，ｊ≦∞を満たす）とすると、$\alpha_{ij} \neq \alpha_{lm}$（ｉ≠ｌまたはｊ≠ｍであり、かつ、０≦ｌ，ｍ≦ｉ，ｊ）であってもよい。α_{ij}は、ｃ軸方向に配列したｉ番目の斜面５２において、凸部５０ａの根元からｊ番目の斜面部分とｍ面（出射面あるいは第２の主面）とがなす角度を示す。また、一本の凸部５０ａの長手方向において、異なる断面形状５６を有していても良い。

[0056] ただし、０°＜α_{ij}≦９０°であり、（９０°－θ_c）／２＜α_{ij}＜９０°を満たす斜面５２の面積が、その他の斜面５２、すなわち、０°＜α_{ij}≦（９０°－θ_c）／２または９０°≦α_{ij}＜１５０°を満たす斜面５２の面積と比較し、大きいことが好ましい。詳細は後述するが、（９０°－θ_c）／２＜α_{ij}＜９０°の条件を満たす斜面５２に臨界角θ_cより大きな角度で入射した光の一部

は、斜面５２において全反射し、他の斜面５２へ臨界角θ_c以下の入射角で入射する。従って、少ない反射回数で光を窒化物系半導体発光素子１００の外部に取出すことができ、光取出し効率がさらに向上し、偏光特性の維持が実現できる。

[0057] α_{ij}の条件を満たす断面形状５６には、例えば、図５（ａ）に示すような三角形の形状や、図５（ｂ）に示すような、左右非対称の形状が含まれる。また、ｊ＝∞、つまり、斜面５２が、多数のα_{ij}の異なる微小傾斜部分によって構成されている場合、図４（ｃ）に示すように、断面形状５６は円や楕円の一部等、曲線を含む形状となる。さらに、ストライプ構造５０を構成する凸部５０ａは、等間隔に規則的に配置する必要はなく、ピッチｐが変調されている場合も本願の効果は得られる。凸部５０ａの高さｈも、すべてにおいて、同一である必要はなく、複数の凸部５０ａの高さが異なっていてもよい。

[0058] ここで、α_{ij}の範囲が、（９０°－θｃ）／２＜α_{ij}＜９０°を満たすとき、少ない反射回数で光を半導体発光素子１０１の外部に取出すことができる理由を詳細に説明する。図６（ａ）は、左右対称のストライプ構造５０の斜面５２（１）に入射角θ_1で入射した光と、その反射光を模式的に示した図である。反射光は、図６（ａ）で示すように、斜面５２（１）とは異なる斜面５２（２）へ入射角θ_2で入射する。ストライプ構造５０の頂点を点Ａ、入射光と斜面５２（１）の交点を点Ｂ、反射光と斜面５２（２）の交点を点Ｃとする。このとき、三角形ＡＢＣの内角の和から、式（１）の関係が成立する。

[数1]

$$\theta_2 = -2\alpha + (180 - \theta_1) \qquad (1)$$

[0059] ここで、入射光が、臨界角θ_c以下の角度θ_1で斜面５２（１）に入射した場合には入射光は反射せず全て斜面５２（１）から外部へ透過すると仮定する。反射光が存在するためには、θ_1の範囲は、θ_c＜θ_1＜９０°であることが必要である（以下、「条件θ_1」と記載する）。また、斜面５２（１）における

反射光が斜面５２（２）において透過するためには、θ_2は、$-\theta_c<\theta_2<\theta_c$を満たすことが必要である（以下、「条件$\theta_2$」と記載する）。式（１）の関係を用いて条件$\theta_1$を整理すると、条件$\theta_1$および条件$\theta_2$を満たす$\alpha$および$\theta_2$は、図６（ｂ）の斜線の領域で示される。したがって、条件θ_1および条件θ_2を満たし、θ１が存在する角αの範囲は、（９０°－θ_c）／２＜α＜９０°であることが分かる。ストライプ構造５０を構成する斜面５２のうち、半分以上が、上述の角αの範囲を満たすことにより、十分な光量で斜面５２から半導体発光素子１０１の外部へ出射する。

[0060] 斜面５２および上面５３は透過光の散乱を抑制するため、できるだけ滑らかであることが好ましい。そのため、例えば、斜面５２および上面５３に形成される表面の凹凸は、λ／（４×ｎ）より小さいことが好ましい。

[0061] 図４（ｃ）は、ストライプ構造５０を上面から見た図を模式的に示したものである。ストライプ構造５０の凸部５０ａの伸びる方向とａ軸とは互いに略平行であることが好ましい。具体的には、「略平行」とは、ストライプ構造５０の凸部５０ａの伸びる方向とａ軸のなす角βが±３°以内であることを言う。角βとは、ストライプ構造５０の凸部５０ａの伸びる方向、例えば、図４（ａ）中のハッチングされた平面５４と斜面５２との交わる直線５５と、ａ軸とのなす角とする。窒化物半導体のａ軸は、例えば、基板１０に設けられたオリエンテーションフラットを基準に決定できるが、基板１０の製造工程において、オリエンテーションフラットを形成する差異に、方位誤差が生じ得る。また、ストライプ構造５０を基板１０に形成する際にもストライプ構造５０の凸部５０ａの伸びる方向の方位誤差が生じ得る。これらの誤差は概ね上述した範囲である。また、以下の実施例において説明するように上述した範囲であれば、本発明の顕著な効果が見られる。

[0062] 平面５４はａ軸とｃ軸の作る平面（以下、「ａｃ平面」と表記する）と平行な面であり、平面５４は斜面５２と交わる範囲において存在する。図４（ｄ）は、図４（ｃ）の一部の拡大図である。図４（ｄ）で示すように直線５５は必ずしも一本の直線である必要はなく、１つの直線５５がａ軸に対して

異なる角度をなす複数の線分で構成されていてもよい。このとき、図４（ｄ）に示すように、直線５５のそれぞれの線分とａ軸のなす角をβ_{ij}（ｉ，ｊは整数であり、０≦ｉ，ｊ≦∞を満たす）と置くと、$\beta_{ij} \neq \beta_{lm}$（ｉ≠ｌまたはｊ≠ｍであり、かつ、０≦ｌ，ｍ≦ｉ，ｊ）であっても良い。ただし、β_{ij}≦±３°とする。また、図７（ａ）に示すように、ストライプ構造５０において、隣接する一対の凸部５０ａが、凸部５０ａの伸びる方向と非平行に伸びる１つ以上の接続部５０ｃによって接続されていてもよい。この場合、接続部５０ｃの長さ（実線で示す）よりも凸部５０ａの長さ（破線で示す）のほうが長いことが好ましい。あるいは、図７（ｂ）に示すように、ストライプ構造５０において、凸部５０ａが凸部５０ａと非平行な方向に伸びる１つ以上の溝５０ｄによって、分断され、破線状になっていてもよい。この場合、角β＞３°をなす斜面の長さ（実線で示す）よりも角β≦±３°をなす斜面の長さ（破線で示す）のほうが長いことが好ましい。

[0063] 以下、ストライプ構造５０と半導体発光素子１０１から出射する光の偏光特性との関係およびストライプ構造５０と配光特性の関係を説明する。

[0064] 図３に示すように、活性層領域２２活性層領域２２で発生した偏光光は、ｎ型窒化物半導体層２１および基板１０を伝搬し、出射面である第２の主面１０ｂに入射（以下において、「入射光」と表記する。入射光の一部は、ストライプ構造５０を構成している材料の外部へ伝搬する。また、入射光の他の一部は、第２の主面１０ｂにおいて反射し、再びストライプ構造５０を構成している材料の内部へ伝搬する。以下において、ストライプ構造５０を構成している材料の外部へ伝搬した光を「透過光」と表記し、ストライプ構造５０を構成している材料の内部へ伝搬した光を「反射光」と表記する。また、入射光の強度に対する透過光の強度を、「透過率」と表記し、入射光の強度に対する反射光の強度を、「反射率」と表記する。さらに、入射光の伝搬ベクトルと、出射面（第２の主面１０ｂ）に対する法線ベクトルのなす角を「入射角」、透過光の伝搬ベクトルと、出射面に対する法線ベクトルのなす角を、「屈折角」、入射光の伝搬ベクトルと出射面に対する法線ベクトルが

作る面を「入射面」と表記する。ここで、伝搬ベクトルとは、光の進む方向と考えることができる。さらに、光を入射面に平行な電界ベクトル成分と、入射面に垂直な電界ベクトル成分の２つの成分に分解し、それぞれ「ｐ波」「ｓ波」と表記する。

[0065] 次に、平面に入射する入射光の持つ偏光特性が、透過光において維持される条件を考察する。図８は、平面に入射する入射光の入射角に対する透過率および反射率の関係を、ｐ波成分とｓ波成分に分解して計算した結果を示している。計算は、以下の式（２）から式（５）に示すフレネルの公式を用いた。ただし、Ｒｐはｐ波の反射率、Ｒｓはｓ波の反射率、Ｔｐはｐ波の透過率、Ｔｓはｓ波の透過率、θｉは入射角、θｔは屈折角とする。また、ストライプ構造５０を構成している材料の屈折率ｎを２．５、ストライプ構造５０を構成している材料の外部の屈折率を１．０として計算した。

[0066] 図８から分かるように、入射光のｐ波成分とｓ波成分は、それぞれ異なる透過率及び屈折率を有する。このことは、入射光がｐ波とｓ波の合成波で形成される場合、入射光のｐ波における電界ベクトルのスカラー量とｓ波における電界ベクトルのスカラー量の割合は、平面を透過すると変化する、つまり、透過光の偏光方向は入射光の偏光方向から変化していること意味している。したがって、一般的には、入射光の電界ベクトルの方向を出射光は維持することができない。

[0067] しかし、入射光のｐ波成分またはｓ波成分のいずれかがゼロである場合、ゼロである波の成分は透過光中に生じ得ないため、スカラー量の割合が変化することはなく、電界ベクトルの方向が維持できる。すなわち、偏光特性を維持するためには、全ての入射光のｐ波成分またはｓ波成分のいずれかがゼロであれば良い。

[数2]

$$R_p = \left\{ \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} \right\}^2 \qquad (2)$$

[数3]

$$R_p = \left\{ \frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \right\}^2 \quad (3)$$

[数4]

$$T_p = \frac{n_t \cos\theta_t}{n_i \cos\theta_i} \left\{ \frac{2\sin\theta_t \cos\theta_t}{\sin(\theta_i + \theta_t)\cos(\theta_i - \theta_t)} \right\}^2 \quad (4)$$

[数5]

$$T_p = \frac{n_t \cos\theta_t}{n_i \cos\theta_i} \left\{ \frac{2\sin\theta_t \cos\theta_t}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \right\}^2 \quad (5)$$

[0068] ｍ面を主面とする窒化物系半導体からなる半導体発光素子１０１はａ軸方向の偏光光を持つ。また偏光光はａ軸方向（ｍａ平面）よりもｃ軸方向（ｍｃ平面）における放射角度の方が広いという配光特性を有している。このため、本発明の半導体発光素子では、（１）ストライプ構造５０の斜面５２および上面５３に入射する入射光がｓ波成分を主とし、ｐ波成分がほぼゼロである光にとなるように、活性層領域２２で発生した偏光光をストライプ構造５０に入射させる。また、（２）放射角が広いｃ軸方向（ｍｃ平面）において、偏光光が（１）の条件を満たして、ストライプ構造５０の斜面５２および上面５３に入射するように、活性層領域２２で発生した偏光光をストライプ構造５０に入射させる。本発明の半導体発光素子これら２つの特徴によって、偏光特性を維持したまま、光の取出し効率を向上させ、また配光特性を改善する。

[0069] 図９（ａ）はａ軸方向の偏光光の伝搬ベクトルの主な存在範囲を模式的に表した図である。伝搬ベクトルは電界ベクトルに垂直な方向の成分が主である。今、点ｑで発生したa軸方向の偏光光の伝搬ベクトルｋ１、ｋ２・・・は図９（ａ）中のハッチングされた平面６０、すなわちｍ軸とｃ軸の作る平面

（以下、「ｍｃ平面」と表記する）に対して平行な平面に、主に存在する。図９（ｂ）は、点ｑで発生した偏光光の配光特性を示している。ａｃｍ座標の原点に点ｑを配置した場合、上述したように、偏光光はａ軸方向（ｍａ平面）よりもｃ軸方向（ｍｃ平面）における放射角度の方が広いという配光特性を有している。

[0070] 半導体発光素子１０１において、ストライプ構造５０は、凸部５０ａの伸びる方向がａ軸と平行となるように配置される。このとき、角βがゼロ、つまり、凸部５０ａの伸びる方向がａ軸と平行なストライプ構造５０の斜面５２や上面５３における入射光は、図１０に示すように、ｓ波が主となる。偏光光はa軸方向に電解強度分布が偏っており、ａ軸方向と直交方向における電解強度分布は小さい。したがって、斜面５２および上面５３に入射する入射光のｐは成分はほぼゼロである。このため、上述した理由から、透過光の偏光特性はほぼ維持される。また、このとき、図１０に示すように、ｍｃ平面において広い放射角度で放射する偏光光はほとんど２つの斜面５２および上面５３にｓ波の光として入射する。活性層領域２２で発生した偏光光のほとんどすべてが、上述した条件を満たし、偏光特性を維持したまま、外部へ透過することができる。したがって、本発明の半導体発光素子によれば、偏光特性を維持し、かつ高い取出し効率で偏光光を外部へ出射させることができる。

[0071] これに対し、特許文献３、４の発光素子では偏光特性を維持できないと考えられる。特許文献３、４の発光素子では、偏光光の偏光方向に対してストライプが垂直に延伸しており、β＝９０°の場合に該当すると考えられる。この場合、図１１に示すように、点ｑで発生したａ軸方向の偏光光の伝搬ベクトルは、例えば、ｋ１やｋ２のようにｍｃ平面内に存在する。このとき、伝搬ベクトルｋ１とｃ軸のなす角を９０°とすると、伝搬ベクトルｋ１の入射面はｍａ平面と平行になる。電界ベクトルの方向はａ軸方向なので、伝搬ベクトルｋ１を有する偏光光ｋ１は、ストライプ構造５０の斜面５２にｐ波として入射する。また、ｓ波成分は存在しない。このため、偏光光ｋ１の電

界ベクトルの方向は維持される。

[0072] しかし、点ｑで発生したａ軸方向の偏光光の多くは、伝搬ベクトルｋ２のように、伝搬ベクトルとｃ軸とのなす角が９０°とは異なる角度となる。伝搬ベクトルｋ２の入射面はｍａ平面と平行とはならない。このとき、伝搬ベクトルｋ２を有する偏光光ｋ２は、ストライプ構造５０の斜面５２にｓ波とｐ波の合成波として入射することになる。よって、偏光光ｋ２は、斜面５２から外部へ透過する際、ｐ波およびｓ波のスカラー量の割合が変化し、電界ベクトルの方向も変化してしまう。このため、点ｑで発生したａ軸方向の偏光光は、偏光光ｋ１を除き、全ての偏光光が斜面５２において電界ベクトルの方向を乱されてしまう。その結果、β＝９０°の場合、偏光度は大きく減少し、偏光特性を維持できない。ここで偏光度とは式（６）で表わされる値を言う。

[数6]

$$(\text{偏光度}) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \qquad (6)$$

I_{max}およびI_{min}は、次のような計測を行った際に得られる値を言う。出射面に対して平行に偏光板を設置し、上記偏光板を回転させ、偏光板を透過した光の強度を計測する。計測された光の強度は、ある角度で最大値をとり、別の角度で最小値をとる。このとき、最大値をI_{max}とし、最小値をI_{min}とする。光の強度が全ての角度で同一である場合、I_{max}とI_{min}とは等しく、偏光度はゼロとなる。

[0073] 本発明の半導体発光素子は、上述した関係で偏光光をストライプ構造５０に入射させることにより、配光特性の非対称性も改善することができる。図１２（ａ）および（ｂ）は、光取出し構造を備えておらず、ｍ面と平行な出射面６１を有する半導体発光素子から光が出射する場合の光線の屈折方向を説明している。

[0074] 図１２（ａ）は、ａ軸方向から見た図であり、出射面６１に入射する入射光は、出射面６１に近づく方向に屈折し、発光素子の外部へ出射する。その

結果、透過光の伝搬ベクトルはｃ軸方向に近づく。また、a軸方向の偏光光の伝搬ベクトルは、a軸方向成分が少ない。このため、図１２（ｂ）のようにｃ軸方向から見ると、主たる入射光は出射面に対し、ほぼ垂直に入射し、ほぼ屈折することなく透過する。これは、活性層領域で発生する偏光光が、もともとａ軸方向よりもｃ軸方向に放射角度が広い配光特性を有しているのに、ｍ面と平行な出射面６１から偏光光が出射することにより、ｃ軸方向における放射角度がより広がることを意味する。

[0075] このことから、半導体発光素子１０１の活性層領域２２から出射される光の伝搬ベクトルは、（ａ軸方向成分）＜（ｃ軸方向成分）という関係が成り立つ。この関係は、（ａ軸方向に出射する光強度）＜（ｃ軸方向に出射する光強度）という関係が成り立つことを意味する。すなわち、配光特性の非対称性がある。

[0076] しかし、本実施形態の半導体発光素子１０１によれば、図１２（ｃ）に示すように、ストライプ構造５０の斜面５２に入射光は、上記出射面に近づく方向に透過し、結果として、透過光の伝搬ベクトルはｍ軸に近づく。つまり、ｃ軸方向における放射角度が狭くなるように屈折する。したがって、半導体発光素子１０１から出射する偏光光は、平坦な出射面６１を持つ半導体発光素子から出射した光と比較し、ｃ軸方向成分を持つ伝搬ベクトルが減少している。その結果、ａ軸方向成分を持った伝搬ベクトルと、ｃ軸方向成分を持った伝搬ベクトルの量が近くなり、配光特性の非対称性が改善される。

[0077] このように本発明の半導体発光素子によれば、活性層領域で発生した光を取り出す出射面に、ａ軸と平行に伸びるストライプ構造が設けられているため、ａ軸方向の偏光光をストライプを構成する凸部の斜面や上面にｓ波成分を主とする光として入射させることができる。このため、偏光特性を維持したまま、偏光光の外部への取出し効率を向上させることができる。また、発生した偏光光の大部分がａ軸方向の偏光光であり、上記条件を満足して凸部の斜面や上面に入射するため、偏光特性を維持したまま外部へ出射することができ、高い割合で偏光特性を維持することができる。さらに、ａ軸方向の

偏光光は、ｍ軸に近づくように凸部の斜面と外部との境界で屈折するため、配光特性の非対称性が改善される。

[0078] 本発明は、透過率の高さあるいは反射率の低さではなく、偏光特性を維持できる条件を満たしてストライプ構造に入射する光をできるだけ多くするという観点でストライプ構造を半導体発光素子の出射面に設けている。この点で、反射率がゼロとなるブリュースター角で出射面へ光を入射させる特許文献３の発光素子は、本発明とは全く異なる思想に基づいていると言える。また、特許文献３によれば、反射率がゼロとなる特徴を利用するためには、ストライプ構造に入射する偏光光はｐ波成分の光である必要がある。このため、特許文献３の発光素子において、ｓ波成分の光として偏光光を利用することは意味がない。

[0079] また、特開２００１－２０１７４６号公報は、液晶表示素子のバックライト用導光体に、所定の高さを有する複数のリブを形成することによって、導光体に入射した無偏光光を偏光光に変換し、出射する技術を開示している。この技術は、図８に示すように、平面に入射する光のＰ成分とＳ成分とで反射率および透過率が異なることを利用するに過ぎず、上述した本発明の半導体発光素子の目的や構造、取出し効率が向上する原理などとは全く異なる。

[0080] 以下、半導体発光素子１０１の製造方法の一例を説明する。図１３に示すように、まず半導体積層構造２０を形成する。例えば、ｎ型ＧａＮによって構成される基板１０の上に、ＭＯＣＶＤ（Metal Organic Chemical Vapor Deposition）法により半導体積層構造２０を形成していく。

[0081] 具体的には、ｍ面を主面とするｎ型ＧａＮによって構成される基板１０の上に、ｎ型窒化物半導体層２１をエピタキシャル成長させる。例えば、ｎ型不純物としてシリコンを用い、Ｇａ（CH_3）$_3$（トリメチルガリウム、ＴＭＧ）、およびNH_3を原料として用い、９００℃以上１１００℃以下程度の成長温度で、ＧａＮからなる厚さ３μｍ程度のｎ型窒化物半導体層２１を形成する。

[0082] 次に、ｎ型窒化物半導体層２１上に、活性層領域２２を形成する。活性層

領域２２は、例えば、厚さ９ｎｍ程度の$Ga_{1-x}In_xN$井戸層と、厚さ９ｎｍ程度のＧａＮバリア層が交互に積層されたＧａＩｎＮ／ＧａＮ多重量子井戸（ＭＱＷ）構造を形成する。$Ga_{1-x}In_xN$井戸層を形成する際には、Ｉｎの取り込みを行うために、成長温度を８００℃に下げることが好ましい。半導体発光素子１０１の用途に応じて発光波長を選択し、波長に応じたＩｎ組成$_x$を決定する。波長を４５０ｎｍ（青色）にする場合にはＩｎ組成$_x$を０．１８以上０．２以下に決定する。５２０ｎｍ（緑色）であればｘ＝０．２９以上０．３１以下であり、６３０ｎｍ（赤色）であればｘ＝０．４３以上０．４４以下となる。このＩｎ組成の制御によって照明装置に用いる青色、緑色および赤色を発光する半導体発光素子１０１が得られる。

[0083] 活性層領域２２の上に、例えば厚さ３０ｎｍ程度のアンドープＧａＮ層を堆積しても良い（図示せず）。アンドープＧａＮ層の上に、ｐ型窒化物半導体層２３を形成する。例えば、ｐ型不純物としてCp_2Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、ＴＭＧ、$Al(CH_3)_3$（トリメチルアルミニウム、ＴＭＡ）およびNH_3を原料として用い、９００℃以上１１００℃以下程度の成長温度で、厚さ７０ｎｍ程度の$p-Al_xGa_{1-x}N$からなるｐ型窒化物半導体層２３を形成する。ここで、ｘは、例えば、０．１４程度とする。

[0084] 次に、ｐ型窒化物半導体層２３上に、Cp_2Mgをドーパントとして用い、例えば厚さ０．５μｍ程度のｐ－ＧａＮコンタクト層を堆積する（図示せず）。その後、８００℃から９００℃程度の温度で基板全体を熱処理する。

[0085] 次に、ｐ型電極４０及びｎ型電極３０を形成する。塩素系ガスを用いてドライエッチングを行うことにより、ｐ－ＧａＮコンタクト層、ｐ型窒化物半導体層２３、アンドープＧａＮ層、活性層領域２２およびｎ型窒化物半導体層２１の一部を除去して凹部３１を形成し、ｎ型窒化物半導体層２１の一部を露出させる。

[0086] 次いで、凹部３１の底部に位置し、露出したｎ型窒化物半導体層２１の一部上に、ｎ型電極３０として、例えば、Ｔｉ／Ｐｔ層を形成する。また、ｐ－ＧａＮコンタクト層上にｐ型電極４０として例えば、Ｐｄ／Ｐｔ層を形成

する。その後、熱処理を行って、Ｔｉ／Ｐｔ層とｎ型窒化物半導体層２１、および、Ｐｄ／Ｐｔ層とｐ－ＧａＮコンタクト層を合金化させ、ｎ型窒化物半導体層２１およびｐ－ＧａＮコンタクト層にそれぞれｎ型電極３０およびｐ型電極４０を得る。

[0087] その後、基板１０の第２の主面１０ｂを研磨することにより、半導体発光素子１０１の厚さを小さくし、半導体発光素子１０１内での光の吸収を抑える。半導体発光素子１０１の厚さは、例えば、１００μｍとすると、半導体発光素子１０１を回路基板に実装する際にハンドリングしやすい。これにより、図１４に記載の平坦出射面１４を有する半導体発光素子１０１の構造が完成する。

[0088] 次に、平坦出射面１４にストライプ構造５０を形成する。ストライプ構造５０は、例えば、コンタクト露光装置を用いた方法や、電子線描画装置を用いた方法、ナノインプリントを用いた方法、ステッパーを用いた方法など、様々な方法で形成することができる。本実施形態では、特に、コンタクト露光装置および電子線描画装置を用いストライプ構造５０の形成方法を詳細に説明する。なお、ストライプ構造５０を形成する前の出射面である第２の主面１０ｂを「平坦出射面１４」と表記する。

[0089] まず、平坦出射面１４にハードマスク材料として、例えば、SiO_2膜を成膜する。SiO_2膜は、例えば、プラズマ化学気相成長法（ｐ－ＣＶＤ）により成膜する。次に、レジストをハードマスク上に塗布する。レジスト塗布後、コンタクト露光装置または電子線描画装置を用いて露光を行い、現像処理を行うことにより、ａ軸と平行に伸びる複数のストライプパターンを有するレジストパターンを形成する。

[0090] レジストパターンをマスクとし、ハードマスクのドライエッチングを行う。ハードマスクのドライエッチングは、例えば、CF_4ガスとO_2ガスを用いて行う。次に、ハードマスクをマスクとし、平坦出射面１４のドライエッチングを行う。平坦出射面１４のドライエッチングは、塩素系ガスを用いて行う。最後にハードマスクをドライエッチングにより除去する。これにより、図

３に示すように、ストライプ構造５０が基板１０の第２の主面１０ｂに設けられた半導体発光素子１０１が完成する。

[0091] なお、平坦出射面１４におけるストライプ構造５０は、以下の方法によっても形成することができる。まず、平坦出射面１４上にフォトレジストを塗布し、コンタクト露光装置を用いて露光を行い、現像処理を行うことにより、ａ軸と０°≦｜β｜≦５°、より好ましくは０°≦｜β｜≦３°をなす方向に伸びる複数のストライプパターンを有するレジストパターンを形成する。上記フォトレジストを加熱することによりドライエッチング耐性を向上させる。その後、上記フォトレジストをマスクとし、塩素系ガスを用いて平坦出射面１４のドライエッチングを行う。このとき、同時にフォトレジストも除去される。これにより、図３に示すように、ストライプ構造５０が基板１０の第２の主面１０ｂに設けられた半導体発光素子１０１が完成する。

[0092] 半導体積層構造２０の形成には、主面がｍ面であるｎ型ＧａＮ基板ではなく、例えば、ＳｉＣ基板、サファイア基板、ＬｉＡｌO_2基板、Ga_2O_3基板、ＳｉＣ基板、Ｓｉ基板上に結晶成長されたｍ面ＧａＮ層などを用いてもよい。この場合、上述の基板に窒化物系半導体をエピタキシャル成長させる前に、ストライプ構造５０を形成しておき、上記エピタキシャル成長後に、レーザーリフトオフなどを用い上記基板を剥離する。このとき、エピタキシャル成長させる前に形成したストライプ構造５０が、窒化物系半導体に転写されることになる。そのため、結果的に、上記基板を剥離したあと、ストライプ構造５０を有する半導体発光素子１０１を得ることが出来る。以上より半導体発光素子１０１を完成することもできる。ここで、基板上にｍ面からなる窒化物系半導体をエピタキシャル成長させるためには、ＳｉＣ基板やサファイア基板の面方位もｍ面である方が好ましい。ただし、ｒ面サファイア基板上にａ面ＧａＮが成長することが報告されているように、ｍを主面とする半導体層を成長させるために、基板１０の主面がｍ面であることは必須ではない。少なくとも活性層領域２２がｍ面に平行であり、その結晶成長の方向がｍ面と垂直であればよい。

[0093] （第２の実施形態）

図１４は、本発明による半導体発光素子の第２の実施形態の断面構造を模式的に示している。図１４に示すように半導体発光素子１０２は、基板１０と、基板１０の第１の主面１０ａ上に形成されており、活性層領域２２を含む半導体積層構造２０と、基板１０の第２の主面１０ｂに接して設けられた光出力部材１３とを備える。また、半導体積層構造２０には、ｎ型電極３０およびｐ型電極４０が設けられている。半導体積層構造２０、ｎ型電極３０およびｐ型電極４０の構造は第１の実施形態と同じである。

[0094] 光出力部材１３は、基板１０の半導体積層構造２０側と異なる面である第２の主面１０ｂに接するように設けられている。光出力部材１３の第１の主面１３ａは基板１０に接しており、第２の主面１３ｂにストライプ構造５０が設けられている。光出力部材１３は、例えば、活性層領域２２で発生する偏光光を透過するSiO_2、ＳｉＮ、ＳｉＣ、TiO_2、サファイア、$LiAlO_2$、Ga_2O_3などＧａＮ半導体以外の材料からなる。光出力部材１３は、より好ましくは、ドライエッチングなどにより加工が容易な材料からなる。

[0095] 一般的にｎ型ＧａＮによって構成される基板１０のような窒化物系半導体のドライエッチングは、エッチングレートが遅い、側壁形状の制御が難しいなどの課題があった。これに対して、このような材料からなる光出力部材１３を備えることによって、ストライプ構造５０の形成が容易になる。また、光出力部材１３にSiO_2やＳｉＮを用いる場合、フッ素酸を含む水溶液などを用い、ウェットエッチングによってストライプ構造５０を形成することも可能となる。

[0096] また、光出力部材１３の屈折率n_oは、ストライプ構造５０が設けられた第２の主面１３ｂが接している外部の媒体の屈折率n_t以上（$n_t < n_o$）であることが好ましい。これにより、基板１０から外部へ直接偏光光を透過させる場合に比べて、基板１０の第２の主面１０ｂを透過する光の透過率を高め、光の取出し効率をより向上させることができる。

[0097] 半導体発光素子１０２は、例えば、以下の方法によって製造することがで

きる。

[0098] まず、図１３に示すように、第１の実施形態と同様の方法によって、基板１０の上に半導体積層構造２０を形成する。基板１０として、主面がm面であるｎ型ＧａＮ基板、ＳｉＣ基板、サファイア基板、ＬｉＡｌO_2基板、Ga_2O_3基板を用いることができる。また、ｎ型電極３０およびｐ型電極４０を形成する。

[0099] その後、基板１０の第２の主面１０ｂに、光出力部材１３を形成する。ＳｉO_2からなる光出力部材１３を形成する場合には、プラズマ化学気相成長法などによって、ＳｉO_2膜を形成する。膜厚が大きくなると、膜質が低下し、透過率が低下しやすい。このため、光出力部材１３の厚さは、１０μｍ以下であることが好ましい。

[0100] その後、第１の実施形態で説明したようにＳｉO_2膜上にレジストパターンを形成し、レジストパターンを用いてＳｉO_2膜をエッチングする。例えば、CF_4ガスおよびO_2ガスの混合ガスを用い、ドライエッチングを行うことによって、窒化物半導体からなる基板１０をエッチングするよりも容易に、かつ、制御性よくストライプ構造５０を形成することができる。これにより図１４に示す半導体発光素子１０２が完成する。

[0101] （第３の実施形態）

図１５は、本発明による半導体発光素子の第３の実施形態の断面構造を模式的に示している。図１５に示すように半導体発光素子１０３は、基板１０と、基板１０の第１の主面１０ａ上に形成されており、活性層領域２２を含む半導体積層構造２０と、ｎ型電極３０と、ｐ型電極４０とを備える。

[0102] 半導体発光素子１０３は、半導体積層構造２０に凹部３１が設けられておらず、ｎ型電極３０が基板１０のストライプ構造５０が設けられた第２の主面１０ｂに設けられている点で第１の実施形態と異なっている。半導体積層構造２０の積層構造、ｐ型電極４０およびストライプ構造５０は第１の実施形態と同じ構造を備えている。

[0103] 図１５に示すようにｎ型電極３０は、例えば、Ｔｉ層およびＰｔ層の積層

構造（Ｔｉ／Ｐｔ）などからなり、ストライプ構造５０の一部を覆うように設けられている。半導体発光素子１０３によれば、半導体積層構造２０に凹部３１を設ける必要がないため、素子構造が簡単になり、製造コストを低減することが可能となる。

[0104] 半導体発光素子１０３は、例えば以下の方法によって製造することができる。まず、第１の実施形態で説明したように、基板１０の第１の主面１０ａ上に半導体積層構造２０上に形成する。その後、全体の厚さが１００μｍ程度になるまで、基板１０を研磨する。次に、第１の実施形態で説明したように基板１０の第２の主面１０ｂにストライプ構造５０を形成する。

[0105] ストライプ構造５０の形成後、電極を形成する。まず、ストライプ構造５０が形成された第２の主面１０ｂの一部上に、ｎ型電極３０として、例えば、Ｔｉ／Ｐｔ層を形成する。また、ｐ型窒化物半導体層２３上にｐ型電極４０として、例えば、Ｐｄ／Ｐｔ層を形成する。その後、熱処理を行って、Ｔｉ／Ｐｔ層と基板１０、および、Ｐｄ／Ｐｔ層とｐ－ＧａＮコンタクト層を合金化させ、基板１０およびｐ－ＧａＮコンタクト層にそれぞれ電気的に接続されたｎ型電極３０およびｐ型電極４０を得る。これにより、図１５に示す半導体発光素子１０３が完成する。

[0106] （第４の実施形態）

図１６は、本発明による半導体発光素子の第４の実施形態の断面構造を模式的に示している。図１６に示すように、半導体発光素子１０４は、基板１０と、基板１０の第１の主面１０ａ上に形成されており、活性層領域２２を含む半導体積層構造２０と、光出力部材１３と、ｎ型電極３０とｐ型電極４０とを備えている。

[0107] 半導体発光素子１０４は、基板１０の第２の主面１０ｂに設けられたストライプ構造５０を覆うように光出力部材１３が設けられている点で、第１の実施形態と異なる。また、ストライプ構造５０が基板１０に設けられている点で第２の実施形態と異なっている。半導体積層構造２０、ｎ型電極３０、ｐ型電極４０およびストライプ構造５０の構造は第１の実施形態と同じであ

る。

[0108] 基板１０の第２の主面１０ｂに設けられたストライプ構造５０を覆う光出力部材１３の屈折率n_oは、半導体発光素子１０４の外部の媒体の屈折率n_tよりも大きいこと（$n_t < n_{ot}$）が好ましい。また、光出力部材１３は、活性層領域２２で発生する偏光光に対して高い透過率を有していることが好ましい。これにより、基板１０から外部へ直接偏光光を透過させる場合に比べて、基板１０の第２の主面１０ｂを透過する光の透過率を高め、光の取出し効率をより向上させることができる。光出力部材１３は、例えば、活性層領域２２で発生する偏光光を透過するSiO_2、ＳｉＮ、ＳｉＣ、TiO_2、サファイア、$LiAlO_2$、Ga_2O_3などＧａＮ半導体以外の材料からなる。

[0109] 光出力部材１３は、ストライプ構造５０の溝５０ｂを完全に埋め、外部の媒体と接する第２の主面１３ｂが平坦になっていてもよいし、第２の主面１３ｂにストライプ構造５０と対応するストライプ構造５０’を備えていてもよい。光出力部材１３の屈折率n_oは、$n_t < n_o < n_1$の関係を満たしていることが好ましい。ここで、n_1は、基板１０の屈折率である。このように屈折率が、n_1からn_tまで段階的に変化することにより、活性層領域２２で発生する偏光光の透過率がさらに向上する。

[0110] 半導体発光素子１０４は、例えば、以下の方法によって形成できる。まず、第１の実施形態で説明したように、基板１０上に半導体積層構造２０、ｎ型電極３０、ｐ型電極４０を形成する。さらに基板１０の第２の主面１０ｂにストライプ構造５０を形成する。

[0111] その後、出力部材１３を堆積する。例えば、出力部材１３として、SiO_2膜を成膜する場合には、プラズマ化学気相成長法を用いることができる。その後、必要であれば、光出力部材１３に第２の実施形態で説明した方法により、ストライプ構造５０’を形成する。

[0112] （第５の実施形態）

図１７は、本発明による半導体発光素子の第５の実施形態の断面構造を模式的に示している。図１７に示すように、半導体発光素子１０５は、基板１

０と、基板１０の第１の主面１０ａ上に形成されており、活性層領域２２を含む半導体積層構造２０と、光出力部材１３と、ｎ型電極３０とｐ型電極４０とを備えている。

[0113] 半導体発光素子１０５は、光出力部材１３がｐ型窒化物半導体層２３に接して設けられており、活性層領域２２で発生した偏光光がｐ型窒化物半導体層２３を透過して光出力部材１３から出射する点で第１の実施形態と異なっている。

[0114] 図１７に示すように、ｐ型窒化物半導体層２３の第２の主面２３ｂは、活性層領域２３側に位置している。ｐ型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａには、光出力部材１３が設けられている。光出力部材１３のｐ型窒化物半導体層２３に接していない側に位置する第１の主面１３ａは出射面であり、第１の主面１３ａの一部にストライプ構造５０が設けられている。また、ｐ型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａの一部にはｐ型電極４０も設けられている。

[0115] 基板１０の第２の主面１０ｂには、ｎ型電極３０が設けられており、電気的に接続されている。半導体積層構造２０およびストライプ構造５０は第１の実施形態と同じ構造を備えている。

[0116] 光出力部材１３は、例えば、活性層領域２２で発生する偏光光を透過するSiO_2、ＳｉＮ、ＳｉＣ、TiO_2、サファイア、$LiAlO_2$、Ga_2O_3などＧａＮ半導体以外の材料からなる。光出力部材１３は、より好ましくは、ドライエッチングなどにより加工が容易な材料からなる。光出力部材１３の屈折率n_oは、ストライプ構造５０が設けられた第１の主面１３ａが接している外部の媒体の屈折率n_t以上（$n_t < n_o$）であることが好ましい。これにより、p型窒化物半導体層２３から外部へ直接偏光光を透過させる場合に比べて、ｐ型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａを透過する光の透過率を高めることができる。

[0117] さらに、第２の実施形態に比べて、光出力部材１３と活性層領域２２との間隔を短くし、活性層領域２２で発生した偏光光が半導体層で吸収されるの

を抑制することができるこのため、いっそう、光の取出し効率を向上させることができる。また、第２の実施形態で説明したように、ストライプ構造５０の形成も容易となる。

[0118] 半導体発光素子１０５は、例えは、以下の方法により製造することができる。まず、図１７に示すように、第１の実施形態と同様の方法によって基板１０の上に半導体積層構造２０を形成する。その後、基板１０を研磨し、全体の厚さを１００μｍ程度にする。

[0119] 次に、電極を形成する。まず、基板１０の第２の主面１０ｂにｎ型電極３０として、例えば、Ｔｉ／Ｐｔ層を形成する。また、ｐ型窒化物半導体層２３の一部上に、ｐ型電極４０としてＰｄ／Ｐｔ層を形成する。その後、熱処理を行って、Ｔｉ／Ｐｔ層と基板１０、および、Ｐｄ／Ｐｔ層とｐ－ＧａＮコンタクト層とを合金化させ、基板１０およびｐ－ＧａＮコンタクト層にそれぞれ接合したｎ型電極３０およびｐ型電極４０を得ることができる。

[0120] 電極形成後、ｐ型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａ上に光出力部材１３を形成する。SiO_2からなる光出力部材１３を形成する場合には、プラズマ化学気相成長法などによって、SiO_2膜を形成する。膜厚が大きくなると、膜質が低下し、透過率が低下しやすい。このため、光出力部材１３の厚さは、１０μｍ以下であることが好ましい。

[0121] その後、第１の実施形態で説明したようにSiO_2膜上にレジストパターンを形成し、レジストパターンを用いてSiO_2膜をエッチングする。例えば、CF_4ガスおよびO_2ガスの混合ガスを用い、ドライエッチングを行うことによって、容易に、かつ、制御性よくストライプ構造５０を形成することができる。

[0122] 最後に、ストライプ構造５０上にレジストパターンを形成し、レジストパターンを用いてSiO_2膜をエッチングする。例えば、フッ酸を用い、ウェットエッチングを行うことによって、ｐ型電極４０を露出させる。これにより図１７に示す半導体発光素子１０５が完成する。

[0123] （第６の実施形態）

図１８は、本発明による半導体発光素子の第６の実施形態の断面構造を模式的に示している。図１８に示すように、半導体発光素子１０６は、基板１０と、基板１０の第１の主面１０ａ上に形成されており、活性層領域２２を含む半導体積層構造２０と、ｎ型電極３０とｐ型電極４０とを備えている。

[0124] 半導体発光素子１０６は、p型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａにストライプ構造５０が設けられており、ストライプ構造５０の表面全体を覆うように、ｐ型電極４０が形成されている点で第５の実施形態と異なる。

[0125] ｐ型電極４０は、本実施形態ではＩＴＯからなる透明電極である。透明電極とｐ型窒化物半導体層２３との間に、ｐ型窒化物半導体層２３とオーミック接合する十分薄い金属の層を設けてもよい。半導体発光素子１０６によれば、ｐ型電極４０をｐ型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａ全体に設けることができるため、低抵抗のｐ型オーミック接合を実現することができる。

[0126] 半導体発光素子１０６は例えば以下の方法によって製造することができる。まず、図１８に示すように、第１の実施形態と同様の方法によって基板１０の上に半導体積層構造２０を形成する。その後、基板１０を研磨し、全体の厚さを１００μｍ程度にする。次に、ｐ型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａにストライプ構造５０を形成する。その後、電極を形成する。まず、基板１０上にｎ型電極３０として、例えば、Ｔｉ／Ｐｔ層を形成する。また、ストライプ構造５０上にｐ型電極４０として、例えば、ＩＴＯ層を形成する。その後、熱処理を行って、Ｔｉ／Ｐｔ層と基板１０、および、ＩＴＯ層とｐ型窒化物半導体層２３を合金化させ、基板１０およびｐ型窒化物半導体層にそれぞれ接合したｎ型電極３０およびｐ型電極４０を得ることができる。これにより、図１８に示す半導体発光素子１０６が完成する。

[0127] （第７の実施形態）

図１９は、本発明による半導体発光素子の第７の実施形態の断面構造を模式的に示している。図１９に示すように、半導体発光素子１０７は、基板１０と、基板１０の第１の主面１０ａ上に形成されており、活性層領域２２を

含む半導体積層構造２０と、ｎ型電極３０とｐ型電極４０とを備えている。

[0128] 半導体発光素子１０７は、ｐ型電極４０がp型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａに設けられたストライプ構造５０の一部にのみ設けられている点で第６の実施形態と異なる。ｐ型電極４０を小さくすることにより、第６の実施形態と比較して、ｐ型電極４０による光の吸収を抑制することができ、光取出し効率を向上させることができる。

[0129] 半導体発光素子１０７は例えば以下の方法によって製造することができる。まず、図１９に示すように、第１の実施形態と同様の方法によって基板１０の上に半導体積層構造２０を形成する。その後、基板１０を研磨し、全体の厚さを１００μｍ程度にする。次に、ｐ型窒化物半導体層２３の第１の主面２３ａにストライプ構造５０を形成する。その後、電極を形成する。まず、基板１０上にｎ型電極３０として、例えば、Ｔｉ／Ｐｔ層を形成する。また、ストライプ構造５０の一部にｐ型電極４０として、例えば、Ｐｄ／Ｐｔ層を形成する。その後、熱処理を行って、その後、熱処理を行って、Ｔｉ／Ｐｔ層と基板１０、および、Ｐｄ／Ｐｔ層とｐ型窒化物半導体層２３を合金化させ、基板１０およびｐ型窒化物半導体層にそれぞれ接合したｎ型電極３０およびｐ型電極４０を得ることができる。これにより、図１９に示す半導体発光素子１０７が完成する。

実施例

[0130] 本発明による効果を確認するため、第１の実施形態の製造方法に従い、種々の半導体発光素子を作製し、特性を評価した。

[0131] （実施例１、参考例１、比較例１の作製）

まず、図３に示すように、基板１０上に半導体積層構造２０をエピタキシャル成長させた。成長には、ＭＯＣＶＤ（Metal Organic Chemical Vapor Deposition）法を用いた。具体的には、基板１０としてm面を有するｎ型のＧａＮ基板の上に、ｎ型窒化物半導体層２１をエピタキシャル成長させた。ｎ型不純物としてシリコンを用い、ＴＭＧ（Ｇａ（CH_3）$_3$）、およびNH_3を原料として反応室に供給し、１０５０℃の成長温度で、ＧａＮからなる厚さ３

μｍのｎ型窒化物半導体層２１を形成した。

[0132] 次に、ｎ型窒化物半導体層２１上に、活性層領域２２を形成した。活性層領域２２は、厚さ９ｎｍの$Ga_{1-x}In_xN$（ｘは０．１９）井戸層と、厚さ９ｎｍのＧａＮバリア層が交互に積層されたＧａＩｎＮ／ＧａＮ多重量子井戸（ＭＱＷ）構造を有している。$Ga_{1-x}In_xN$井戸層を形成する際、Ｉｎの取り込みを行うために、成長温度を８００℃に下げた。

[0133] 次に、活性層領域２２の上に、厚さ３０ｎｍのアンドープＧａＮ層（図示せず）を堆積した。アンドープＧａＮ層の上に、ｐ型窒化物半導体層２３を形成した。ｐ型不純物としてCp_2Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、ＴＭＧ、ＴＭＡおよびNH_3を原料として反応室に供給し、１０５０℃の成長温度で、厚さ７０ｎｍの$p-Al_{0.14}Ga_{0.86}N$からなるｐ型窒化物半導体層２３を形成したその後、８３０℃程度で２０分間熱処理を行った。

[0134] 次に、ｐ型窒化物半導体層２３上に、Cp_2Mgをドーパントとして用い、厚さ０．５μｍのｐ－ＧａＮコンタクト層（図示せず）を堆積した。

[0135] 次に、塩素系ガスを用いてドライエッチングを行うことにより、ｐ－ＧａＮコンタクト層、ｐ型窒化物半導体層２３、アンドープＧａＮ層、活性層領域２２およびｎ型窒化物半導体層２１の一部を除去して凹部３１を形成し、ｎ型窒化物半導体層２１の一部を露出させた。

[0136] 次いで、凹部３１の底部に位置し、露出したｎ型窒化物半導体層２１の一部上に、ｎ型電極３０として、Ｔｉ／Ｐｔ層を形成した。また、ｐ－ＧａＮコンタクト層上にｐ型電極４０として、Ｐｄ／Ｐｔ層を形成した。その後、熱処理を行って、Ｔｉ／Ｐｔ層とｎ型窒化物半導体層２１、および、Ｐｄ／Ｐｔ層とｐ－ＧａＮコンタクト層を合金化させ、ｎ型窒化物半導体層およびｐ－ＧａＮコンタクト層にそれぞれｎ型電極３０およびｐ型電極４０を得た。

[0137] その後、基板１０を研磨することで、全体の厚さを１００μｍに薄膜化した。これにより半導体発光素子の部分を完成させた。

[0138] 次にストライプ構造５０を作製した。基板１０の第２の主面１０ｂにハー

ドマスク材料として、SiO_2膜を成膜した。SiO_2膜は、プラズマ化学気相成長法により成膜した。次に、電子線描画用レジストをハードマスク上に塗布し、電子線描画装置を用いて、電子線描画用レジストのパターニングを行った。電子線描画用レジストをマスクとし、ハードマスクのドライエッチングを行った。ハードマスクのドライエッチングは、CF_4ガスとO_2ガスを用いた。さらに、ハードマスクをマスクとし、基板１０の第２の主面１０ｂのドライエッチングを塩素系ガスを用いて行った。最後にハードマスクをドライエッチングにより除去した。上記の方法により、半導体発光素子を製作した。

[0139] ストライプ構造のピッチｐは３００ｎｍであり、高さｈは３００ｎｍとした。作製したストライプの断面は、おおよそ台形形状であった。断面形状の模式図を図２７（ａ）に示す。ストライプの伸びる方向がａ軸と平行（β＝０）である実施例１、ａ軸と４５°の角度をなす（β＝４５）参考例１およびａ軸と直交する（β＝９０）比較例１を作製した。

[0140] （実施例２、参考例２、比較例２の作製）

実施例１、参考例１、比較例１と同様の手順により、半導体発光素子の部分を作製した。その後、ストライプ構造を、実施例１、参考例１、比較例１とは異なる手順で作製した。具体的には、基板１０の第２の主面１０ｂにハードマスク材料として、SiO_2膜を成膜した。SiO_2膜は、プラズマ化学気相成長法により成膜した。次に、フォトレジストをハードマスク上に塗布し、コンタクト露光装置を用いて、フォトレジストのパターニングを行った。フォトレジストをマスクとし、ハードマスクのドライエッチングを行った。ハードマスクのドライエッチングは、CF_4ガスとO_2ガスを用いた。さらに、ハードマスクをマスクとし、基板１０の第２の主面１０ｂのドライエッチングを塩素系ガスを用いて行った。最後にハードマスクをドライエッチングにより除去した。上記の方法により、半導体発光素子を製作した。

[0141] ストライプ構造のピッチｐは８μｍであり、高さｈは４μｍとした。作製したストライプの断面は、おおよそ台形形状であった。断面形状の模式図を

図２７（ａ）に示す。ストライプの伸びる方向がａ軸と平行（β＝０）である実施例２、ａ軸と４５°の角度をなす（β＝４５）参考例２およびａ軸と直交する（β＝９０）比較例２を作製した。

[0142] （実施例３、参考例３、比較例３の作製）

ストライプ構造とａ軸のなす角が、β＝０°、５°、３０°、４５°、９０°となる半導体発光素子を作製した。まず、実施例１、参考例１、比較例１と同様の手順により、半導体発光素子の部分を作製した。その後、ストライプ構造を、実施例１、参考例１、比較例１とは異なる手順で作製した。具体的には、基板１０の第２の主面１０ｂにフォトレジストを塗布し、コンタクト露光装置を用いて、フォトレジストのパターニングを行い、フォトレジストを２３０℃で加熱した。フォトレジストをマスクとし、基板１０の第２の主面１０ｂのドライエッチングを塩素系ガスを用いて行った。このとき、フォトレジストも上記ドライエッチングにより同時に除去される。上記の方法により、半導体発光素子を製作した。

[0143] ストライプ構造のピッチｐは８μｍであり、高さｈは２．５μｍとした。また、上記製造方法でストライプ構造を作製することにより、実施例２、参考例２、比較例２とは異なる断面形状を得ることができた。得られたストライプ構造の断面は、おおよそ二等辺三角形形状であった。断面形状の模式図を図２７（ｂ）に示す。ストライプの伸びる方向がａ軸と平行（β＝０）である実施例３、ａ軸と５°、３０°、４５°の角度をなす（β＝５、３０、４５）参考例３およびａ軸と直交する（β＝９０）比較例３を作製した。

[0144] （比較例４の作製）

実施例１と同様の手順により、ストライプ構造５０を設けないことのみが異なる半導体発光素子を作製し、比較例４とした。

[0145] （実施例１、２、参考例１、２、比較例１－３の特性評価）

作製した半導体発光素子の特性を評価した。伝搬ベクトルｋの存在範囲がｍｃ平面に平行な平面が主であること（図９参照）を確認することを目的とし、比較例３の半導体発光素子の配光特性を計測した。図２０（ａ）は配光

特性を計測した結果を示すグラフである。図２１は、測定に用いた構成を模式的に示している。比較例４の半導体発光素子をフリップチップ実装し、発光素子チップ７１として測定に用いた。発光素子チップ７１に電源７２から電流を流すことにより発光が得られる。発光素子チップ７１は、図２１において示すｚ軸を中心軸として回転させ、フォトディテクタ７３により光強度を計測した。図２０（ａ）に示すａ軸方向とは、図２１に示すｘ軸をｍ軸、ｙ軸をａ軸、ｚ軸をｃ軸としたときの計測結果であり、図２０（ａ）に示すｃ軸方向とは図２１に示すｘ軸をｍ軸、ｙ軸をｃ軸、ｚ軸をａ軸、としたときの計測結果である。

[0146] 図２０（ａ）から、ａ軸方向に比べ、ｃ軸方向において、広い角度に渡って光強度が強い配光特性を持っていることが分かる。つまり、放射角度はａ軸方向よりもｃ軸方向において広く、配光特性に非対称性がある。図２０（ｂ）および図２０（ｃ）は、図２０（ａ）に示す結果を模式的に表している。図２０（ｂ）では、ｍｃ平面に伝搬する光を模式的に表しており、ｍｃ平面において、広い範囲にわたって強い光を発していることが分かる。一方、図２０（ｃ）では、ｍａ平面に伝搬する光を模式的に表しており、ｍ軸方向においえ、強い光を発していることが分かる。また、ａ軸方向成分を持つ光は少ない。ここで、ｍ軸方向に発する光は、ｍｃ平面とｍａ平面で共有する光である。これらのことから、発生した光はｍｃ平面に主に存在していることが分かる。

[0147] 次に、実施例１、参考例１、比較例１の半導体発光素子の配光特性を計測した、測定に用いた構成は、図２１に示す通りである。図２２は、実施例１（β＝０）、参考例１（β＝４５）、比較例１（β＝９０）の半導体発光素子における配光特性を計測した結果を示すグラフである。図２２（ａ）は、ａ軸方向の計測結果であり、図２２（ｂ）は、ｃ軸方向の計測結果を示しているここで、ａ軸方向とは、図２１に示すｘ軸をｍ軸、ｙ軸をａ軸、ｚ軸をｃ軸、としたときの計測結果であり、ｃ軸方向とは図２１に示すｘ軸をｍ軸、ｙ軸をｃ軸、ｚ軸をａ軸、としたときの計測結果である。図２２（ａ）か

ら、ａ軸方向の配光特性は、角βに依存しないことが分かる。これに対し、ｃ軸方向の配光特性は、図２２（ｂ）から、角βの値がゼロに近づくほど、０°付近、すなわちｍ軸方向の光強度の割合が大きくなっていることが分かる。すなわち、角βの値がゼロに近づくほど、ａ軸方向の配光特性とｃ軸方向の配光特性は類似することが分かる。これらの結果から、実施例１の半導体発光素子では、配光特性の非対称性が改善されていることが分かる。

[0148] 次に、出射した偏光光において、偏光度がどの程度維持されているかを確認した。図２３は、半導体発光素子Ｓにおける、ストライプ構造５０のピッチｐ及び角度βと偏光度の維持率の関係を調べた測定結果である。ここで、半導体発光素子Ｓとは、実施例１、２、参考例１、２、比較例１、２の総称である。また、偏光度の維持率とは、ストライプ構造が設けられていない比較例４の有する偏光度に対する維持を言い、式（７）で表される値を言う。

[数7]

$$(\text{偏光度の維持率})=\frac{(\text{半導体発光素子Ｓの偏光度})}{(\text{比較例の偏光度})} \qquad (7)$$

[0149] 図２４は測定に用いた構成を模式的に示している。半導体発光素子Ｓまたは比較例４の半導体発光素子をフリップチップ実装し、発光素子チップ７１として測定に用いた。発光素子チップ７１に電源７２から電流を流すことにより発光が得られる。発光素子チップ７１から出射した光は偏光板７４を通過し、フォトディテクタ７３において光の強度を検出した。発光素子チップ７１から出射する光が偏光光を有する場合、偏光板７４を回転させることにより、光の強度が変化することが観測される。

[0150] 図２３に示すように、少なくともピッチ３００ｎｍ以上８μｍ以下のストライプ構造において、角度βが０°の場合、ピッチを大きくしても偏光度がよく維持されていることが分かる。これに対し、角βが４５°および９０°である場合、偏光度７０%程度に低下することが分かる。

[0151] 角βと偏光度の関係をさらに詳しく調べるため、実施例３、参考例３、比較例３の半導体発光素子における偏光度を計測した。図２６は実施例３、参

考例３、比較例３の計測結果である。なお、計測結果は比偏光度として評価した。比偏光度とは、参考例３または比較例３の偏光度を実施例３の偏光度で規格化した値を言い、式（８）で表される値を言う。

[数8]

$$(\text{比偏光度})=\frac{(\text{参考例３または比較例３の偏光度})}{(\text{実施例３の偏光度})} \qquad (8)$$

[0152] 図２６に示すように、角βが５°以上で偏光度が０．４以下と大きく減少していることが分かる。そして、角βが４５°で最も偏光度が低下し、角βが３０°及び９０°では角βが４５°の場合と比較して偏光度の低下は抑制されている。図２６より、角βが±３°以内であれば、偏光特性は良好に維持されると考えられる。

[0153] なお、図２３に示す測定結果では、角β＝４５°および角β＝９０°における偏光度の維持率は５０%以上であるのに対し、図２６に示す測定結果では、角β＝４５°および角β＝９０°における偏光度の維持率は２０%程度になっている。これは、断面形状の違いによるものと考えられる。

[0154] 具体的には、図２３に示す測定結果が得られた半導体発光素子のストライプ構造における凸部５３ａの断面形状は、図２７（ａ）に示す通り上面５３を有し、上面５３から出射する偏光光の光量は、凸部５３ａの伸びる方向、つまり、角βに依存しない。このため、図２３に示す測定結果が得られた半導体発光素子においては、角βが０より大きくなっても、出射する光の偏光度が比較的高い値に維持されると考えられる。これに対して、図２６に示す測定結果が得られた半導体発光素子のストライプ構造における凸部５３ａの断面形状は、図２７（ｂ）に示す通り上面を有しない。このため、偏光度を維持しにくいと考えられる。

[0155] このように、ストライプ構造における凸部の断面形状によって、偏光度の維持率の角βに対する依存性は異なる。しかし、凸部５３ａが、上面５３を有せず、最も偏光度の維持率の角βに対する依存性が大きい三角形状の断面を有するストライプ構造の半導体発光素子であっても、図２６に示すように

、角βが±３°以内であれば、偏光特性は良好に維持される。したがって、半導体発光素子のストライプ構造における凸部５３ａが図４（ａ）、図５（ａ）から（ｃ）等、いずれの断面形状を有している場合でも、角βが±３°以内であれば、半導体発光素子から出射する偏光光の偏光特性は良好に維持されるといえる。

[0156] 次に、光取出し効率を確認した。図２５は実施例１、参考例１、比較例１の半導体発光素子における、比光取出し効率と角βの関係を調べた測定結果を示している。比光取出し効率とは、実施例１、参考例１または比較例１の半導体発光素子における光取出し効率を、比較例４の平坦出射面を有する半導体発光素子における光取出し効率で規格化した値である。図２５より、平坦出射面１４にストライプ構造５０を形成することにより、比光取出し効率が１より大きい値、具体的には、１．１以上になっている。特に角βが０°および４５°である場合、比光取出し効率は１．２以上になり、大幅に光取出し効率が改善していることが分かる。

[0157] このように本発明の実施系形態に係る半導体発光素子によれば、図２２に示すように、配光特性の非対称性が改善され、また、図２３に示すように、偏光光の偏光特性は良好に維持される。また、図２５に示すように、光取出し効率が大幅に改善する。したがって、本発明の実施形態に係る半導体発光素子は偏光特性に優れ、高効率で配光特性に優れた光源として用いることができることが分かった。

産業上の利用可能性

[0158] 本発明の半導体発光素子は、高い光取出し効率、十分な偏光度および配光特性を備えており、偏光光を発する種々の光源として用いることができる。特に、偏光特性を生かした、高効率で低コストの照明装置や液晶表示装置用光源に好適に用いることができる。

符号の説明

[0159] １０ 基板

１３ 光出力部材

１４　平坦出射面

２０　半導体積層構造

２１　ｎ型窒化物半導体層

２２　活性層領域

２３　ｐ型窒化物半導体層

３０　ｎ型電極

３１　凹部

４０　ｐ型電極

５０　ストライプ構造

５０ａ　凸部

５０ｂ　溝

５２　斜面

５３　上面

５４　ａｃ平面に平行な平面

５５　平面５４と斜面の交わる直線

５６　ストライプ構造５０の断面形状

６０　ｍｃ平面に平行な平面

７１　発光素子チップ

７２　電源

７３　フォトディテクタ

７４　偏光板

１０１、１０２、１０３、１０４、１０５、１０６、１０７　半導体発光素子

請求の範囲

[請求項1] ｎ型窒化物半導体層と、

ｐ型窒化物半導体層と、

ｍ面窒化物半導体層を含み、前記ｎ型窒化物半導体層および前記ｐ型窒化物半導体層に挟まれた活性層領域と、

前記ｎ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｎ型電極と、

前記ｐ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｐ型電極と、

前記活性層領域で発生する偏光光を外部へ取出す出射面と、

前記出射面に設けられたストライプ構造であって、前記ｍ面窒化物半導体層のａ軸方向と略平行に伸びる複数の凸部を有するストライプ構造と、

を備えた半導体発光素子。

[請求項2] 前記複数の凸部は、前記出射面と非平行な少なくとも１つの斜面を有する請求項１に記載の半導体発光素子。

[請求項3] 前記複数の凸部の伸びる方向と前記ａ軸方向とがなす角度は、±３°以内である請求項２に記載の半導体発光素子。

[請求項4] 前記複数の凸部の周期は３００ｎｍ以上、８μｍ以下である請求項３に記載の半導体発光素子。

[請求項5] 前記偏光光は、前記ａ軸方向よりもｃ軸方向に広い放射角度を有する配光特性で、前記活性層領域で発生する請求項４に記載の半導体発光素子。

[請求項6] 第１および第２の主面を有するｎ型窒化物半導体基板をさらに備え、

前記第１の主面は、前記ｎ型窒化物半導体層に接しており、

前記出射面は、前記第２の主面である請求項５に記載の半導体発光素子。

[請求項7] 前記ｐ型窒化物半導体層は、第１および第２の主面を有し、

前記第２の主面は前記活性層領域側に位置しており、

前記出射面は前記第１の主面である請求項６に記載の半導体発光素子。

[請求項8] 前記ｎ型窒化物半導体層に接して設けられたｎ型窒化物半導体基板と、

第１および第２の主面を有する光出力部材と

をさらに備え、

前記第１の主面は、前記ｎ型窒化物半導体基板の前記ｎ型窒化物半導体層に接している面とは反対の面に接しており、

前記出射面は、前記第２の主面である請求項７に記載の半導体発光素子。

[請求項9] 前記光出力部材の屈折率は１より大きい請求項８に記載の半導体発光素子。

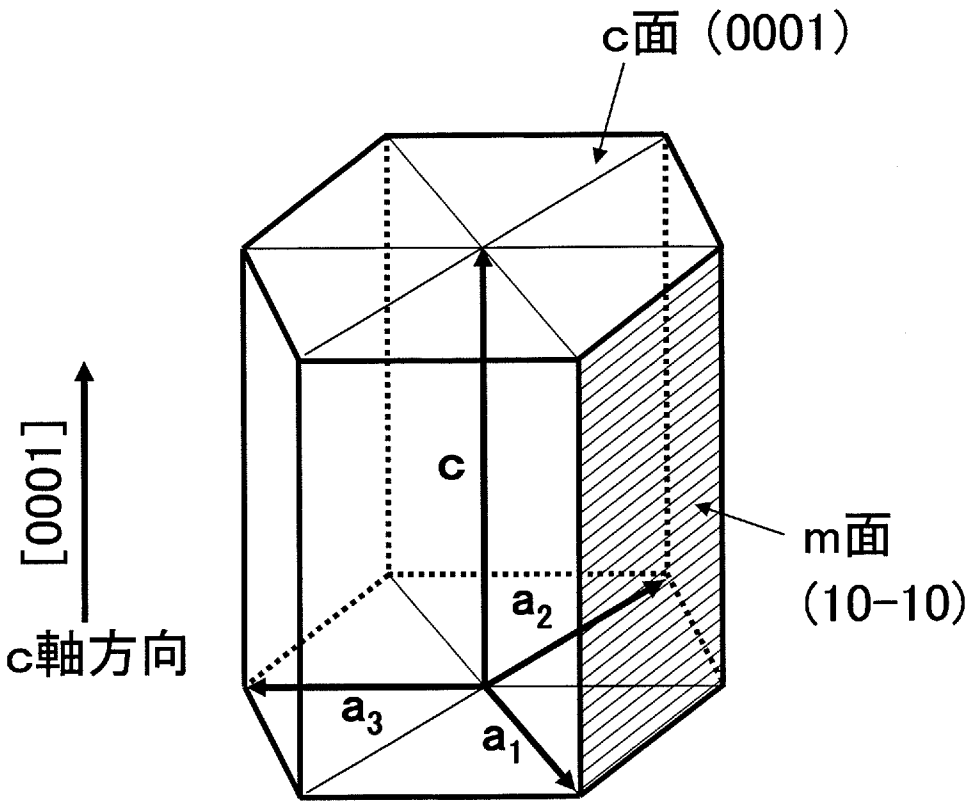
[請求項10] ｎ型窒化物半導体層と、ｐ型窒化物半導体層と、前記ｎ型窒化物半導体層および前記ｐ型窒化物半導体層に挟まれており、ｍ面窒化物半導体層を含む活性層領域とを有する半導体積層構造を基板上に形成する工程と、

前記ｎ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｎ型電極および前記ｐ型窒化物半導体層に電気的に接続されたｐ型電極を形成する工程と、

前記基板の前記半導体積層構造が設けられていない面に、前記ｍ面窒化物半導体層のａ軸方向と略平行に伸びる複数の凸部を有するストライプ構造を形成する工程と、

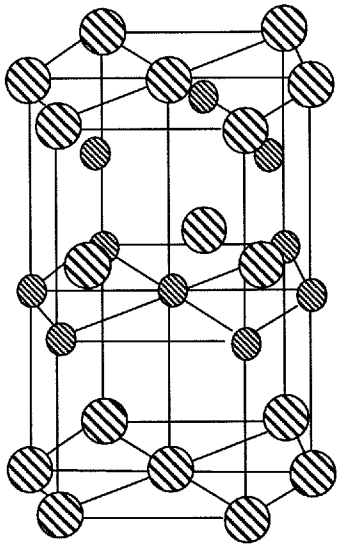
を包含する半導体発光素子の製造方法。

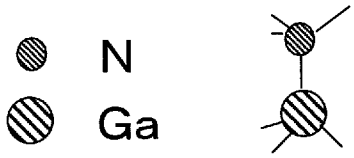
[図1]



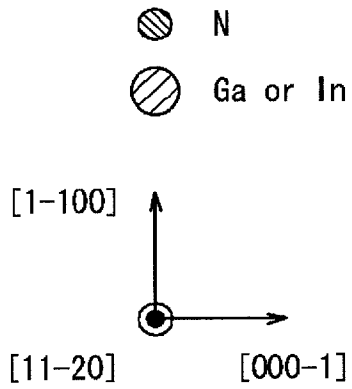
[図2]

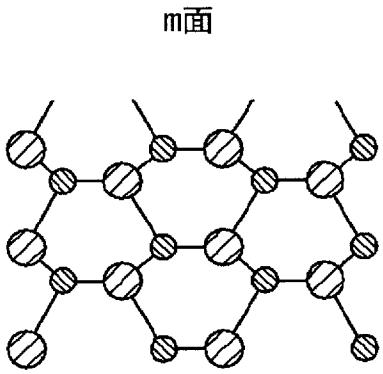
(a)



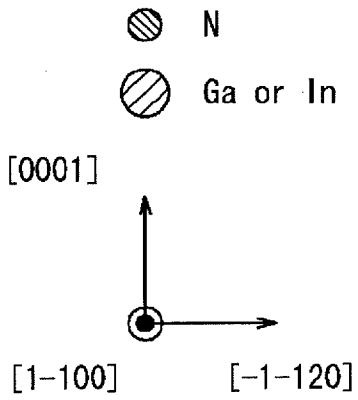


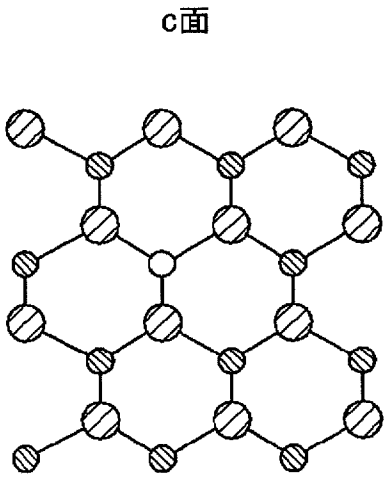
(b)



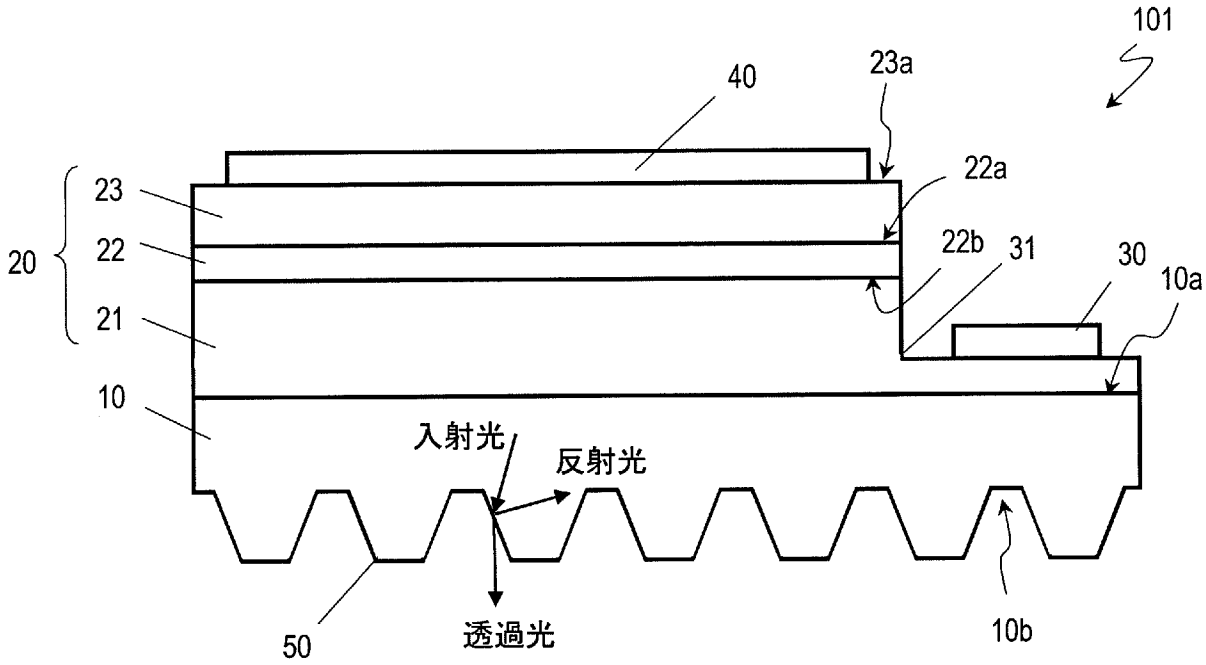


(c)

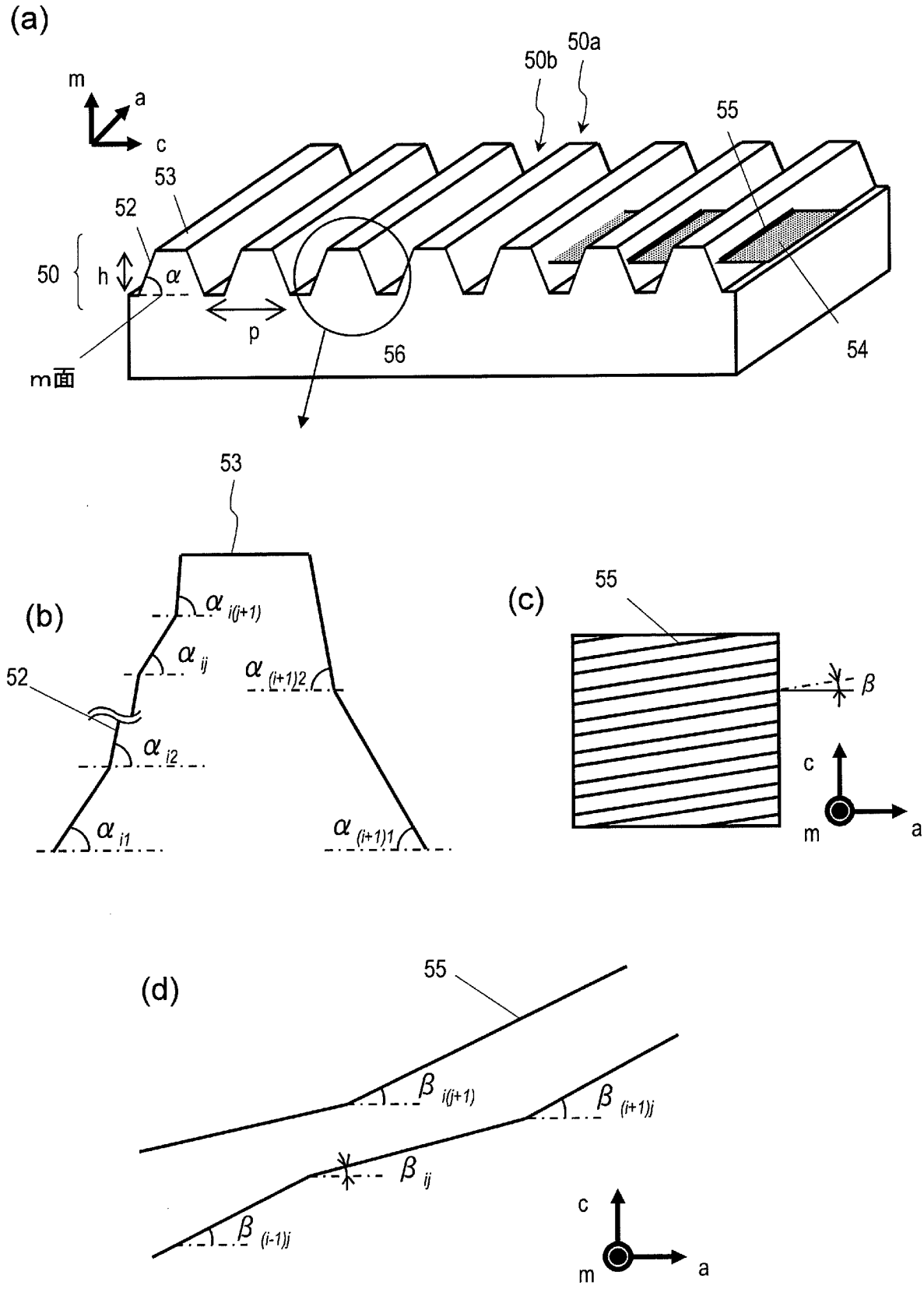




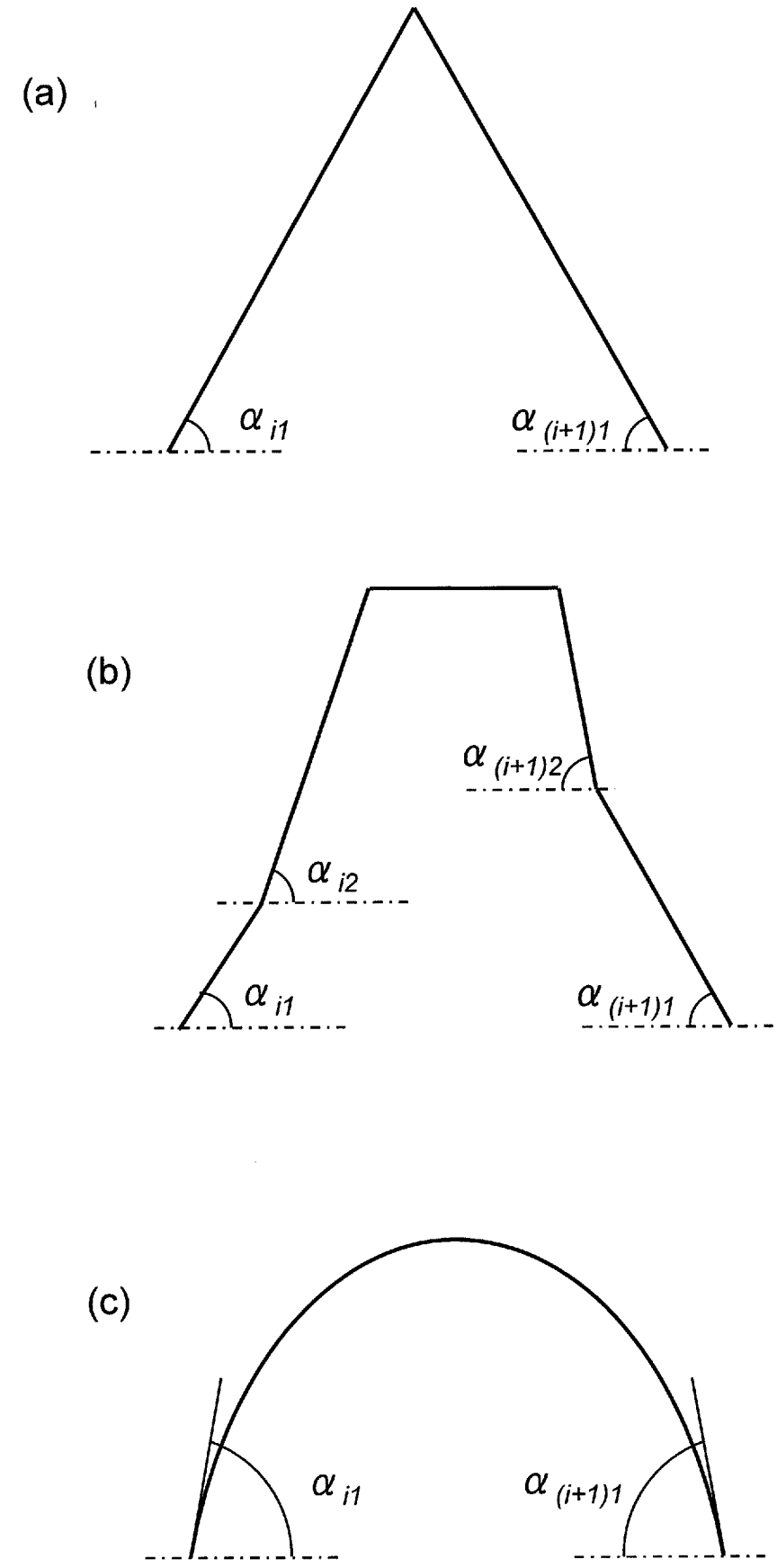
[図3]



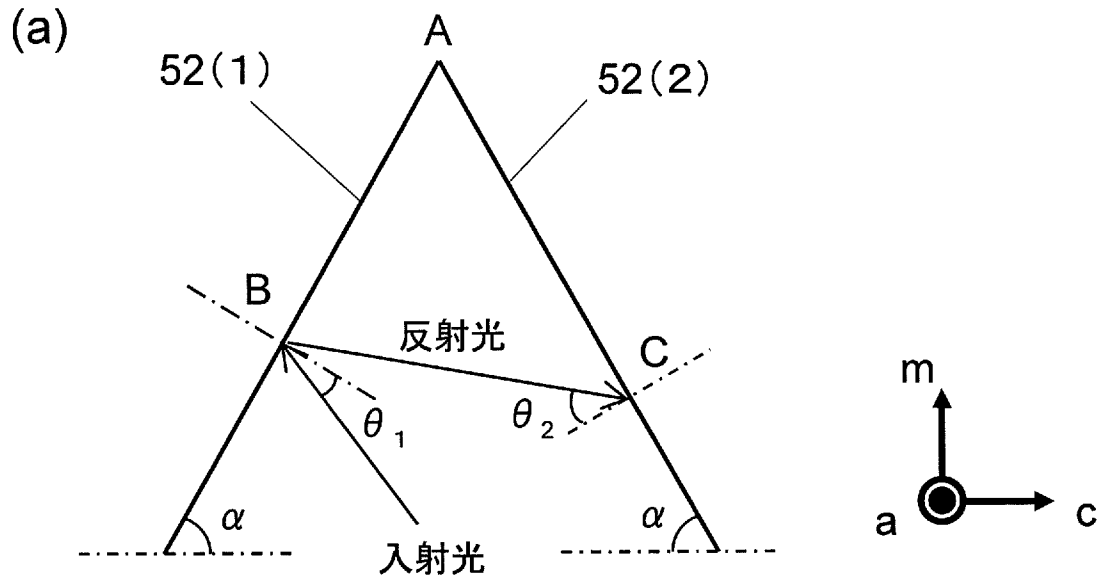
[図4]

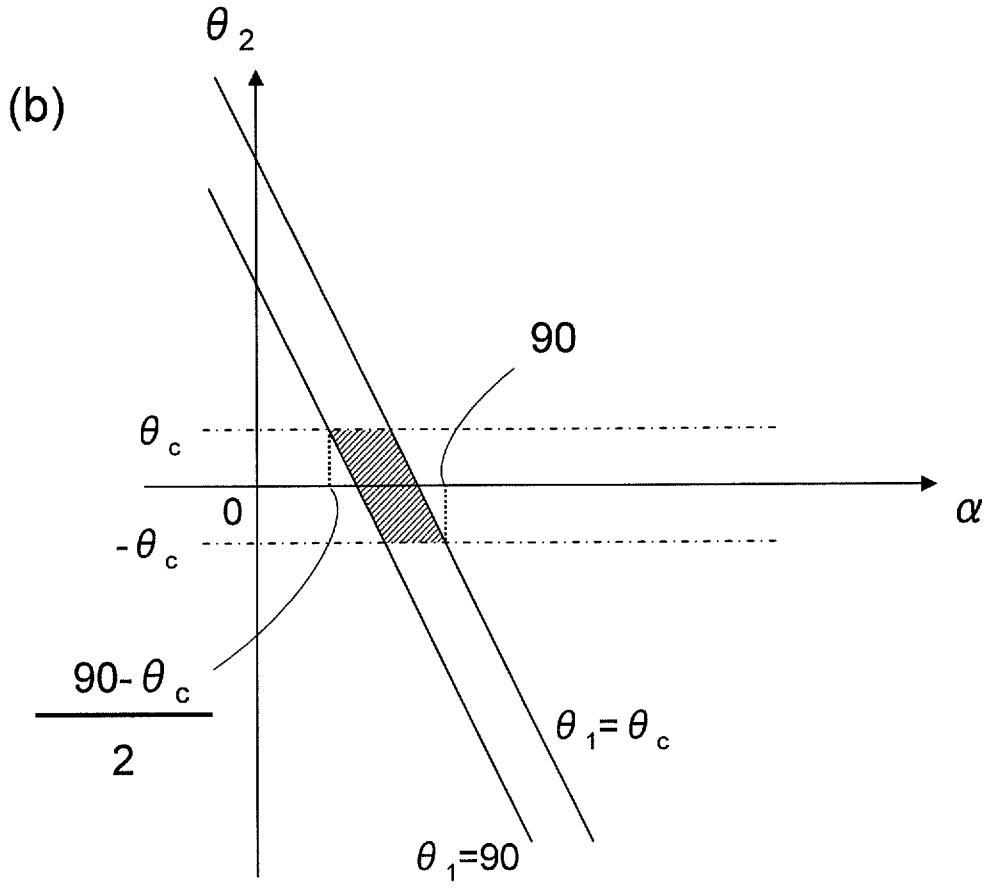

(a)
m
a
c
50b
50a
55
53
52
50
h
α
p
56
54
m面
(b)
53
α i(j+1)
α ij
α (i+1)2
52
α i2
α i1
α (i+1)1
(c)
55
β
c
m
a
(d)
55
β i(j+1)
β (i+1)j
β ij
β (i-1)j
c
m
a

[図5]

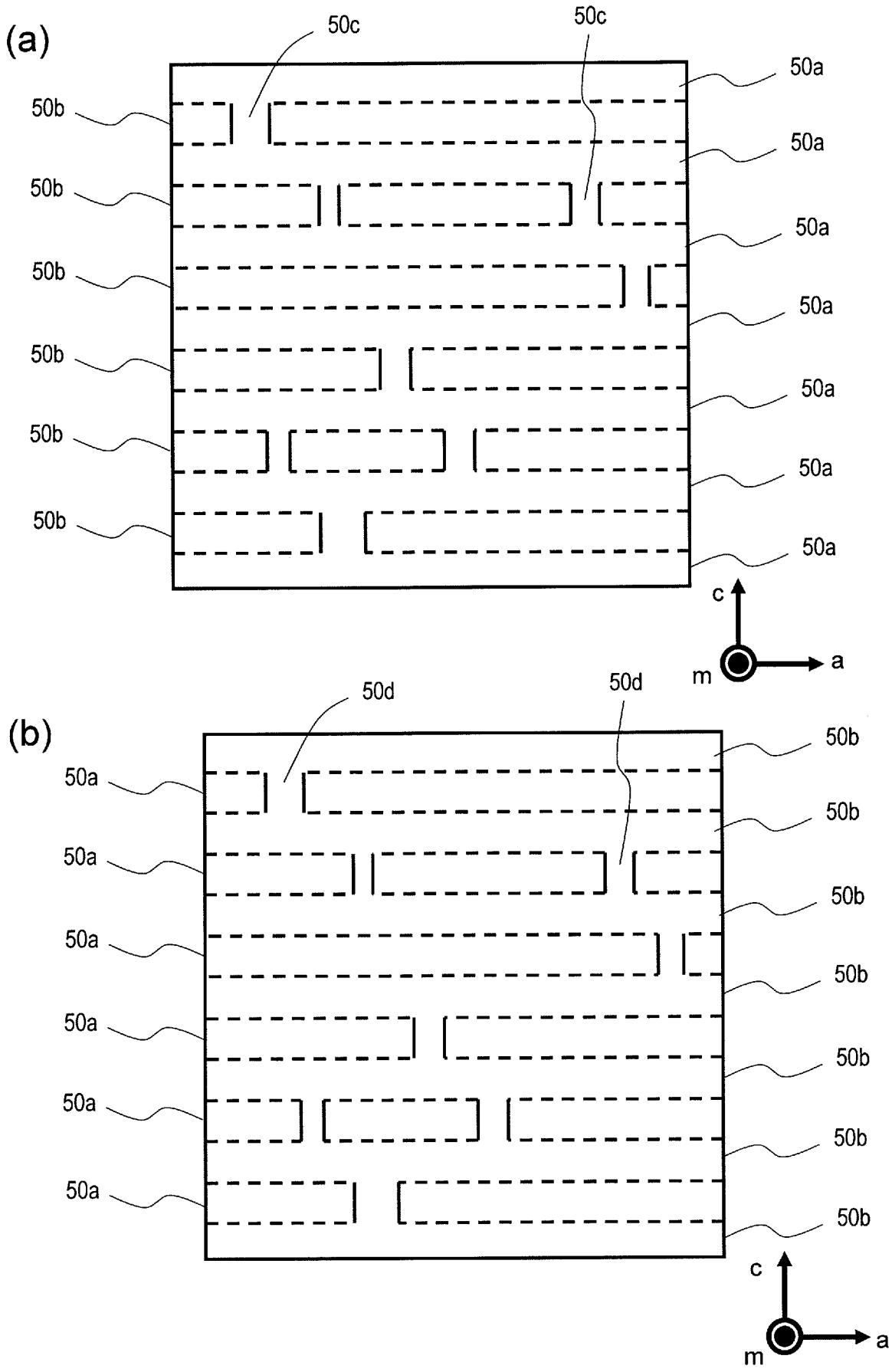


[図6]

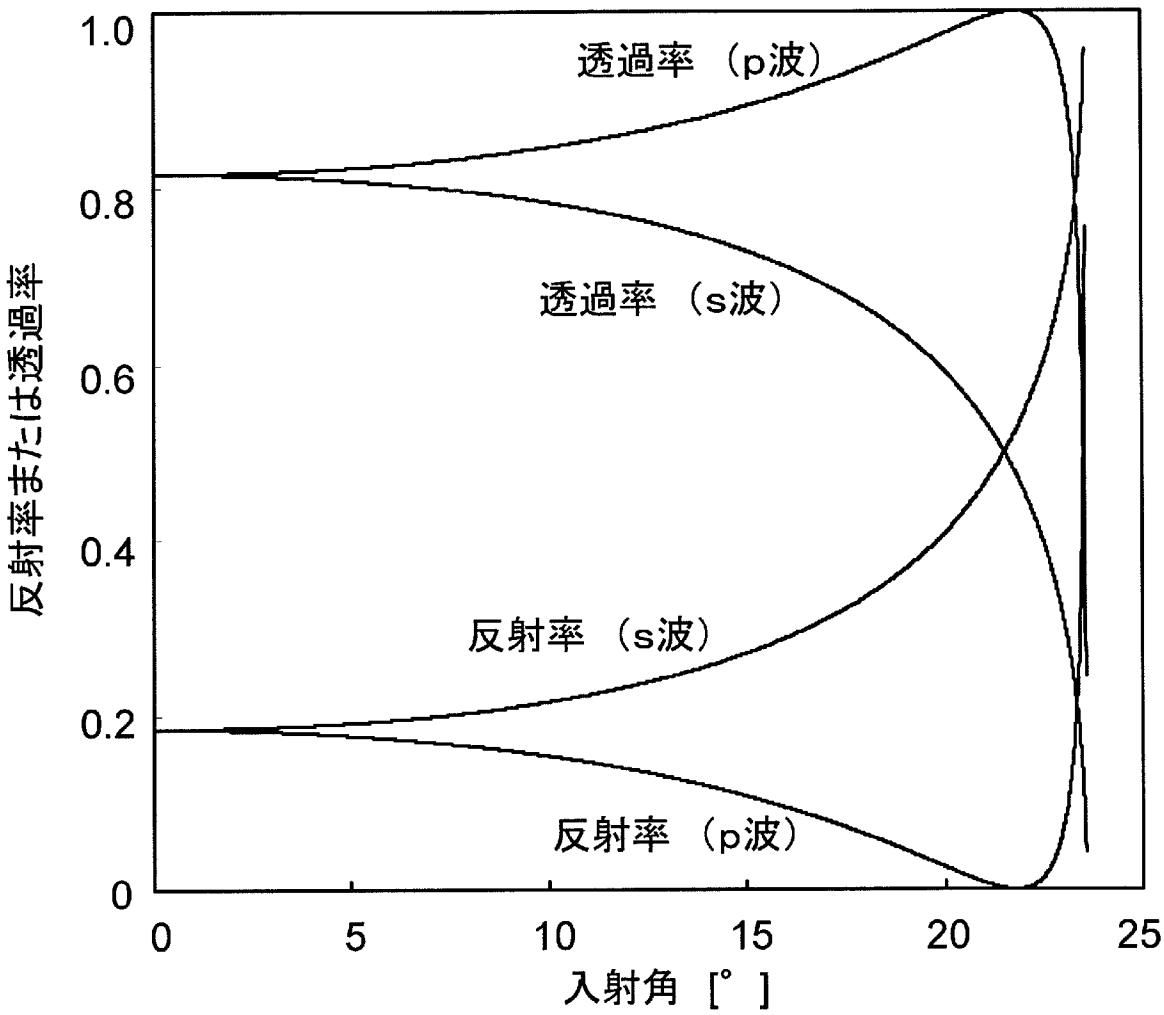




[図7]

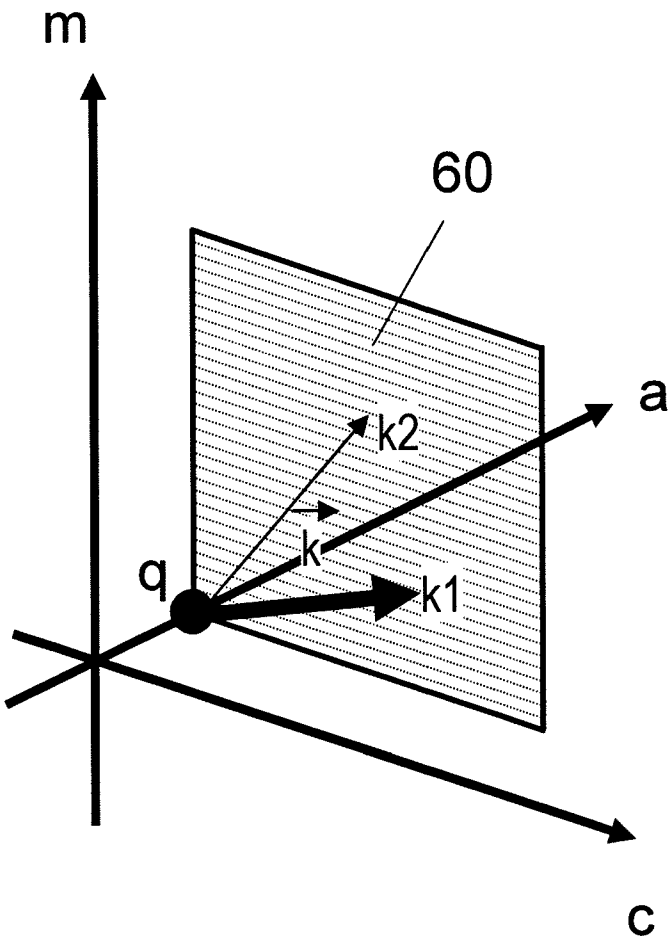

(a)
50c
50c
50a
50b
50a
50b
50a
50b
50a
50b
50a
50b
50a
50b
50a
c
m
a
(b)
50d
50d
50b
50a
50b
50a
50b
50a
50b
50a
50b
50a
50b
50a
50b
c
m
a

[図8]

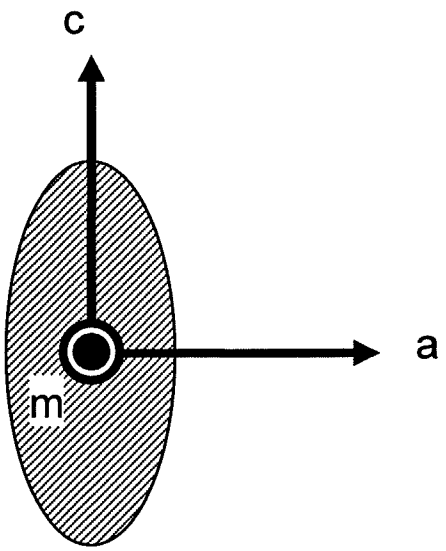

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
反射率または透過率
透過率 （p波）
透過率 （s波）
反射率 （s波）
反射率 （p波）
0
5
10
15
20
25
入射角 [°]

[図9]

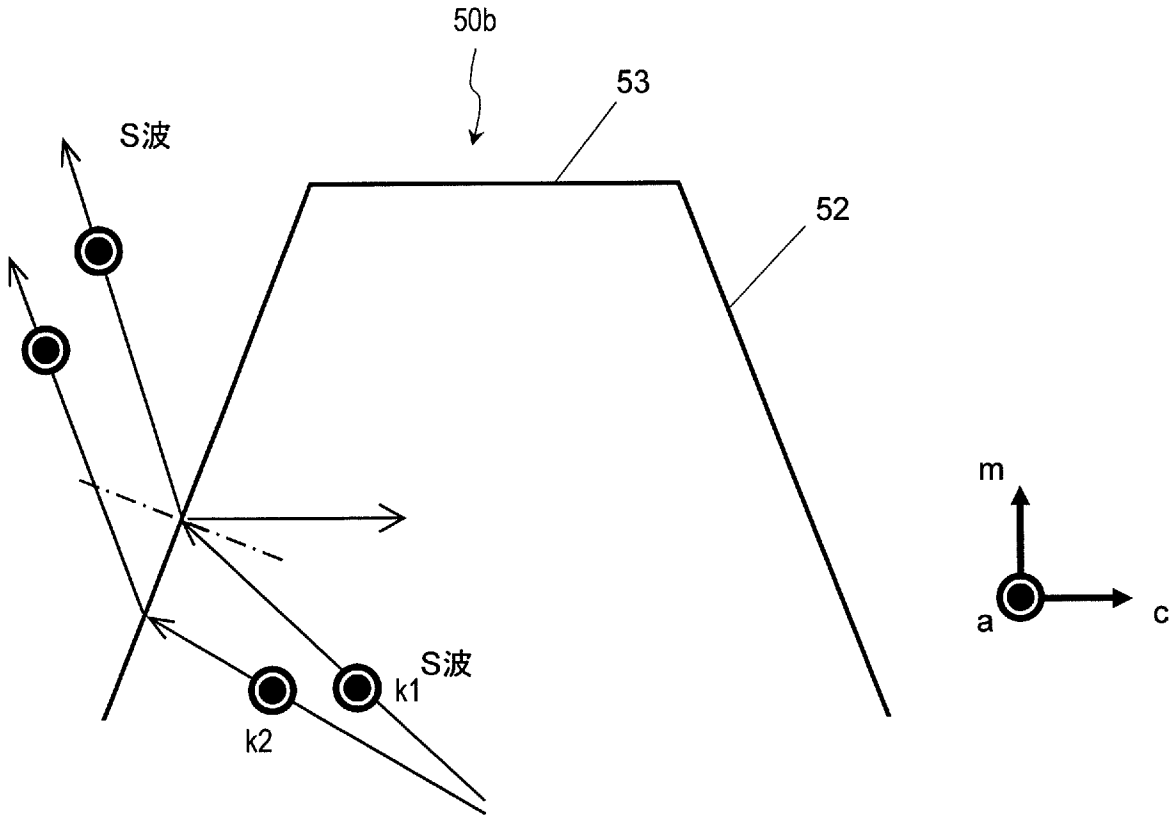
(a)



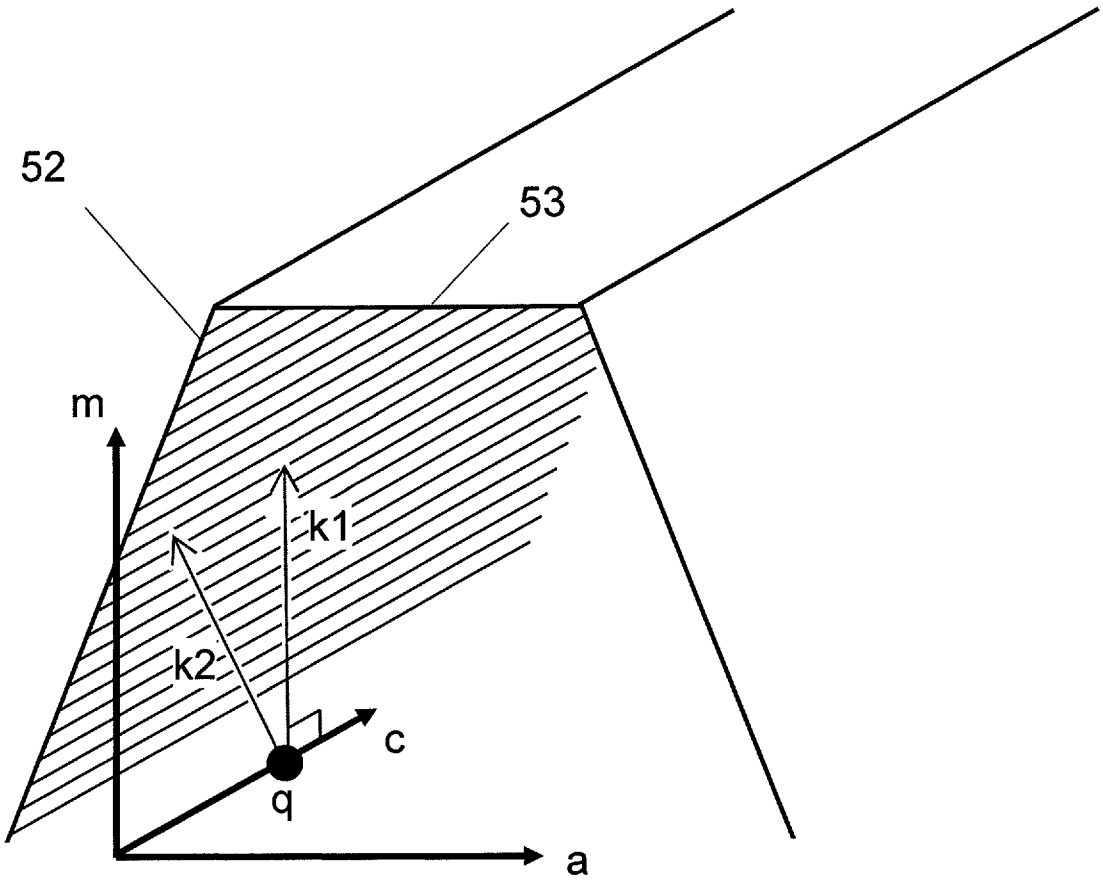
(b)



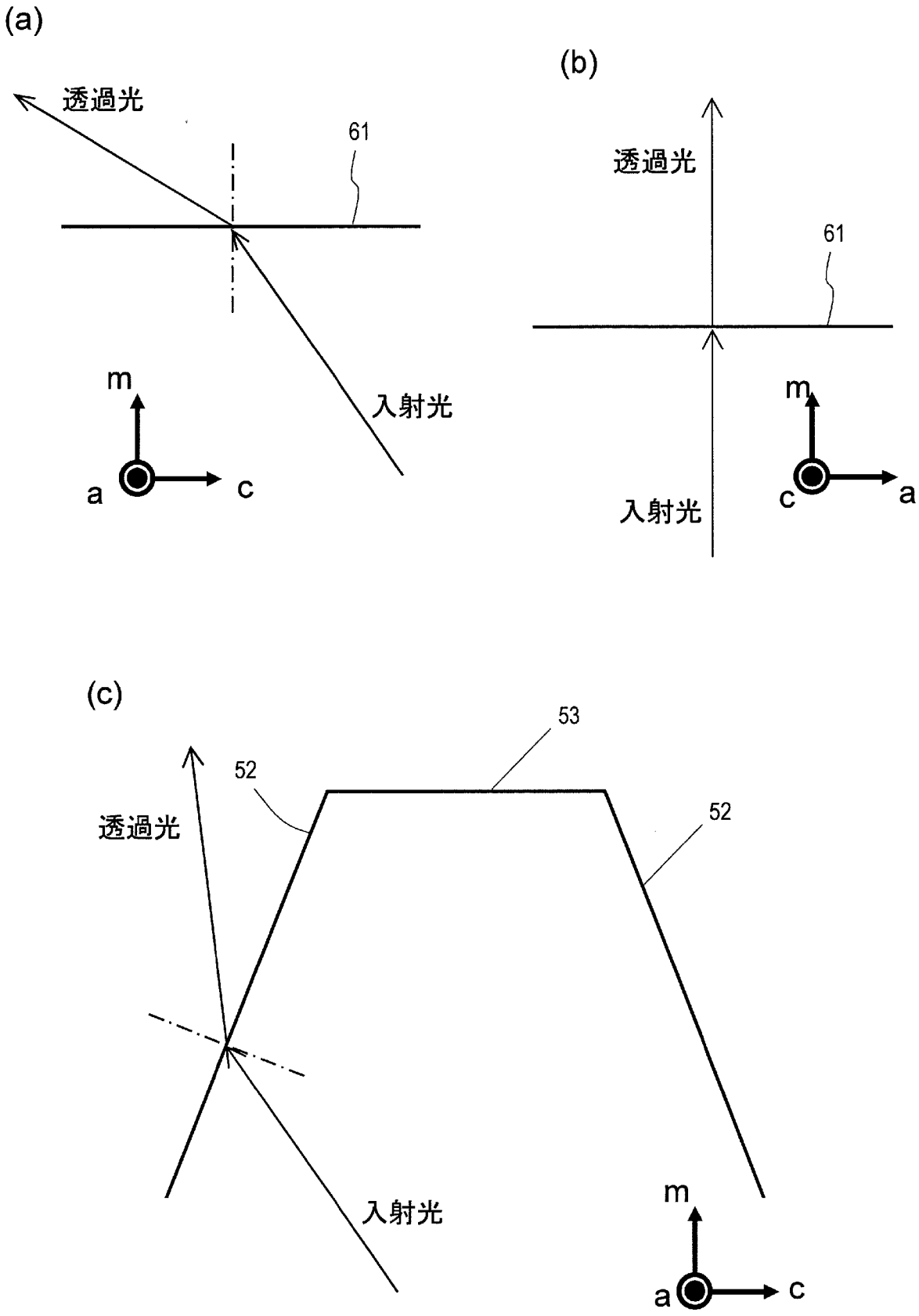
[図10]



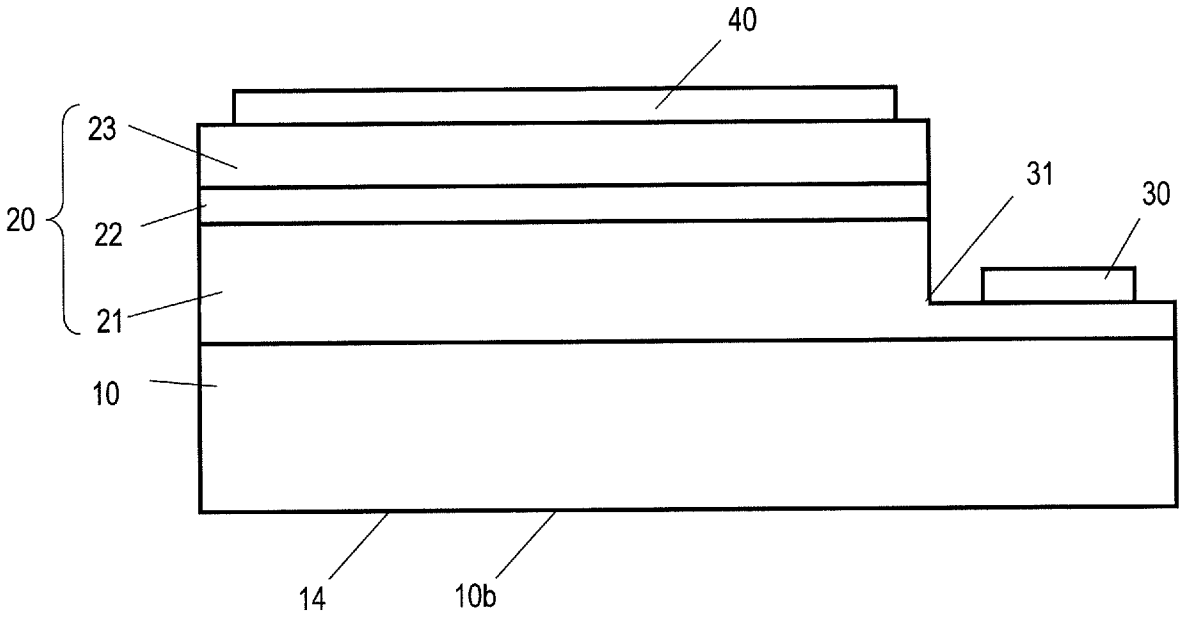
[図11]



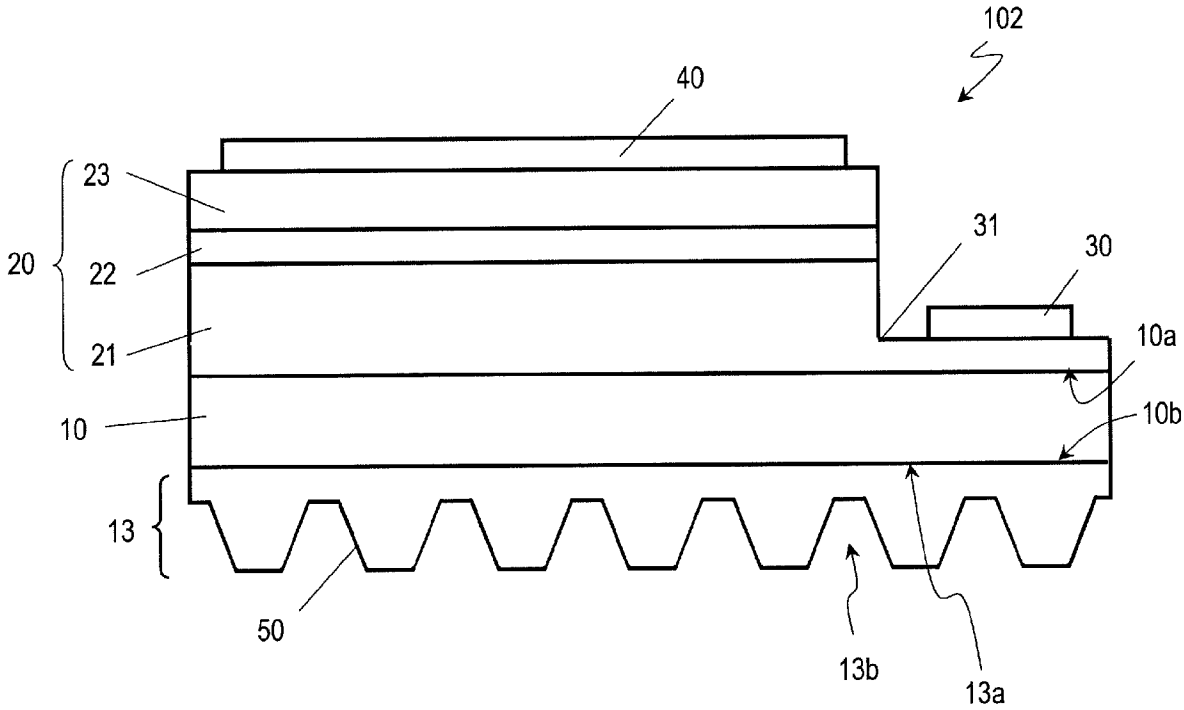
[図12]



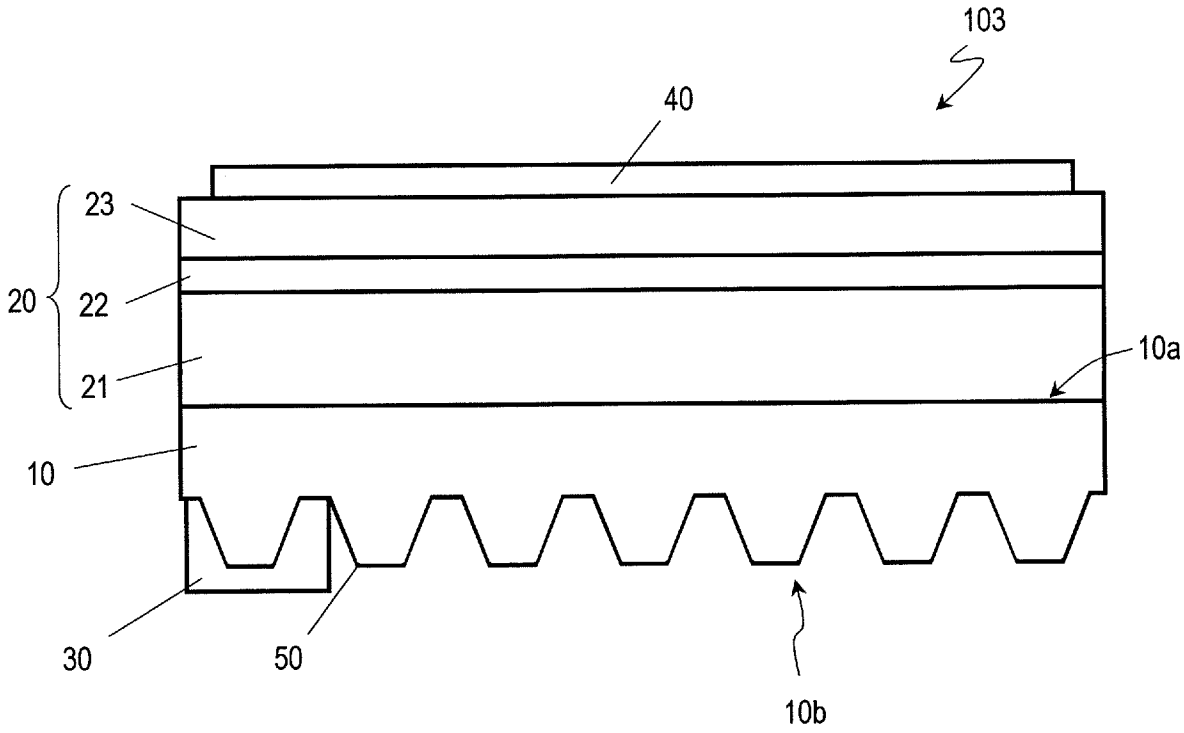
[図13]


40
23
20
22
21
10
31
30
14
10b

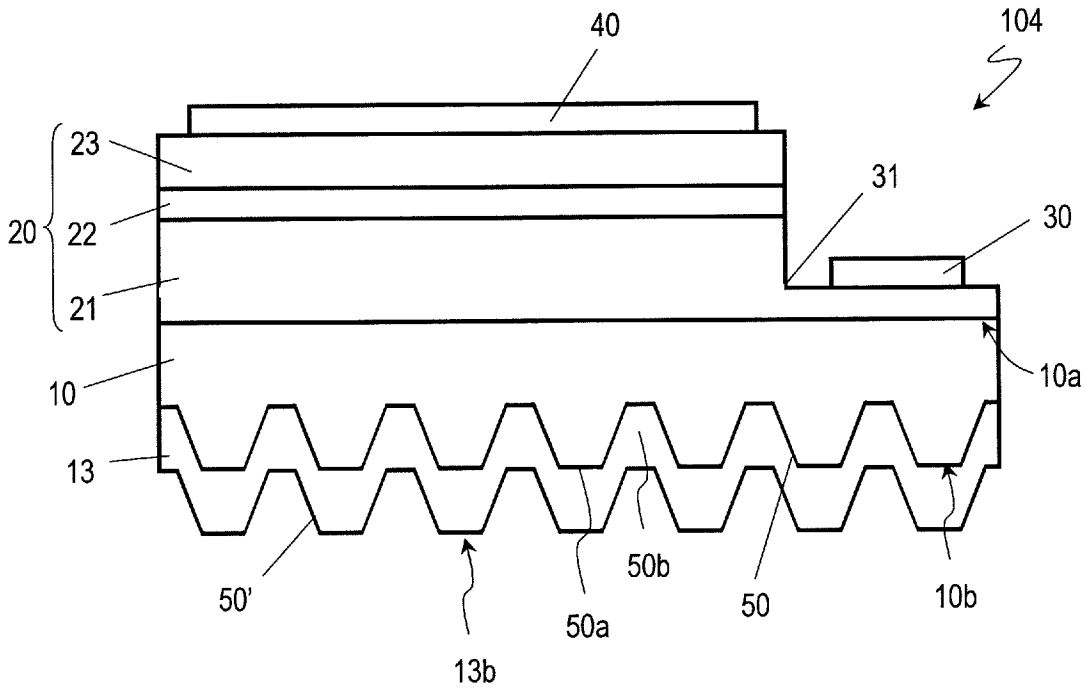
[図14]


102
40
23
20
22
21
10
31
30
10a
10b
13
50
13b
13a

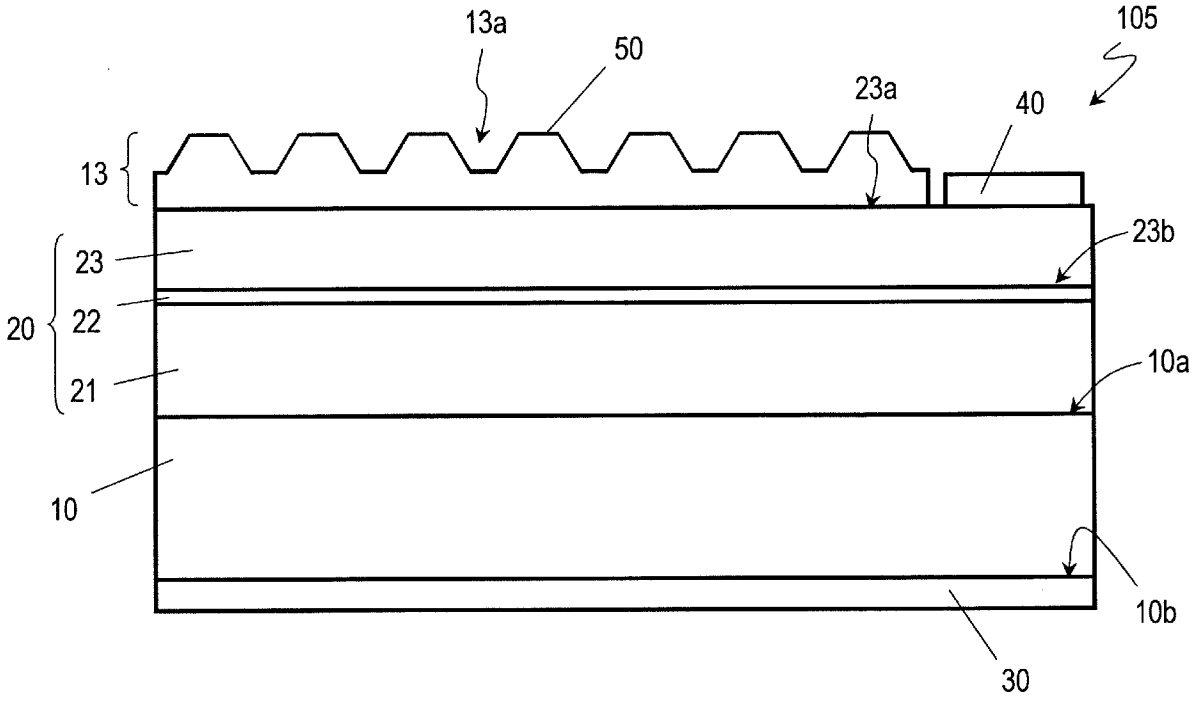
[図15]


103
40
23
20
22
21
10a
10
30
50
10b

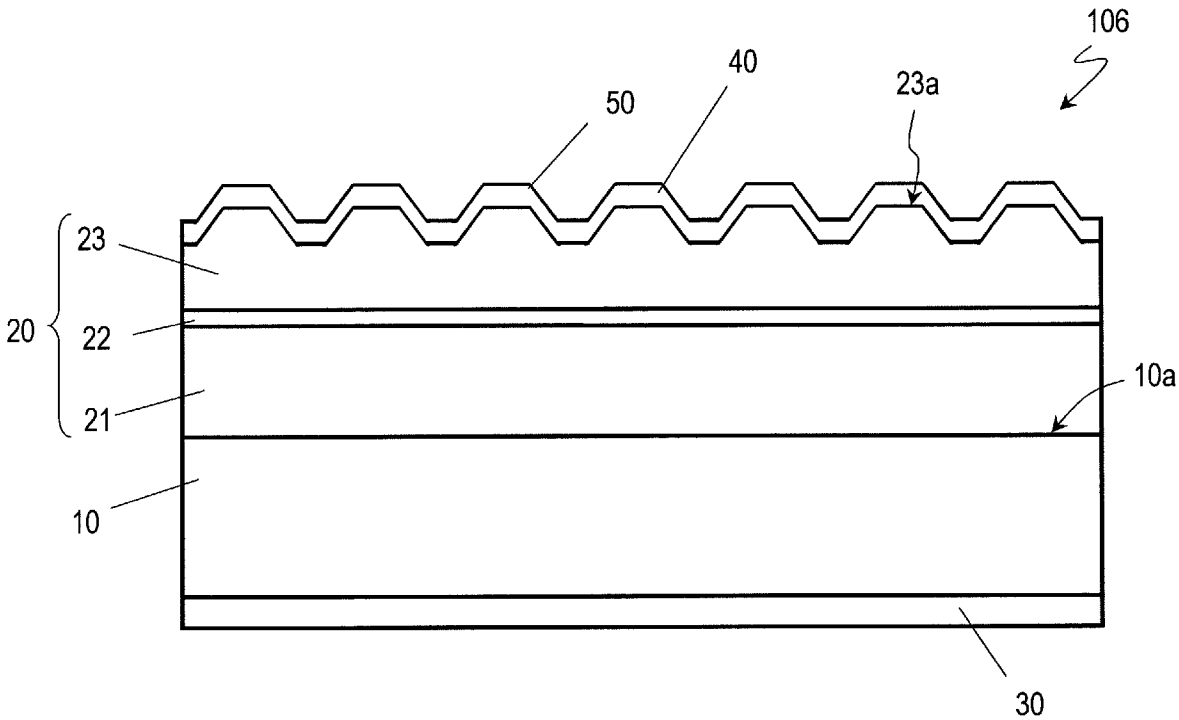
[図16]


40
104
23
20
22
21
31
30
10a
10
13
50'
13b
50a
50b
50
10b

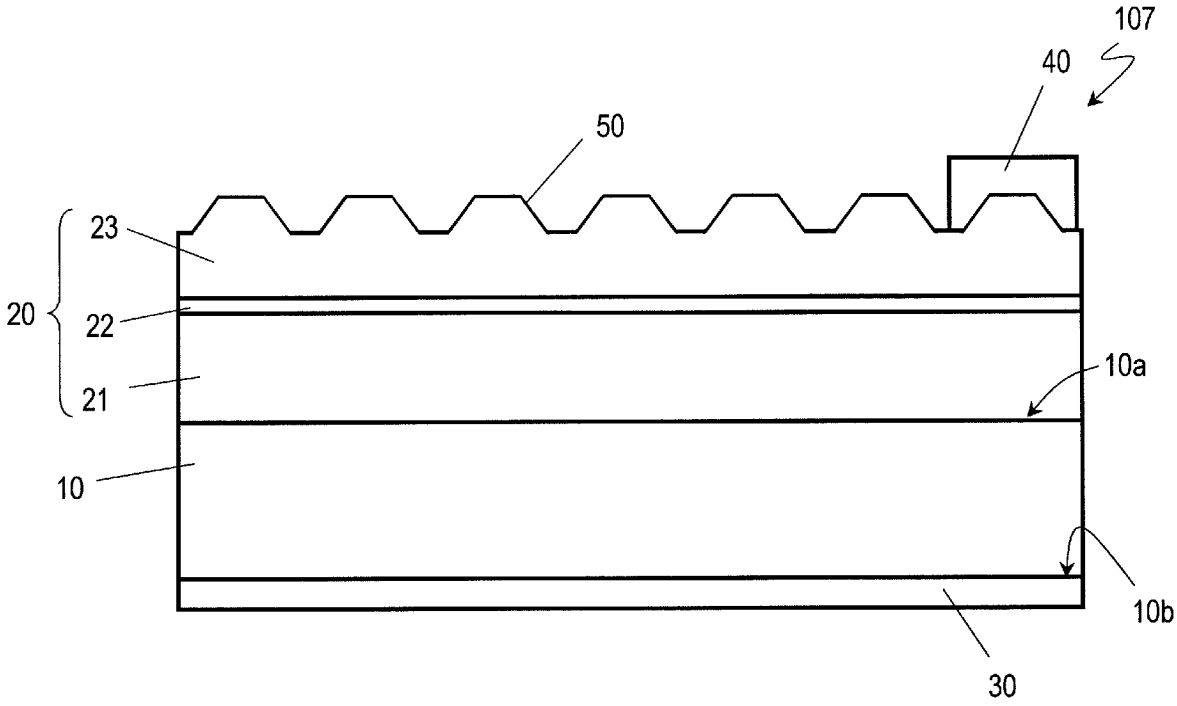
[図17]


13a
50
105
23a
40
13
23b
23
20
22
10a
21
10
10b
30

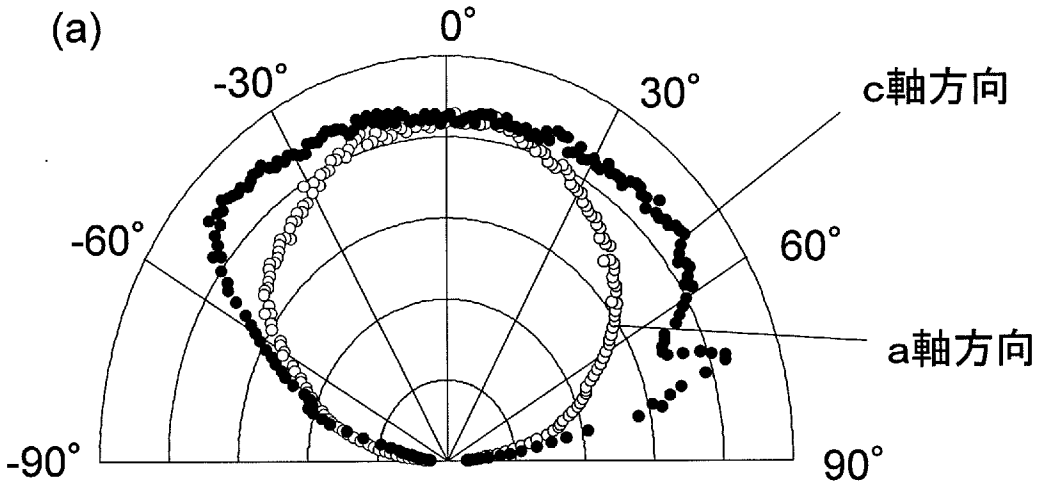
[図18]

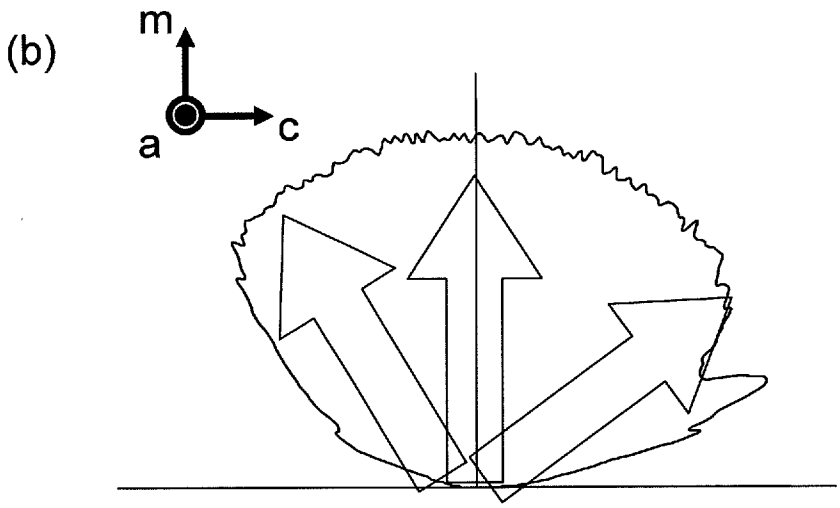

106
40
50
23a
23
20
22
10a
21
10
30

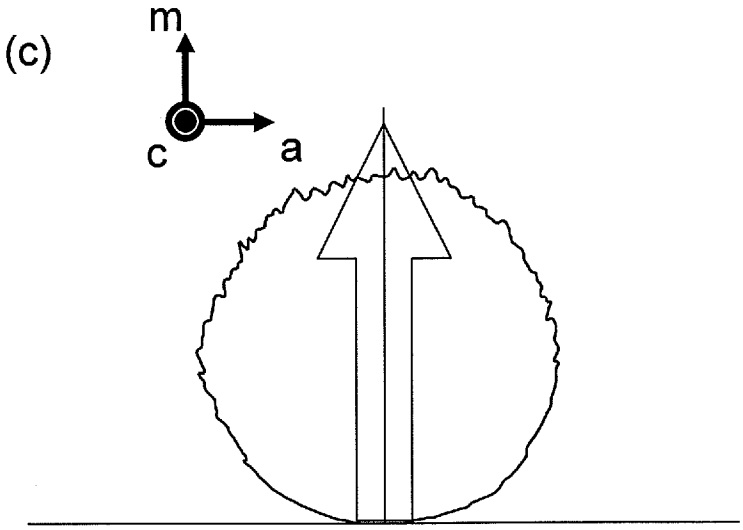
[図19]



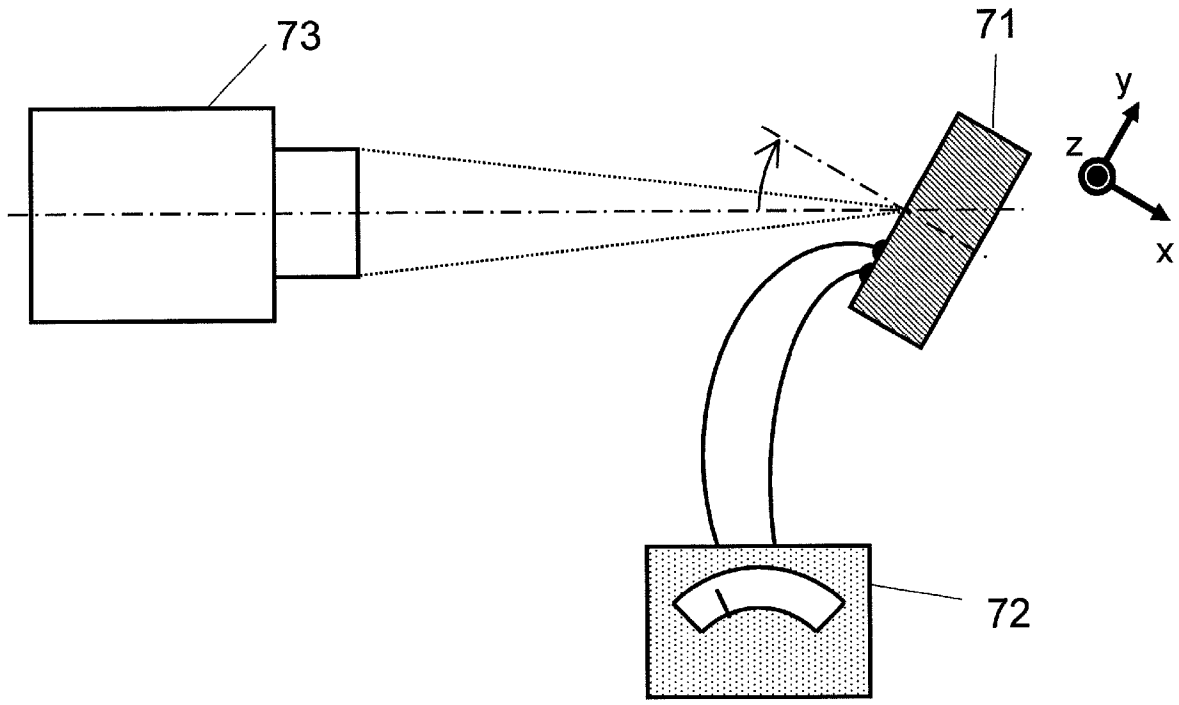
[図20]



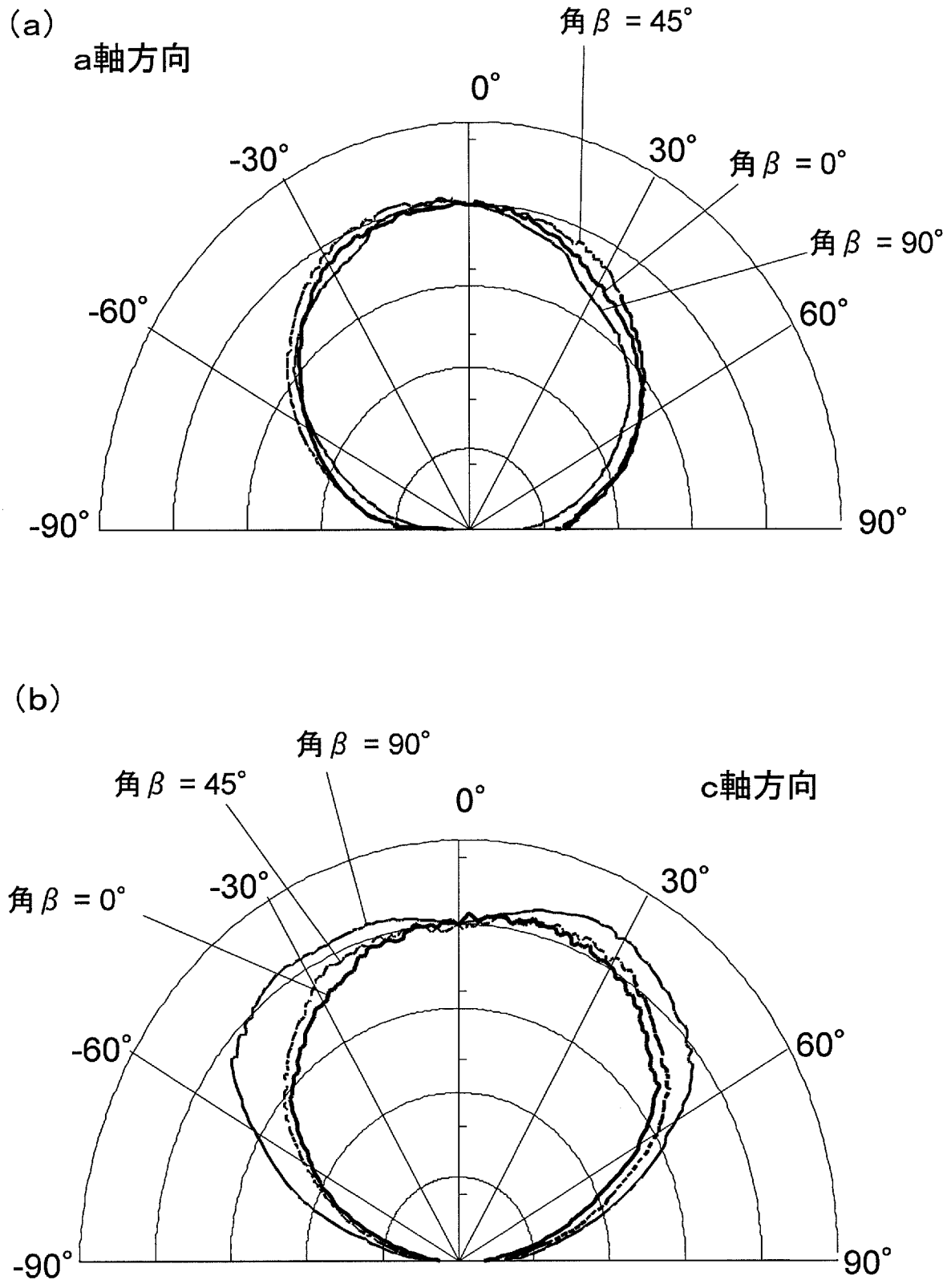




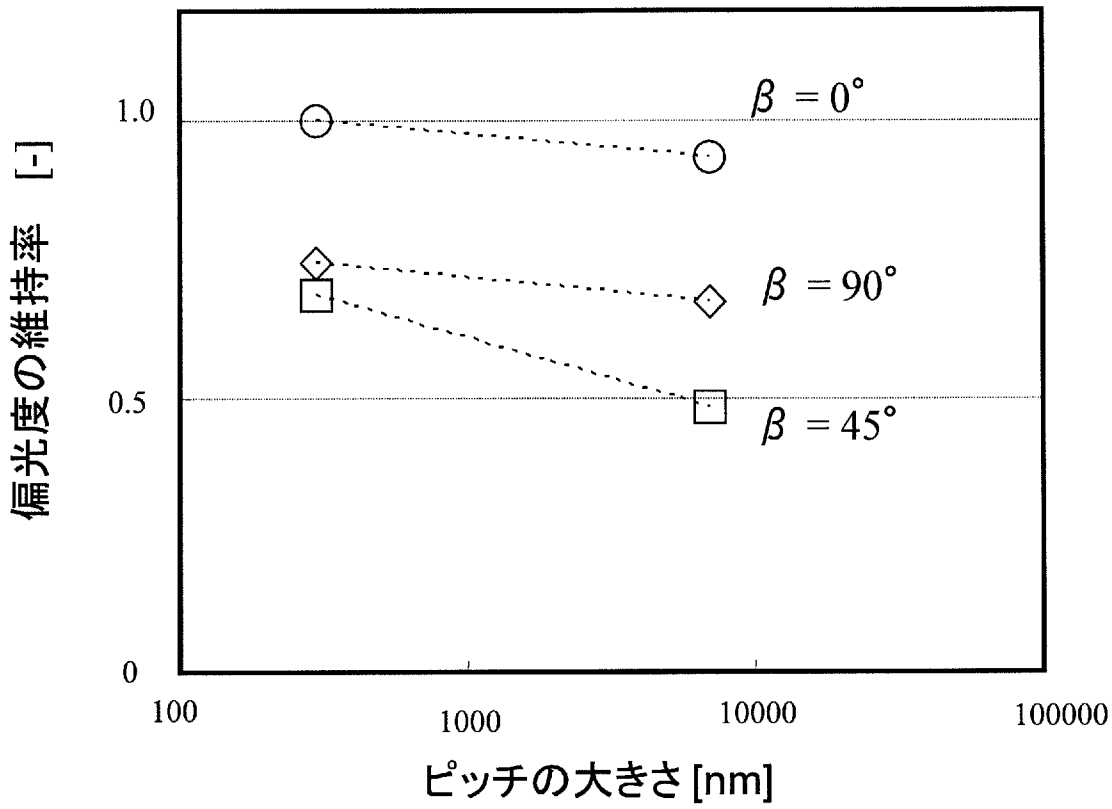
[図21]



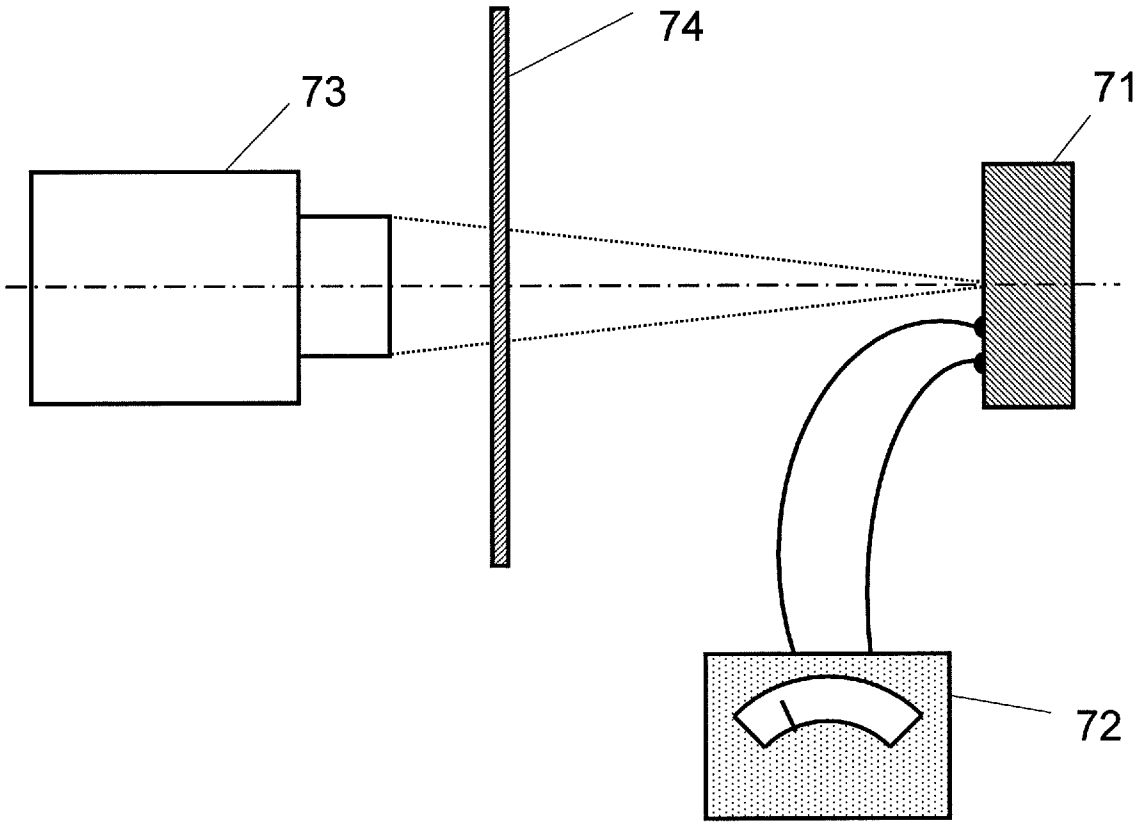
[図22]


(a)
a軸方向
角β = 45°
0°
-30°
30°
角β = 0°
角β = 90°
-60°
60°
-90°
90°
(b)
角β = 90°
角β = 45°
0°
c軸方向
角β = 0°
-30°
30°
-60°
60°
-90°
90°

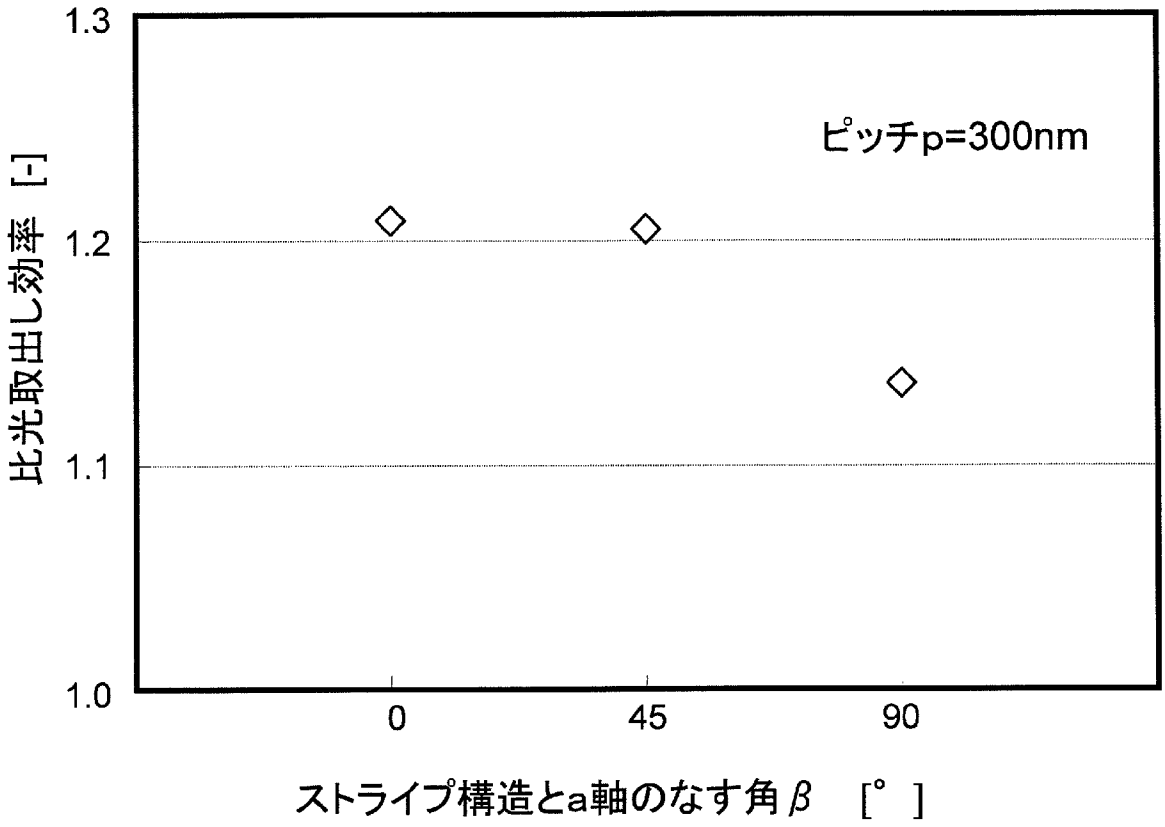
[図23]


偏光度の維持率 [-]
1.0
0.5
0
β = 0°
β = 90°
β = 45°
100
1000
10000
100000
ピッチの大きさ [nm]

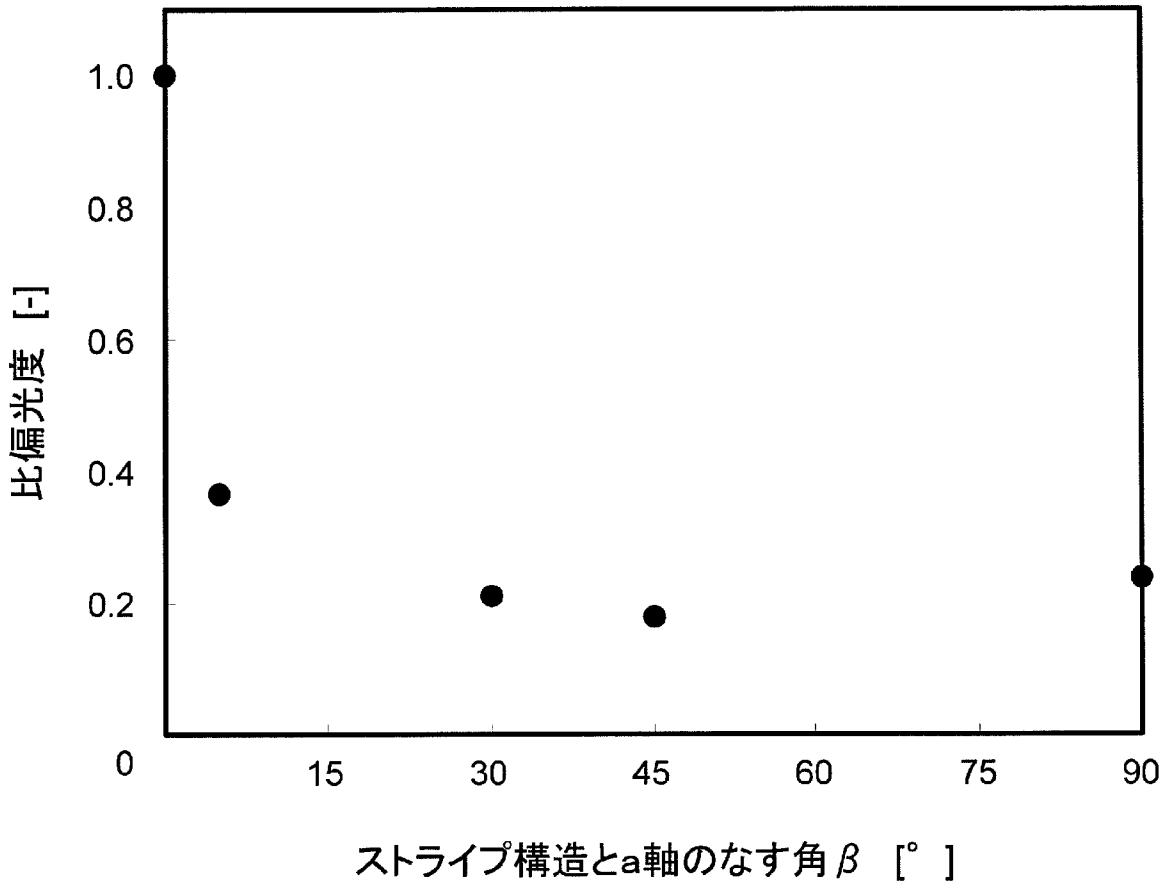
[図24]


73
74
71
72

[図25]

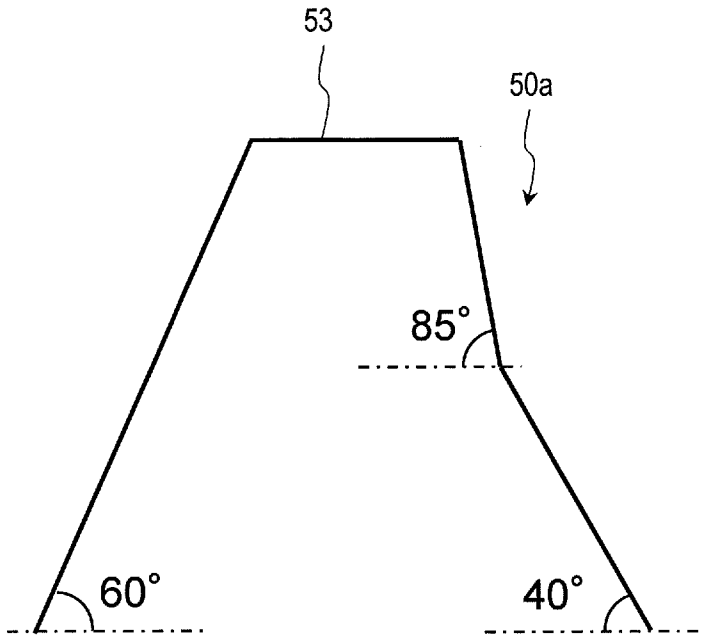

1.3
1.2
1.1
1.0
比光取出し効率 [-]
ピッチp=300nm
0
45
90
ストライプ構造とa軸のなす角β [°]

[図26]

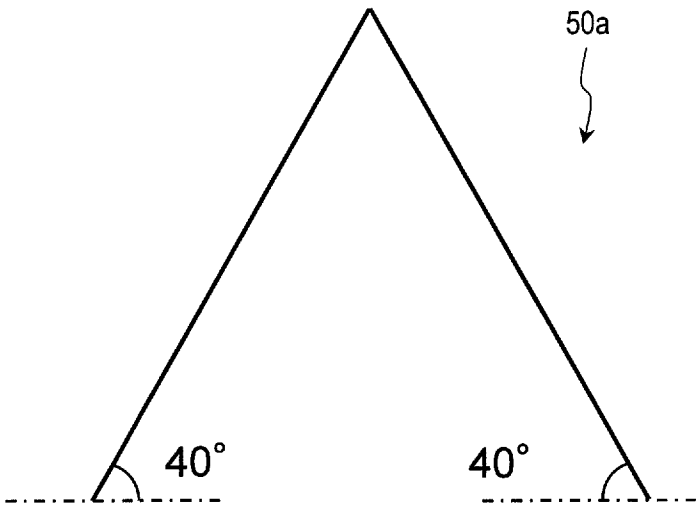

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
比偏光度 [-]
15
30
45
60
75
90
ストライプ構造とa軸のなす角β [°]

[図27]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/004465

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L33/22(2010.01)i, *H01L33/32*(2010.01)i, *H01S5/343*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-305971 A (Rohm Co., Ltd.), 18 December 2008 (18.12.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2009-117641 A (Rohm Co., Ltd.), 28 May 2009 (28.05.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2009-043832 A (Rohm Co., Ltd.), 28 February 2009 (28.02.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 August, 2011 (22.08.11)	30 August, 2011 (30.08.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/004465

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-021349 A (Rohm Co., Ltd.), 29 January 2009 (29.01.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１１／００４４６５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L33/22(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i, H01S5/343(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１１年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2008-305971 A (ローム株式会社) 2008.12.18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2009-117641 A (ローム株式会社) 2009.05.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2009-043832 A (ローム株式会社) 2009.02.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２２．０８．２０１１	３０．０８．２０１１

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｋ　３７１５
高椋　健司
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2009-021349 A (ローム株式会社) 2009.01.29, 全文,全図（ファミリーなし）	1-10