

(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
2023年8月17日(17.08.2023)

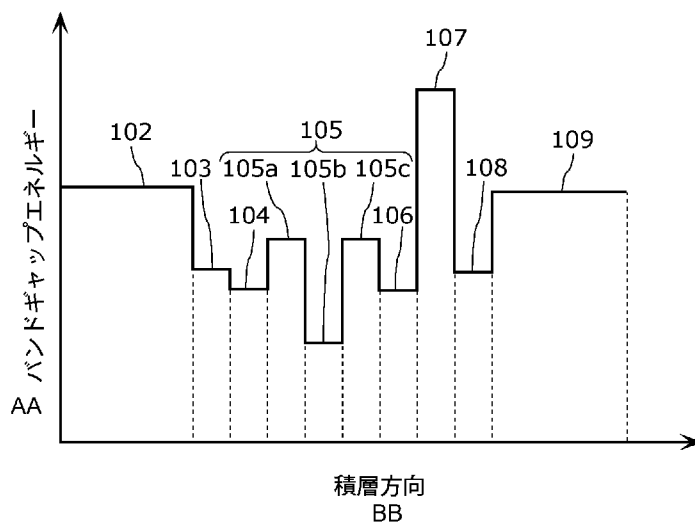


(10) 国際公開番号
WO 2023/153035 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/343 (2006.01) *H01L 33/32* (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/041910
- (22) 国際出願日: 2022年11月10日(10.11.2022)
- (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 2022-020111 2022年2月14日(14.02.2022) JP
- (71) 出願人: ヌ ヴ オ ト ン テ ク ノ ロ ジ ー ジ ャ
パン株式会社 (NUVOTON TECHNOLOGY
CORPORATION JAPAN) [JP/JP]; 〒6178520 京
都府長岡京市神足焼町1番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 畑 雅 幸 (HATA, Masayuki). 高山 徹
(TAKAYAMA, Toru). 吉田 真治 (YOSHIDA,
Shinji). 川口 靖利(KAWAGUCHI, Yasutoshi).
- (74) 代理人: 新居 広 守, 外 (NII, Hiromori et al.);
〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目
3番10号タナカ・イトーピア新大阪ビル6
階新居国際特許事務所内 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP,
KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 窒化物系半導体発光素子



AA Bandgap energy
BB Lamination direction

(57) Abstract: This nitride semiconductor light-emitting element (100) comprises: a substrate (1010) comprising GaN; a first clad layer comprising AlGaIn disposed above the substrate (101); an active layer (105) disposed above the substrate (101); and a first semiconductor layer disposed between the first clad layer and the active layer (105). The active layer (105) has a well layer (105b) comprising a nitride semiconductor, and barrier layers (105a) and (105c) comprising a nitride semiconductor containing Al. The average bandgap energy of the first semiconductor layer is smaller than the average bandgap energy of the first clad layer, and the first semiconductor layer comprises AlGaInN.



WO 2023/153035 A1

MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約 : 窒化物系半導体発光素子 (100) は、Ga N からなる基板 (101) と、基板 (101) の上方に配置され、Al Ga N からなる第一クラッド層と、基板 (101) の上方に配置される活性層 (105) と、第一クラッド層と、活性層 (105) との間に配置される第一半導体層とを備え、活性層 (105) は、窒化物系半導体からなるウェル層 (105b) と、Al を含む窒化物系半導体からなるバリア層 (105a) 及び (105c) とを有し、第一半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、第一クラッド層の平均バンドギャップエネルギーより小さく、第一半導体層は、Al Ga In N からなる。

明 細 書

発明の名称：窒化物系半導体発光素子

技術分野

[0001] 本開示は、窒化物系半導体発光素子に関する。

背景技術

[0002] 従来、青色光を出射する窒化物系半導体発光素子が知られているが、より短波長の紫外光を出射する高出力の窒化物系半導体発光素子が求められている（例えば、特許文献1など参照）。例えば、窒化物系半導体発光素子によって、ワット級の紫外レーザ光源を実現できれば、露光用光源、加工用光源などに用いることができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2010-258363号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 紫外光を出射する窒化物系半導体発光素子の発光層として、例えば、量子井戸構造を有する活性層が用いられる。このような活性層は、一つ以上のウェル層と、複数のバリア層とを含む。紫外光は、可視光より波長が短い（つまり、エネルギーが大きい）ため、紫外光を出射するウェル層のバンドギャップエネルギーは、可視光を出射するウェル層のバンドギャップエネルギーより大きい。このため、量子井戸構造における量子効果を確保するため、バリア層のバンドギャップエネルギーを大きくする必要がある。例えば、窒化物系半導体発光素子として、Ga₂N基板と、Alを含む窒化物系半導体からなるバリア層及びAlGa₂Nからなるクラッド層とを用いる場合、バリア層のバンドギャップエネルギーを大きくするために、Al組成比を高くする必要がある。これに伴い、バリア層の屈折率が小さくなるので、クラッド層の屈折率をバリア層より小さくするために、クラッド層のAl組成比を高める

必要がある。

[0005] このように、窒化物系半導体発光素子のバリア層及びクラッド層のAl組成比が高められることにより、GaN基板に対するクラッド層などの半導体積層体における引っ張り歪が大きくなる。このため、半導体積層体における結晶性が悪化したり、半導体積層体にクラックが入りやすくなったりする。

[0006] 本開示は、このような課題を解決するものであり、基板に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる窒化物系半導体発光素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記課題を解決するために、本開示に係る窒化物系半導体発光素子の一態様は、GaNからなる基板と、前記基板の上方に配置され、AlGaNからなる第一クラッド層と、前記基板の上方に配置される活性層と、前記第一クラッド層と、前記活性層との間に配置される第一半導体層とを備え、前記活性層は、窒化物系半導体からなるウェル層と、Alを含む窒化物系半導体からなるバリア層とを有し、前記第一半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記第一クラッド層の平均バンドギャップエネルギーより小さく、前記第一半導体層は、AlGaNからなる。

[0008] 上記課題を解決するために、本開示に係る窒化物系半導体発光素子の他の一態様は、GaNからなる基板と、前記基板の上方に配置され、AlGaNからなるN型クラッド層と、前記N型クラッド層の上方に配置され、窒化物系半導体からなるN側半導体層と、前記N側半導体層の上方に配置される活性層と、前記活性層の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層と、前記P側半導体層の上方に配置され、AlGaNからなるP型クラッド層とを備え、前記活性層は、窒化物系半導体からなるウェル層と、Alを含む窒化物系半導体からなるバリア層とを有し、前記N側半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記N型クラッド層の平均バンドギャップエネルギーより小さく、前記P側半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記P型クラッド層の平均バンドギャップエネルギーより小さく、前記N側

半導体層及び前記P側半導体層の少なくとも一方は、AlGaInNからなる。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、基板に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる窒化物系半導体発光素子を提供できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子の全体構成を示す模式的な平面図である。

[図2A]図2Aは、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子の全体構成を示す模式的な断面図である。

[図2B]図2Bは、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子が備える活性層の構成を示す模式的な断面図である。

[図3]図3は、実施の形態1に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図4]図4は、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層におけるバンドギャップエネルギーと、 $Al_zGa_{1-z}N$ 層におけるバンドギャップエネルギーとの関係を示すグラフである。

[図5]図5は、実施の形態2に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図6]図6は、実施の形態3に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図7]図7は、実施の形態4に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図8]図8は、実施の形態5に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図9]図9は、実施の形態6に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図10]図10は、実施の形態7に係る半導体積層体のバンドギャップエネル

ギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図11]図 1 1 は、実施の形態 8 に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図12]図 1 2 は、実施の形態 9 に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図13]図 1 3 は、実施の形態 10 に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図14]図 1 4 は、実施の形態 11 に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図15]図 1 5 は、実施の形態 12 に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[図16]図 1 6 は、実施の形態 13 に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本開示の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、いずれも本開示の一具体例を示すものである。したがって、以下の実施の形態で示される、数値、形状、材料、構成要素、及び、構成要素の配置位置や接続形態などは、一例であって本開示を限定する主旨ではない。

[0012] また、各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、各図において縮尺等は必ずしも一致していない。なお、各図において、実質的に同一の構成に対しては同一の符号を付しており、重複する説明は省略又は簡略化する。

[0013] また、本明細書において、「上方」及び「下方」という用語は、絶対的な空間認識における鉛直上方及び鉛直下方を指すものではなく、積層構成における積層順を基に相対的な位置関係により規定される用語として用いる。また、「上方」及び「下方」という用語は、2つの構成要素が互いに間隔をあけて配置されて2つの構成要素の間に別の構成要素が存在する場合のみなら

ず、2つの構成要素が互いに接する状態で配置される場合にも適用される。

[0014] (実施の形態1)

実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。

[0015] [1-1. 全体構成]

まず、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子の全体構成について図1、図2A及び図2Bを用いて説明する。図1及び図2Aは、それぞれ本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100の全体構成を示す模式的な平面図及び断面図である。図2Aには、図1の| | - | |線における断面が示されている。図2Bは、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100が備える活性層105の構成を示す模式的な断面図である。なお、各図には、互いに直交するX軸、Y軸、及びZ軸が示されている。X軸、Y軸、及びZ軸は、右手系の直交座標系である。窒化物系半導体発光素子100の積層方向は、Z軸方向に平行であり、光(レーザ光)の主な出射方向は、Y軸方向に平行である。

[0016] 窒化物系半導体発光素子100は、図2Aに示されるように、窒化物系半導体層を含む半導体積層体100Sを備え、半導体積層体100Sの積層方向(つまり、Z軸方向)に垂直な方向の端面100F(図1参照)から光を出射する。本実施の形態では、窒化物系半導体発光素子100は、共振器を形成する二つの端面100F及び100Rを有する半導体レーザ素子である。端面100Fは、レーザ光を出射するフロント端面であり、端面100Rは、端面100Fより反射率が高いリア端面である。また、窒化物系半導体発光素子100は、端面100Fと端面100Rとの間に形成された導波路を有する。本実施の形態では、端面100F及び100Rの反射率は、それぞれ、16%及び95%である。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100の共振器長(つまり、端面100Fと端面100Rと間の距離)は1200 μ m程度である。窒化物系半導体発光素子100は、例えば、375nm帯にピーク波長を有する紫外光を出射する。なお、窒化物系半導体発光素子100は、375nm帯以外にピーク波長を有する紫外光を出射して

もよいし、紫外光以外の波長帯域にピーク波長を有する光を出射してもよい。

[0017] 図2Aに示されるように、窒化物系半導体発光素子100は、基板101と、半導体積層体100Sと、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。半導体積層体100Sは、N型クラッド層102と、第一N側ガイド層103と、第二N側ガイド層104と、活性層105と、第一P側ガイド層106と、電子障壁層107と、第二P側ガイド層108と、P型クラッド層109と、コンタクト層110とを有する。

[0018] 基板101は、窒化物系半導体発光素子100の基台となる板状部材である。本実施の形態では、基板101は、N型クラッド層102の下方に配置され、N型Ga_{0.995}Nからなる。より具体的には、基板101は、濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされたGa_{0.995}N基板である。

[0019] N型クラッド層102は、基板101の上方に配置され、Al_{0.065}Ga_{0.935}Nからなる第一クラッド層の一例である。ここで、クラッド層とは、積層方向に対する層内の光強度分布の変化の態様を、指数関数で近似できる層である。N型クラッド層102の導電型は、N型である。N型クラッド層102は、活性層105より屈折率が小さく、かつ、平均バンドギャップエネルギーが大きい。本実施の形態では、N型クラッド層102は、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚800nmのN型Al_{0.065}Ga_{0.935}N層である。

[0020] ここで、本開示において、ある層の平均バンドギャップエネルギーとは、その層の積層方向のある位置でのバンドギャップエネルギーの大きさを、その層の積層方向の基板側の界面の位置から基板から遠い側の界面の位置まで積層方向に積分し、その層の膜厚（基板側界面と、基板から遠い側の界面間の距離）で割ったバンドギャップエネルギーの値のことである。

[0021] ある層の平均屈折率とは、その層の積層方向のある位置での屈折率の大きさを、その層の積層方向の基板側の界面の位置から基板から遠い側の界面の位置まで積層方向に積分し、その層の膜厚（基板側界面と、基板から遠い側

の界面間の距離)で割った屈折率の値のことである。

- [0022] ある層の平均A | 組成比とは、その層の積層方向のある位置でのA | 組成比の大きさを、その層の積層方向の基板側の界面の位置から基板から遠い側の界面の位置まで積層方向に積分し、その層の膜厚(基板側界面と、基板から遠い側の界面間の距離)で割ったA | 組成比の値のことである。
- [0023] ある層の平均不純物濃度とは、その層の積層方向のある位置での不純物濃度の大きさを、その層の積層方向の基板側の界面の位置から基板から遠い側の界面の位置まで積層方向に積分し、その層の膜厚(基板側界面と、基板から遠い側の界面間の距離)で割った不純物濃度の値のことである。不純物とは、N型半導体層では、N型の導電型を得るためにドーピングした不純物を指し、P型半導体層では、P型の導電型を得るためにドーピングした不純物を指す。
- [0024] 第一N側ガイド層103は、N型クラッド層102と、活性層105との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。ここで、光ガイド層とは、積層方向に対する層内の光強度分布の変化の態様を、三角関数で近似できる層である。第一N側ガイド層103は、N型クラッド層102より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第一N側ガイド層103の平均バンドギャップエネルギーは、第二N側ガイド層104の平均バンドギャップエネルギー以上である。第一N側ガイド層103は、A | を含む。また、第一N側ガイド層103は、N型の窒化物系半導体層である。言い換えると、第一N側ガイド層103の平均不純物濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。本実施の形態では、第一N側ガイド層103は、N型クラッド層102と第二N側ガイド層104との間に配置され、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚70nmのN型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層である。
- [0025] 第二N側ガイド層104は、N型クラッド層102の上方に配置され、窒化物系半導体からなるN側半導体層の一例である。本実施の形態では、第二N側ガイド層104は、N型クラッド層102と、活性層105との間に配

置され、AlGaInNからなる第一半導体層の一例でもある。本実施の形態では、第二N側ガイド層104は、光ガイド層である。第二N側ガイド層104の平均バンドギャップエネルギーは、N型クラッド層102の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第二N側ガイド層104は、アンドープAlGaInN層である。言い換えると、第二N側ガイド層104の平均不純物濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満である。本実施の形態では、第二N側ガイド層104は、第一N側ガイド層103と活性層105との間に配置される膜厚70nmのアンドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 層である。

[0026] 活性層105は、基板101の上方に配置される発光層である。本実施の形態では、活性層105は、第二N側ガイド層104の上方に配置される。活性層105は、量子井戸構造を有し、紫外光を出射する。具体的には、図2Bに示されるように、活性層105は、窒化物系半導体からなるウェル層105bと、Alを含む窒化物系半導体からなる二つのバリア層105a及び105cとを有する単一量子井戸構造である。ウェル層105bは、二つのバリア層105a及び105cの間に配置される。なお、活性層105の構成は、これに限定されない。例えば、活性層105は、多重量子井戸構造を有してもよい。具体的には、活性層105は、三つ以上のバリア層と、二つ以上のウェル層とを有してもよい。

[0027] バリア層105a及び105cの各々は、第一N側ガイド層103の上方に配置され、量子井戸構造の障壁として機能する窒化物系半導体層である。バリア層105cは、バリア層105aの上方に配置される。本実施の形態では、バリア層105a及び105cの各々のバンドギャップエネルギーは、ウェル層105bのバンドギャップエネルギー、第一P側ガイド層106の平均バンドギャップエネルギー、及び、第一N側ガイド層103の平均バンドギャップエネルギーより大きく、電子障壁層107の平均バンドギャップエネルギーより小さい。バリア層105a及び105cの各々は、膜厚10nmのアンドープ $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 層であり、バリア層105aの平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、In組成比は、それぞれ

れ、バリア層105cの平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、In組成比に等しい。

[0028] ウェル層105bは、バリア層105aの上方に配置され、量子井戸構造の井戸として機能する窒化物系半導体層である。本実施の形態では、ウェル層105bは、膜厚17.5nmのアンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 層である。

[0029] 第一P側ガイド層106は、活性層105の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層106は、P型クラッド層109と、活性層105との間に配置され、 AlGaInN からなる第一半導体層の一例でもある。つまり、窒化物系半導体発光素子100においては、第二N側ガイド層104（つまり、N側半導体層）及び第一P側ガイド層106（つまり、P側半導体層）の両方が AlGaInN からなる。本実施の形態では、第一P側ガイド層106は、光ガイド層である。第一P側ガイド層106の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比は、それぞれ、第二N側ガイド層104の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比に等しい。第一P側ガイド層106の平均バンドギャップエネルギーは、P型クラッド層109の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第一P側ガイド層106は、アンドープ AlGaInN 層である。言い換えると、第一P側ガイド層106の平均不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 未満である。本実施の形態では、第一P側ガイド層106は、膜厚72nmのアンドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 層である。

[0030] 電子障壁層107は、第一P側ガイド層106とP型クラッド層109との間に配置される窒化物系半導体層である。電子障壁層107のバンドギャップエネルギーは、バリア層105cのバンドギャップエネルギーより大きい。これにより、電子が活性層105からP型クラッド層109へ漏れることを抑制できる。本実施の形態では、電子障壁層107のバンドギャップエネルギーは、P型クラッド層109のバンドギャップエネルギーより大きい

。電子障壁層107は、濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚5 nmのP型 $\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 層である。

[0031] 第二P側ガイド層108は、P型クラッド層109と、活性層105との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。第二P側ガイド層108は、電子障壁層107と、P型クラッド層109との間に配置される第二ガイド層の一例でもある。第二P側ガイド層108の平均バンドギャップエネルギー、及びAl組成比は、それぞれ、第一N側ガイド層103の平均バンドギャップエネルギー、及びAl組成比に等しい。第二P側ガイド層108は、P型クラッド層109より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第二P側ガイド層108の平均バンドギャップエネルギーは、第一P側ガイド層106の平均バンドギャップエネルギー以上である。第二P側ガイド層108は、Alを含む。また、第二P側ガイド層108は、P型の窒化物系半導体層である。言い換えると、第二P側ガイド層108の平均不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。本実施の形態では、第二P側ガイド層108は、電子障壁層107とP型クラッド層109との間に配置され、濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚148 nmのP型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層である。

[0032] P型クラッド層109は、基板101の上方に配置され、AlGaNからなる第一クラッド層の一例である。P型クラッド層109の導電型は、P型である。本実施の形態では、P型クラッド層109は、第一P側ガイド層106の上方に配置される。P型クラッド層109は、活性層105より屈折率が小さく、かつ、平均バンドギャップエネルギーが大きい。P型クラッド層109の平均バンドギャップエネルギーは、電子障壁層107の平均バンドギャップエネルギーより小さい。P型クラッド層109の平均バンドギャップエネルギー、及びAl組成比は、それぞれ、N型クラッド層102の平均バンドギャップエネルギー、及びAl組成比に等しい。本実施の形態では、P型クラッド層109には、不純物としてMgがドーピングされている。P型クラッド層109の活性層105に近い側の端部における不純物濃度は、活

性層105から遠い側の端部における不純物濃度よりも低い。具体的には、P型クラッド層109は、膜厚450nmのAlGaIn層であり、活性層105に近い側に配置される濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚150nmのP型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 層と、活性層105から遠い側に配置される濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚300nmのP型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 層とを有する。

[0033] P型クラッド層109には、リッジ109Rが形成されている。また、P型クラッド層109には、リッジ109Rに沿って配置され、Y軸方向に延びる二つの溝109Tが形成されている。本実施の形態では、リッジ幅Wは、30 μm 程度である。

[0034] コンタクト層110は、P型クラッド層109の上方に配置され、P側電極112とオーミック接触する窒化物系半導体層である。本実施の形態では、コンタクト層110は、膜厚60nmのP型GaIn層である。コンタクト層110には、不純物として濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされている。

[0035] 電流ブロック層111は、P型クラッド層109の上方に配置され、活性層105からの光に対して透過性を有する絶縁層である。電流ブロック層111は、P型クラッド層109及びコンタクト層110の上面のうち、リッジ109Rの上面以外の領域に配置される。なお、電流ブロック層111は、リッジ109Rの上面の一部の領域にも配置されていてもよい。例えば、電流ブロック層111は、リッジ109Rの上面の端縁領域に配置されていてもよい。本実施の形態では、電流ブロック層111は、 SiO_2 層である。

[0036] P側電極112は、コンタクト層110の上方に配置される導電層である。本実施の形態では、P側電極112は、コンタクト層110及び電流ブロック層111の上方に配置される。P側電極112は、例えば、Cr、Ti、Ni、Pd、Pt及びAuの少なくとも一つで形成された単層膜又は多層膜である。

[0037] N側電極113は、基板101の下方に（つまり、基板101のN型クラ

ッド層 102 などが配置された主面の反対側の主面に) 配置される導電層である。N側電極 113 は、例えば、Cr、Ti、Ni、Pd、Pt 及び Au の少なくとも一つで形成された単層膜又は多層膜である。

[0038] 窒化物系半導体発光素子 100 は、以上のような構成を有することにより、リッジ 109R の下方の部分と、溝 109T の下方の部分との間に実効屈折率差 ΔN が生じる。これにより、活性層 105 のリッジ 109R の下方の部分で発生した光を水平方向 (つまり、X 軸方向) に閉じ込めることができる。

[0039] [1-2. 効果]

本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子 100 の効果について、図 3 を用いて説明する。図 3 は、本実施の形態に係る半導体積層体 100S のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。図 3 の横軸は、積層方向における位置を表し、横軸の右側が半導体積層体 100S の上方に対応する。なお、図 3 においては、コンタクト層 110 は省略されている。

[0040] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子 100 のウェル層 105b のように紫外光を出射するウェル層のバンドギャップエネルギーは、可視光を出射するウェル層のバンドギャップエネルギーより大きい。このため、バリア層のバンドギャップエネルギーを大きくする必要がある。例えば、窒化物系半導体発光素子として、GaN 基板と、AlGaInN からなるバリア層及び AlGaInN からなるクラッド層とを用いる場合、バリア層のバンドギャップエネルギーを大きくするために、Al 組成比を高くする必要がある。これに伴い、バリア層の屈折率が小さくなるため、クラッド層の屈折率をバリア層より小さくするために、クラッド層の Al 組成比を高める必要がある。このように、窒化物系半導体発光素子のバリア層及びクラッド層の Al 組成比が高められることにより、GaN 基板に対するクラッド層などの半導体積層体における引っ張り歪が大きくなる。このため、半導体積層体における結晶性が悪化したり、半導体積層体にクラックが入りやすくなったりする。

- [0041] これに対して、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100では、図3に示されるように、第二N側ガイド層104及び第一P側ガイド層106がAlGaInNからなるため、第二N側ガイド層104及び第一P側ガイド層106がAlGaNからなる場合と比較して、バンドギャップエネルギー及び屈折率を同等に維持しつつ、基板101に対する引っ張り歪を低減できる。したがって、基板101に対する半導体積層体100Sの引っ張り歪を低減できる窒化物系半導体発光素子100を実現できる。これにより、半導体積層体100Sにおける結晶性の悪化、及び、半導体積層体100Sにクラックが入ることを抑制できる。
- [0042] また、基板101に対する半導体積層体100Sの引っ張り歪を低減することで、活性層105から電子障壁層107へ向かうピエゾ電界を低減できる。このピエゾ電界は、ホールに対する障壁となり得ることから、ピエゾ電界を低減することで、ホール注入効率を高めることができる。
- [0043] 以上のように、本実施の形態では、光閉じ込め係数を確保しながら、ピエゾ電界を低減できる。
- [0044] また、本実施の形態では、電子障壁層107上に位置する第二P側ガイド層108のバンドギャップエネルギーを、第一P側ガイド層106のバンドギャップエネルギーより大きくすることで、第二P側ガイド層108の屈折率を、第一P側ガイド層106の屈折率より小さくできる。これにより、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を活性層105の積層方向中央に近づけることができる。つまり、窒化物系半導体発光素子100の光閉じ込め係数を高めることができる。
- [0045] ここで、AlGaInNの組成決定方法について、図4を用いて説明する。図4は、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層におけるバンドギャップエネルギーと、 $Al_zGa_{1-z}N$ 層におけるバンドギャップエネルギーとの関係を示すグラフである。図4において、横軸は、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層におけるIn組成比yを示し、縦軸は、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層におけるAl組成比xを示す。図4に、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層において、 $Al_zGa_{1-z}N$ 層と

同一のバンドギャップエネルギーを得るためのIn組成比 y とAl組成比 x との関係が示されている。なお、図4において、 $Al_zGa_{1-z}N$ 層のAl組成比 z が0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、及び0.40である場合の各々の関係が示されている。また、図4に、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層の格子定数と、 GaN 層の格子定数とを等しくするためのIn組成比 y とAl組成比 x との関係が破線で示されている。したがって、図4のグラフにおける破線より左上の領域は、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層の格子定数が、 GaN 層の格子定数より小さい組成比を示し、破線より右下の領域は、 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層の格子定数が、 GaN 層の格子定数より大きい組成比を示す。なお、格子定数の計算において、AlN、GaN、及びInNの格子定数として、それぞれ、0.311nm、0.3182nm、及び0.354nmを用いている。

[0046] $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$ 層において $Al_zGa_{1-z}N$ 層と同一のバンドギャップエネルギーを得るためには、図4に示されるように、以下の式(1)が成り立つ必要がある。

$$[0047] \quad x = (-0.1727z + 2.595)y + z \quad (1)$$

[0048] このように、AlGaN層を、バンドギャップエネルギーを変えることなく、AlGaInN層に置き換えることができる。

[0049] 本実施の形態では、バリア層105a及び105cは、AlGaInNからなる。これにより、上述のとおり、基板101に対するバリア層105a及び105cにおける引っ張り歪を低減できる。したがって、基板101に対する半導体積層体100Sの引っ張り歪を低減でき、かつ、内部量子効率の増大、及び、発振波長の長波長シフト低減が可能となる。また、ウェル層105bの下方に位置するバリア層105aがInを含むことで、その上に積層されるウェル層105bの結晶性を高めることができる。

[0050] また、本実施の形態では、第二N側ガイド層104より、バリア層105aにおいて、Al組成比に対するIn組成比の比(y/x)が小さい。これにより、バリア層105aより、第二N側ガイド層104において、バンド

ギャップエネルギーが小さく、かつ、屈折率が高くなる。このように、バリア層105cのバンドギャップエネルギーを大きくすることで、量子井戸構造における量子効果を高めることができる。また、屈折率が高い第二N側ガイド層104を活性層105に隣接させることで、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を活性層105の積層方向中央に近づけることができる。つまり、窒化物系半導体発光素子100の光閉じ込め係数を高めることができる。

[0051] 同様に、第一P側ガイド層106より、バリア層105cにおいて、Al組成比に対するIn組成比の比(y/x)が小さい。これにより、第一P側ガイド層106は、バリア層105cより、バンドギャップエネルギーが小さく、かつ、屈折率が高くなる。このように、バリア層105cのバンドギャップエネルギーを大きくすることで、量子井戸構造における量子効果を高めることができる。また、屈折率が高い第一P側ガイド層106を活性層105に隣接させることで、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を活性層105の積層方向中央に近づけることができる。つまり、窒化物系半導体発光素子100の光閉じ込め係数を高めることができる。

[0052] また、本実施の形態では、ウェル層105bに対して下方に、AlGaInNからなる第二N側ガイド層104が配置されるため、ウェル層105bのIn組成比の揺らぎが生じやすくなる。これにより、ウェル層105bにおいてキャリアの局在が起こるため、発光効率が向上する。

[0053] また、本実施の形態では、第一P側ガイド層106がアンドープ層であるため、活性層105へのMgの拡散を抑制できる。さらに、第一P側ガイド層106が、AlGaInNからなるため、Mg濃度が大きい電子障壁層107から、活性層105へのMgの拡散を抑制できる。したがって、活性層105及びその近傍でのMgに起因する光吸収損失を低減できる。これにより、窒化物系半導体発光素子100におけるレーザ発振のしきい値電流の増加、及び、発光効率の低下を抑制できる。

[0054] また、電子障壁層107から活性層105へ向かうMgの拡散を抑制する

ことで、電子障壁層107における電気抵抗増大を抑制できるため、窒化物系半導体発光素子100の動作電圧の増大を抑制できる。

[0055] さらに、Mgの拡散に伴う水素の拡散も抑制できることから、窒化物系半導体発光素子100の信頼性を高めることができる。

[0056] また、本実施の形態では、光ガイド層である第二N側ガイド層104及び第一P側ガイド層106がAlGaInNからなることで、光ガイド層の膜厚を大きくしても、基板101に対する半導体積層体100Sの引っ張り歪を低減可能となる。あるいは、光ガイド層である第二N側ガイド層104及び第一P側ガイド層106の屈折率を低くしても、基板101に対する半導体積層体100Sの引っ張り歪を低減可能となる。

[0057] また、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100は、第二N側ガイド層104及び第一P側ガイド層106に加えて、第一N側ガイド層103及び第二P側ガイド層108を備える。このように、光ガイド層の総膜厚が大きい構成においても、第二N側ガイド層104及び第一P側ガイド層106がAlGaInNからなるため、基板101に対する半導体積層体100Sの引っ張り歪を低減可能となる。

[0058] また、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100は、第一P側ガイド層106と第二P側ガイド層108との間に電子障壁層107を備えることで、電子障壁層107を第二P側ガイド層108の上方に配置する場合より、電子を活性層105付近の狭い領域に閉じ込めることができる。また、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100は、電子障壁層107の上方に配置される第二P側ガイド層108を備えることで、第二P側ガイド層108を備えない場合より、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を活性層105の積層方向中央に近づけることが可能となる。

[0059] [1-3. 製造方法]

本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100の製造方法について説明する。

[0060] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100は、基板101上に、

半導体積層体100S、電流ブロック層111、及びP側電極112を順次形成し、基板101の半導体積層体100Sが形成された主面の裏側の主面にN側電極113を形成することで、製造される。

[0061] 半導体積層体100Sは、有機金属気相成長(MOCVD)法によるエピタキシャル成長技術を用いて、基板101上に積層される。本実施の形態に係る半導体積層体100Sのうち、AlGaInからなる各層(N型クラッド層102、第一N側ガイド層103、電子障壁層107、第二P側ガイド層108、P型クラッド層109、及びコンタクト層110)は、例えば、1150℃で、結晶成長させる。一方、Inを含む各層(第二N側ガイド層104、活性層105、及び第一P側ガイド層106)は、例えば、850℃で、結晶成長させる。Inを含む各層は、AlGaInからなる各層より低い成長速度で結晶成長させる。なお、以下の各実施の形態に係る半導体積層体においても、AlGaInからなる各層は、1150℃で、結晶成長させ、Inを含む各層は、850℃で結晶成長させる。

[0062] また、半導体積層体100SのP型クラッド層109などは、フォトリソグラフィ技術及びエッチングなどを用いて適宜パターニングされる。

[0063] 電流ブロック層111は、例えば、プラズマCVD法などを用いて形成され、フォトリソグラフィ技術及びエッチングなどを用いて適宜パターニングされる。

[0064] P側電極112及びN側電極113は、フォトリソグラフィ技術及び蒸着法を用いて形成される。

[0065] 以上のような製造方法により、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子100を製造することができる。

[0066] (実施の形態2)

実施の形態2に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、第一N側ガイド層の構成において実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態1に係る窒化物

系半導体発光素子100との相違点を中心に、図5を用いて説明する。図5は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0067] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図5に示されるように、N型クラッド層102と、第一N側ガイド層203と、第二N側ガイド層104と、活性層105と、第一P側ガイド層106と、電子障壁層107と、第二P側ガイド層108と、P型クラッド層109と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。

[0068] 本実施の形態に係る第一N側ガイド層203は、N型クラッド層102と、活性層105との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、 AlGaInN からなる。つまり、第一N側ガイド層203は、第一半導体層の一例でもあり、N側半導体層の一例でもある。第一N側ガイド層203は、N型クラッド層102より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。また、第一N側ガイド層203は、N型の窒化物系半導体層である。第一N側ガイド層203の平均バンドギャップエネルギーは、第二P側ガイド層108の平均バンドギャップエネルギーより大きい。本実施の形態では、第一N側ガイド層203は、N型クラッド層102と第二N側ガイド層104との間に配置され、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚70nmのN型 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 層である。

[0069] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子によれば、第一N側ガイド層203が AlGaInN からなることにより、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪をより一層低減できる。

[0070] 本実施の形態に係る半導体積層体は、実施の形態1に係る半導体積層体100Sと同様にMOCVD法によるエピタキシャル成長技術を用いて、基板101上に積層される。本実施の形態に係る半導体積層体100Sのうち、

AlGaInからなる各層（N型クラッド層102、電子障壁層107、第二P側ガイド層108、P型クラッド層109、及びコンタクト層110）は、例えば、1150℃で、結晶成長させる。一方、Inを含む各層（第一N側ガイド層203、第二N側ガイド層104、活性層105、及び第一P側ガイド層106）は、例えば、850℃で、AlGaInからなる各層より低い成長速度で、結晶成長させる。

[0071] （実施の形態3）

実施の形態3に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、N型クラッド層、光ガイド層及びウェル層の構成において実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100との相違点を中心に、図6を用いて説明する。図6は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0072] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図6に示されるように、第一N型クラッド層302aと、第二N型クラッド層302bと、第三N型クラッド層302cと、第一N側ガイド層303と、第二N側ガイド層304と、活性層305と、第一P側ガイド層306と、電子障壁層107と、第二P側ガイド層108と、P型クラッド層109と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。活性層305は、二つのバリア層105a及び105cと、ウェル層305bとを有する。

[0073] 本実施の形態に係る第一N型クラッド層302aは、基板101の上方に配置され、AlGaInからなる第一クラッド層の一例であり、N型クラッド層の一例でもある。第一N型クラッド層302aの導電型は、N型である。第一N型クラッド層302aは、活性層305より屈折率が小さく、かつ、

平均バンドギャップエネルギーが大きい。本実施の形態では、第一N型クラッド層302aは、基板101と、第二N型クラッド層302bの間に配置され、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚350nmのN型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 層である。

[0074] 第二N型クラッド層302bは、第一N型クラッド層302aと、活性層305との間に配置され、 AlGaInN からなる第一半導体層の一例であり、N側半導体層の一例でもある。第二N型クラッド層302bは、N型のクラッド層である。第二N型クラッド層302bの平均バンドギャップエネルギーは、第一N型クラッド層302aの平均バンドギャップエネルギー及びバリア層105aのバンドギャップエネルギーより小さい。第二N型クラッド層302bのAl組成比は、第一N型クラッド層302aのAl組成比より高い。本実施の形態では、第二N型クラッド層302bは、第一N型クラッド層302aと、第三N型クラッド層302cの間に配置され、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚100nmのN型 $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.78}\text{In}_{0.05}\text{N}$ 層である。

[0075] 第三N型クラッド層302cは、基板101の上方に配置され、 AlGaIn からなる第一クラッド層の一例であり、N型クラッド層の一例でもある。第三N型クラッド層302cは、活性層305より屈折率が小さく、かつ、平均バンドギャップエネルギーが大きい。本実施の形態では、第三N型クラッド層302cは、第二N型クラッド層302bと、第一N側ガイド層303との間に配置され、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚350nmのN型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 層である。

[0076] 第一N側ガイド層303は、第一N型クラッド層302aと、活性層305との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、 AlGaInN からなる。つまり、第一N側ガイド層303は、第一半導体層の一例でもあり、N側半導体層の一例でもある。第一N側ガイド層303は、第一N型クラッド層302aより屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。また、第一N側ガイド層303は、N型の窒化物系半導体層であ

る。本実施の形態では、第一N側ガイド層303は、第三N型クラッド層302cと第二N側ガイド層304との間に配置され、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーパされた膜厚70nmのN型 $\text{Al}_{0.159}\text{Ga}_{0.791}\text{In}_{0.05}\text{N}$ 層である。

[0077] 第二N側ガイド層304は、第一N型クラッド層302aの上方に配置され、窒化物系半導体からなるN側半導体層の一例である。本実施の形態では、第二N側ガイド層304は、第一N型クラッド層302aと、活性層305との間に配置され、 AlGaInN からなる第一半導体層の一例でもある。本実施の形態では、第二N側ガイド層304は、光ガイド層である。第二N側ガイド層304の平均バンドギャップエネルギーは、第一N型クラッド層302aの平均バンドギャップエネルギーより小さい。第二N側ガイド層304は、アンドープ AlGaInN 層である。第一N側ガイド層303の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比は、それぞれ、第二N側ガイド層304の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比に等しい。本実施の形態では、第二N側ガイド層304は、第一N側ガイド層303と活性層305との間に配置される膜厚70nmのアンドープ $\text{Al}_{0.159}\text{Ga}_{0.791}\text{In}_{0.05}\text{N}$ 層である。

[0078] ウェル層305bは、バリア層105aの上方に配置され、量子井戸構造の井戸として機能する窒化物系半導体層である。本実施の形態では、ウェル層305bは、膜厚17.5nmのアンドープ $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.96}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 層である。

[0079] 第一P側ガイド層306は、活性層305の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層306は、P型クラッド層109と、活性層305との間に配置され、 AlGaInN からなる第一半導体層の一例でもある。本実施の形態では、第一P側ガイド層306は、光ガイド層である。第一P側ガイド層306の平均バンドギャップエネルギーは、P型クラッド層109の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第一P側ガイド層306は、アンドープAlG

aInN層である。本実施の形態では、第一P側ガイド層306は、活性層305と電子障壁層107との間に配置される膜厚72nmのアンドープAl_{0.159}Ga_{0.791}In_{0.05}N層である。第二N側ガイド層304の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比は、それぞれ、第一P側ガイド層306の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比に等しい。第一P側ガイド層306の平均バンドギャップエネルギーは、第二P側ガイド層108の平均バンドギャップエネルギーに等しい。

[0080] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子によれば、第一N側ガイド層303がAlGaInNからなることにより、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪をより一層低減できる。

[0081] また、本実施の形態では、N型クラッド層の一部がAlGaInNからなることにより、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪をより一層低減できる。また、AlGaInNからなる第二N型クラッド層302bを850℃で結晶成長させる。このため、例えば、実施の形態1に係る半導体積層体100Sなどより結晶成長に時間がかかる。しかしながら、本実施の形態では、クラッド層全体でなく、クラッド層の一部である第二N型クラッド層302bだけがAlGaInNからなるため、結晶成長に要する時間の増大を抑制できる。

[0082] また、本実施の形態では、各々が第一半導体層の一例である第二N型クラッド層302b、第一N側ガイド層303、第二N側ガイド層304、及び第一P側ガイド層306の各Al組成比は、第一N型クラッド層302a及びP型クラッド層109のAl組成比より高い。活性層305で発生する光の吸収を抑制するためには、バリア層105a及び105cのバンドギャップエネルギーを大きくする必要があり、それに伴い、光ガイド層及びクラッド層のバンドギャップエネルギーも大きくする必要がある。本実施の形態では、第一半導体層のAl組成比が第一N型クラッド層302a及びP型クラッド層109のAl組成比より高いため、第一半導体層のIn組成比を高くできる。したがって、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減

可能となる。

[0083] また、本実施の形態では、各々が第一半導体層の一例である第二N型クラッド層302b、第一N側ガイド層303、第二N側ガイド層304、及び第一P側ガイド層306は、基板101に対して圧縮歪を有する。言い換えると、各々がN側半導体層の一例である第二N型クラッド層302b、第一N側ガイド層303、及び第二N側ガイド層304、並びに、P側半導体層の一例である第一P側ガイド層306に含まれるAlGaInNの格子定数は、基板101に含まれるGaNの格子定数より大きい。また、第一半導体層のバンドギャップエネルギーは、基板101を構成するGaNのバンドギャップエネルギーより大きい。一方、半導体積層体の他の層は、基板101に対して引っ張り歪を有する。したがって、上記各層が圧縮歪を有することで、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪をより一層低減でき、かつ、活性層305で発生する光の吸収を抑制できる。

[0084] また、本実施の形態では、各々が第一半導体層の一例である第二N型クラッド層302b、第一N側ガイド層303、第二N側ガイド層304、及び第一P側ガイド層306の各Al組成比は、バリア層105a及び105cのAl組成比より高い。上述したとおり活性層305で発生する光の吸収を抑制するためには、ガイド層及びクラッド層のバンドギャップエネルギーを大きくする必要がある。本実施の形態では、第一半導体層のAl組成比がバリア層105a及び105cのAl組成比より高いため、第一半導体層のIn組成比を高くできる。したがって、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減可能となる。

[0085] また、電子障壁層107と活性層305との間に配置される第一P側ガイド層306が圧縮歪を有することで、電子障壁層107から活性層305へ向かうピエゾ電界を形成できる。これにより、活性層305へのホール注入効率を高めることができる。

[0086] また、本実施の形態では、各々が第一半導体層の一例である第二N型クラッド層302b、第一N側ガイド層303、第二N側ガイド層304、及び

第一P側ガイド層306の各In組成比は、バリア層105a及び105cのIn組成比より高い。また、各々が第一半導体層の一例である第二N型クラッド層302b、第一N側ガイド層303、第二N側ガイド層304、及び第一P側ガイド層306の各Al組成比は、バリア層105a及び105cのAl組成比以下である。これにより、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる。

[0087] また、本実施の形態では、ウェル層305bがAlGaInNからなることにより、ウェル層305b内のIn組成比のゆらぎのため、キャリアの局在が起こり、発光効率が向上する。また、ウェル層がInGaNからなる場合と比較して、圧縮歪の低減によりピエゾ電界を低減できるため、内部量子効率の増大、及び、発振波長の長波長シフト低減が可能となる。

[0088] (実施の形態4)

実施の形態4に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、第一P側ガイド層の構成において実施の形態3に係る窒化物系半導体発光素子と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態3に係る窒化物系半導体発光素子との相違点を中心に、図7を用いて説明する。図7は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0089] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態3に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図7に示されるように、第一N型クラッド層302aと、第二N型クラッド層302bと、第三N型クラッド層302cと、第一N側ガイド層303と、第二N側ガイド層304と、活性層305と、第一P側ガイド層406と、電子障壁層107と、第二P側ガイド層108と、P型クラッド層109と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。

[0090] 本実施の形態に係る第一P側ガイド層406は、活性層305の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。第一P側ガイド層406は、P型クラッド層109と、活性層305との間に配置され、AlGaInNからなる第一半導体層の一例でもある。本実施の形態では、第一P側ガイド層406は、活性層305と電子障壁層107との間に配置される膜厚72nmのアンドープ $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.76}\text{In}_{0.06}\text{N}$ 層である。

[0091] 以上のように、本実施の形態では、第一P側ガイド層406のバンドギャップエネルギーは、第一N側ガイド層303及び第二N側ガイド層304のバンドギャップエネルギーより小さい。また、第一P側ガイド層406のIn組成比は、第一N側ガイド層303及び第二N側ガイド層304のIn組成比より高い。

[0092] これにより、第一P側ガイド層406の圧縮歪が、第一N側ガイド層303及び第二N側ガイド層304の圧縮歪より大きくなる。これに伴い、電子障壁層107から活性層305へ向かうピエゾ電界が、活性層305から第一N型クラッド層302aなどのN型クラッド層へ向かうピエゾ電界より大きくなる。したがって、活性層305へのホール注入効率を高めることができる。電子よりホールの方が、有効質量が大きいため、一般に、電子よりホールの方が、注入効率が低くなる傾向にある。本実施の形態では、N側の各光ガイド層の圧縮歪より、第一P側ガイド層406の圧縮歪を大きくすることで、電子障壁層107から活性層305へ向かうピエゾ電界を、活性層305から第一N型クラッド層302aなどのN型クラッド層へ向かうピエゾ電界より大きくすることができる。したがって、電子より注入効率が低くなる傾向にあるホールの注入効率を高めることができる。

[0093] (実施の形態5)

実施の形態5に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、P側の光ガイド層の構成において実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態1に係る窒化物系半導

体発光素子100との相違点を中心に、図8を用いて説明する。図8は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0094] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図8に示されるように、N型クラッド層102と、第一N側ガイド層103と、第二N側ガイド層104と、活性層105と、第一P側ガイド層106と、第三P側ガイド層506と、電子障壁層107と、第二P側ガイド層108と、P型クラッド層109と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。

[0095] 本実施の形態に係る半導体積層体は、第三P側ガイド層506を備える点において、実施の形態1に係る半導体積層体100Sと相違する。

[0096] 第三P側ガイド層506は、P型クラッド層109と、活性層105との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。第三P側ガイド層506は、P型クラッド層109より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第三P側ガイド層506の平均バンドギャップエネルギーは、第一P側ガイド層106の平均バンドギャップエネルギー以上である。第三P側ガイド層506は、Alを含む。また、第三P側ガイド層506は、P型の窒化物系半導体層である。本実施の形態では、第三P側ガイド層506は、第一P側ガイド層106と電子障壁層107との間に配置され、濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚70nmのP型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層である。なお、本実施の形態では、第三P側ガイド層506の屈折率及び平均バンドギャップエネルギーは、それぞれ第二P側ガイド層108の屈折率及び平均バンドギャップエネルギーに等しい。

[0097] このような構成を有する窒化物系半導体発光素子においても、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100と同様の効果が奏される。

[0098] (実施の形態6)

実施の形態6に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、第一P側ガイド層の構成において実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100との相違点を中心に、図9を用いて説明する。図9は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0099] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図9に示されるように、N型クラッド層102と、第一N側ガイド層103と、第二N側ガイド層104と、活性層105と、第一P側ガイド層606と、電子障壁層107と、第二P側ガイド層108と、P型クラッド層109と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。

[0100] 本実施の形態に係る半導体積層体は、第一P側ガイド層606のAl組成比が、活性層105から遠ざかるにしたがって単調に増加するAl組成傾斜領域を含む点において、実施の形態1に係る半導体積層体100Sと相違する。

[0101] 本実施の形態に係る第一P側ガイド層606は、活性層105の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層606は、P型クラッド層109と、活性層105との間に配置され、AlGaInNからなる第一半導体層の一例でもある。第一P側ガイド層606の平均バンドギャップエネルギーは、P型クラッド層109の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第一P側ガイド層606は、膜厚72nmのアンドープAlGaInN層である。本実施の形態では、第一P側ガイド層606のAl組成比は、Xpg1で表される。第一

P側ガイド層606の活性層105から近い方の界面付近、及び、遠い方の界面付近におけるAl組成比Xpg1は、それぞれ、5.0%、及び5.6%である。第一P側ガイド層606におけるIn組成比は、1.0%であり、層内において一様である。つまり、第一P側ガイド層606の組成は、活性層105から近い方の界面において、 $Al_{0.05}Ga_{0.94}In_{0.01}N$ であり、活性層105から遠い方の界面において、 $Al_{0.056}Ga_{0.934}In_{0.01}N$ である。第一P側ガイド層606は、活性層105から近い方の界面において、第二N側ガイド層104と同じバンドギャップエネルギーを有し、活性層105から遠い方の界面において、第二P側ガイド層108と同じバンドギャップエネルギーを有する。

[0102] このような構成を有する窒化物系半導体発光素子においても、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100と同様の効果が奏される。

[0103] また、第一P側ガイド層606において、活性層105から遠ざかるにしたがってAl組成比を単調に増加させることで、屈折率を活性層105に近づくにしながら増大させることができる。したがって、第一P側ガイド層606における活性層105に近い領域の屈折率を高めることができるため、積層方向における光強度分布のピーク位置を活性層105の積層方向中央に近づけることができる。これにより、光閉じ込め係数を高めることができる。

[0104] なお、本実施の形態では、第一P側ガイド層606の全体がAl組成傾斜領域であったが、第一P側ガイド層606のうち、積層方向における一部の領域だけが、Al組成傾斜領域であってもよい。

[0105] (実施の形態7)

実施の形態7に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、第一N側ガイド層、ウェル層、及び第一P側ガイド層の構成において実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100との相違点を中心に、

図10を用いて説明する。図10は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

- [0106] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図10に示されるように、N型クラッド層102と、第一N側ガイド層703と、第二N側ガイド層104と、活性層305と、第一P側ガイド層706と、電子障壁層107と、第二P側ガイド層108と、P型クラッド層109と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。
- [0107] 本実施の形態に係る活性層305の構成は、実施の形態3に係る活性層305の構成と同様である。
- [0108] 本実施の形態に係る第一N側ガイド層703は、N型クラッド層102と、活性層305との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、 AlGaInN からなる。つまり、第一N側ガイド層703は、第一半導体層の一例でもあり、N側半導体層の一例でもある。第一N側ガイド層703は、N型クラッド層102より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。また、第一N側ガイド層703は、N型の窒化物系半導体層である。本実施の形態では、第一N側ガイド層703は、N型クラッド層102と第二N側ガイド層104との間に配置され、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚70nmのN型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 層である。第一N側ガイド層703の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比は、それぞれ、第二N側ガイド層104の平均バンドギャップエネルギー、Al組成比、及びIn組成比に等しい。
- [0109] 第一P側ガイド層706は、アンドープの $\text{Al}_{0.154}\text{Ga}_{0.796}\text{In}_{0.05}\text{N}$ である。第一N側ガイド層703及び第二N側ガイド層104の各々の平均バンドギャップエネルギーは、第一P側ガイド層706の平均バンドギャップエネルギーと等しい。また、第一N側ガイド層703、第二N側ガイド

層 104、及び第一P側ガイド層 706の各々の平均バンドギャップエネルギーは、第二P側ガイド層 108の平均バンドギャップエネルギーより小さい。

[0110] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、以上のような構成を備えることにより、バリア層 105aから第一P側ガイド層 706までは、基板 101に対して圧縮歪を有し、その他の層は引っ張り歪を有する。このように、第一P側ガイド層 706が基板 101に対して圧縮歪を有することにより、電子障壁層 107から活性層 305へ向かうピエゾ電界を形成できるため、ホール注入効率を高めることができる。

[0111] (実施の形態 8)

実施の形態 8に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、ウェル層、及び第一P側ガイド層の構成において実施の形態 6に係る窒化物系半導体発光素子と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態 6に係る窒化物系半導体発光素子 100との相違点を中心に、図 11を用いて説明する。図 11は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0112] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態 6に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板 101と、半導体積層体と、電流ブロック層 111と、P側電極 112と、N側電極 113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図 11に示されるように、N型クラッド層 102と、第一N側ガイド層 103と、第二N側ガイド層 104と、活性層 305と、第一P側ガイド層 806と、電子障壁層 107と、第二P側ガイド層 108と、P型クラッド層 109と、コンタクト層 110 (図 2A参照)とを有する。

[0113] 本実施の形態に係る活性層 305の構成は、実施の形態 3に係る活性層 305の構成と同様である。

[0114] 本実施の形態に係る第一P側ガイド層 806は、活性層 305の上方に配

置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層806は、P型クラッド層109と、活性層305との間に配置され、AlGaInNからなる第一半導体層の一例でもある。第一P側ガイド層806の平均バンドギャップエネルギーは、P型クラッド層109の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第一P側ガイド層806は、膜厚72nmのアンドープAlGaInN層である。本実施の形態では、第一P側ガイド層806は、活性層305から遠ざかるにしたがって組成が変化する組成傾斜領域を含む。第一P側ガイド層806のAl組成比及びIn組成比は、それぞれ、 X_{pg1} 及び Y_{pg1} で表される。第一P側ガイド層806の活性層305から近い方の界面付近、及び、遠い方の界面付近におけるAl組成比 X_{pg1} は、それぞれ、15.4%、及び5.6%である。第一P側ガイド層806の活性層305から近い方の界面付近、及び、遠い方の界面付近におけるIn組成比 Y_{pg1} は、それぞれ、5.0%、及び1.0%である。つまり、第一P側ガイド層806の組成は、活性層305から近い方の界面において、 $Al_{0.154}Ga_{0.796}In_{0.05}N$ であり、活性層305から遠い方の界面において、 $Al_{0.056}Ga_{0.934}In_{0.01}N$ である。

[0115] このような第一P側ガイド層806では、活性層305との界面付近においては、圧縮歪を有し、電子障壁層107との界面付近においては、引っ張り歪を有する。

[0116] なお、本実施の形態では、第一P側ガイド層806の全体が組成傾斜領域であったが、第一P側ガイド層806のうち、積層方向における一部の領域だけが、組成傾斜領域であってもよい。

[0117] (実施の形態9)

実施の形態9に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、第二N側ガイド層を備えない点、並びに、バリア層、第一P側ガイド層、電子障壁層、及び第二P側ガイド層の構成が異なる点において実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と相違

する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子100との相違点を中心に、図12を用いて説明する。図12は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0118] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図12に示されるように、N型クラッド層102と、第一N側ガイド層103と、活性層905と、第一P側ガイド層906と、電子障壁層907と、第二P側ガイド層908と、P型クラッド層109と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。

[0119] 本実施の形態に係る第一N側ガイド層103は、実施の形態1に係る第一N側ガイド層103と同様に $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層であるが、膜厚と、不純物濃度とが異なる。本実施の形態に係る第一N側ガイド層103は、膜厚140nmのアンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層である。

[0120] 活性層905は、第一N側ガイド層103の上方に配置され、第一N側ガイド層103に接する。なお、活性層905は、二つのバリア層905a及び905cと、ウェル層105bとを有する。本実施の形態では、ウェル層105bは、膜厚17.5nmのアンドープ $\text{Ga}_{0.99}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 層である。

[0121] バリア層905a及び905cの各々は、第一N側ガイド層103の上方に配置され、量子井戸構造の障壁として機能する窒化物系半導体層である。バリア層905cは、バリア層905aの上方に配置される。本実施の形態では、バリア層905a及び905cの各々のバンドギャップエネルギーは、ウェル層105bのバンドギャップエネルギー、第一P側ガイド層906の平均バンドギャップエネルギー、及び、第一N側ガイド層103の平均バンドギャップエネルギーより大きく、電子障壁層907の平均バンドギャップエネルギーより小さい。バリア層905a及び905cの各々は、膜厚10nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層である。

- [0122] 第一P側ガイド層906は、活性層905の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層906は、P型クラッド層109と、活性層905との間に配置され、AlGaInNからなる第一半導体層の一例でもある。つまり、窒化物系半導体発光素子100においては、第一N側ガイド層103（つまり、N側半導体層）及び第一P側ガイド層906（つまり、P側半導体層）のうち、第一P側ガイド層906だけがAlGaInNからなる。本実施の形態では、第一P側ガイド層906は、光ガイド層である。第一P側ガイド層906の平均バンドギャップエネルギーは、P型クラッド層109の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第一P側ガイド層906は、アンドープAlGaInN層である。本実施の形態では、第一P側ガイド層906は、膜厚72nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.9516}\text{In}_{0.0084}\text{N}$ 層である。
- [0123] 電子障壁層907は、第一P側ガイド層906とP型クラッド層109との間に配置される窒化物系半導体層である。電子障壁層907のバンドギャップエネルギーは、バリア層905cのバンドギャップエネルギーより大きい。これにより、電子が活性層905からP型クラッド層109へ漏れることを抑制できる。本実施の形態では、電子障壁層907のバンドギャップエネルギーは、P型クラッド層109のバンドギャップエネルギーより大きい。電子障壁層907は、濃度 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のMgがドーパされた膜厚5nmのP型 $\text{Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{N}$ 層である。
- [0124] 第二P側ガイド層908は、P型クラッド層109と、活性層905との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。第二P側ガイド層908は、電子障壁層907と、P型クラッド層109との間に配置される第二ガイド層の一例でもある。第二P側ガイド層908は、P型クラッド層109より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第二P側ガイド層908の平均バンドギャップエネルギーは、第一P側ガイド層906の平均バンドギャップエネルギー以上である。第二P側ガイド層908は、Alを含む。また、第二P側ガイド層90

8は、P型の窒化物系半導体層である。本実施の形態では、第二P側ガイド層908は、電子障壁層907とP型クラッド層109との間に配置され、濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚148nmのP型 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層である。第二P側ガイド層908の平均バンドギャップエネルギーは、バリア層905a及び905cの各々の平均バンドギャップエネルギーと等しい。

[0125] 本実施の形態のように、第一N側ガイド層103及び第一P側ガイド層906のうち、第一P側ガイド層906だけが AlGaInN からなる窒化物系半導体発光素子においても、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる。なお、第一N側ガイド層103及び第一P側ガイド層906のうち、第一N側ガイド層103だけが、 AlGaInN からなってもよい。このような構成を有する窒化物系半導体発光素子においても、第一P側ガイド層906が AlGaInN からなるため、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる。

[0126] また、本実施の形態のように、バリア層905a及び905cは、 AlGaInN からなってもよい。このような構成を有する窒化物系半導体発光素子においても、第一P側ガイド層906が AlGaInN からなるため、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる。

[0127] また、本実施の形態では、第一P側ガイド層906が AlGaInN からなり、第一N側ガイド層103が AlGaInN からなる。このように、第一P側ガイド層906のIn組成比は、第一N側ガイド層103のIn組成比より高い。これにより、第一P側ガイド層906の平均バンドギャップエネルギーを、第一N側ガイド層の平均バンドギャップエネルギーより小さくすることが可能となる。本実施の形態においては、基板101に対する、第一P側ガイド層906の引っ張り歪の方が、第一N側ガイド層103の引っ張り歪より小さくなる。したがって、活性層905から電子障壁層907へ向かうピエゾ電界の方が、N型クラッド層102から活性層905へ向かうピエゾ電界より小さくなる。このため、実施の形態4と同様に、電子より注入効

率が低くなる傾向にあるホールの注入効率を高めることができる。

[0128] (実施の形態10)

実施の形態10に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子の半導体積層体は、ウェル層、電子障壁層、及びコンタクト層以外の構成において実施の形態9に係る半導体積層体と相違する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子においては、実施の形態9に係る窒化物系半導体発光素子より、クラッド層などにおけるAl組成比が大きい。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態9に係る窒化物系半導体発光素子との相違点を中心に、図13を用いて説明する。図13は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0129] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態9に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図13に示されるように、N型クラッド層1002と、第一N側ガイド層1003と、活性層1005と、第一P側ガイド層1006と、電子障壁層907と、第二P側ガイド層1008と、P型クラッド層1009と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。

[0130] N型クラッド層1002は、基板101の上方に配置され、AlGa_{0.10}Nからなる第一クラッド層の一例である。N型クラッド層1002の導電型は、N型である。N型クラッド層1002は、活性層1005より屈折率が小さく、かつ、平均バンドギャップエネルギーが大きい。本実施の形態では、N型クラッド層1002は、濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーピングされた膜厚800nmのN型Al_{0.10}Ga_{0.90}N層である。

[0131] 第一N側ガイド層1003は、N型クラッド層1002と、活性層1005との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。第一N側ガイド層1003は、N型クラッド層1002より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第一N側ガイド

層1003は、Alを含む。また、第一N側ガイド層1003は、アンドープの窒化物系半導体層である。本実施の形態では、第一N側ガイド層1003は、N型クラッド層1002と活性層1005との間に配置される膜厚70nmのアンドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層である。

[0132] 活性層1005は、ウェル層105bと、二つのバリア層1005a及び1005cとを有する。

[0133] バリア層1005a及び1005cの各々は、第一N側ガイド層1003の上方に配置され、量子井戸構造の障壁として機能する窒化物系半導体層である。バリア層1005cは、バリア層1005aの上方に配置される。本実施の形態では、バリア層1005a及び1005cの各々のバンドギャップエネルギーは、ウェル層105bのバンドギャップエネルギー、第一P側ガイド層1006の平均バンドギャップエネルギー、及び、第一N側ガイド層1003の平均バンドギャップエネルギーより大きく、電子障壁層907の平均バンドギャップエネルギーより小さい。バリア層1005a及び1005cの各々は、膜厚10nmのアンドープ $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 層である。

[0134] 第一P側ガイド層1006は、活性層1005の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層1006は、P型クラッド層1009と、活性層1005との間に配置され、 AlGaInN からなる第一半導体層の一例でもある。本実施の形態では、第一P側ガイド層1006は、光ガイド層である。第一P側ガイド層1006の平均バンドギャップエネルギーは、P型クラッド層1009の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第一P側ガイド層1006は、アンドープ AlGaInN 層である。本実施の形態では、第一P側ガイド層1006は、膜厚72nmのアンドープ $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.917}\text{In}_{0.013}\text{N}$ 層である。

[0135] 第二P側ガイド層1008は、P型クラッド層1009と、活性層1005との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。第二P側ガイド層1008は、電子障壁層907と、P

型クラッド層1009との間に配置される第二ガイド層の一例でもある。第二P側ガイド層1008は、P型クラッド層1009より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第二P側ガイド層1008の平均バンドギャップエネルギーは、第一P側ガイド層1006の平均バンドギャップエネルギー以上である。第二P側ガイド層1008は、Alを含む。また、第二P側ガイド層1008は、P型の窒化物系半導体層である。本実施の形態では、第二P側ガイド層1008は、電子障壁層907とP型クラッド層1009との間に配置され、濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚148 nmのP型 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 層である。

[0136] P型クラッド層1009は、基板101の上方に配置され、AlGaNからなる第一クラッド層の一例である。P型クラッド層1009の導電型は、P型である。本実施の形態では、P型クラッド層1009は、第一P側ガイド層1006の上方に配置される。P型クラッド層1009は、活性層1005より屈折率が小さく、かつ、平均バンドギャップエネルギーが大きい。P型クラッド層1009の平均バンドギャップエネルギーは、電子障壁層907の平均バンドギャップエネルギーより小さい。本実施の形態では、P型クラッド層1009には、不純物としてMgがドーピングされている。P型クラッド層1009の活性層1005に近い側の端部における不純物濃度は、活性層1005から遠い側の端部における不純物濃度よりも低い。具体的には、P型クラッド層1009は、膜厚450 nmのAlGaN層であり、活性層1005に近い側に配置される濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚150 nmのP型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 層と、活性層1005から遠い側に配置される濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚300 nmのP型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 層とを有する。

[0137] 本実施の形態に係る半導体積層体のように、各クラッド層などのAl組成比が大きい場合にも、半導体積層体がAlGaNからなる第一P側ガイド層1006を備えることにより、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる。

[0138] (実施の形態 11)

実施の形態 11 に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子の半導体積層体は、活性層の構成において実施の形態 9 に係る半導体積層体と相違する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子においては、活性層の各層が AlGaInN からなる。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態 9 に係る窒化物系半導体発光素子との相違点を中心に、図 14 を用いて説明する。図 14 は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0139] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態 9 に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板 101 と、半導体積層体と、電流ブロック層 111 と、P 側電極 112 と、N 側電極 113 とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図 14 に示されるように、N 型クラッド層 102 と、第一 N 側ガイド層 103 と、活性層 1105 と、第一 P 側ガイド層 906 と、電子障壁層 907 と、第二 P 側ガイド層 908 と、P 型クラッド層 109 と、コンタクト層 110 (図 2A 参照) とを有する。

[0140] 活性層 1105 は、ウェル層 305b と、二つのバリア層 1105a 及び 1105c とを有する。本実施の形態では、ウェル層 305b は、膜厚 17.5 nm のアンドープ $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.96}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 層である。

[0141] バリア層 1105a 及び 1105c の各々は、第一 N 側ガイド層 103 の上方に配置され、量子井戸構造の障壁として機能する窒化物系半導体層である。バリア層 1105c は、バリア層 1105a の上方に配置される。本実施の形態では、バリア層 1105a 及び 1105c の各々のバンドギャップエネルギーは、ウェル層 305b のバンドギャップエネルギー、第一 P 側ガイド層 906 の平均バンドギャップエネルギー、及び、第一 N 側ガイド層 103 の平均バンドギャップエネルギーより大きく、電子障壁層 907 の平均バンドギャップエネルギーより小さい。バリア層 1105a 及び 1105c の各々は、膜厚 10 nm のアンドープ $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 層であ

る。

[0142] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子においても、実施の形態9に係る窒化物系半導体発光素子と同様の効果が奏される。さらに、本実施の形態に係る半導体積層体のように、活性層1105の各層がAlGaInNからなることにより、第一半導体層の一例である第一P側ガイド層906のAl組成比を、バリア層1105a及び1105cのAl組成比より低くすることができる。これにより、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪をより一層低減できる。

[0143] (実施の形態12)

実施の形態12に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子の半導体積層体は、主に、活性層及び第一P側ガイド層の構成において実施の形態1に係る半導体積層体と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子との相違点を中心に、図15を用いて説明する。図15は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0144] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図15に示されるように、N型クラッド層1202と、第一N側ガイド層1203と、第二N側ガイド層1204と、活性層1205と、第一P側ガイド層1206と、電子障壁層1207と、第二P側ガイド層1208と、P型クラッド層1209と、コンタクト層110(図2A参照)とを有する。

[0145] N型クラッド層1202は、基板101の上方に配置され、AlGaNからなる第一クラッド層の一例である。N型クラッド層1202の導電型は、N型である。N型クラッド層1202は、活性層1205より屈折率が小さく、かつ、平均バンドギャップエネルギーが大きい。本実施の形態では、N

型クラッド層1202は、濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーパされた膜厚900 nmのN型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}$ N層である。

[0146] 第一N側ガイド層1203は、N型クラッド層1202と、活性層1205との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。第一N側ガイド層1203は、N型クラッド層1202より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第一N側ガイド層1203は、Alを含む。本実施の形態では、第一N側ガイド層1203は、N型クラッド層1202と第二N側ガイド層1204との間に配置され、濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドーパされた膜厚127 nmのN型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}$ N層である。

[0147] 第二N側ガイド層1204は、N型クラッド層1202の上方に配置され、窒化物系半導体からなるN側半導体層の一例である。本実施の形態では、第二N側ガイド層1204は、N型クラッド層1202と、活性層1205との間に配置され、AlGaInからなる半導体層である。本実施の形態では、第二N側ガイド層1204は、光ガイド層である。第二N側ガイド層1204の平均バンドギャップエネルギーは、N型クラッド層1202の平均バンドギャップエネルギーより小さい。第二N側ガイド層1204は、アンドープAlGaIn層である。第一N側ガイド層1203の平均バンドギャップエネルギー、及びAl組成比は、それぞれ、第二N側ガイド層1204の平均バンドギャップエネルギー、及びAl組成比に等しい。本実施の形態では、第二N側ガイド層1204は、第一N側ガイド層1203と活性層1205との間に配置される膜厚80 nmのアンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}$ N層である。

[0148] 活性層1205は、ウェル層1205bと、二つのバリア層1205a及び1205cとを有する。本実施の形態では、窒化物系半導体発光素子からのフォトルミネッセンスのピーク波長が366 nmとなるようにウェル層1205bの構成が決定される。ウェル層1205bは、膜厚17.5 nmのアンドープ $\text{Ga}_{0.99}\text{In}_{0.01}$ N層である。

[0149] バリア層1205aは、第一N側ガイド層1203とウェル層1205bの間に配置され、量子井戸構造の障壁として機能する窒化物系半導体層である。バリア層1205cは、ウェル層1205bと第一P側ガイド層1206の間に配置され、量子井戸構造の障壁として機能する窒化物系半導体層である。本実施の形態では、バリア層1205a及び1205cの各々のバンドギャップエネルギーは、ウェル層1205bのバンドギャップエネルギー、第一P側ガイド層1206の平均バンドギャップエネルギー、及び、第一N側ガイド層1203の平均バンドギャップエネルギーより大きく、電子障壁層1207の平均バンドギャップエネルギーより小さい。バリア層1205aは、膜厚14nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層であり、バリア層1205cは、膜厚12nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層である。

[0150] 第一P側ガイド層1206は、活性層1205の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層1206は、下側第一P側ガイド層1206aと、上側第一P側ガイド層1206bとを含む。下側第一P側ガイド層1206aは、P型クラッド層1209と、活性層1205との間に配置され、 AlGaInN からなる層とである。上側第一P側ガイド層1206bは、下側第一P側ガイド層1206aとP型クラッド層1209との間に配置され、 AlGaN からなる層である。下側第一P側ガイド層1206aは、 AlGaN からなるP型クラッド層1209と、活性層1205との間に配置される第一半導体層の一例である。また、下側第一P側ガイド層1206aは、活性層1205の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例でもある。本実施の形態では、第一P側ガイド層1206は、光ガイド層である。下側第一P側ガイド層1206a、及び上側第一P側ガイド層1206bの各々の平均バンドギャップエネルギーは、P型クラッド層1209の平均バンドギャップエネルギーより小さい。本実施の形態では、第一P側ガイド層1206は、活性層1205と電子障壁層1207との間に配置される、膜厚53nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 層である下側第一P側ガ

イド層1206aと、膜厚7nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層である上側第一P側ガイド層1206bとを含む。下側第一P側ガイド層1206aは基板101に対して圧縮歪を有する。なお、上側第一P側ガイド層1206bは、電子障壁層1207との界面を含む領域において、当該界面に近づくにしたがってMg濃度が増大してもよい。このように、上側第一P側ガイド層1206bの不純物濃度は一様でなくてもよい。上側第一P側ガイド層1206bは、下側第一P側ガイド層1206aよりも屈折率が小さく、バンドギャップエネルギーが大きい。

[0151] 電子障壁層1207は、第一P側ガイド層1206とP型クラッド層1209との間に配置される窒化物系半導体層である。電子障壁層1207のバンドギャップエネルギーは、バリア層1205cのバンドギャップエネルギーより大きい。これにより、電子が活性層1205からP型クラッド層1209へ漏れることを抑制できる。本実施の形態では、電子障壁層1207のバンドギャップエネルギーは、P型クラッド層1209のバンドギャップエネルギーより大きい。電子障壁層1207は、濃度 $1.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のMgがドーパされた膜厚1.6nmのP型 $\text{Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{N}$ 層である。

[0152] 第二P側ガイド層1208は、P型クラッド層1209と、活性層1205との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層の一例であり、窒化物系半導体からなる。第二P側ガイド層1208は、電子障壁層1207と、P型クラッド層1209との間に配置される第二ガイド層の一例でもある。第二P側ガイド層1208は、P型クラッド層1209より屈折率が大きく、バンドギャップエネルギーが小さい。第二P側ガイド層1208は、下側第一P側ガイド層1206aよりも屈折率が小さく、バンドギャップエネルギーが大きい。第二P側ガイド層1208は、第二N側ガイド層1204と同じ屈折率であり、バンドギャップエネルギーが同じである。第二P側ガイド層1208は、Alを含む。また、第二P側ガイド層1208は、P型の窒化物系半導体層である。本実施の形態では、第二P側ガイド層1208は、電子障壁層1207とP型クラッド層1209との間に配置され、濃度2

$\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚110nmのP型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層である。

[0153] P型クラッド層1209は、基板101の上方に配置され、AlGaInからなる第一クラッド層の一例である。P型クラッド層1209の導電型は、P型である。本実施の形態では、P型クラッド層1209は、第一P側ガイド層1206の上方に配置される。P型クラッド層1209は、活性層1205より屈折率が小さく、かつ、平均バンドギャップエネルギーが大きい。P型クラッド層1209の平均バンドギャップエネルギーは、電子障壁層1207の平均バンドギャップエネルギーより小さい。本実施の形態では、P型クラッド層1209には、不純物としてMgがドーピングされている。P型クラッド層1209の活性層1205に近い側の端部における不純物濃度は、活性層1205から遠い側の端部における不純物濃度よりも低い。具体的には、P型クラッド層1209は、膜厚450nmのAlGaIn層であり、活性層1205に近い側に配置される濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚150nmのP型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 層と、活性層1205から遠い側に配置される濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされた膜厚300nmのP型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 層とを有する。

[0154] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子においても、基板101に対する半導体積層体の引っ張り歪を低減できる。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子では、活性層1205への光閉じ込め係数が5.2%であり、光損失（つまり、導波路損失）が 3.8 cm^{-1} であり、実効屈折率差が 14.0×10^{-3} である。ここで、実効屈折率差とは、P型クラッド層1209に形成されたリッジ（図2Aのリッジ109R参照）の下方の領域であって、光が存在する領域の平均屈折率と、リッジの下方以外の領域であって、光が存在する領域の平均屈折率との差である。

[0155] また、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子では、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を、第二N側ガイド層1204とバリア層1205aとの界面から11.3nm上方に位置させることができる。このように

本実施の形態では、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を活性層 1 2 0 5 のウェル層 1 2 0 5 b 付近に位置させることができる。

[0156] また、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子では、出射光の積層方向における発散角が 4 4 . 7 度である。ここで、発散角は、出射光の広がり角度を示すパラメータであり、発散角における光強度が、光軸上の光強度の $1/e^2$ となるように定められる。

[0157] また、AlGaInN からなる下側第一P側ガイド層 1 2 0 6 a のバンドギャップエネルギーは、GaN のバンドギャップエネルギーより大きく、第二P側ガイド層 1 2 0 8 のバンドギャップエネルギー以下であればよい。このようにすることで、下側第一P側ガイド層 1 2 0 6 a において、レーザ発振波長に対する光吸収性の導波路損失を低減しつつ、下側第一P側ガイド層 1 2 0 6 a の屈折率を第二P側ガイド層 1 2 0 8 の屈折率以上にすることができる。この場合、垂直方向の光分布のピーク強度の最大位置のウェル層近傍の位置への制御性を向上させることができ、光閉じ込め係数を増大させつつ低導波路損失を得ることができる。

[0158] 以上のように、本実施の形態では、良好な特性を有する窒化物系半導体発光素子を実現できる。

[0159] なお、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子の構成は、上述した構成例に限定されない。例えば、第一P側ガイド層 1 2 0 6 の下側第一P側ガイド層 1 2 0 6 a の組成が、上述した構成例と異なってもよい。以下、下側第一P側ガイド層 1 2 0 6 a において、上記構成例と異なる変形例 1 について説明する。

[0160] 変形例 1 では、下側第一P側ガイド層 1 2 0 6 a は、膜厚 5 3 n m のアンダープ $Al_{0.04}Ga_{0.945}In_{0.015}N$ 層である。下側第一P側ガイド層 1 2 0 6 a は基板 1 0 1 に対して圧縮歪を有する。

[0161] 変形例 1 に係る窒化物系半導体発光素子においても、上述した本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子と同様の効果が奏される。変形例 1 に係る窒化物系半導体発光素子では、活性層 1 2 0 5 への光閉じ込め係数が 4 . 8

%であり、光損失が 4.3 cm^{-1} であり、実効屈折率差が 12.9×10^{-3} である。

[0162] また、変形例1に係る窒化物系半導体発光素子では、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を、第二N側ガイド層1204とバリア層1205aとの界面から3.5nm上方に位置させることができる。このように変形例1では、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を活性層1205のウェル層1205b付近に位置させることができる。また、変形例1に係る窒化物系半導体発光素子では、出射光の積層方向における発散角が 42.5 度である。

[0163] なお、下側第一P側ガイド層1206aの構成はこれに限定されない。例えば、下側第一P側ガイド層1206aのIn組成比だけでなく膜厚も、本実施の形態に係る下側第一P側ガイド層1206aと異なってもよい。例えば、変形例2に係る下側第一P側ガイド層1206aは、膜厚25nmのアンダーペースト $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.945}\text{In}_{0.015}\text{N}$ 層であってもよい。このような変形例2に係る窒化物系半導体発光素子では、活性層1205への光閉じ込め係数が4.8%であり、光損失が 4.7 cm^{-1} であり、実効屈折率差が 13.9×10^{-3} である。また、変形例2に係る窒化物系半導体発光素子では、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を、第二N側ガイド層1204とバリア層1205aとの界面から2.3nm上方に位置させることができる。このように変形例2に係る窒化物系半導体発光素子でも、光強度分布の積層方向におけるピーク位置を活性層1205のウェル層1205b付近に位置させることができる。また、変形例2に係る窒化物系半導体発光素子では、出射光の積層方向における発散角が 42.4 度である。

[0164] 以上のように、本実施の形態及びその変形例では、良好な特性を有する窒化物系半導体発光素子を実現できる。

[0165] (実施の形態13)

実施の形態13に係る窒化物系半導体発光素子について説明する。本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子の半導体積層体は、主に、第一P側ガ

イド層の構成において実施の形態12に係る半導体積層体と相違する。以下、本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子について、実施の形態12に係る窒化物系半導体発光素子との相違点を中心に、図16を用いて説明する。図16は、本実施の形態に係る半導体積層体のバンドギャップエネルギーの積層方向における分布を示すグラフである。

[0166] 本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体発光素子と同様に、基板101と、半導体積層体と、電流ブロック層111と、P側電極112と、N側電極113とを備える。本実施の形態に係る半導体積層体は、図15に示されるように、N型クラッド層1202と、第一N側ガイド層1203と、第二N側ガイド層1204と、活性層1205と、第一P側ガイド層1306と、電子障壁層1207と、第二P側ガイド層1208と、P型クラッド層1209と、コンタクト層110（図2A参照）とを有する。

[0167] 本実施の形態に係る第一P側ガイド層1306は、活性層1205の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例である。本実施の形態では、第一P側ガイド層1306は、下側第一P側ガイド層1306aと、上側第一P側ガイド層1206bとを含む。下側第一P側ガイド層1306aは、P型クラッド層1209と、活性層1205との間に配置され、AlGaInNからなる層である。上側第一P側ガイド層1206bは、下側第一P側ガイド層1306aと、P型クラッド層1209との間に配置されAlGaInNからなる層である。下側第一P側ガイド層1306aは、AlGaInNからなるP型クラッド層1209と、活性層1205との間に配置される第一半導体層の一例である。また、下側第一P側ガイド層1206aは、活性層1205の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体層の一例でもある。本実施の形態に係る第一P側ガイド層1306は、下側第一P側ガイド層1306aのIn組成比において、実施の形態12に係る第一P側ガイド層1206と相違する。本実施の形態では、第一P側ガイド層1306は、活性層1205と電子障壁層1207との間に配置される、膜

厚53nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.955}\text{In}_{0.005}\text{N}$ 層である下側第一P側ガイド層1306aと、膜厚7nmのアンドープ $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層である上側第一P側ガイド層1206bとを含む。下側第一P側ガイド層1306aは基板101に対して引っ張り歪を有する。下側第一P側ガイド層1306aと第二P側ガイド層1208とは、屈折率がほぼ等しく、バンドギャップエネルギーが等しい。

[0168] 以上のような構成を有する本実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子においても、実施の形態12に係る窒化物系半導体発光素子と同様には、良好な特性を有する窒化物系半導体発光素子を実現できる。

[0169] (変形例など)

以上、本開示に係る窒化物系半導体発光素子について、各実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、上記各実施の形態に限定されるものではない。

[0170] 例えば、上記各実施の形態においては、窒化物系半導体発光素子が半導体レーザ素子である例を示したが、窒化物系半導体発光素子は、半導体レーザ素子に限定されない。例えば、窒化物系半導体発光素子は、スーパールミネッセントダイオードであってもよい。この場合、窒化物系半導体発光素子が備える半導体積層体の端面の半導体積層体からの出射光に対する反射率は、0.1%以下であってもよい。このような反射率は、例えば、端面に、誘電体多層膜などからなる反射防止膜を形成することによって実現できる。又は、導波路となるリッジがフロント端面の法線方向から 5° 以上傾いてフロント端面と交わる傾斜ストライプ構造とすれば、フロント端面で反射した導波光が再び導波路と結合し導波光となる成分の割合を0.1%以下の小さい値とすることができる。

[0171] また、各実施の形態において、P型クラッド層は、Al組成比が均一な層であったが、P型クラッド層の構成はこれに限定されない。例えば、P型クラッド層は、複数のAlGaIn層の各々と、複数のGaIn層の各々が交互に積層された超格子構造を有してもよい。

- [0172] また、各実施の形態は、第二P側ガイド層を有しているが、第二P側ガイド層を有しなくてもよい。
- [0173] 加えて、各実施の形態に係る窒化物系半導体発光素子は、第一N側ガイド層と第一P側ガイド層の両方を有しているが、第一N側ガイド層を有し、第一P側ガイド層を有しなくてもよい。あるいは、第一P側ガイド層を有し、第一N側ガイド層を有しなくてもよい。
- [0174] また、各実施の形態では、基板101上にN型クラッド層が積層されたが、基板101とN型クラッド層との間に他の層が挿入されてもよい。例えば、基板101とN型クラッド層との間に、バッファ層、下地層などが挿入されてもよい。
- [0175] また、上記各実施の形態に対して当業者が思いつく各種変形を施して得られる形態や、本開示の趣旨を逸脱しない範囲で上記各実施の形態における構成要素及び機能を任意に組み合わせることで実現される形態も本開示に含まれる。

産業上の利用可能性

- [0176] 本開示の窒化物系半導体発光素子は、例えば、高出力かつ高効率な光源として露光装置及び加工機用の光源などに適用できる。

符号の説明

- [0177] 100 窒化物系半導体発光素子
100F、100R 端面
100S 半導体積層体
101 基板
102、1002、1202 N型クラッド層
103、203、303、703、1003、1203 第一N側ガイド層
104、304、1204 第二N側ガイド層
105、305、905、1005、1105、1205 活性層
105a、105c、905a、905c、1005a、1005c、1

105 a、1105 c、1205 a、1205 c バリア層
105 b、305 b、1205 b ウェル層
106、306、406、606、706、806、906、1006、
1206、1306 第一P側ガイド層
107、907、1207 電子障壁層
108、908、1008、1208 第二P側ガイド層
109、1009、1209 P型クラッド層
109R リッジ
109T 溝
110 コンタクト層
111 電流ブロック層
112 P側電極
113 N側電極
302 a 第一N型クラッド層
302 b 第二N型クラッド層
302 c 第三N型クラッド層
506 第三P側ガイド層
1206 a、1306 a 下側第一P側ガイド層
1206 b 上側第一P側ガイド層

請求の範囲

- [請求項1] GaNからなる基板と、
前記基板の上方に配置され、AlGaInNからなる第一クラッド層と、
、
前記基板の上方に配置される活性層と、
前記第一クラッド層と、前記活性層との間に配置される第一半導体層とを備え、
前記活性層は、窒化物系半導体からなるウェル層と、Alを含む窒化物系半導体からなるバリア層とを有し、
前記第一半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記第一クラッド層の平均バンドギャップエネルギーより小さく、
前記第一半導体層は、AlGaInNからなる窒化物系半導体発光素子。
- [請求項2] 前記第一半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記バリア層のバンドギャップエネルギーより小さい
請求項1に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項3] 前記第一半導体層は、光ガイド層である
請求項1又は2に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項4] 前記第一半導体層は、クラッド層である
請求項1又は2に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項5] 前記第一半導体層のAl組成比は、前記第一クラッド層のAl組成比より高い
請求項1～4のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項6] 前記第一半導体層は、圧縮歪を有し、
前記第一半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、GaNのバンドギャップエネルギーより大きい
請求項1～5のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項7] 前記第一半導体層のAl組成比は、前記バリア層のAl組成比より

高い

請求項 6 に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 8] 前記第一クラッド層と、前記活性層との間に配置される光ガイド層である第一ガイド層をさらに備え、

前記第一ガイド層は、窒化物系半導体からなる

請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 9] 前記第一ガイド層は、AlGaInN からなる

請求項 8 に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 10] 前記第一半導体層の Al 組成比は、前記バリア層の Al 組成比より

低い

請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 11] 前記バリア層は、AlGaInN からなる

請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 12] 前記第一半導体層の In 組成比は、前記バリア層の In 組成比より

高い

請求項 11 に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 13] 前記第一半導体層の Al 組成比は、前記バリア層の Al 組成比以下

である

請求項 11 又は 12 に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 14] 前記ウェル層は、AlGaInN からなる

請求項 1 ～ 13 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 15] 前記第一クラッド層の導電型は、N 型である

請求項 1 ～ 14 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 16] 前記第一半導体層は、前記第一クラッド層の上方に配置され、

前記活性層は、前記第一半導体層の上方に配置される

請求項 15 に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項 17] 前記第一クラッド層の導電型は、P 型である

請求項 1 ～ 14 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子。

- [請求項18] 前記第一半導体層は、前記活性層の上方に配置され、
前記第一クラッド層は、前記第一半導体層の上方に配置される
請求項17に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項19] 前記第一半導体層と前記第一クラッド層との間に配置される電子障
壁層と、
前記電子障壁層と前記第一クラッド層との間に配置される光ガイド
層である第二ガイド層とをさらに備える
請求項17又は18に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項20] 前記第一半導体層と前記第一クラッド層との間に配置され、AlGa
Nからなる上側第一P側ガイド層をさらに備え、
前記第一クラッド層の導電型は、P型である
請求項17～19のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子
。
- [請求項21] GaNからなる基板と、
前記基板の上方に配置され、AlGaInからなるN型クラッド層と
、
前記N型クラッド層の上方に配置され、窒化物系半導体からなるN
側半導体層と、
前記N側半導体層の上方に配置される活性層と、
前記活性層の上方に配置され、窒化物系半導体からなるP側半導体
層と、
前記P側半導体層の上方に配置され、AlGaInからなるP型クラ
ッド層とを備え、
前記活性層は、窒化物系半導体からなるウェル層と、Alを含む窒
化物系半導体からなるバリア層とを有し、
前記N側半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記N型ク
ラッド層の平均バンドギャップエネルギーより小さく、
前記P側半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記P型ク

ラッド層の平均バンドギャップエネルギーより小さく、

前記N側半導体層及び前記P側半導体層の少なくとも一方は、AlGaInNからなる

窒化物系半導体発光素子。

[請求項22]

前記N側半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記バリア層のバンドギャップエネルギーより小さく、

前記P側半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記バリア層のバンドギャップエネルギーより小さい

請求項21に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項23]

前記N側半導体層及び前記P側半導体層の各々は、光ガイド層である

請求項21又は22に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項24]

前記P側半導体層と前記P型クラッド層との間に配置される上側第一P側ガイド層をさらに備え、

前記P側半導体層は、AlGaInNからなる光ガイド層であり、

前記上側第一P側ガイド層は、AlGaNからなる

請求項21～23のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子

。

[請求項25]

前記N側半導体層のAl組成比は、前記N型クラッド層のAl組成比より高い

請求項21～24のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子

。

[請求項26]

前記P側半導体層のAl組成比は、前記P型クラッド層のAl組成比より高い

請求項21～25のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子

。

[請求項27]

前記AlGaInNの格子定数は、GaNの格子定数より大きく、

前記AlGaInNのバンドギャップエネルギーは、GaNのバン

ドギャップエネルギーより大きい

請求項 2 1 ~ 2 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子

。

[請求項 28] 前記 P 側半導体層の平均バンドギャップエネルギーは、前記 N 側半導体層の平均バンドギャップエネルギーより小さい

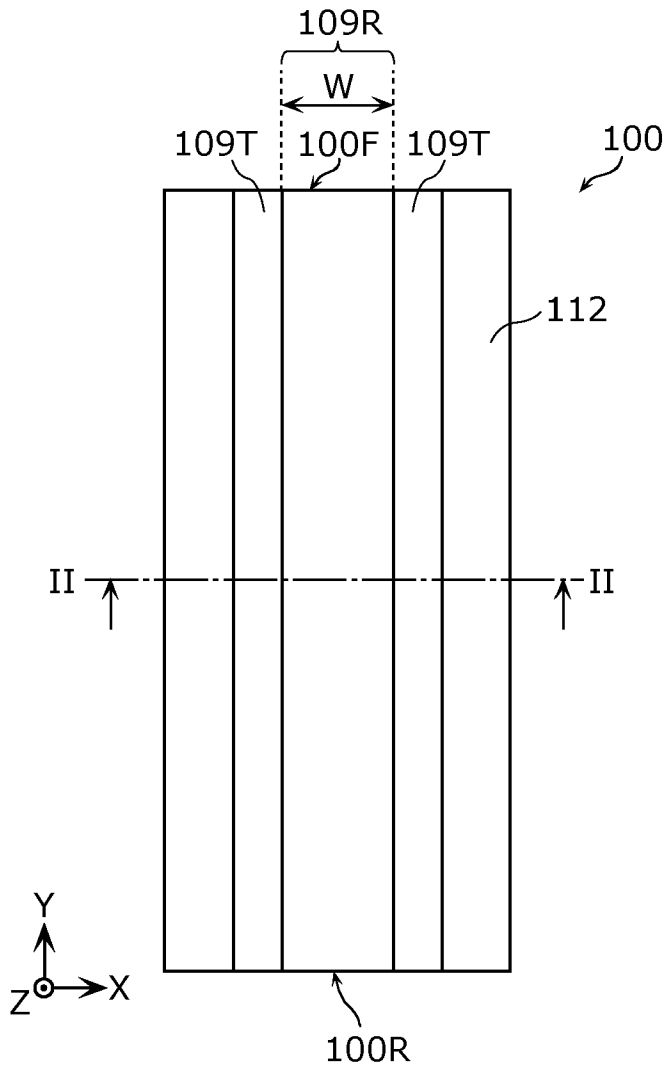
請求項 2 1 ~ 2 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体発光素子

。

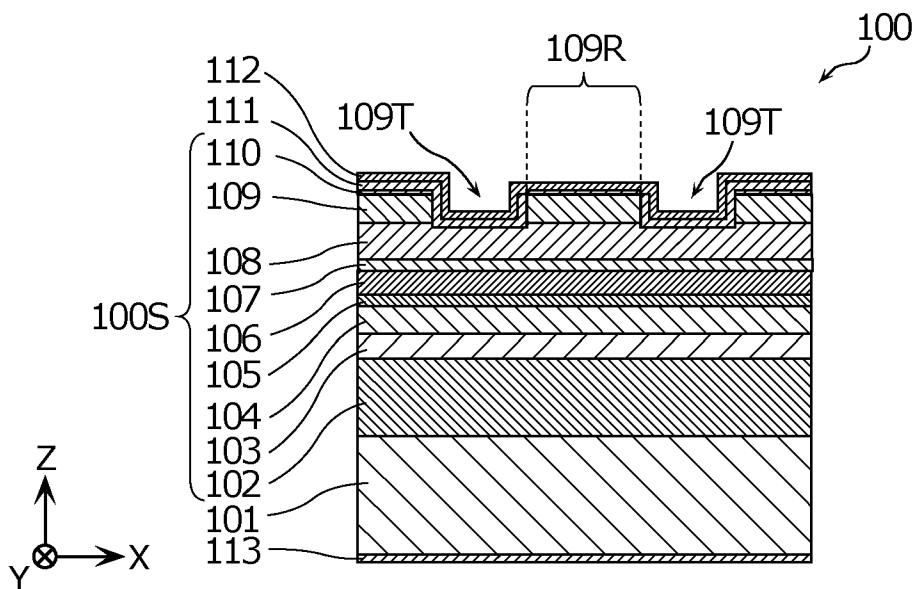
[請求項 29] 前記 P 側半導体層の In 組成比は、前記 N 側半導体層の In 組成比より高い

請求項 2 8 に記載の窒化物系半導体発光素子。

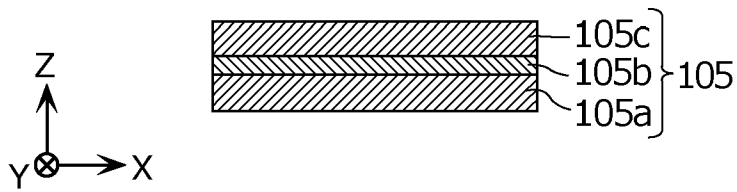
[図1]



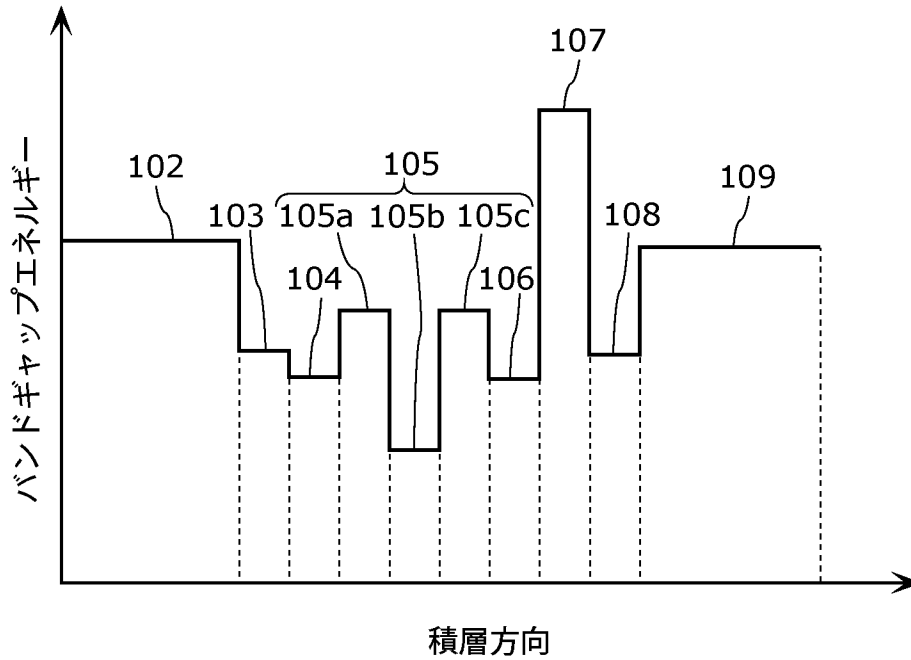
[図2A]



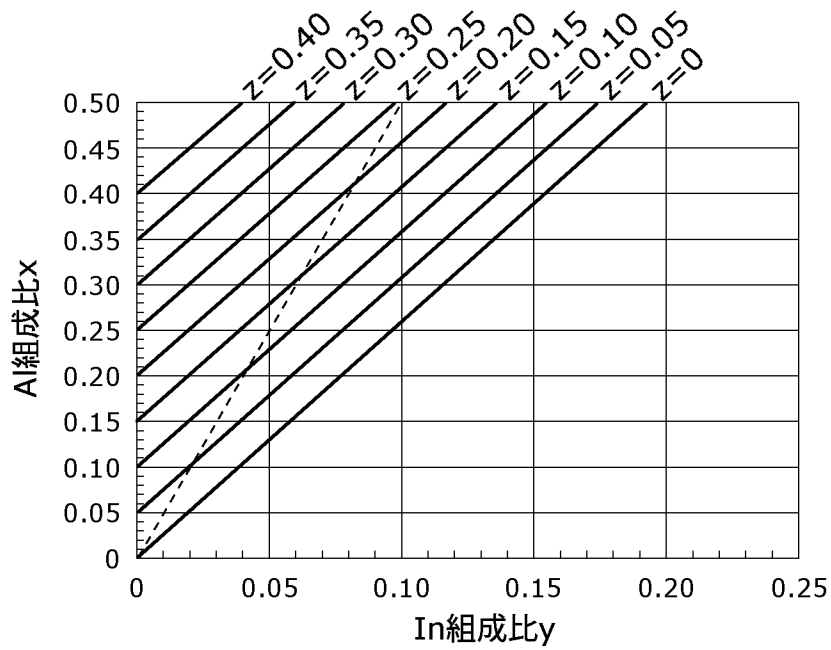
[図2B]



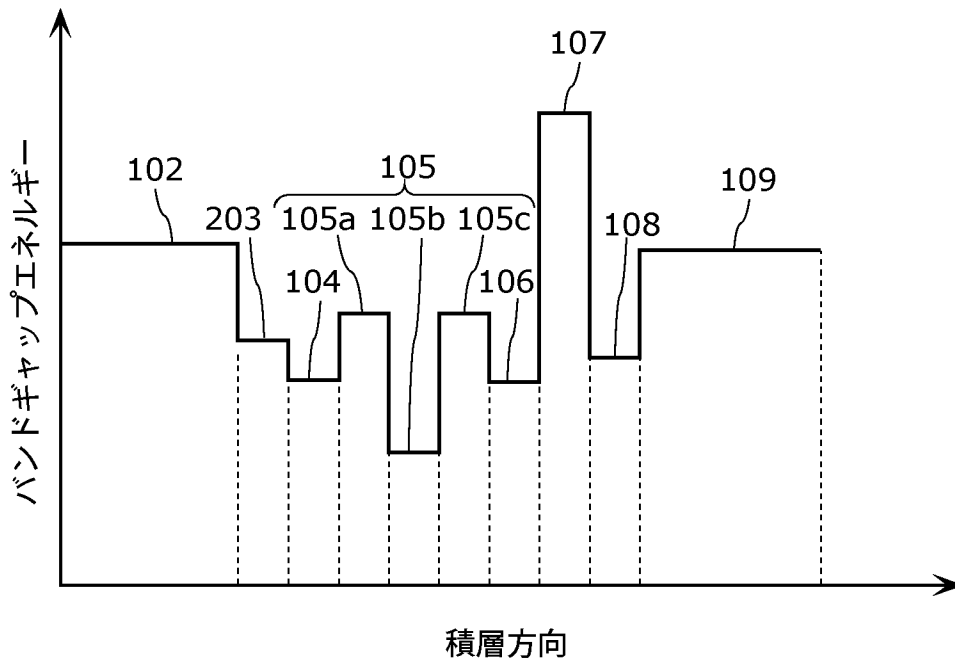
[図3]



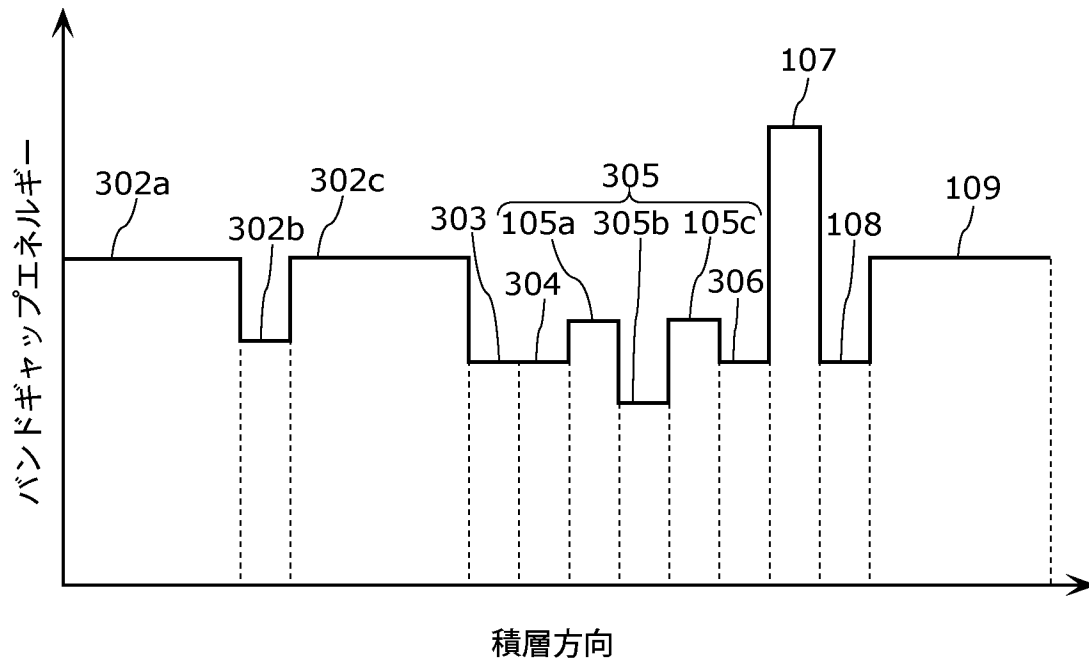
[図4]



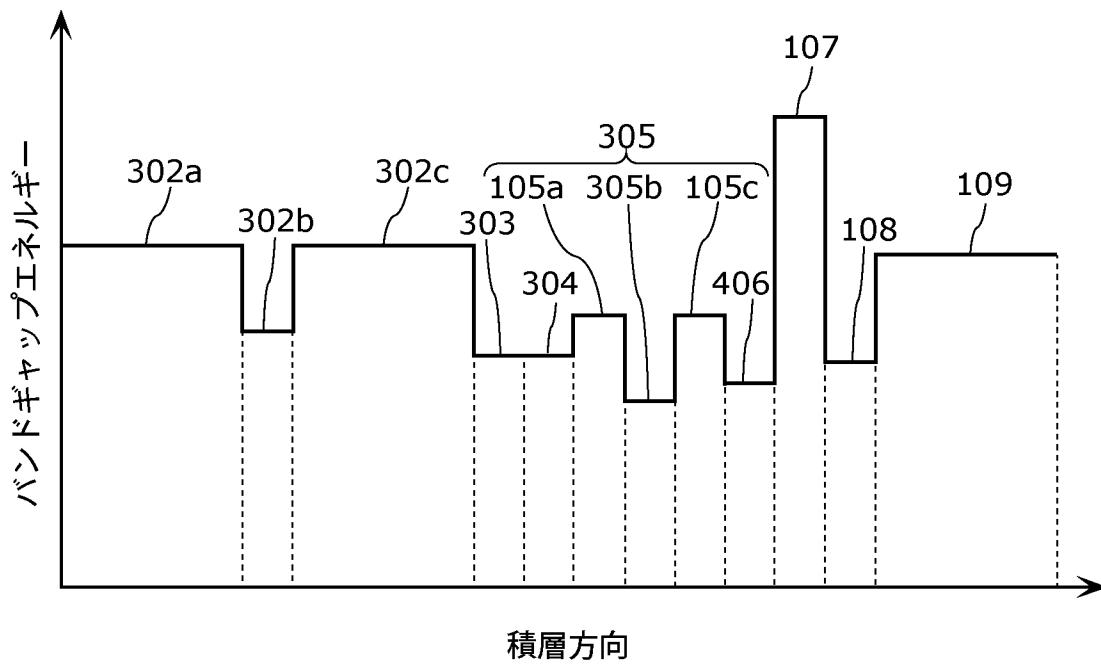
[図5]



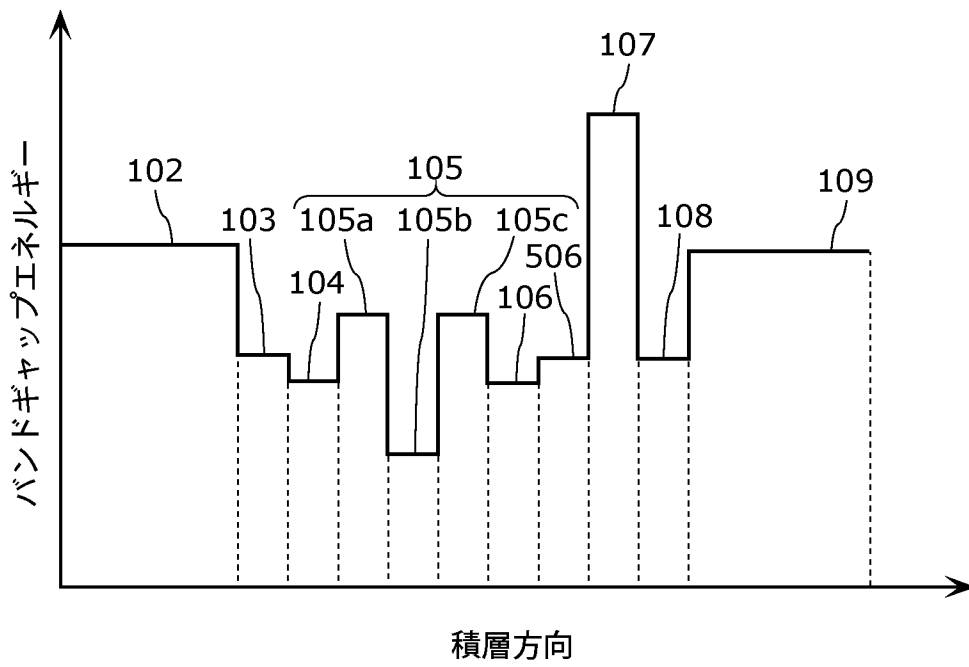
[図6]



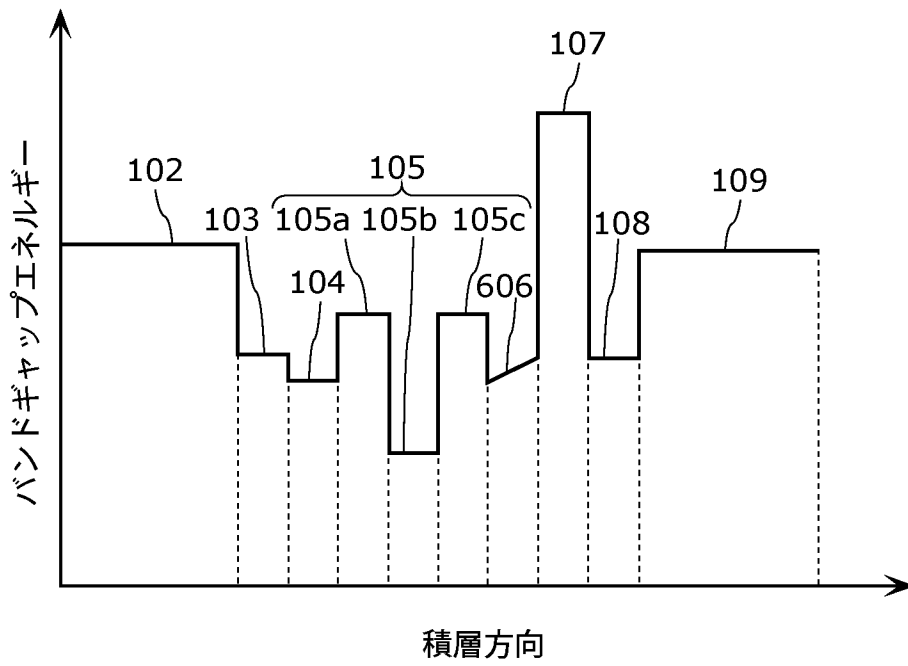
[図7]



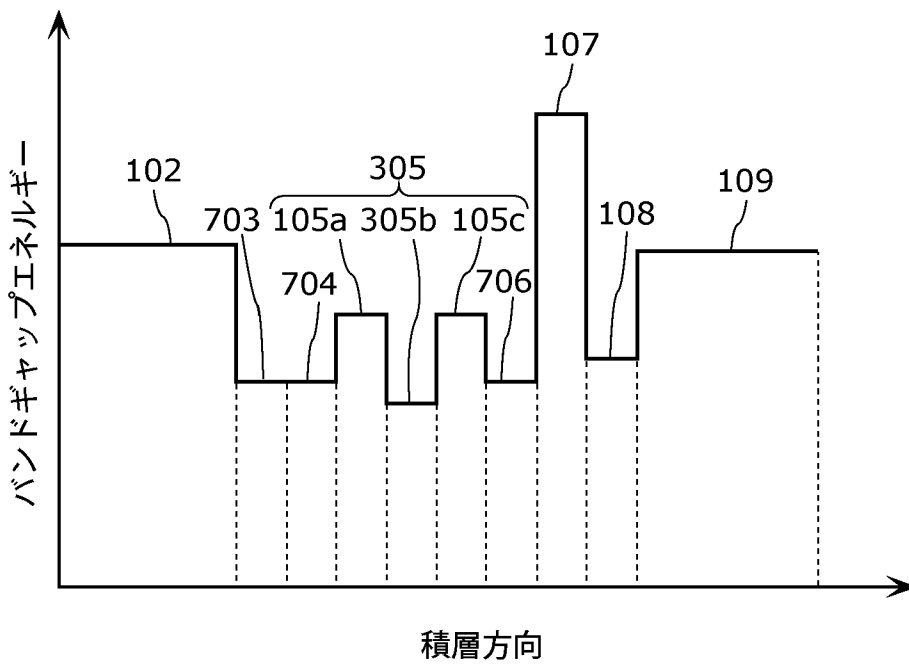
[図8]



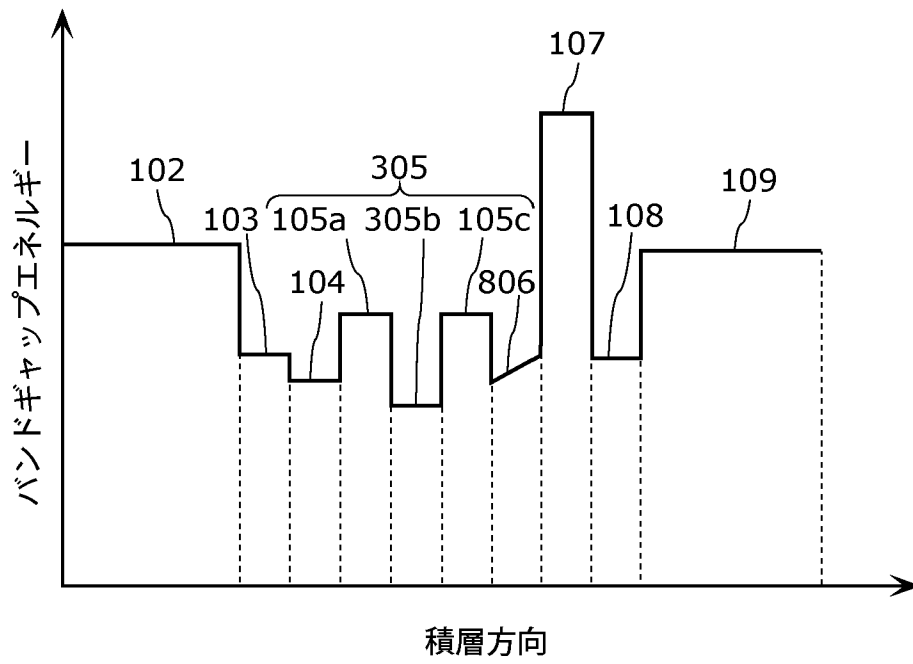
[図9]



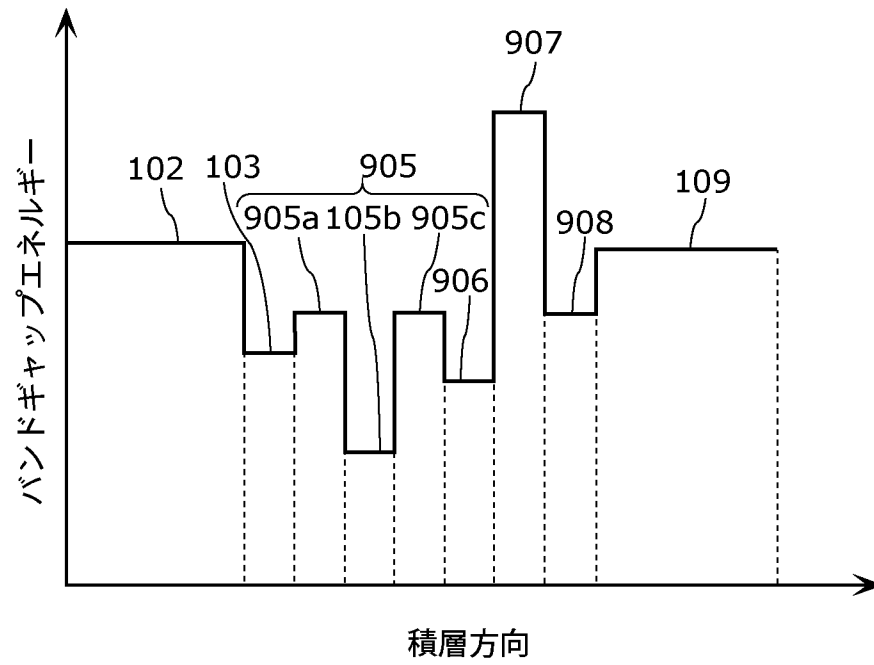
[図10]



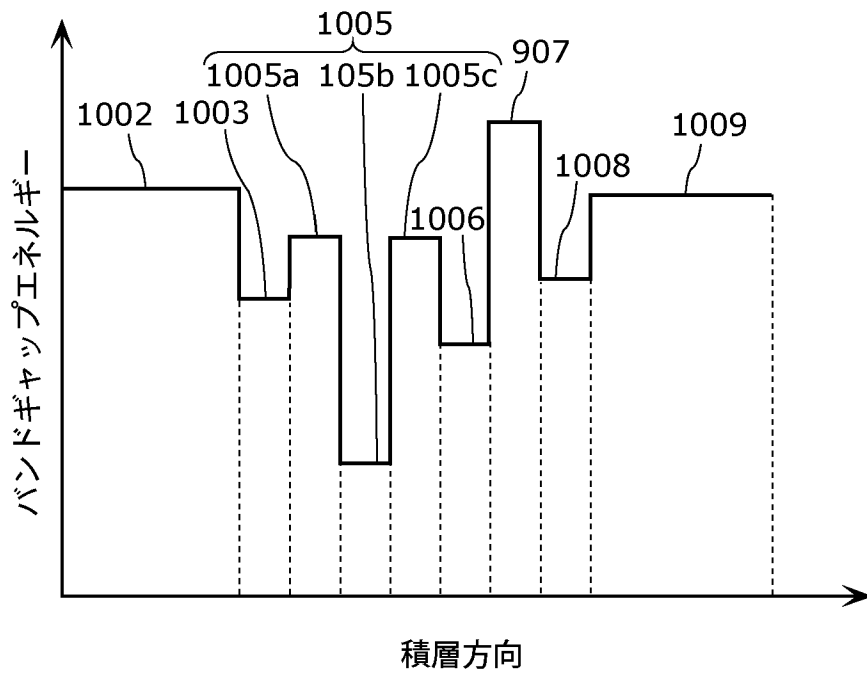
[図11]



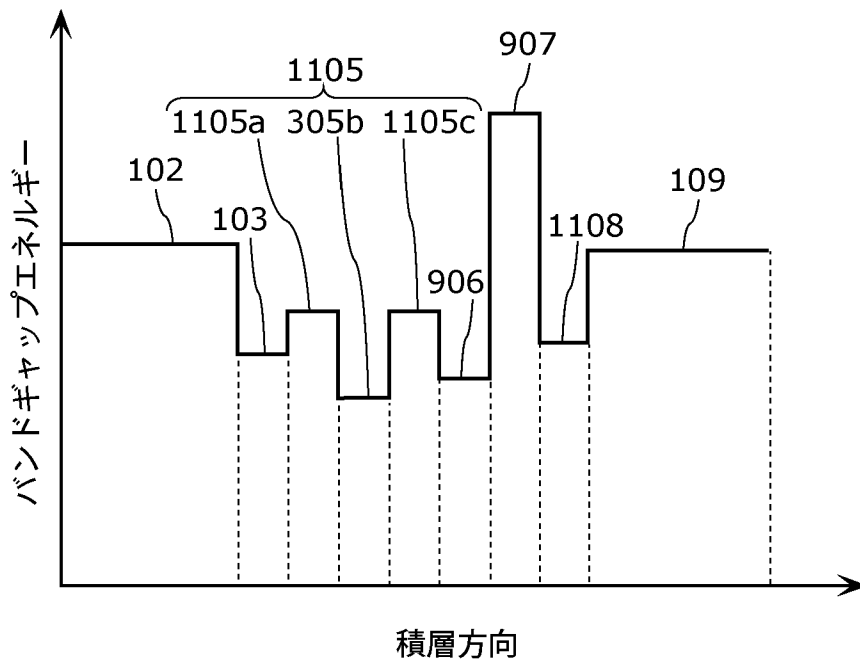
[図12]



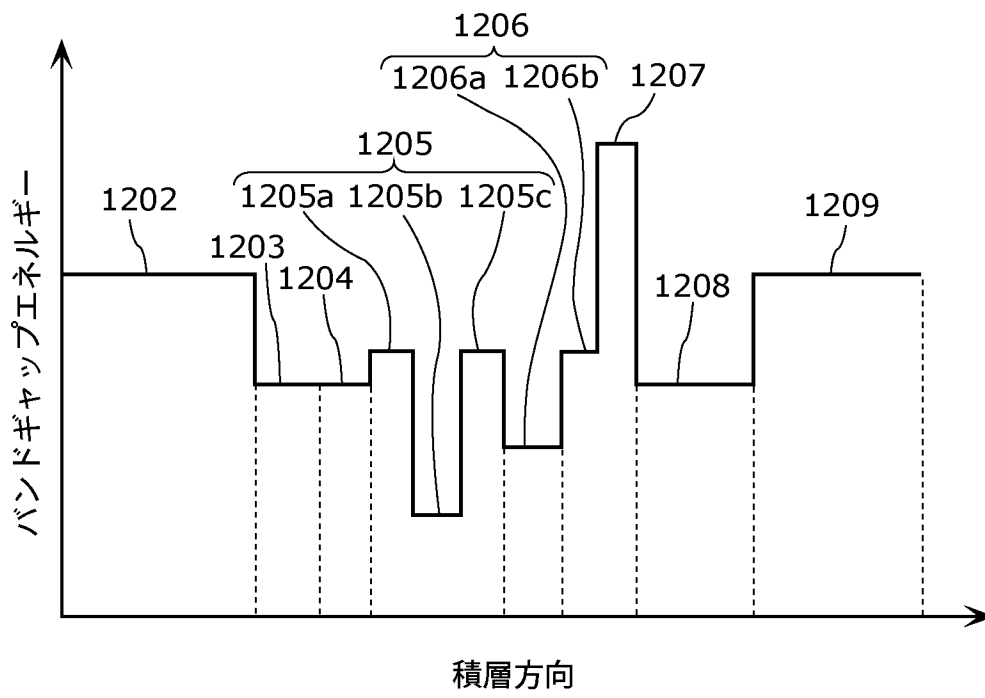
[図13]



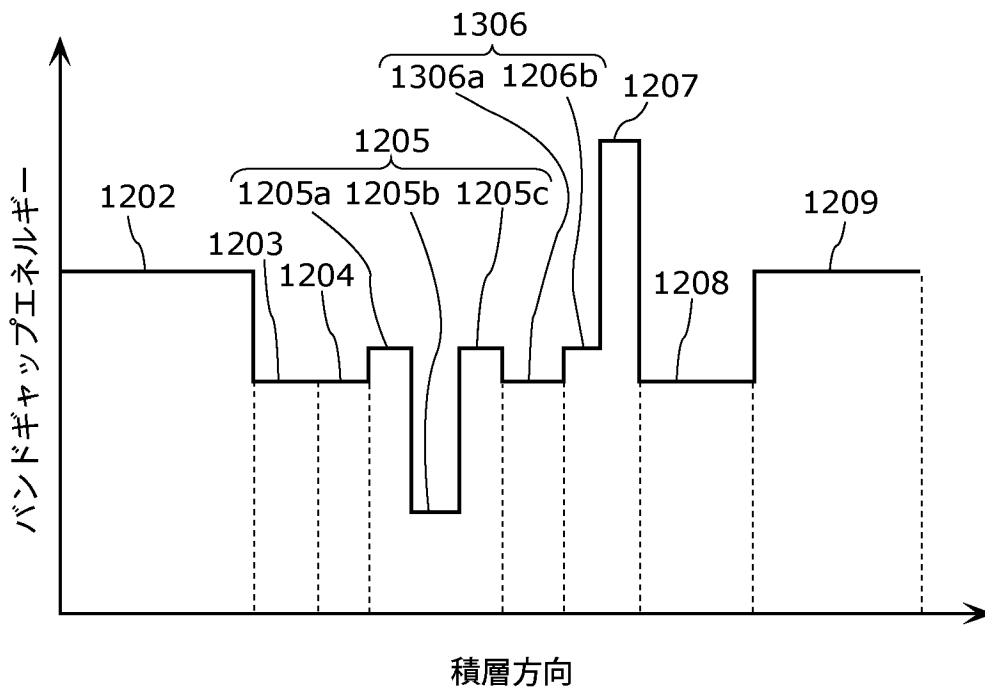
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/041910

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01S 5/343</i> (2006.01)i; <i>H01L 33/32</i> (2010.01)i FI: H01S5/343 610; H01L33/32		
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) H01S5/00-5/50		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
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.
X	JP 2011-44596 A (SHARP CORP) 03 March 2011 (2011-03-03) paragraphs [0101]-[0104], [0107], [0118], [0191], [0216]-[0217], [0280], fig. 2	1-3, 5-13, 15-23, 25-29
Y		14
A		24
Y	JP 2010-263163 A (SUMITOMO ELECTRIC IND LTD) 18 November 2010 (2010-11-18) paragraphs [0044]-[0057], [0065]-[0072], fig. 1-3	1-2, 4-8, 11, 14-18, 21-23, 25-27
Y	WO 2011/087127 A1 (SUMITOMO ELECTRIC IND LTD) 21 July 2011 (2011-07-21) paragraphs [0062], [0068], fig. 1	1-2, 4-8, 11, 14-18, 21-23, 25-27
A	US 2008/0259982 A1 (KIM, Chi-Sun) 23 October 2008 (2008-10-23) entire text, all drawings	1-29
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 10 January 2023		Date of mailing of the international search report 24 January 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/041910

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2011-44596	A	03 March 2011	US 2011/0042646 A1 paragraphs [0226]-[0229], [0232], [0243], [0316], [0341]- [0342], [0652], fig. 2	
				CN 101997268 A	
JP	2010-263163	A	18 November 2010	US 2012/0119240 A1 paragraphs [0054]-[0066], [0075]-[0082], fig. 1-3	
				EP 2432082 A1	
				TW 201101533 A1	
				CN 102422495 A	
				KR 10-2012-0024678 A	
WO	2011/087127	A1	21 July 2011	US 2012/0061643 A1 paragraphs [0087], [0093], fig. 1	
				EP 2528119 A1	
				CN 102473805 A	
				KR 10-2012-0023660 A	
				TW 201140879 A1	
US	2008/0259982	A1	23 October 2008	KR 10-2008-0094481 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 5/343(2006.01)i; H01L 33/32(2010.01)i FI: H01S5/343 610; H01L33/32		
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）） 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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
X Y A	JP 2011-44596 A（シャープ株式会社）03.03.2011（2011-03-03） 段落0101-0104, 0107, 0118, 0191, 0216-0217, 0280, 図2	1-3, 5-13, 15-23, 25-29 14 24
Y	JP 2010-263163 A（住友電気工業株式会社）18.11.2010（2010-11-18） 段落0044-0057, 0065-0072, 図1-3	1-2, 4-8, 11, 14- 18, 21-23, 25-27
Y	WO 2011/087127 A1（住友電気工業株式会社）21.07.2011（2011-07-21） 段落0062, 0068, 図1	1-2, 4-8, 11, 14- 18, 21-23, 25-27
A	US 2008/0259982 A1（KIM CHI SUN）23.10.2008（2008-10-23） 全文, 全図	1-29
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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抵触するものではなく、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 10.01.2023	国際調査報告の発送日 24.01.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 高椋 健司 2K 3715 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/041910

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
JP	2011-44596	A	03.03.2011	US 2011/0042646	A1	
				段落0226-0229, 0232, 0243, 0316, 0341-0342, 0652, 図2		
				CN 101997268	A	

JP	2010-263163	A	18.11.2010	US 2012/0119240	A1	
				段落0054-0066, 0075-0082, 図1-3		
				EP 2432082	A1	
				TW 201101533	A1	
				CN 102422495	A	
				KR 10-2012-0024678	A	

WO	2011/087127	A1	21.07.2011	US 2012/0061643	A1	
				段落0087, 0093, 図1		
				EP 2528119	A1	
				CN 102473805	A	
				KR 10-2012-0023660	A	
				TW 201140879	A1	

US	2008/0259982	A1	23.10.2008	KR 10-2008-0094481	A	
