

明 細 書

発明の名称：半導体発光素子

技術分野

[0001] 本発明は半導体発光素子に関し、特に主たる発光波長が520nm以上を示す半導体発光素子に関する。

背景技術

[0002] 近年、可視光領域の発光波長を持つLEDを用いたプロジェクタや医療用検査装置の開発が進んでいる。可視光領域の発光波長を持つLEDとしては、従来GaP系の化合物半導体が主に用いられている。しかし、GaP系の化合物半導体は、バンド構造が間接遷移型の半導体であり、遷移確率が低いことから、発光効率の上昇は困難であった。そこで、直接遷移型の半導体である窒化物半導体系の材料を用いた、可視光領域のLEDの開発が進められている。

[0003] 可視光領域の発光に関し、特に520nm以上の波長域は高効率化が難しく、発光効率が著しく低下することが知られている。図11は、主たる発光波長と内部量子効率の関係を示すグラフであり、横軸が主たる発光波長に対応し、縦軸が内部量子効率（IQE）に対応する。図11によれば、主たる発光波長が520nmを超えると内部量子効率が急激に低下していることが確認できる。このように内部量子効率が低下する波長領域は「グリーンギャップ領域」と呼ばれ、GaP系や窒化物半導体系に関わらず、かかる波長領域において効率が低下することが問題となっている。このため、このグリーンギャップ領域において、内部量子効率を高めて発光効率を高めることが要請されている。

[0004] 特に520nm以上の波長域において発光効率が低下する理由の一つに、piezo電界に起因した活性層内での電子と正孔の再結合確率の低下が挙げられる。この点につき、窒化物半導体を例に挙げて説明する。

[0005] GaNやAlGaNなどの窒化物半導体は、ウルツ鉱型結晶構造（六方晶

構造)を有している。ウルツ鉱型結晶構造の面は、4 指数表記(六方晶指数)にて、 a_1 、 a_2 、 a_3 及び 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 軸に垂直な面は「 c 面」又は「 (0001) 面」と呼ばれる。

[0006] 従来、窒化物半導体を用いて半導体発光素子を作製する場合、窒化物半導体結晶を成長させる基板として、 c 面基板を主面に有する基板が使用される。実際にはこの基板上に低温下で GaN 層を成長させ、更にその上層に窒化物半導体層を成長させる。なお、発光に寄与する層を構成する活性層としては、 GaN と InN の混晶である $InGaN$ が用いられるのが一般的である。

[0007] ここで、 GaN と InN には格子定数に差が存在する。具体的には、 a 軸方向に関し、 GaN の格子定数は 0.3189 nm である一方、 InN の格子定数は 0.354 nm である。このため、 GaN 層より上層に GaN よりも格子定数の大きい InN を含む $InGaN$ 層を成長させると、 $InGaN$ 層は成長面と垂直方向に圧縮歪みを受ける。このとき、正電荷を持つ Ga 及び In と負電荷を持つ N との分極のバランスが崩れ、 c 軸方向に沿った電界が発生する(ピエゾ電界)。ピエゾ電界が活性層に発生すると、この活性層のバンドが曲がって電子と正孔の波動関数の重なり度合いが小さくなり、活性層内での電子と正孔の再結合確率が低下する(いわゆる「量子閉じ込めシュタルク効果」)。これにより、内部量子効率が低下する。

[0008] 発光波長を 520 nm 以上にするためには、当該波長に応じたバンドギャップエネルギーを実現するために活性層(特に発光層)に含まれる In 組成を高める必要がある。しかし、 In 組成を高めると圧縮歪みが大きくなるため、ピエゾ電界が大きくなる。この結果、内部量子効率が更に低下する。

[0009] 内部量子効率を高める方法として、下記特許文献1では、非極性面、例えば $[10\bar{1}0]$ 方向に垂直な、 m 面と呼ばれる $(10\bar{1}0)$ 面を表面に有する基板を使用して活性層を成長させることで、活性層にピエゾ電界を生

じさせないようにした発光素子が検討されている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特開2013-230972号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 本発明者は、鋭意研究により、主たる発光波長が520nm以上の窒化物半導体からなる発光素子においては、駆動電圧が上昇してしまうという課題と、光出力が低下してしまうという課題が二律背反の状態にあることを突き止めた。

[0012] 本発明は、低い駆動電圧の下で高い光出力の確保が可能な、主たる発光波長が520nm以上の窒化物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

[0013] 本発明は、主たる発光波長が520nm以上の半導体発光素子であって、窒化物半導体からなるn型半導体層と、前記n型半導体層の上層に形成された、窒化物半導体からなる活性層と、前記活性層の上層に形成された、窒化物半導体からなるp型半導体層とを備え、

前記活性層は、アンドープの $\text{In}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ ($0 \leq x1 \leq 0.01$) からなる第一層を含む障壁層と、 $\text{In}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ ($0.2 \leq x2 < 1$) からなる第二層を含む発光層との積層体が複数周期繰り返されることで構成されており、

前記障壁層は、少なくともいずれか一の周期内において、アンドープの $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$ ($0 < x3 < 1$) からなる第三層と、前記第三層の上層に形成された前記第一層と、前記第一層の上層に形成されたn型の $\text{Al}_{x4}\text{In}_{y4}\text{Ga}_{1-x4-y4}\text{N}$ ($0 < x4 < 1$, $0 \leq y4 < 1$) からなる第四層とを含むことを特徴とする。

[0014] 上記の構成によれば、駆動電圧を低下しながらも高い光出力が確保できる、主たる発光波長が520nm以上の半導体発光素子の実現される。この内

容については、「発明を実施するための形態」の項で後述される。第四層は、低 I_n 組成の n 型の $A I_{x4} I n_{Y4} G a_{1-x4-Y4} N$ （例えば $Y4 \leq 0.01$ ）、又は n 型の $A I G a N$ で構成することができる。

[0015] ところで、本明細書において、「 $A I G a N$ 」という記述は、 $A I_m G a_{1-m} N$ （ $0 < m < 1$ ）という記述と同義であり、 $A I$ と $G a$ の組成比の記述を単に省略して記載したものであって、 $A I$ と $G a$ の組成比が $1 : 1$ である場合に限定する趣旨ではない。「 $I n G a N$ 」、「 $A I I n G a N$ 」等という記述についても同様である。

[0016] ここで、第四層は、全ての周期の障壁層に含まれていても構わないし、いずれか一又は複数の周期の障壁層に含まれていても構わない。ただし、 p 型半導体層に最も近い障壁層は第四層を含まない構成とするのがより好ましい。これは、 p 型半導体層に最も近い側に位置する発光層よりも更に p 型半導体層に近い側において、電子と正孔が再結合することで、正孔の発光層側への移動の妨げにならないようにするためである。

[0017] 上記の構成において、前記障壁層は、少なくともいずれかの周期内において、前記第三層と、前記第三層の上層に形成された前記第一層と、前記第一層の上層に形成されたアンドープの $A I_{x5} I n_{Y5} G a_{1-x5-Y5} N$ （ $0 < X5 < 1$ ， $0 \leq Y5 < 1$ ）からなる第五層と、前記第五層の上層に形成された前記第四層とを含むものとしても構わない。なお、第五層は、低 I_n 組成のアンドープの $A I_{x5} I n_{Y5} G a_{1-x5-Y5} N$ （例えば $Y5 \leq 0.01$ ）、又はアンドープの $A I G a N$ で構成することができる。

[0018] また、前記障壁層は、少なくともいずれかの周期内において、前記第三層と、前記第三層の上層に形成された前記第一層と、前記第一層の上層に形成された前記第四層と、前記第四層の上層に形成されたアンドープの $I n_{X6} G a_{1-X6} N$ （ $0 \leq X6 \leq 0.01$ ）からなる第六層を含み、

前記 p 型半導体層に最も近い周期を除く少なくともいずれかの周期内の前記障壁層が含む前記第六層の上面に、前記発光層を構成する前記第二層が配置されているものとしても構わない。

[0019] 第六層は、低 In 組成のアンドープの InGaIn 又はアンドープの GaIn で構成される。以下では第六層がアンドープの GaIn で構成される場合について説明する。

[0020] 主たる発光波長が 520 nm 以上の半導体発光素子を実現すべく、高い In 組成 (20% 以上) の InGaIn からなる第二層を形成する場合には、当該第二層の成長時に成長温度を低下させる必要がある。ここで、 n 型の $\text{Al}_{x_4}\text{In}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ ($0 < x_4 < 1$, $0 \leq y_4 < 1$) からなる第四層を成長させた後に、発光層を構成する InGaIn (第二層) を成長させるべく温度を低下させると、第二層を成長させるための温度に安定するまでの間に、 $\text{Al}_{x_4}\text{In}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ から Ga が蒸発して第四層の組成が変化するというおそれがある。これに対し、第四層の上層に、 GaIn からなる第六層を形成しておき、この状態で InGaIn の成長温度まで低下させることで、第四層の組成を安定化させることができる。なお、この効果は、第六層が低 In 組成の InGaIn で構成される場合においても同様に実現できる。

[0021] なお、前記第二層は、 $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($0.25 \leq x_2 \leq 0.35$) で構成されるものとしても構わない。この場合、主たる発光波長が 530 nm 以上 580 nm 以下の半導体発光素子を実現される。

発明の効果

[0022] 本発明によれば、低い駆動電圧の下で高い光出力の確保が可能な、主たる発光波長が 520 nm 以上の窒化物半導体発光素子を実現される。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]半導体発光素子の構造を模式的に示す断面図である。

[図2]活性層の構造の一部を模式的に示す断面図である。

[図3]従来の半導体発光素子(比較例1)と、検証用の半導体発光素子(参考例1)の構成を模式的に示した断面図である。

[図4]活性層を形成後、電子ブロック層を形成した場合としない場合とでの表面状態を比較した写真である。

[図5]比較例1の半導体発光素子と参考例1の半導体発光素子の電流光出力特

性を比較したグラフである。

[図6]参考例1～3の半導体発光素子が備える活性層の一部を模式的に示す断面図である。

[図7A]参考例1～3の半導体発光素子の発光強度を対比したグラフである。

[図7B]参考例1～3の半導体発光素子に対して同一の電流密度で電流を注入するときの印加電圧を対比した表である。

[図8]実施例1～2及び参考例4の半導体発光素子が備える活性層の一部を模式的に示す断面図である。

[図9A]実施例1～2及び参考例4の半導体発光素子の発光強度を対比したグラフである。

[図9B]実施例1～2及び参考例4の半導体発光素子に対して同一の電流密度で電流を注入するときの印加電圧を対比した表である。

[図10]別実施形態の半導体発光素子の構成を模式的に示す断面図である。

[図11]主たる発光波長と内部量子効率の関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0024] 本発明の半導体発光素子につき、図面を参照して説明する。なお、以下の各図面において、図面の寸法比と実際の寸法比は必ずしも一致しない。また、以下の説明において、不純物濃度、膜厚、組成、及び多層構造体に係る周期数に関する数値はあくまで一例であり、これらの数値に限定されるものではない。

[0025] また、本明細書では、主面に直交する方向につき、一方を「上方」、他方を「下方」と規定して説明するが、これは説明の便宜上の定義であり、上下を反転させてなる構成を排除する趣旨ではない。すなわち、素子に関する説明において、「ある層Aの上層に別の層Bが形成される」という記載は、この素子の上下を反転させることで層Aの上層に層Bが位置する構成も含む趣旨である。更に、この記載は、層Aの上面に、直接又は薄膜を介して層Bが形成されている場合を含む趣旨である。

[0026] [構造]

図1は、本実施形態の半導体発光素子の構造を模式的に示す断面図である。半導体発光素子1は、n型半導体層15と、n型半導体層の上層に形成された活性層30と、活性層30の上層に形成されたp型半導体層43を備える。

[0027] より詳細には、半導体発光素子1は基板11を有し、基板11の上面にアンドープのGaN層13が形成され、アンドープのGaN層13の上面にn型半導体層15が形成されている。基板11はサファイア基板又はGaN基板で構成される。アンドープのGaN層13は、基板11のc面にエピタキシャル成長によって形成された層であり、例えば3000nmの膜厚で構成される。

[0028] n型半導体層15は、アンドープのGaN層13の上面に形成されている。本実施形態では、一例として、n型半導体層15は、膜厚が2000nm、n型ドーパントとしてのSi濃度が $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、Al組成が5%のAlGaNで構成される。

[0029] 活性層30は、主たる発光波長が520nm以上となるよう、窒化物半導体材料で構成されている。図2は、活性層30の一部を抜き出して模式的に示した断面図である。図2に示すように、活性層30は、発光層30aと障壁層30bとの積層体が複数周期繰り返されることで構成されている。一例として、本実施形態の半導体発光素子1は、活性層30が、発光層30a及び障壁層30bの積層体が4周期繰り返されて構成されるものとして説明するが、この周期数に限定されるものではないことは上述した通りである。

[0030] また、図2に示す例では、各発光層30aが障壁層30bに挟まれて配置されている場合を図示している。この場合、障壁層30bの周期数が、発光層30aの周期数よりも1だけ多くなるが、「発光層30aと障壁層30bとの積層体が複数周期繰り返される」という内容は、このような構成も含む概念である。なお、例えばn型半導体層15に最も近い位置に配置されている発光層30aをn型半導体層15の上面に配置することで、発光層30aの周期数と障壁層30bの周期数を完全に一致させても構わない。

[0031] 発光層 30a は、 $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($0.2 \leq x_2 < 1$) からなる第二層 32 によって構成される。一例として、第二層 32 は、膜厚 2.6 nm で In 組成 30% のアンドープ InGaN で構成される。

[0032] なお、 $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ の x_2 の値、すなわち In 組成の値については、半導体発光素子 1 から発せられる光の主たる発光波長として得たい波長に応じて適宜選択される。本実施形態では、主たる発光波長が 520 nm 以上の半導体発光素子 1 を想定しているため、第二層 32 は In 組成が 20% 以上である InGaN で構成される。なお、In 組成が 25% 以上 35% 以下である InGaN で第二層 32 を構成することで、主たる発光波長が 530 nm 以上 580 nm 以下の半導体発光素子 1 が実現される。また、第二層 32 の膜厚は、 InGaN の In 組成の値に応じて良好な成膜が可能な範囲内で適宜選択される。

[0033] 本実施形態において、障壁層 30b は、アンドープの $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ($0 \leq x_1 \leq 0.01$) からなる第一層 31、アンドープの $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ ($0 < x_3 < 1$) からなる第三層 33、n 型の $\text{Al}_{x_4}\text{In}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ ($0 < x_4 < 1$, $0 \leq y_4 < 1$) からなる第四層 34、アンドープの $\text{Al}_{x_5}\text{In}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{N}$ ($0 < x_5 < 1$, $0 \leq y_5 < 1$) からなる第五層 35、及びアンドープの $\text{In}_{x_6}\text{Ga}_{1-x_6}\text{N}$ ($0 \leq x_6 \leq 0.01$) からなる第六層 36 を備える。以下、各層について説明する。

[0034] 障壁層 30b は、n 型半導体層 15 に最も近い側に第三層 33 を備えている。この第三層 33 は、アンドープの $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ ($0 < x_3 < 1$) で構成され、一例として、膜厚 1.5 nm で Al 組成 50% のアンドープ AlGaN で構成される。

[0035] 障壁層 30b は、第三層 33 の上面に第一層 31 を備えている。この第一層 31 は、アンドープの $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ($0 \leq x_1 \leq 0.01$)、すなわち GaN 又は極めて In 組成の低い InGaN で構成される。一例として、第一層 31 は膜厚 9 nm のアンドープ GaN で構成される。

[0036] 障壁層 30b は、第一層 31 の上面に第五層 35 を備える。この第五層 3

5は、アンドープの $\text{Al}_{x5}\text{In}_{y5}\text{Ga}_{1-x5-y5}\text{N}$ ($0 < x5 < 1$, $0 \leq y5 < 1$) で構成され、好ましくはアンドープの AlGaIn 又は In 組成の低いアンドープの AlInGaIn で構成される。一例として、第五層35は膜厚5 nmで Al 組成5%のアンドープ AlGaIn で構成される。

[0037] 障壁層30bは、第五層35の上面に第四層34を備える。この第四層34は、 n 型の $\text{Al}_{x4}\text{In}_{y4}\text{Ga}_{1-x4-y4}\text{N}$ ($0 < x4 < 1$, $0 \leq y4 < 1$) で構成され、好ましくは n 型の AlGaIn 又は In 組成の低いアンドープの AlInGaIn で構成される。一例として、第四層34は、膜厚4 nm、 Al 組成5%、 Si 濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の n 型 AlGaIn で構成される。

[0038] なお、各障壁層30bのうち、 p 型半導体層43に近い側に位置する障壁層30bは、この第四層34を備えない構成とするのがより好ましい。この理由については後述される。

[0039] 障壁層30bは、第四層34の上面に第六層36を備える。第六層36は、アンドープの $\text{In}_{x6}\text{Ga}_{1-x6}\text{N}$ ($0 \leq x6 \leq 0.01$)、すなわち第一層31と同様に、 GaIn 又は極めて In 組成の低い InGaIn で構成される。一例として、第六層36は膜厚5 nmのアンドープ GaIn で構成される。

[0040] また、半導体発光素子1は、活性層30の上面に p 型半導体層43を備える。この p 型半導体層43は、一例として膜厚が100 nm、 p 型ドーパントとしての Mg 濃度が $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の $p\text{-GaIn}$ で構成される。なお、必要に応じてこの $p\text{-GaIn}$ の上層に高濃度 p 型のコンタクト層を設けることができる。

[0041] 以下、図1及び図2を参照して説明した本実施形態の半導体発光素子1によれば、低い駆動電圧の下で高い発光強度の確保が可能な、主たる発光波長が520 nm以上の発光素子の実現される点について、実施例を参照しながら説明する。なお、後述の実施例（実施例2に対応する。）において示されるように、半導体発光素子1は障壁層30bに第五層35を備えない構成としても構わない。

[0042] [第三層33についての分析]

従来、窒化物半導体からなる主たる発光波長が520nm以上の半導体発光素子においては、InGa_Nからなる発光層とGa_Nからなる障壁層が複数周期積層されて構成される活性層を備えた素子が開発されていた。しかし、本発明者の鋭意研究により、障壁層をGa_N/AlGa_Nで構成することで発光強度が従来よりも向上することを見出した。本発明は、この内容を前提としてなされたものである。この点につき、検証用の素子（参考例1～3）の発光強度を従来の素子と比較しながら説明する。

[0043] 図3は、従来の半導体発光素子（比較例1）と、検証用の半導体発光素子（参考例1）の構成を模式的に示した断面図である。なお、図2と同一の箇所については同一の符号を付している。

[0044] 比較例1の素子は、In_{x2}Ga_{1-x2}Nからなる第二層32で構成された発光層60aと、アンドープのGa_N層71からなる障壁層60bとが複数周期積層されて構成される活性層60を含む。これに対し、参考例1の素子は、In_{x2}Ga_{1-x2}Nからなる第二層32で構成された発光層61aと、アンドープのAl_{x3}Ga_{1-x3}N（0<x3<1）からなる第三層33及びアンドープのGa_N層72からなる障壁層61bとが複数周期積層されて構成される活性層61を含む。

[0045] また、比較例1の素子は、活性層60の上面に、p-AlGa_Nで構成された電子ブロック層57を備え、この電子ブロック層57の上面にp-Ga_Nで構成されたp型半導体層43を備える。これは、n型半導体層15から活性層60へ注入される電子が当該活性層60を越えてp型半導体層43内に入るのを防止する目的で設けられており、活性層60における再結合確率の低下を抑制する狙いがある。電子ブロック層57は、活性層60からp型半導体層43へ流れる電子に対する障壁を構成すべく、活性層60やp型半導体層43よりもエネルギーバンドギャップの高いAlGa_Nで構成される。

[0046] 上述したように、比較例1及び参考例1の双方において、各素子は、主たる発光波長が520nm以上となるよう、例えばIn組成が20%以上のI

nGa₂Nで構成された発光層（60a, 61a）を含む。このように高いIn組成のInGa₂Nを成長させるに際しては、一般的なGa₂Nの成長温度よりは低温にする必要があり、これは、InGa₂N層を形成した後においても同様である。つまり、電子ブロック層57を形成するに際しては、高いIn組成のInGa₂Nからなる発光層60aの結晶が破壊されない範囲内の低温下でAlGa₂Nを成長させる必要がある。しかし、これに伴い、III族とV族との寄生反応に起因してAlがGa₂Nに十分に取り込まれず、ピットが発生して膜質が低下する。

[0047] 図4は、比較例1の素子において活性層60を形成後、電子ブロック層57を形成した場合と電子ブロック層57を形成しない場合とでの表面状態を比較した写真である。図4（a）は、活性層60を形成した状態における表面状態の写真である。また、図4（b）は、活性層60を形成した後に、高いIn組成のInGa₂Nからなる発光層60aの結晶状態を破壊しない範囲内の温度条件下（例えば880℃程度）で、AlGa₂Nで構成された電子ブロック層57を形成した表面状態の写真である。いずれも、AFM（Atomic Force Microscopy：原子間力顕微鏡）によって撮影された写真である。

[0048] 図4（b）の写真は、図4（a）の写真よりも表面に黒い点の数が極めて多いことが見て取れる。この黒い点はピットに対応する。つまり、この写真から、電子ブロック層57としてのAlGa₂Nを形成した際に極めて多数のピットが形成されていることが分かる。これは、上述したように、AlGa₂Nを低温で成長させたことで寄生反応が生じていることを示唆するものである。

[0049] 図5は、比較例1の半導体発光素子と参考例1の半導体発光素子の電流光出力特性（I-L特性）を比較したグラフである。図5によれば、同一電流を供給した状態の下で、参考例1の素子の方が比較例1の素子よりも高い光出力が実現されていることが確認される。

[0050] 上述したように、比較例1の半導体発光素子は、電子ブロック層57に多くのピット（欠陥）が形成されているため、このピットが非発光中心となり

、発光効率が低下しているものと推察される。これに対し、参考例 1 の半導体発光素子は、比較例 1 の半導体発光素子よりも高い光出力が実現されている。これは、参考例 1 の半導体発光素子が備える活性層 6 1 が、 AlGaIn で構成された第三層 3 3 を備えることで、電子ブロック層 5 7 を設けなくても電子のオーバーフローが抑制されていることを示唆するものである。これは、以下の理由によるものと考えられる。

[0051] 第三層 3 3 を構成する AlGaIn は、結晶構造が六方晶ウルツ鉱構造であり、混晶であることから c 軸方向の反転対称性を欠き、 c 軸方向に沿った電界が発生する（自発分極）。 AlGaIn の自発分極による電界が InGaIn とは反対方向に加わる結果、 AlGaIn 由来の電界は、 InGaIn 由来のピエゾ電界を打ち消す方向に発生する。つまり、活性層 6 1 が、 AlGaIn で構成された第三層 3 3 を有することで、活性層 6 1 に対して生じるピエゾ電界が緩和される。これにより、従来よりも活性層のバンドの曲がりを小さくすることができる。この結果、活性層における電子と正孔の再結合確率の低下が従来よりも緩和され、内部量子効率が向上する。

[0052] また、一般に、 GaIn のバンドギャップエネルギーが約 3.4 eV、 InIn のバンドギャップエネルギーが約 0.7 eV、 AlIn のバンドギャップエネルギーが約 6.2 eV である。このため、参考例 1 の素子が備える活性層 6 1 において、アンドープの GaIn 層 7 2 及び AlGaIn からなる第三層 3 3 が障壁層 6 1 b を構成し、 InGaIn からなる第二層 3 2 が発光層 6 1 a を構成する。ここで、第三層 3 3 は、アンドープの GaIn 層 7 2 よりもエネルギーバンドギャップが高く、電子の移動を妨げる機能を実現させるための層として機能する。

[0053] つまり、第三層 3 3 は、上述したように InGaIn のピエゾ電界を緩和させる機能を有するのみならず、 n 型半導体層 1 5 から活性層 6 1 を越えて p 型半導体層 4 3 内へと電子がオーバーフローするのを抑制する機能も有する。この結果、比較例 1 の素子のように電子ブロック層 5 7 を別途備えなくとも、電子のオーバーフローに伴う電子と正孔の再結合確率の低下が緩和され

る。従って、発光層 6 1 a を In 組成の高い InGaIn からなる第二層 3 2 で形成しても、その後の成長過程で InGaIn の結晶が破壊されることがなく、発光効率の高いピーク発光波長 520 nm 以上の半導体発光素子可以实现できる。

[0054] 図 1 及び図 2 に示した半導体発光素子 1 は、かかる観点から活性層 3 0 に第三層 3 3 を備える構成としている。同様の理由により、以下の検証で用いる参考例 1 ～ 4、及び実施例 1 ～ 2 の各素子においても第三層 3 3 を備える構成としている。

[0055] [実施例の評価]

次に、上述した参考例 1 を含む参考例 1 ～ 4 の素子、及び実施例 1 ～ 2 の素子を用いて半導体発光素子 1 によって駆動電圧の低下と光出力の向上が実現できることにつき説明する。

[0056] 図 6 は、参考例 1 ～ 3 の半導体発光素子が備える活性層の一部を模式的に示す断面図である。以下、それぞれの素子が備える活性層の構成について説明する。

[0057] 参考例 1 の素子は、図 3 (b) を参照して上述した構成と同一であるため説明を省略する。

[0058] 参考例 2 の素子は、 $\text{In}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ からなる第二層 3 2 で構成された発光層 6 2 a と、アンドープの $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$ ($0 < x3 < 1$) からなる第三層 3 3 及び n 型不純物がドーピングされた GaIn 層 7 3 で構成された障壁層 6 2 b とが複数周期積層されてなる活性層 6 2 を含む。すなわち、参考例 1 の素子と比較して、障壁層に備えられる GaIn 層を n 型で構成した点のみが異なる。なお、参考例 2 の素子において、膜厚が 2.6 nm、 In 組成 30% の InGaIn で発光層 6 2 a (第二層 3 2) を構成し、膜厚 1.5 nm、 Al 組成 50% のアンドープ AlGaIn からなる第三層 3 3 と、膜厚 23 nm、 Si 濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の n 型 GaIn 層 7 3 とで障壁層 6 2 b を構成した。

[0059] 参考例 3 の素子は、 $\text{In}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ からなる第二層 3 2 で構成された発光層 6 3 a と、アンドープの $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$ ($0 < x3 < 1$) からなる第三層 3 3、

アンドープの $\text{In}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ ($0 \leq x1 \leq 0.01$) からなる第一層 31、 n 型不純物がドーピングされた GaN 層 73、及びアンドープの $\text{In}_{x6}\text{Ga}_{1-x6}\text{N}$ ($0 \leq x6 \leq 0.01$) からなる第六層 36 で構成された障壁層 63b とが複数周期積層されてなる活性層 63 を含む。ここでは、第一層 31 及び第六層 36 は、共にアンドープの GaN 層で構成している。すなわち、参考例 3 の素子は、参考例 2 の素子と比較して、 n 型 GaN 層 73 がアンドープの GaN 層 (31, 36) で挟まれている点異なる。なお、 $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$ 及び $\text{In}_{x6}\text{Ga}_{1-x6}\text{N}$ は、いずれも低 In 組成のアンドープの $\text{In}\text{Ga}\text{N}$ を想定しており、アンドープの GaN と実質的な機能は同じである。

[0060] 図 7A は、 25 A/cm^2 の電流密度で参考例 1～3 の各素子に対して電流を注入したときの発光強度を波長別に対比したグラフである。また、図 7B は、 25 A/cm^2 の電流密度で参考例 1～3 の各素子に対して電流を注入するときの印加電圧を示す表である。

[0061] 図 7A のグラフによれば、アンドープ GaN 層 72 を含む障壁層 61b を備えた参考例 1 の素子が、 n 型 GaN 層 73 を含む障壁層 (62b, 63b) を備えた参考例 2、参考例 3 の各素子よりも発光強度が高くなっていることが分かる。これは、 Si のドーピング量を高めることで発光効率が低下してしまう現象 (ドループ現象) に起因しているものと考えられる。このドループ現象が生じる理由は現時点では不明だが、一つの考察として、この GaN 層に Si をドーピングしたことで、参考例 2、参考例 3 の各素子が備える GaN 層 73 の結晶性が悪化したことに加え、障壁層のキャリア密度が大きくなることで非発光要因となるオージェ再結合が増えてしまったことが、参考例 1 の素子よりも参考例 2 及び 3 の各素子の光出力が低下した原因と推察できる。参考例 3 の素子は、部分的にアンドープの GaN 層 (31, 36) を設けたことで、参考例 2 の素子よりも n 型 GaN 層 73 の厚みが薄くなっており、 Si のドーピング量が参考例 2 の素子よりも少ない。このため、参考例 3 の素子の発光強度が、参考例 1 の素子と参考例 2 の素子の中間に位置しているものと推察される。

- [0062] つまり、図 7 A の結果によれば、参考例 1 の素子のように、障壁層には n 型 GaN 層よりもアンドープ GaN 層を備えた方が発光強度を高められるものと思われる。
- [0063] しかしながら、図 7 B の表に示すように、障壁層にアンドープの GaN 層 7 2 を備えた参考例 1 の素子は、 25 A/cm^2 の電流密度を注入するために必要な電圧が 3.9 V であり、これは参考例 2 や参考例 3 の素子と比較して最も高い。半導体層をアンドープにした場合よりも、半導体層に不純物をドーピングした方が障壁層のバンドをスクリーニング（バンド構造をフラット化）できるため、参考例 2 や参考例 3 の素子の方が、参考例 1 の素子よりも印加電圧を低下させることができている。
- [0064] 以上のように、図 7 A 及び図 7 B を踏まえると、発光強度を高めることと、駆動電圧を低下させることはトレードオフの関係にあるといえる。
- [0065] しかしながら、本発明者の鋭意研究により、障壁層に n 型 AlGaIn 層（第四層 3 4 に対応する。）を含ませることで、駆動電圧を低下させながらも高い発光強度を示す発光素子を実現できることを突き止めた。この点につき、実施例 1 及び実施例 2 の結果を参照して説明する。図 8 は、実施例 1 ～ 2 及び後述する参考例 4 の各半導体発光素子が備える活性層の一部を模式的に示す断面図である。
- [0066] 実施例 1 の素子は、図 1 及び図 2 を参照して上述した半導体発光素子 1 と同一である。すなわち実施例 1 の素子は、発光層 3 0 a が、 $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($0.2 \leq x_2 < 1$) からなる第二層 3 2 で構成されている。また、障壁層 3 0 b が、アンドープの $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ ($0 < x_3 < 1$) からなる第三層 3 3、アンドープの $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ($0 \leq x_1 \leq 0.01$) からなる第一層 3 1、アンドープの $\text{Al}_{x_5}\text{In}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{N}$ ($0 < x_5 < 1, 0 \leq y_5 < 1$) からなる第五層 3 5、n 型の $\text{Al}_{x_4}\text{In}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ ($0 < x_4 < 1, 0 \leq y_4 < 1$) からなる第四層 3 4、及びアンドープの $\text{In}_{x_6}\text{Ga}_{1-x_6}\text{N}$ ($0 \leq x_6 \leq 0.01$) からなる第六層 3 6 で構成されている。
- [0067] より詳細には、実施例 1 の素子においては、発光層 3 0 a を構成する第二

層 3 2 を、膜厚 2.6 nm、In 組成 30% の InGa_{0.7}N で構成した。また、障壁層 3 0 b を構成する各層については、第三層 3 3 を膜厚 1.5 nm、Al 組成 50% のアンドープ AlGa_{0.5}N で構成し、第一層 3 1 を膜厚 9 nm のアンドープ GaN で構成し、第五層 3 5 を膜厚 5 nm、Al 組成 5% のアンドープ AlGa_{0.05}N で構成し、第四層 3 4 を Al 組成 5%、膜厚 4 nm、Si 濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の n 型 AlGa_{0.95}N で構成し、第六層 3 6 を膜厚 5 nm のアンドープ GaN で構成した。

[0068] 実施例 2 の素子は、実施例 1 の素子と比較して第五層 3 5 を備えない点が異なる。すなわち、実施例 2 の素子は、発光層 3 0 a が $\text{In}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ からなる第二層 3 2 で構成されており、障壁層 3 0 b がアンドープの $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$ からなる第三層 3 3、アンドープの $\text{In}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ からなる第一層 3 1、n 型の $\text{Al}_{x4}\text{In}_{y4}\text{Ga}_{1-x4-y4}\text{N}$ からなる第四層 3 4、及びアンドープの $\text{In}_{x6}\text{Ga}_{1-x6}\text{N}$ からなる第六層 3 6 で構成されている。

[0069] より詳細には、実施例 2 の素子においては、発光層 3 0 a を構成する第二層 3 2 を、膜厚 2.6 nm、In 組成 30% の InGa_{0.7}N で構成した。また、障壁層 3 0 b を構成する各層については、第三層 3 3 を膜厚 1.5 nm、Al 組成 50% のアンドープ AlGa_{0.5}N で構成し、第一層 3 1 を膜厚 9 nm のアンドープ GaN で構成し、第四層 3 4 を Al 組成 5%、膜厚 9 nm、Si 濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の n 型 AlGa_{0.95}N で構成し、第六層 3 6 を膜厚 5 nm のアンドープ GaN で構成した。

[0070] 参考例 4 の素子は、実施例 2 の素子と比較して、n 型 AlGa_{0.95}N で構成された第四層 3 4 に代えて、アンドープ AlGa_{0.5}N 層 7 4 を備えた点が異なる。その他の点については、各層の厚みも含めて実施例 2 の素子と同一にした。すなわち、参考例 4 の素子において、発光層 6 4 a は、膜厚 2.6 nm、In 組成 30% の InGa_{0.7}N からなる第二層 3 2 で構成され、障壁層 6 4 b は、膜厚 1.5 nm、Al 組成 50% のアンドープ AlGa_{0.5}N からなる第三層 3 3、膜厚 9 nm のアンドープ GaN からなる第一層 3 1、Al 組成 5%、膜厚 9 nm のアンドープ AlGa_{0.05}N 層 7 4、及び膜厚 5 nm のアンドープ

GaNからなる第六層36によって構成される。

[0071] なお、参考例1～4及び実施例1～2の各素子は、活性層(30, 61, 62, 63, 64)の一周期分の膜厚がほぼ等しくなるように各層の膜厚が調整されている。

[0072] 実施例2の素子は、参考例3の素子の障壁層(63b)に含まれるn型GaN層73に代えて、n型AlGaN層(第四層34)を備えた点が異なっている。更に、実施例2の素子は、参考例4の素子の障壁層(64b)に含まれるアンドープAlGaN層74に代えて、n型AlGaN層(第四層34)を備えた点が異なっている。

[0073] 実施例1の素子は、実施例2の素子におけるn型AlGaN層(第四層34)とアンドープGaN層(第一層31)との間に、アンドープAlGaN層(第五層35)を備えた点が異なっている。

[0074] 図9Aは、図7Aと同様に、 25 A/cm^2 の電流密度で実施例1～2及び参考例4の各素子に対して電流を注入したときの発光強度を波長別に対比したグラフである。また、図9Bは、 25 A/cm^2 の電流密度で実施例1～2及び参考例4の各素子に対して電流を注入するときの印加電圧を示す表である。

[0075] 図7A及び図9Aのグラフによれば、実施例1及び実施例2の各素子は、参考例1～4のいずれの素子よりも高い発光強度を示すことが分かる。なお、参考例4の素子においても、参考例1～3の素子と比べると高い発光強度を示している。実施例1～2及び参考例4の各素子は、参考例1～3の各素子と比較して、障壁層にAlGaN層を備えたことで、参考例1～3の各素子と比較して発光層の結晶性が向上したことが光出力を向上させた原因の一つではないかと推察される。

[0076] しかし、図7B及び図9Bの表によれば、参考例4の素子に 25 A/cm^2 の電流密度を注入するために必要な電圧が4Vであり、これは参考例2や参考例3の素子と比較しても高い。これは、参考例1の素子において必要な電圧が高かったのと同様、半導体層をアンドープにしたことに起因すると考え

られる。これに対し、障壁層30bにn型AlGaIn層からなる第四層34を備えた実施例1及び実施例2の素子は、参考例2や参考例3の素子と同様に、 25 A/cm^2 の電流密度を注入するために必要な電圧が3.3～3.4V程度に抑制されている。

[0077] つまり、実施例1及び実施例2の素子によれば、駆動電圧を低く抑えながらも、発光強度の高い発光素子が実現されることが分かる。障壁層30bにn型AlGaIn層を備えることで、ドループ現象を抑制しながら、発光層30aに対して高効率で電子を注入することができたものと推察される。

[0078] なお、図9Aのグラフによれば、実施例2の素子に比べて実施例1の素子は更に発光強度が高められている。この理由は以下のように推察される。

[0079] 実施例2の素子を製造するにあたっては、InGaInからなる発光層30a、アンドープのAlGaInからなる第三層33、アンドープのGaInからなる第一層31を順次成長させた後、n型AlGaInからなる第四層34を成長させる必要がある。つまり、第一層31の成膜が完了した後、第四層34を成長させるべく、Alの原料ガス（例えばTMAl（トリメチルアルミニウム）等）、及びn型ドーパントとなる原料ガス（例えばテトラエチルシラン等）の供給を追加的に開始する必要がある。MOCVD法で窒化物半導体層を成長するに際し、連続する層を成長させる際の成長条件を大きく異ならせた場合、成長条件が急激に変化することで、層の結晶性が悪化する場合がある。

[0080] 実施例1の素子の場合、アンドープのGaInからなる第一層31を成長させた後は、アンドープのAlGaInからなる第五層35を成長させた後、n型AlGaInからなる第四層34を成長させることで実現できる。すなわち、第一層31の成膜が完了した後は、まずAlの原料ガスの供給のみを追加的に開始することで第五層35を成長させればよく、更に第五層35の成膜が完了した後は、n型ドーパントとなる原料ガスの供給のみを追加的に開始することで第三層33を成長させればよい。すなわち、実施例2の素子に比べて第四層34を成長させる際の成長条件の変化を小さくできるため、第四

層 3 4 を良好な結晶性を維持しながら成長させることができる。このため、実施例 1 の素子が実施例 2 の素子よりも更に高い発光強度を示しているものと推察される。

[0081] なお、発光層 3 0 a 及び障壁層 3 0 b が複数周期繰り返されることで構成される活性層 3 0 において、少なくとも p 型半導体層 4 3 に対して最も近くに位置する障壁層 3 0 b（ラストバリアに相当する。）は、n 型 AlGaIn からなる第四層 3 4 を備えない構成とするのがより好ましい。これは、p 型半導体層 4 3 の最も近くに配置された発光層 3 0 a よりも更に p 型半導体層 4 3 に近い位置で電子と正孔が再結合することで、p 型半導体層 4 3 から発光層 3 0 a へと向かう正孔の移動の妨げにならないようにするためである。ただし、ラストバリアが第四層 3 4 を備えた場合であっても、参考例 1～3 の各素子と比較して駆動電圧の低下と発光強度の向上を両立させる効果が得られる。

[0082] なお、ラストバリア以外の全ての障壁層 3 0 b が第四層 3 4 を備えるものとしても構わないし、ラストバリア以外の一部の障壁層 3 0 b が第四層 3 4 を備えるものとしても構わない。障壁層 3 0 b のうち、少なくともいずれかの障壁層 3 0 b が、第四層 3 4 を備えることで、参考例 1～4 の各素子と比較して駆動電圧の低下と発光強度の向上を両立させる効果が得られる。

[0083] [製造方法]

以下、図 1 に示す半導体発光素子 1 の製造方法の一例につき、説明する。なお、以下の製造条件や膜厚等の寸法はあくまで一例であって、これらの数値に限定されるものではない。

[0084] (ステップ S 1)

基板 1 1 の上層にアンドープの GaN 層 1 3 を成長させる。具体的な方法の一例は以下の通りである。

[0085] 基板 1 1 として c 面サファイア基板を準備し、これに対してクリーニングを行う。このクリーニングは、より具体的には、例えば MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: 有機金属化学気相蒸着) 装置の処理炉

内に基板 11（c 面サファイア基板）を配置し、処理炉内に流量が 10 s l m の水素ガスを流しながら、炉内温度を例えば 1150℃に昇温することにより行われる。

[0086] その後、基板 11 の表面に、Ga N よりなる低温バッファ層を形成し、更にその上層に Ga N よりなる下地層を形成することで、アンドープの Ga N 層 13 を形成する。より具体的なアンドープの Ga N 層 13 の形成方法は以下の通りである。

[0087] まず、MOCVD 装置の炉内圧力を 100 k P a、炉内温度を 480℃とする。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量がそれぞれ 5 s l m の窒素ガス及び水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が 50 $\mu\text{mol}/\text{min}$ のトリメチルガリウム（TMG）及び流量が 250000 $\mu\text{mol}/\text{min}$ のアンモニアを処理炉内に 68 秒間供給する。これにより、基板 11 の表面に、厚みが 20 n m の Ga N よりなる低温バッファ層を形成する。

[0088] 次に、MOCVD 装置の炉内温度を 1150℃に昇温する。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が 20 s l m の窒素ガス及び流量が 15 s l m の水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が 100 $\mu\text{mol}/\text{min}$ の TMG 及び流量が 250000 $\mu\text{mol}/\text{min}$ のアンモニアを処理炉内に 60 分間供給する。これにより、低温バッファ層の表面に、厚みが 3 μm の Ga N よりなる下地層を形成する。これら低温バッファ層及び下地層によってアンドープの Ga N 層 13 が形成される。

[0089] なお、基板 11 としては Ga N 基板を用いることも可能である。この場合もサファイア基板のときと同様に、MOCVD 装置内において表面のクリーニングを実行後、MOCVD 装置の炉内温度を 1050℃として、処理炉内にキャリアガスとして流量が 20 s l m の窒素ガス及び流量が 15 s l m の水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が 100 $\mu\text{mol}/\text{min}$ の TMG 及び流量が 250000 $\mu\text{mol}/\text{min}$ のアンモニアを処理炉内に 60 分間供給する。これにより、Ga N 基板の表面に、厚みが 3 μm のアンドープの Ga N 層 13 が形成される。

[0090] (ステップS2)

次に、アンドープのGaN層13の上面にn型半導体層15を形成する。
具体的な方法の一例は以下の通りである。

[0091] 引き続き炉内温度を1150℃とした状態で、MOCVD装置の炉内圧力を30kPaとする。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が20slmの窒素ガス及び流量が15slmの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が94μmol/minのTMG、流量が6μmol/minのトリメチルアルミニウム(TMA)、流量が250000μmol/minのアンモニア及び、n型不純物をドーピングするための、流量が0.025μmol/minのテトラエチルシランを処理炉内に60分間供給する。これにより、例えばAl組成5%のAlGaNで構成され、Si濃度が 3×10^{19} /cm³、厚みが2μmのn型半導体層15がアンドープのGaN層13の上層上面に形成される。

[0092] なお、上記実施形態では、n型半導体層15に含まれるn型不純物をSiとする場合について説明しているが、他のn型不純物としては、Ge、S、Se、Sn及びTeなどを用いることもできる。

[0093] (ステップS3)

次に、n型半導体層15の上面に活性層30を形成する。上述したように、本実施形態の活性層30は、 $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($0.2 \leq x_2 < 1$) からなる第二層32で構成された発光層30aと、アンドープの $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ ($0 < x_3 < 1$) からなる第三層33、アンドープの $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ($0 \leq x_1 \leq 0.01$) からなる第一層31、アンドープの $\text{Al}_{x_5}\text{In}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{N}$ ($0 < x_5 < 1$, $0 \leq y_5 < 1$) からなる第五層35、n型の $\text{Al}_{x_4}\text{In}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ ($0 < x_4 < 1$, $0 \leq y_4 < 1$) からなる第四層34、及びアンドープの $\text{In}_{x_6}\text{Ga}_{1-x_6}\text{N}$ ($0 \leq x_6 \leq 0.01$) からなる第六層36で構成された障壁層30bを有する。

[0094] 本実施形態において、ステップS3は、上記各半導体層(31~36)を成長するステップが複数回実行されることで実現される。なお、このステップS4の間にわたって、MOCVD装置の炉内圧力を100kPa、炉内温

度を 700°C ～ 830°C とし、流量が 15 s l m の窒素ガス、流量が 1 s l m の水素ガス、及び流量が $375000\mu\text{mol}/\text{min}$ のアンモニアが処理炉内に連続供給されるものとしても構わない。

[0095] (ステップS3a)

炉内温度を 690°C として上述した流量で水素ガス、窒素ガス、及びアンモニアを連続供給した状態で、流量が $27.2\mu\text{mol}/\text{min}$ のトリメチルインジウム (TMI)、及び流量が $15.2\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMGを54秒間供給する。これによりIn組成30%のアンドープInGaNで構成された、膜厚 2.6 nm の第二層32が形成される。

[0096] なお、本ステップS3aのように、InGaNを成長させる工程においては、ドロップレットをなるべく抑制し、マイグレーションを進行させる観点から、成長レートを $3\text{ nm}/\text{分}$ 程度とするのが好適である。

[0097] (ステップS3b)

炉内温度を 690°C として、上述した流量で水素ガス、窒素ガス、及びアンモニアを連続供給した状態で、流量が $15.2\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMGと流量が $17.3\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMAを30秒間連続的に供給する。これにより、Al組成45%のアンドープAlGaNで構成された、膜厚 1.5 nm の第三層33が形成される。

[0098] (ステップS3c)

炉内温度を 830°C として、上述した流量で水素ガス、窒素ガス、及びアンモニアを連続供給した状態で、流量が $15.2\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMGを260秒間連続的に供給し、膜厚 9 nm のアンドープGaNで構成された第一層31が形成される。なお、第一層31を低In組成のInGaNで構成する場合には、更に流量が $1\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMIを追加的に供給することで、膜厚 1 nm 、In組成1%のアンドープInGaNからなる第一層31が形成される。なお、ステップS3bの終了後からの昇温の過程で第一層31を形成させることも可能である。

[0099] (ステップS3d)

炉内温度を 830°C として、上述した流量で水素ガス、窒素ガス、及びアンモニアを連続供給した状態で、流量が $15.2\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMGと流量が $0.8\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMAを120秒間連続的に供給する。これにより、Al組成5%のアンドープAlGa_{0.95}Nで構成された、膜厚5nmの第五層35が形成される。なお、第五層35を低In組成のAlInGa_{0.95}Nで構成する場合には、低流量のTMIを追加的に供給すればよい。

[0100] (ステップS3e)

炉内温度を 830°C として、上述した流量で水素ガス、窒素ガス、及びアンモニアを連続供給した状態で、流量が $15.2\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMG、流量が $0.8\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMA、及びn型不純物をドーピングするための、流量が $0.003\mu\text{mol}/\text{min}$ のテトラエチルシランを96秒間連続的に供給する。これにより、Al組成5%、Si濃度 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のn型AlGa_{0.95}Nで構成された、膜厚4nmの第四層34が形成される。

[0101] なお、この第四層34のn型不純物の濃度は、例えば $1\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上 $3\times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下とすることができる。また、第四層34を低In組成のAlInGa_{0.95}Nで構成する場合には、低流量のTMIを追加的に供給すればよい。

[0102] (ステップS3f)

炉内温度を 830°C として、上述した流量で水素ガス、窒素ガス、及びアンモニアを連続供給した状態で、流量が $15.2\mu\text{mol}/\text{min}$ のTMGを130秒間連続的に供給し、膜厚5nmのGa_{0.95}N層を形成する。これによって、膜厚5nmのアンドープGa_{0.95}Nからなる第六層36が形成される。

[0103] 上記ステップS3a～S3fを複数回繰り返し実行することで、発光層30a及び障壁層30bが複数周期積層されてなる活性層30が形成される。

[0104] なお、上述したように、半導体発光素子1は、活性層30の少なくとも最終周期において、第四層34を成長させない構成とするのがより好ましい。この場合、最終周期におけるステップS4dを実行しないものとし、他の周期の障壁層30bとほぼ均等になるように、障壁層30bを構成する第四層

34以外の層の厚みを適宜調整するものとしても構わない。

[0105] また、上述した実施例2の素子のように、第五層35を備えない障壁層30bを含む活性層30を形成する場合には、ステップS3dを行わず、ステップS3a～S3c、及びステップS3e～S3fの各工程を複数回行うものとするればよい。この場合、第五層35を備えない分、第四層34の膜厚を9nm程度に厚く形成することで、障壁層30b全体の膜厚を25nm程度に調整するものとしても構わない。

[0106] (ステップS4)

活性層30の上面にp型半導体層43を形成する。具体的な方法の一例は以下の通りである。

[0107] MOCVD装置の炉内圧力を100kPaに維持し、処理炉内にキャリアガスとして流量が15slmの窒素ガス及び流量が25slmの水素ガスを流しながら、炉内温度を930℃に昇温する。その後、原料ガスとして、流量が100μmol/minのTMG、流量が250000μmol/minのアンモニア、及びp型不純物をドーピングするための、流量が0.1μmol/minのビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を処理炉内に360秒間供給する。これにより、活性層30の上面に、厚みが120nm、p型不純物(Mg)濃度が3×10¹⁹/cm³程度のGaNからなるp型半導体層43が形成される。

[0108] 更に、引き続きCp₂Mgの流量を0.3μmol/minに変更して原料ガスを20秒間供給することにより、厚みが5nmの高濃度p型GaN層からなるコンタクト層を形成してもよい。この場合は、p型半導体層43に当該コンタクト層も含まれる。なお、このコンタクト層のp型不純物(Mg)濃度は、1×10²⁰/cm³程度である。

[0109] なお、上記実施形態では、p型半導体層43に含まれるp型不純物をMgとする場合について説明しているが、Mgの他、Be、Zn、及びCなどを用いることができる。

[0110] (後の工程)

その後のプロセスは、以下の通りである。

[0111] いわゆる「横型構造」の半導体発光素子 1 の場合には、ICPエッチングにより n 型半導体層 15 の一部上面を露出させ、露出した n 型半導体層 15 の上層に n 側電極を、p 型半導体層 43 の上層に p 側電極をそれぞれ形成する。そして、各素子同士を例えばレーザダイシング装置によって分離し、電極に対してワイヤボンディングを行う。ここで、「横型構造」とは、n 型半導体層 15 の上層に形成される n 側電極と、p 型半導体層 43 の上層に形成される p 側電極とが、基板の面に対して平行な方向に配置されてなる構造を指す。

[0112] 一方、いわゆる「縦型構造」の半導体発光素子 1 の場合には、p 型半導体層 43 の上層に p 側電極となる金属電極（反射電極）、ハンダ拡散防止層、及びハンダ層を形成する。そして、ハンダ層を介して、導体又は半導体で構成された支持基板（例えば CuW 基板）を貼り合わせた後、上下を反転させて基板 11 をレーザ照射等の方法により剥離する。その後、n 型半導体層 15 の上層に n 側電極を形成する。以下、横型構造と同様に、素子分離及びワイヤボンディングを行う。ここで、「縦型構造」とは、n 側電極と p 側電極とが、基板の面に対して直交する方向に配置されてなる構造を指す。

[0113] [別実施形態]

以下、別実施形態の半導体発光素子について説明する。

[0114] 〈1〉 上述した半導体発光素子 1 において、アンドープの $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$ ($0 < x3 < 1$) からなる第三層 33 は、障壁層 30b の全ての周期において備えなくてもよい。特に、障壁層 30b のうち、p 型半導体層 43 に近い位置にのみ第三層 33 を備え、n 型半導体層 15 に近い位置には第三層 33 を備えない構成とするのも好適である。これは以下の理由による。

[0115] 上述したように、 AlGaIn で構成された第三層 33 は、 GaN （又は In 組成の低い InGaIn ）で構成される第一層 31 よりもエネルギーバンドギャップが大きいので、電子が p 型半導体層 43 側へと移動する際のエネルギー障壁を構成している。しかし、例えば n 型半導体層 15 に最も近い位置

の障壁層 30b がこの AlGaInN で構成された第三層 33 を備える場合、n 型半導体層 15 の近傍にも第三層 33 によるエネルギー障壁が形成されてしまう。この結果、n 型半導体層 15 から供給される電子が、n 型半導体層 15 に近い位置に形成されたこのエネルギー障壁によって移動が阻まれ、第二層 32（発光層 30a）によって構成される井戸領域内に電子が取り込まれる確率が低下してしまう可能性がある。

[0116] これに対し、n 型半導体層 15 に近い障壁層 30b は第三層 33 を備えない構成とすることで、n 型半導体層 15 側に形成された領域においては電子の移動を阻む高いエネルギー障壁が存在しない。従って、半導体発光素子 1 に電圧を印加すると、第三層 33 が形成された箇所まで活性層 30 内に電子が高い確率で流入する。そして、第三層 33 のエネルギー障壁によって一部の電子の移動が阻まれることで、第二層 32 によって構成される井戸領域に高い確率で電子を取り込むことができる。この結果、井戸領域において電子と正孔を高い確率で再結合させることができる。

[0117] なお、n 型の $\text{Al}_{x4}\text{In}_{y4}\text{Ga}_{1-x4-y4}\text{N}$ ($0 < x4 < 1$, $0 \leq y4 < 1$) からなる第四層 34 を備える障壁層 30b の周期内には、第一層 31 及び第三層 33 が備えられているものとしても構わない。

[0118] 〈2〉 図 10 に示すように、半導体発光素子 1 は、n 型半導体層 15 と活性層 30 の間に、緩和層 20 を追加的に備えるものとしても構わない。この緩和層 20 は、AlInGaInN の単層又は GaN / (Al) InGaInN の超格子層で構成することができる。後者の場合、一例として、GaN 層と InGaInN 層が、いずれも膜厚が 2.5 nm で 10 周期積層されることで形成される。InGaInN 層の In 組成は 7% であり、GaN 層及び InGaInN 層の双方に Si 濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のドーピングが施され、n 型化されている。このように異なるバンドギャップを持つ複数の窒化物半導体の積層体からなる緩和層 20 を活性層 30 と n 型半導体層 15 の間に介在させることで、活性層 30 を成長させる際に結晶を意図的に歪ませることができ、In 組成の高い InGaInN からなる第二層 32 を含む活性層 30 に対する格子歪

みを緩和させて、更に発光効率を向上させる効果が期待される。

[0119] なお、図10に示されるように、緩和層20を含む半導体発光素子1を製造するに際しては、上述したステップS2によってn型半導体層15を形成した後、ステップS3を開始する前に、以下のステップS2Aを実行するものとすればよい。

[0120] (ステップS2A)

緩和層20を超格子層で構成する場合には、下記の方法で製造することができる。まず、MOCVD装置の炉内圧力を100kPa、炉内温度を820℃とする。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が15slmの窒素ガス及び流量が1slmの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が15.2μmol/minのTMG、流量が27.2μmol/minのTMI、流量が0.003μmol/minのテトラエチルシラン及び流量が375000μmol/minのアンモニアを処理炉内に54秒間供給するステップを行う。その後、流量が15.2μmol/minのTMG、及び流量が375000μmol/minのアンモニアを処理炉内に54秒間供給するステップを行う。以下、これらの2つのステップを繰り返すことにより、Si濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚みが2.5nmのIn組成7%のInGa_{0.93}N層及び厚みが2.5nmのGa_{0.93}N層が10周期積層されてなる緩和層20が、n型半導体層15の上面に形成される。

[0121] なお、緩和層20は、低In組成のInGa_{0.93}Nと、高In組成のInGa_{0.93}Nの積層体として構成することも可能である。この場合は、本ステップS2Aとして、流量が15slmの窒素ガス及び流量が1slmの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が15.2μmol/minのTMG、流量が27.2μmol/minのTMI、流量が0.003μmol/minのテトラエチルシラン及び流量が375000μmol/minのアンモニアを処理炉内に54秒間供給するステップと、流量が15.2μmol/minのTMG、流量が1μmol/minのTMI及び流量が375000μmol/minのアンモニアを処理炉内に54秒間供給するステップを

行う。以下、これらの2つのステップを繰り返すことにより、Si濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚みが2.5 nmのIn組成7%のInGa_{0.93}N層及び厚みが2.5 nmのIn組成1%以下のInGa_{0.99}N層が10周期積層されてなる緩和層20が、n型半導体層15の上面に形成される。

[0122] 緩和層20をAlInGa_{0.93}Nの単膜で構成する場合には、下記の方法で製造することができる。まず、MOCVD装置の炉内圧力を100 kPa、炉内温度を820℃とする。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が15 slmの窒素ガス及び流量が1 slmの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が15.2 μmol/minのTMG、流量が27.2 μmol/minのTMI、流量が1 μmol/minのTMA、流量が0.003 μmol/minのテトラエチルシラン及び流量が375000 μmol/minのアンモニアを処理炉内に400秒間供給するステップを行う。これにより、Si濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚みが20 nmのAl組成6%、In組成7%のAlInGa_{0.93}N層からなる緩和層20が、n型半導体層15の上面に形成される。

符号の説明

[0123]	1	:	半導体発光素子
	11	:	基板
	13	:	アンドープGa _{0.93} N層
	15	:	n型半導体層
	20	:	緩和層
	30	:	活性層
	30a	:	発光層
	30b	:	障壁層
	31	:	第一層（アンドープのIn _{x1} Ga _{1-x1} N層）
	32	:	第二層（アンドープのIn _{x2} Ga _{1-x2} N層）
	33	:	第三層（アンドープのAl _{x3} Ga _{1-x3} N層）
	34	:	第四層（n型のAl _{x4} In _{y4} Ga _{1-x4-y4} N層）

3 5	:	第五層（アンドープの $\text{Al}_{x5}\text{In}_{y5}\text{Ga}_{1-x5-y5}\text{N}$ 層）
3 6	:	第六層（アンドープの $\text{In}_{x6}\text{Ga}_{1-x6}\text{N}$ 層）
4 3	:	p 型半導体層
5 7	:	電子ブロック層
6 0	:	比較例 1 の素子が備える活性層
6 0 a	:	比較例 1 の素子が備える発光層
6 0 b	:	比較例 1 の素子が備える障壁層
6 1	:	参考例 1 の素子が備える活性層
6 1 a	:	参考例 1 の素子が備える発光層
6 1 b	:	参考例 1 の素子が備える障壁層
6 2	:	参考例 2 の素子が備える活性層
6 2 a	:	参考例 2 の素子が備える発光層
6 2 b	:	参考例 2 の素子が備える障壁層
6 3	:	参考例 3 の素子が備える活性層
6 3 a	:	参考例 3 の素子が備える発光層
6 3 b	:	参考例 3 の素子が備える障壁層
6 4	:	参考例 4 の素子が備える活性層
6 4 a	:	参考例 4 の素子が備える発光層
6 4 b	:	参考例 4 の素子が備える障壁層
7 1	:	アンドープ Ga N 層
7 2	:	アンドープ Ga N 層
7 3	:	n 型 Ga N 層
7 4	:	アンドープ Al Ga N 層

請求の範囲

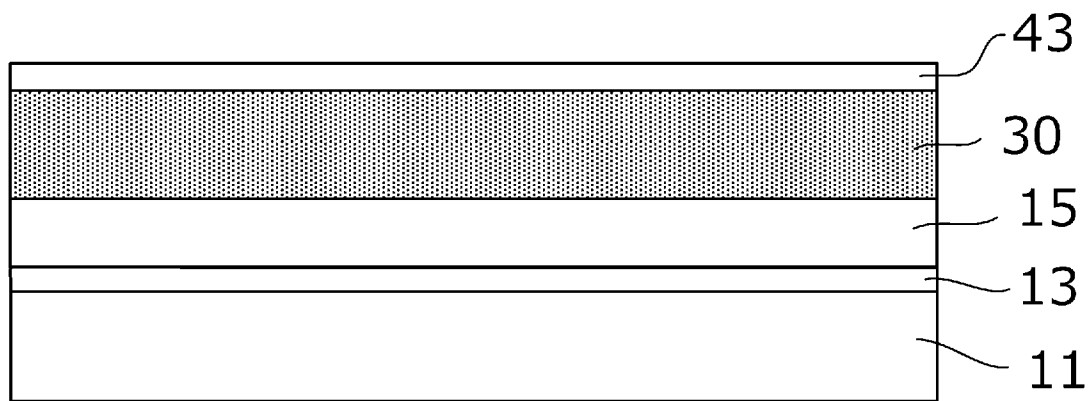
- [請求項1] 主たる発光波長が520nm以上の半導体発光素子であって、
窒化物半導体からなるn型半導体層と、
前記n型半導体層の上層に形成された、窒化物半導体からなる活性層と、
前記活性層の上層に形成された、窒化物半導体からなるp型半導体層とを備え、
前記活性層は、アンドープの $\text{In}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ ($0 \leq x1 \leq 0.01$) からなる第一層を含む障壁層と、 $\text{In}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ ($0.2 \leq x2 < 1$) からなる第二層を含む発光層との積層体が複数周期繰り返されることで構成されており、
前記障壁層は、少なくともいずれかの周期内において、アンドープの $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$ ($0 < x3 < 1$) からなる第三層と、前記第三層の上層に形成された前記第一層と、前記第一層の上層に形成されたn型の $\text{Al}_{x4}\text{In}_{y4}\text{Ga}_{1-x4-y4}\text{N}$ ($0 < x4 < 1$, $0 \leq y4 < 1$) からなる第四層とを含むことを特徴とする半導体発光素子。
- [請求項2] 前記障壁層は、少なくともいずれかの周期内において、前記第三層と、前記第三層の上層に形成された前記第一層と、前記第一層の上層に形成されたアンドープの $\text{Al}_{x5}\text{In}_{y5}\text{Ga}_{1-x5-y5}\text{N}$ ($0 < x5 < 1$, $0 \leq y5 < 1$) からなる第五層と、前記第五層の上層に形成された前記第四層とを含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。
- [請求項3] 前記障壁層は、少なくともいずれかの周期内において、前記第三層と、前記第三層の上層に形成された前記第一層と、前記第一層の上層に形成された前記第四層と、前記第四層の上層に形成されたアンドープの $\text{In}_{x6}\text{Ga}_{1-x6}\text{N}$ ($0 \leq x6 \leq 0.01$) からなる第六層を含み、
前記p型半導体層に最も近い周期を除く少なくともいずれかの周期内の前記障壁層が含む前記第六層の上面に、前記発光層を構成する

前記第二層が配置されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体発光素子。

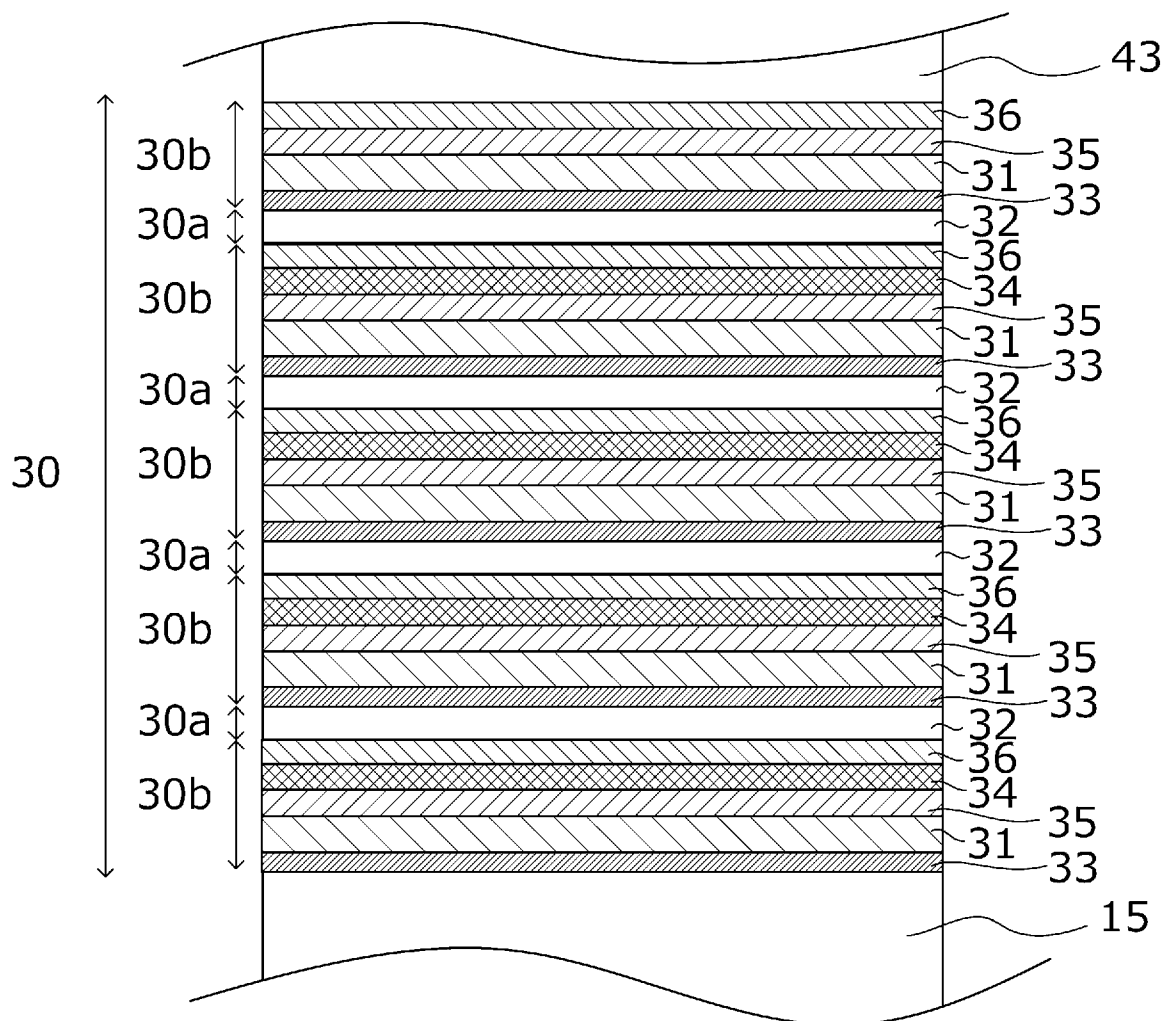
[請求項4] 前記障壁層は、前記 p 型半導体層に最も近い周期内において前記第四層を含まないことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

[請求項5] 前記第二層は、 $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($0.25 \leq x_2 \leq 0.35$) で構成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

[図1]

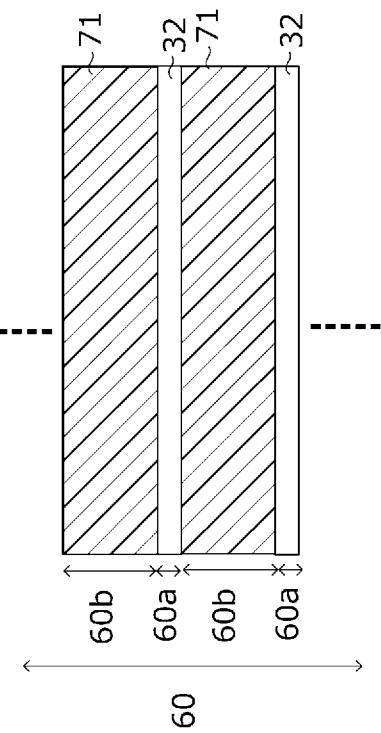
1

[図2]

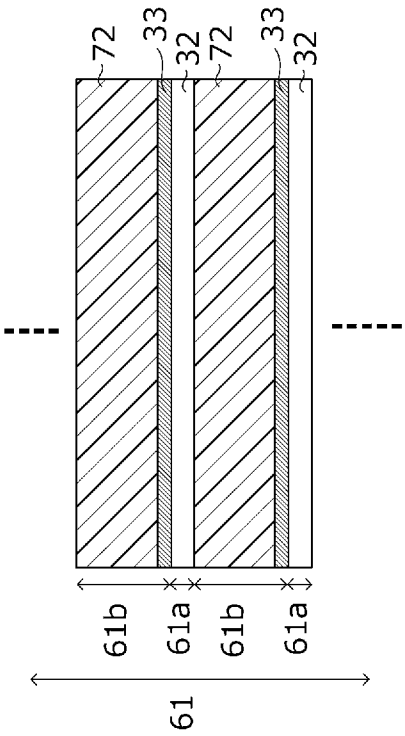


[図3]

(a) 比較例1

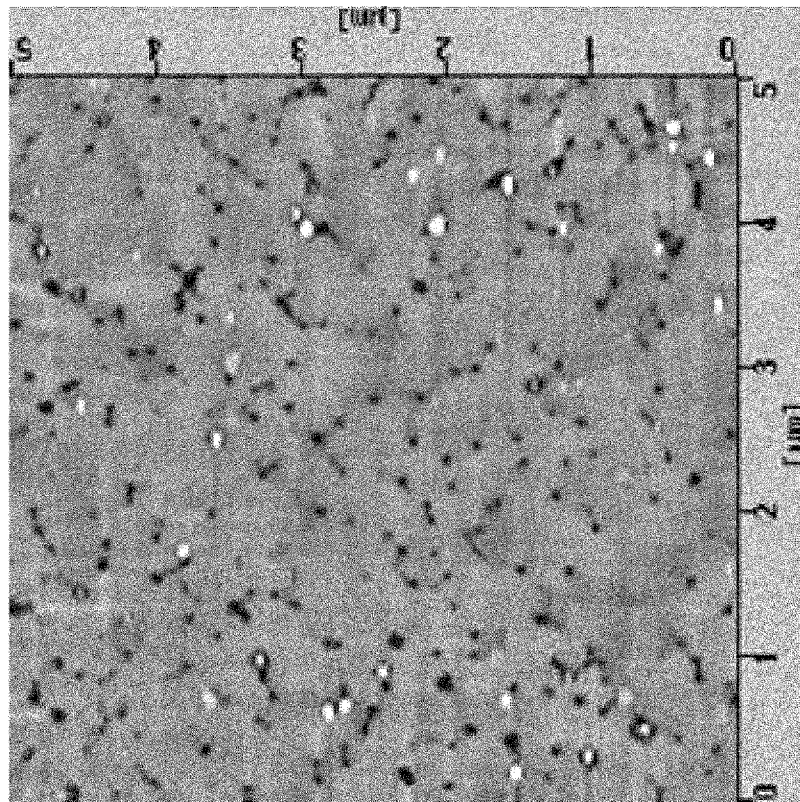


(b) 参考例1

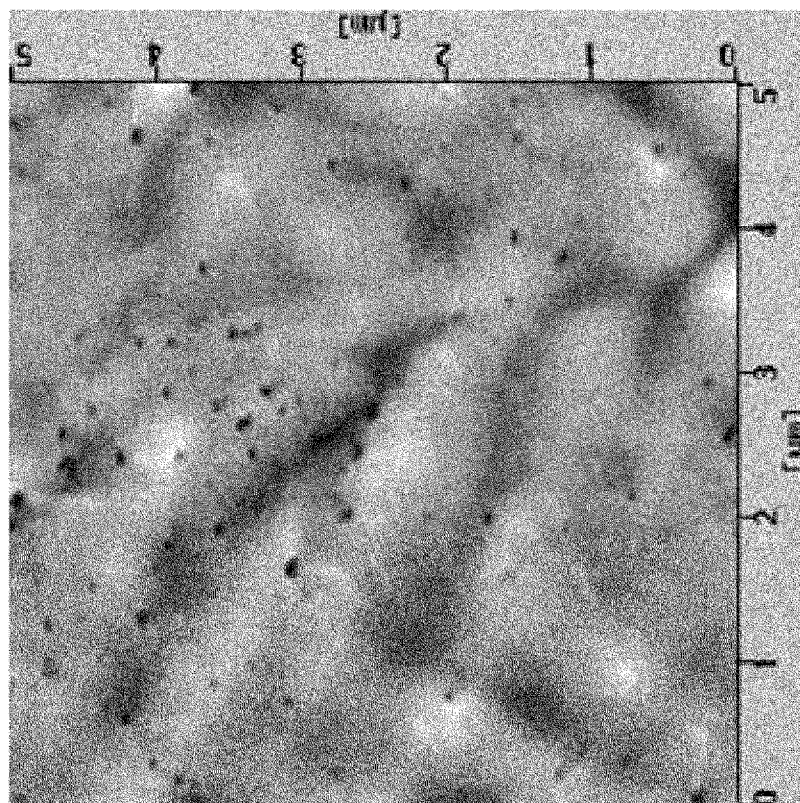


[図4]

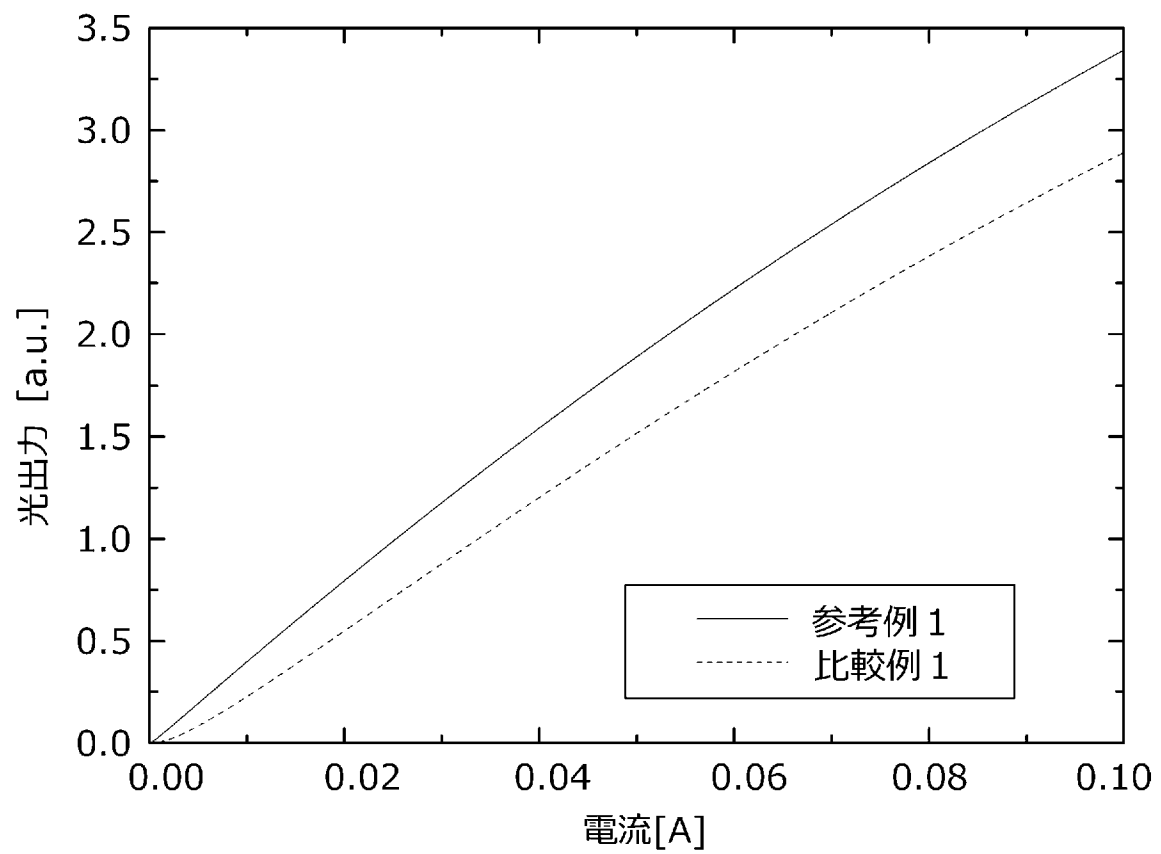
(b)



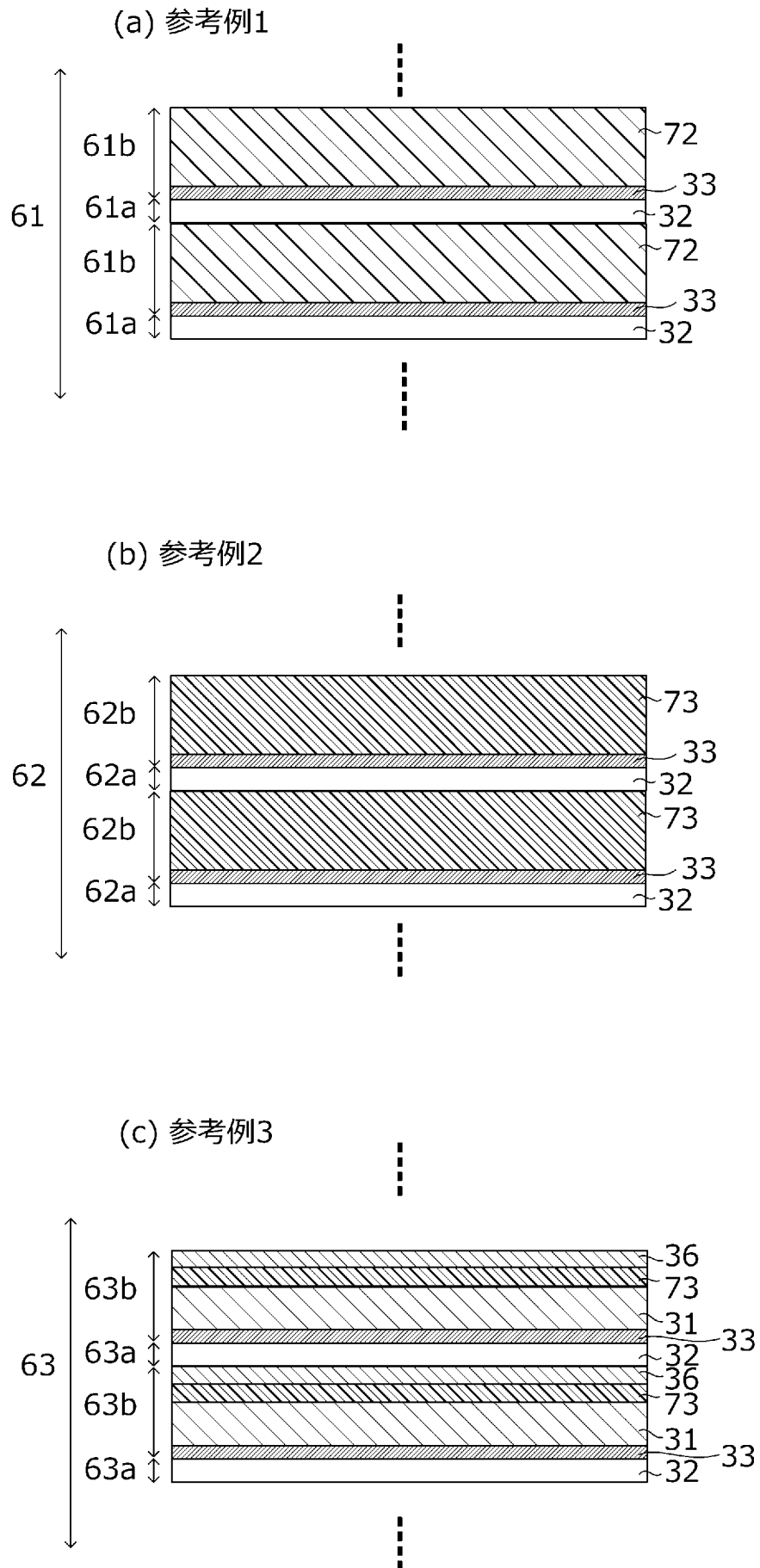
(a)



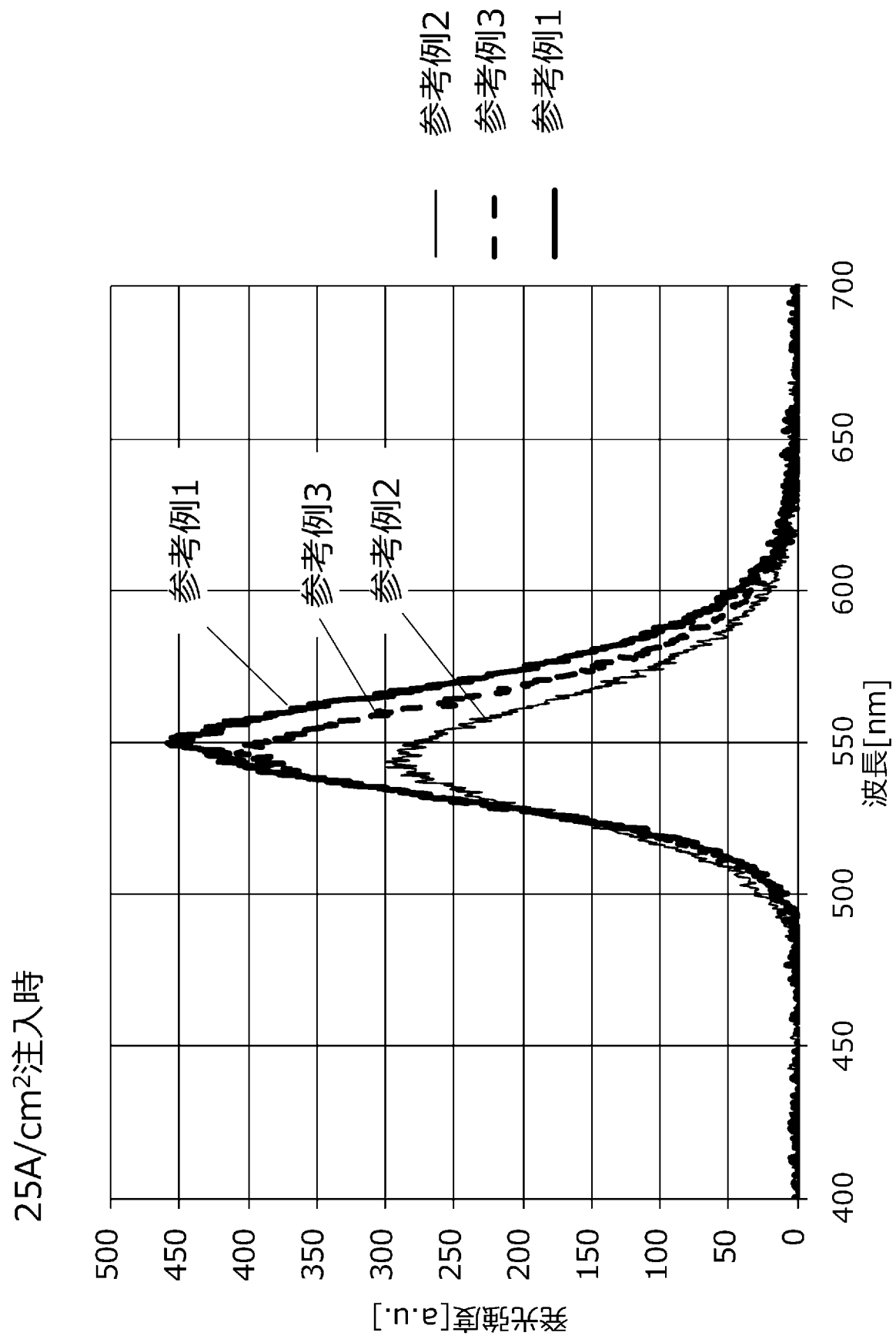
[図5]



[図6]



[図7A]



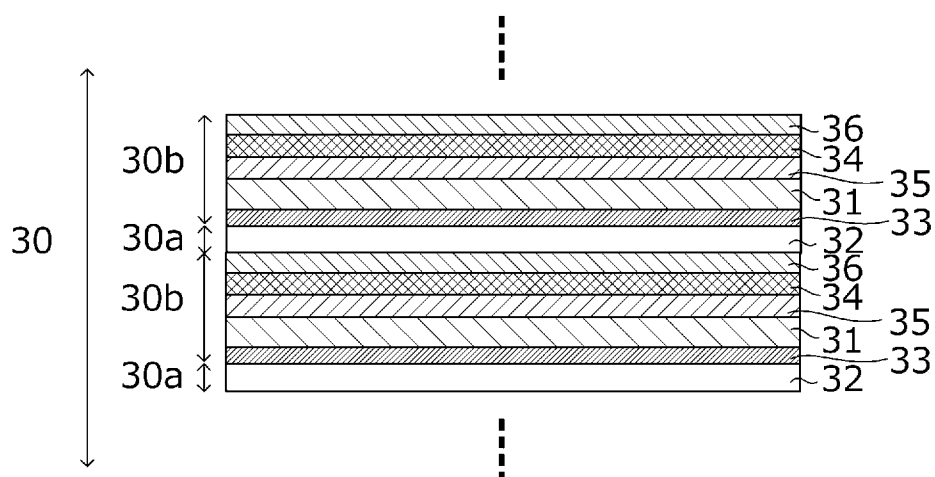
[図7B]

25A/cm²注入時

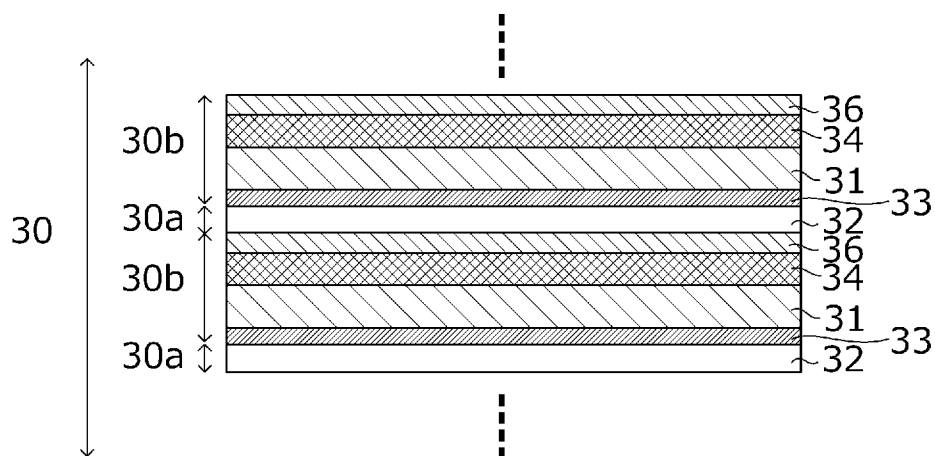
サンプル	電圧
参考例 1	3.9 V
参考例 2	3.3 V
参考例 3	3.4 V

[図8]

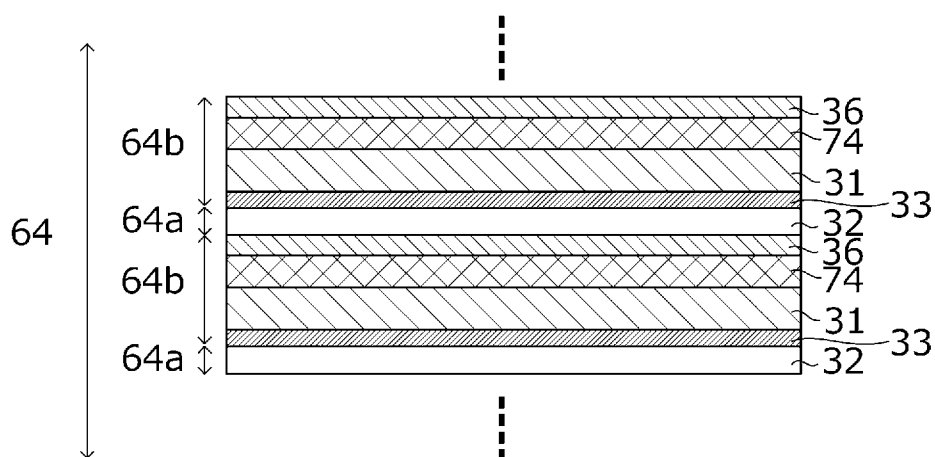
(a) 実施例1



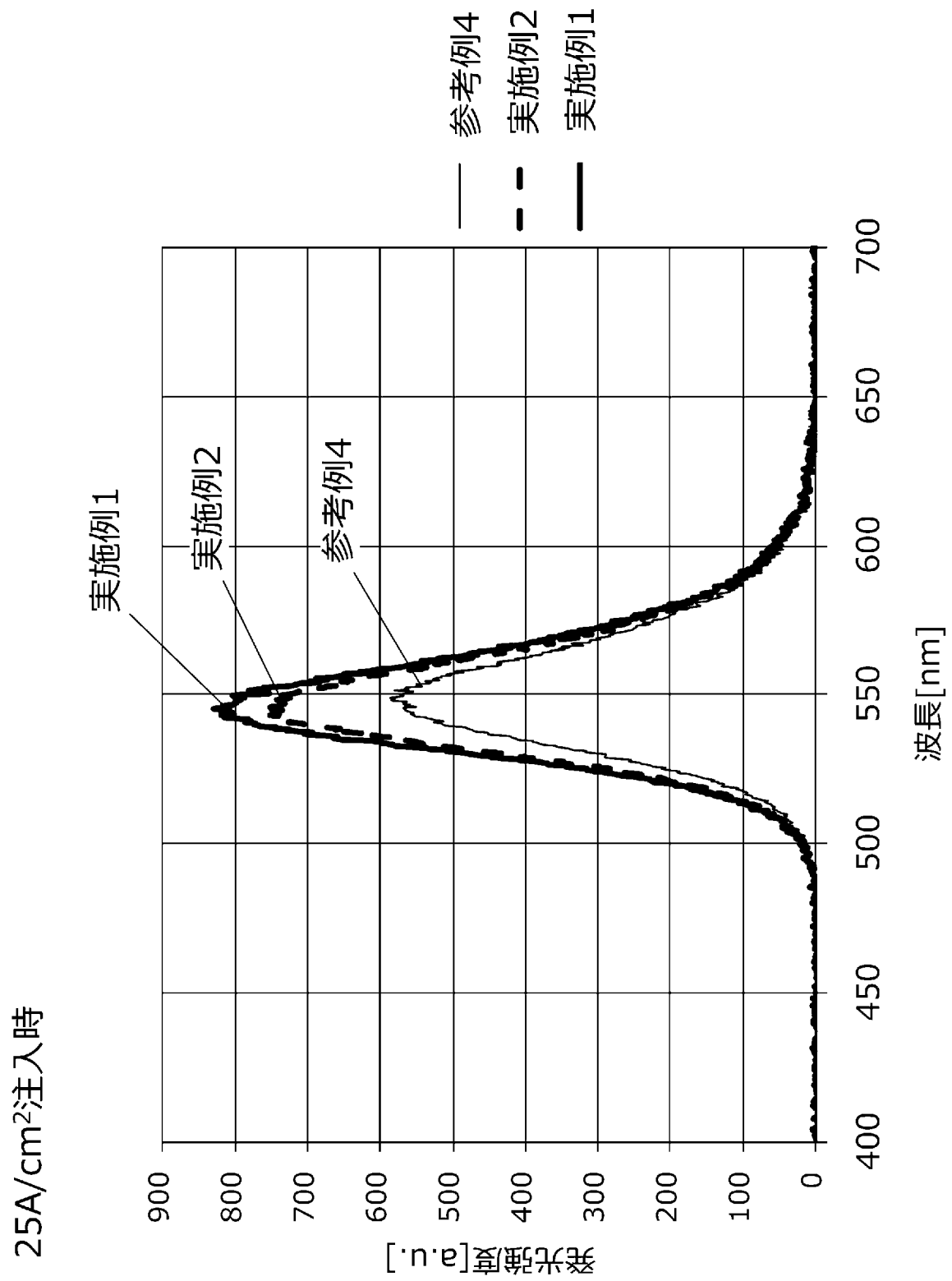
(b) 実施例2



(c) 参考例4



[図9A]

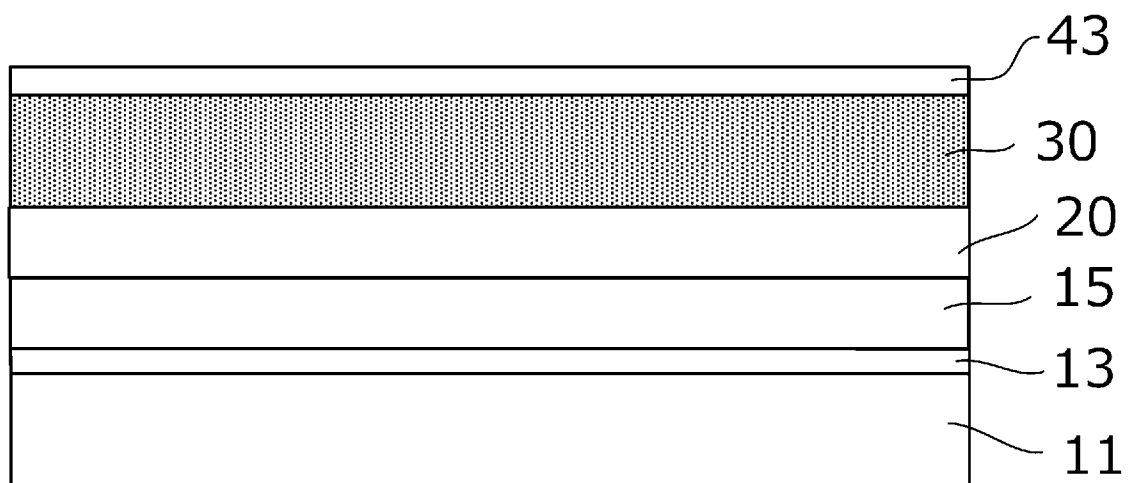


[図9B]

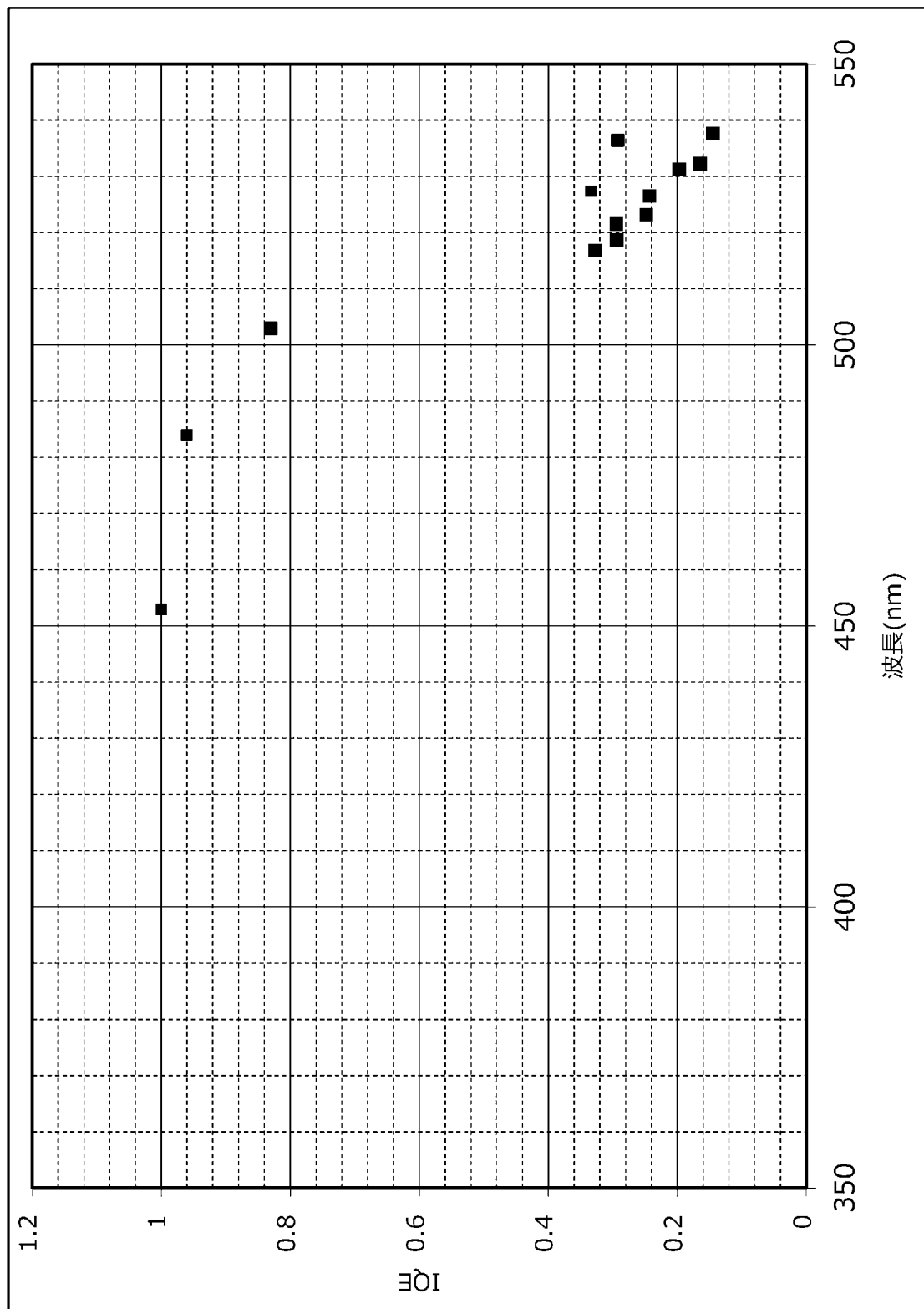
25A/cm²注入時

サンプル	電圧
参考例4	4.0 V
実施例1	3.4 V
実施例2	3.35 V

[図10]

1

[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/053352

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/06(2010.01) i, H01L33/32(2010.01) 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-H01L33/64

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
Y A	JP 2011-187621 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0021] to [0038]; fig. 1 to 4 & US 2013/0001512 A1 paragraphs [0031] to [0048]; fig. 1 to 4 & WO 2011/111606 A1 & EP 2549599 A1 & TW 201145573 A & CN 102792533 A & KR 10-2013-0012115 A	1, 3-5 2
Y A	JP 2001-102629 A (Nichia Corp.), 13 April 2001 (13.04.2001), paragraphs [0012] to [0040], [0055] (Family: none)	1, 3-5 2

☒ 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
30 March 2016 (30.03.16)

Date of mailing of the international search report
12 April 2016 (12.04.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/053352

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2011-258994 A (Toshiba Corp.), 22 December 2011 (22.12.2011), paragraphs [0002], [0006] to [0030]; fig. 2 & JP 2010-80955 A & US 2010/0187497 A1 paragraphs [0015] to [0038]; fig. 2 & WO 2010/024436 A1 & EP 2325899 A1 & KR 10-2011-0034689 A & CN 102138227 A	1, 3-5 2
A	JP 2008-311658 A (Seoul Opto Device Co., Ltd.), 25 December 2008 (25.12.2008), paragraphs [0013], [0066] to [0087]; fig. 5, 13 to 19 & JP 2013-118412 A & US 2008/0308787 A1 paragraphs [0019], [0103] to [0128]; fig. 5, 13 to 19 & KR 10-2009-0003465 A & KR 10-0875444 B1 & KR 10-0868205 B1	1-5
A	JP 2004-15072 A (Nichia Corp.), 15 January 2004 (15.01.2004), paragraphs [0007] to [0024]; fig. 1 (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L33/06(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)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- H01L33/64

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
Y A	JP 2011-187621 A（日亜化学工業株式会社） 2011.09.22, [0021]～[0038], 図1～図4 & US 2013/0001512 A1, [0031]～[0048], FIG.1～FIG.4 & WO 2011/111606 A1 & EP 2549599 A1 & TW 201145573 A & CN 102792533 A & KR 10-2013-0012115 A	1, 3-5 2

☒ 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

30.03.2016

国際調査報告の発送日

12.04.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
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）

吉野 三寛

2K

6204

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
Y A	JP 2001-102629 A (日亜化学株式会社) 2001. 04. 13, [0012]～[0040], [0055] (ファミリーなし)	1, 3-5 2
Y A	JP 2011-258994 A (株式会社東芝) 2011. 12. 22, [0002], [0006]～[0030], 図 2 & JP 2010-80955 A & US 2010/0187497 A1, [0015]～[0038], FIG. 2 & WO 2010/024436 A1 & EP 2325899 A1 & KR 10-2011-0034689 A & CN 102138227 A	1, 3-5 2
A	JP 2008-311658 A (ソウル オプト デバイス カンパニー リミ テッド) 2008. 12. 25, [0013], [0066]～[0087], 図 5, 図 13～図 19 & JP 2013-118412 A & US 2008/0308787 A1, [0019], [0103]～[0128], FIG. 5, FIG. 13～ FIG. 19 & KR 10-2009-0003465 A & KR 10-0875444 B1 & KR 10-0868205 B1	1-5
A	JP 2004-15072 A (日亜化学株式会社) 2004. 01. 15, [0007]～[0024], 図 1 (ファミリーなし)	1-5