

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5520178号
(P5520178)

(45) 発行日 平成26年6月11日(2014.6.11)

(24) 登録日 平成26年4月11日(2014.4.11)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 33/32	(2010.01)	HO 1 L 33/00	1 8 6	
HO 1 L 33/16	(2010.01)	HO 1 L 33/00	1 6 0	
HO 1 L 33/10	(2010.01)	HO 1 L 33/00	1 3 0	

請求項の数 2 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2010-214230 (P2010-214230)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成22年9月24日 (2010.9.24)		日本電信電話株式会社
(62) 分割の表示	特願2006-77447 (P2006-77447) の分割		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
原出願日	平成18年3月20日 (2006.3.20)	(74) 代理人	110001243 特許業務法人 谷・阿部特許事務所
(65) 公開番号	特開2010-283399 (P2010-283399A)	(72) 発明者	谷保 芳孝 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
(43) 公開日	平成22年12月16日 (2010.12.16)	(72) 発明者	嘉数 誠 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
審査請求日	平成22年9月24日 (2010.9.24)	(72) 発明者	牧本 俊樹 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光ダイオード

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長200nmから300nmの紫外光を発光する発光ダイオードであって、
AlN基板上に形成された発光層を $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層とし、前記 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層の各組成を $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0.7$ 、 $0 < Z < 0.15$ の範囲とし、前記基板の面方位は $\langle 0001 \rangle$ 方位とし、前記 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層の端面の一部と前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位とのなす角 θ を $10^\circ < \theta < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta < 170^\circ$ とする複数の底面が平坦な溝が形成され、前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位から光を取り出すことを特徴とする発光ダイオード。

【請求項2】

波長200nmから300nmの紫外光を発光する発光ダイオードであって、
AlN基板上に形成された発光層をAlN層とし、前記基板の面方位は $\langle 0001 \rangle$ 方位とし、前記AlN層の端面の一部と前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位とのなす角 θ を $10^\circ < \theta < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta < 170^\circ$ とする複数の底面が平坦な溝が形成され、前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位から光を取り出すことを特徴とする発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体発光素子に関し、より詳細には、200nmから300nmの波長の光を高効率に発光する半導体発光素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

環境、衛生、医療、バイオなどの幅広い分野で、波長が200nmから300nmの範囲の紫外光が利用されている。例えば、波長250nmの紫外光は、バクテリアを効率よく死滅できることから、水の浄化や殺菌などに用いられている。また、有害物質の検出、細胞の選別、紫外光治療などには、300nm以下の波長の紫外光が利用されている。

【0003】

現在、重水素ランプや水銀ランプなどのガス光源が用いられている。しかし、大型、寿命が短い、持ち運びができない、有害ガスを含むなどの問題がある。そのため、同様な発光波長を持ち、小型、長寿命、持ち運び可能、安全な紫外光光源が強く望まれている。

10

【0004】

半導体発光素子は、小型化が容易である。紫外光域での半導体発光素子用の材料のひとつに、窒化物半導体である窒化アルミニウムガリウムインジウムボロン ($Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$) 層がある。この窒化物半導体の、有害性は極めて低い。 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層は、直接遷移型のバンド構造を有し、Al組成Xがおおよそ0.3以上において発光波長が300nm以下となる。また、各組成X、Y、Zを調整することで、発光波長を1.5μmから180nmの間で連続的に可変できる特性がある。そして、窒化アルミニウム (AlN) は、波長205nm付近で発光する。

【0005】

しかしながら、発光ダイオード (LED) や半導体レーザー (LD) などの半導体発光素子において、その発光効率は発光波長が300nm以下になると極めて低い。また、パルス電圧で駆動しないと高い発光出力が得られないなどの大きな問題がある。これにより、300nm以下の光を発光する高効率、長寿命、直流駆動の半導体発光素子を作製することは極めて困難である。以下に、半導体発光素子の2つの報告例について述べる。

20

【0006】

<報告例1>

図1を参照して、発光層に $Al_{1-x}Ga_xN$ を用いた発光ダイオードに関し、非特許文献1に記載されている報告例について述べる。この報告例では、図1に示す発光ダイオード100を有機金属気相成長 (MOCVD) 法により作製している。基板102には Al_2O_3 (0001) 面を使用している。まず、AlNバッファ層104 (膜厚0.3μm)、AlN/ $Al_{0.85}Ga_{0.15}N$ 超格子層106、n型 $Al_{0.72}Ga_{0.28}N$ 層108、発光層として $Al_{0.58}Ga_{0.42}N$ / $Al_{0.65}Ga_{0.35}N$ 多重量子井戸層 (3周期) 110、p型 $Al_{0.72}Ga_{0.28}N$ 層 (膜厚20nm) 112、p型 GaN 層114を成長させている。n型電極122はn型 $Al_{0.72}Ga_{0.28}N$ 層108上に、p型電極124はp型 GaN 層114上にそれぞれ形成されている。素子サイズは150μm×150μmである。

30

【0007】

図2に示すように、この場合、 Al_2O_3 基板の <0001> 面方位は、成長表面、つまり Al_2O_3 (0001) 面と垂直である。発光層である $Al_{0.58}Ga_{0.42}N$ / $Al_{0.65}Ga_{0.35}N$ 多重量子井戸層110は Al_2O_3 基板102にエピタキシャル成長するため、 $Al_{0.58}Ga_{0.42}N$ / $Al_{0.65}Ga_{0.35}N$ 多重量子井戸層110の <0001> 方位と Al_2O_3 基板102の <0001> 面方位は平行である。そして、発光層110で発光した光は、基板102の裏面側、つまり、発光層110の <0001> 方位方向から取出している。また、本構造では、発光層110の端面を <0001> 方位と平行にしている。

40

【0008】

本発光ダイオード100の発光波長は、250nmである。パルス電流300mA (パルス幅200ns、デューティ比0.2%) の条件下において、出力は0.16mW、外部量子効率は0.01%と低い。つまり、この構造では、重水素ランプや水銀ランプなどのガス光源に代わる、波長200nmから300nmの間の光を高効率に発光する半導体発光素子を作製することができない。

50

【0009】

<報告例2>

次に、図3を参照して、発光層にInGa_nN/GaN多重量子井戸層を用い、p型GaN表面にナノメートルサイズの凹凸を形成した発光ダイオードに関し、非特許文献2に記載されている報告例について述べる。この報告例では、図3に示す発光ダイオード300をMOCVD法により作製している。基板302にはAl₂O₃(0001)面を使用している。まず、n型GaN層304、発光層としてInGa_nN/GaN多重量子井戸層306、p型GaN層308を成長させている。p型GaN層308上にクラスター化したPtを形成し、それをマスクとしてn型GaN層308の表面にナノメートルサイズの凹凸をドライエッチングにより形成している。n型電極322はn型GaN層304上に、p型電極324はp型GaN層308上に形成した。この場合、発光層であるInGa_nN/GaN多重量子井戸層306はAl₂O₃基板302にエピタキシャル成長するため、InGa_nN/GaN多重量子井戸層306の<0001>方位とAl₂O₃基板302の<0001>面方位は平行である。そして、発光層で発光した光は、p型電極324の上方側、つまり、発光層306の<0001>方位方向から取出している。また、本構造では、発光層306の端面を<0001>方位と平行にしている。

10

【0010】

本発光ダイオード300の発光波長は、直流電流20mAの条件下において、470nmである。発光出力は、ナノメートルサイズの凹凸を形成することにより最大で1.9倍増加した。これは、p型GaN層308の表面での光の反射や屈折が、凹凸により変化し、光の取出し効率が向上するためである。

20

【0011】

しかし、発光層にAlを含まないInGa_nN/GaN多重量子井戸発光層306では、発光波長を360nm以下にすることはできない。また、発光層上部のp型層に凹凸を形成した構造では、光の発光強度が2倍程度増加するだけで、それ以上飛躍的に増加することはできない。つまり、この構造では、重水素ランプや水銀ランプなどのガス光源に代わる、波長200nmから300nmの間の光を高効率に発光する半導体発光素子を作製することができない。

【先行技術文献】

【非特許文献】

30

【0012】

【非特許文献1】V. Adivarahan他，“APPLIED PHYSICS LETTER”，Vol. 85, No. 12, PP. 2175 - 2177, 2004年

【非特許文献2】Eun-Jeong Kang他，“Improvement in Light-Output Power of InGa_nN/GaN LED by Formation of Nanosize Cavities on p-GaN Surface”，8, Electrochemical and Solid-State Letter, G327 - 329, 2005年

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、波長200nmから300nmの間の光を高効率で発光する半導体発光素子である発光ダイオードを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、波長200nmから300nmの紫外光を発光する発光ダイオードであって、AlN基板上に形成された発光層をAl_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N層とし、前記Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N層と、

50

γ -z N層の各組成を $0.3 < X < 1, 0 < Y < 0.7, 0 < Z < 0.15$ の範囲とし、前記基板の面方位は $\langle 0001 \rangle$ 方位とし、前記 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N層の端面の一部と前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位とのなす角 θ_2 を $10^\circ < \theta_2 < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta_2 < 170^\circ$ とする複数の底面が平坦な溝が形成され、前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位から光を取り出すことを特徴とする。

【0015】

請求項2に記載の発明は、波長 200 nm から 300 nm の紫外光を発光する発光ダイオードであって、AlN基板上に形成された発光層をAlN層とし、前記基板の面方位は $\langle 0001 \rangle$ 方位とし、前記AlN層の端面の一部と前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位とのなす角 θ_2 を $10^\circ < \theta_2 < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta_2 < 170^\circ$ とする複数の底面が平坦な溝が形成され、前記基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位から光を取り出すことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、波長 200 nm から 300 nm の間の光を高効率で発光する半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】従来の窒化物半導体を用いた発光ダイオードの断面構造図。

【図2】六方晶構造の結晶面と面方位の関係を説明するための図。

【図3】表面に凹凸加工を施した従来の窒化物半導体を用いた発光ダイオードの断面構造図。

20

【図4】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N層の発光強度の測定系を説明するための図。

【図5】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N層の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向のなす角 θ を変化させた場合の発光強度の変化を示す図。

【図6】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N発光層の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向が 90° の角度をなす発光ダイオードの断面構造図。

【図7】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N発光層の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向が 90° の角度をなす発光ダイオードの作製手順を説明するための図。

【図8】参考例の発光ダイオードの発光スペクトルと、従来構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す図。

30

【図9】AlN発光層の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向が 90° の角度をなす発光ダイオードの断面構造図。

【図10】参考例の発光ダイオードの発光スペクトルと、従来構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す図。

【図11】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N発光層の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向が θ_1 の角度を有する発光ダイオードの断面構造図。

【図12】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N発光層の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向のなす角 θ_1 を変化させた場合の外部量子効率の変化を示す図。

【図13】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N発光層の端面と $\langle 0001 \rangle$ 方位が θ_2 の角度を有する発光ダイオードの断面構造図。

40

【図14】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N発光層の端面と $\langle 0001 \rangle$ 方位が θ_2 の角度を有する発光ダイオードの作製手順を説明するための図。

【図15】 $A_{1-x}Ga_yIn_zB_{1-x-y-z}$ N発光層の端面と $\langle 0001 \rangle$ 方位のなす角 θ_2 を変化させた場合の外部量子効率の変化を示す図。

【図16】発光層とそれに接する層の界面が複数の面方位を有する発光ダイオードの断面構造図。

【図17】発光層とそれに接する層の界面が複数の面方位を有する発光ダイオードの作製手順を説明するための図。

【図18】n型伝導性半導体の $\langle 0001 \rangle$ 面方位基板表面に高さ T_1 の段差を有する発光ダイオードの断面構造図。

50

【図19】n型伝導性半導体の $\langle 0001 \rangle$ 面方位基板表面に高さT1の段差を有する発光ダイオードの作製手順を説明するための図。

【図20】基板表面の段差の高さT1と発光強度の関係を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明によれば、発光層を $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層とし、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層の各組成を $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0.7$ 、 $0 < Z < 0.15$ の範囲とした窒化物半導体を用いた半導体発光素子が開示される。さらに、本発明によれば、光取出し方向を発光層である $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層の $\langle 0001 \rangle$ 方位から傾斜させた半導体発光素子が開示される。

10

【0019】

発光層に $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ を用いた半導体発光素子において、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層の組成X、Y、Zを限定的な範囲とするとともに、光取出し方向を $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層の $\langle 0001 \rangle$ 方位から傾斜させた点が、従来の技術と異なる点である。

【0020】

図4および5を参照して、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層の発光強度を高くする光取出し方向について説明する。図4にその測定系の概略を示す。 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404(膜厚200nm)は、有機金属気相成長法(MOCVD法)を用いて、AlN基板402上に作製されている。Al原料としてトリメチルアルミニウム(TMA)、B原料としてトリエチルボロン(TEB)、Ga原料としてトリメチルガリウム(TMGa)、In原料としてトリメチルインジウム(TMI)、N原料としてアンモニア(NH₃)を用いている。なお、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404の各組成を $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0.7$ 、 $0 < Z < 0.15$ の範囲にすることで、発光波長を200nmから300nmの範囲に調整できる。 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404からのフォトルミネッセンスの発光強度は光検出器406で測定される。ここでは、基板402の表面と垂直方向、つまり基板402の面方位の方向に光検出器406を設置し、その方向を光取出し方向とする。

20

【0021】

$Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向のなす角 θ を変化させるため、異なる面方位のAlN基板や傾斜角の異なるAlN基板を用いた。この場合、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404はAlN基板402上にエピタキシャル成長するため、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404の $\langle 0001 \rangle$ 方位はAlN基板402の $\langle 0001 \rangle$ 方位と一致する。例えば、AlN(0001)基板の場合は $\theta = 0^\circ$ となり、AlN(1-100)基板の場合は $\theta = 90^\circ$ となる。基板402の面方位が異なることによる $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404の結晶性や表面モフォロジーの変化はない。

30

【0022】

図5に、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向のなす角 θ と発光強度の関係を示す。 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404の各組成は(A) $X = 0.58$ 、 $Y = 0.4$ 、 $Z = 0.015$ 、(B) $X = 0.3$ 、 $Y = 0.68$ 、 $Z = 0.015$ 、(C) $X = 1$ 、 $Y = 0$ 、 $Z = 0$ (AlN)、(D) $X = 0$ 、 $Y = 1$ 、 $Z = 0$ (GaN)、(E) $X = 0$ 、 $Y = 0.8$ 、 $Z = 0.2$ (InGaN)とした。それぞれの発光波長は(A) 250nm、(B) 300nm、(C) 205nm、(D) 365nm、(E) 450nmである。ただし、それぞれの発光層を用いた場合の発光強度は、 θ が0度である、(0001)面方位基板を用いた、従来構造の値で規格化している。

40

【0023】

図5中の(A)、(B)、(C)で示されるように、発光波長が300nm以下、つまり、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層404の各組成が $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0$

50

. 7、0 Z 0.15の範囲の場合、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層発光層404の<0001>方位と光取出し方向のなす角を0度より増加することで、発光強度を増加できる。

【0024】

上記(B)の場合、すなわち発光波長が300nmの場合、 θ が0度である従来構造と比較して、 θ が10度以上で発光強度は2倍以上、 θ が30度以上で発光強度は4倍以上増加する。また上記(C)の場合、すなわち発光波長が205nmの場合、 θ が0度である従来構造と比較して、 θ が10度以上で発光強度は8倍以上、 θ が30度以上で発光強度は40倍以上増加する。

【0025】

このように、発光波長が短くなるほど、つまり、Al組成が増加するほど、効果は大きく、飛躍的に発光強度を増加できる。ただし、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層404の各組成が0.3 X 1、0 Y 0.7、0 Z 0.15の範囲から外れた場合、 θ を増加しても、発光強度を増加させることはできない。

【0026】

一方、図5中の(D)、(E)で示されるように、発光波長が300nm以上の場合、つまり、Al組成Xが0.3以下の場合、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層404の<0001>方位と光取出し方向のなす角を増加しても、発光強度はむしろ低下する。

【0027】

以上より、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層404の各組成が限定的な範囲において、光取出し方向を $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層404の<0001>方位から傾斜させた場合に、発光強度を飛躍的に増加させることができる。上記 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層404の表面は平坦であり、凹凸を形成する加工は施していない。つまり、表面形状は同じであり、表面形状に起因した反射、屈折の影響はない。従って、光取出し方向を $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層404の<0001>方位から傾斜することで発光強度を高くできることは、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層404の各組成が0.3 X 1、0 Y 0.7、0 Z 0.15の場合にのみ効果があり、本質的なものである。以下に記す本発明の実施例は上記に基づくものである。

【0028】

以上説明したように、本発明によれば、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層の各組成が0.3 X 1、0 Y 0.7、0 Z 0.15の範囲では、光取出し方向を $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層の<0001>方位から傾斜させた場合に、波長200nmから300nmの間の光を高い効率で取出すことができる。

【0029】

また、本発明を、波長が200nmから300nmの間の半導体発光素子に適用すれば、高い発光効率を得られ、その結果、低消費エネルギーで高い発光出力を有し、直流電圧駆動でも安定に動作する、波長が200nmから300nmの間の半導体発光素子を作製することができる。

【0030】

<参考例1>

図6～8を参照して半導体発光素子の参考例を説明する。

図6および7に、発光層を $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層とした本参考例の発光ダイオード600の断面構造およびその製作方法をそれぞれ示す。

【0031】

図6に示す発光ダイオード600は、AlN(1-100)基板602上に順次作製された、アンドープAlN層604と、Siドープn型 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層606と、アンドープ $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N発光層608と、Mgドープp型 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層610とを備える。また、発光ダイオード600は、Siドープn型 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層606上に形成されたn型電極622と、Mgドープp型 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z}$ N層610上に形成された

10

20

30

40

50

p型電極624とをさらに備える。

【0032】

$Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層は、有機金属気相成長法(MOCVD法)により作製した。 Al 原料としてトリメチルアルミニウム(TMA)、 B 原料としてトリエチルボロン(TEB)、 Ga 原料としてトリメチルガリウム(TMg)、 In 原料としてトリメチルインジウム(TMI)、 N 原料としてアンモニア(NH_3)、シリコン(Si)ドーパント原料としてシラン(SiH_4)、 Mg ドーパント原料としてビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp_2Mg)を用いた。成長温度は1200である。

【0033】

図7に示すように、本参考例の発光ダイオードは、まず、(1) AlN (1-100)基板602上にアンドープ AlN 層604(膜厚1 μm)をエピタキシャル成長させる。 10

(2)次いで、アンドープ AlN 層604上に、Siドーブn型 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層606(膜厚0.5 μm 、 $X=0.75$ 、 $Y=0.24$ 、 $Z=0.01$ 、 Si 濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(3)次いで、Siドーブn型 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層606上に、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層608(膜厚10nm、 $X=0.58$ 、 $Y=0.4$ 、 $Z=0.015$)をエピタキシャル成長させる。

(4)次いで、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層608上に、 Mg ドーブp型 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層610(膜厚0.2 μm 、 $X=0.75$ 、 $Y=0.24$ 、 $Z=0.01$ 、 Mg 濃度 $4 \times 10^{19} cm^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。 20

(5)さらに、 Mg ドーブp型 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層610上に、半透明Pd/Au電極624を形成する。

(6)次いで、エッチングによりSiドーブn型 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層606の一部を露出させる。

(7)次いで、露出したSiドーブn型 AlN 上にTi/Al/Ti/Au電極622を形成する。

【0034】

デバイスサイズは150 $\mu m \times 150 \mu m$ である。本素子では、 AlN (1-100)基板602を用いたことにより、 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層608の<0001>方位と、基板602の表面に垂直な<1-100>面方位とが90度の角度をなす。 30

【0035】

一方、図7の作製方法を使用して、 AlN (1-100)基板602に代えて、 AlN (0001)基板とすることで、 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層の<0001>方位と、基板の表面に垂直な<0001>面方位とが平行となる、すなわちこれらの方位のなす角度が0度をなす、図1で示した従来構造と同様の素子を作製することができる。

【0036】

図8に、作製した本参考例の発光ダイオードおよび従来構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す。図8中、(A)は $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層608の<0001>方位と光取出し方向が90度の角度をなす本参考例の発光ダイオードの発光スペクトルを示し、(B)は $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層の<0001>方位と光取出し方向が0度の角度をなす従来構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す。なお、図8中の(B)は、 AlN (0001)基板を用いて作製した発光ダイオードの発光強度を5倍で表示している。 40

【0037】

発光ダイオードの発光スペクトルおよび発光強度は、基板602の表面(積層面)と垂直方向かつ半透明Pd/Au電極624側で測定した。この場合、光取出し方向は、基板の面方位と一致する。これらの発光ダイオードのp型電極624に正の電圧を、n型電極 50

622に負の電圧を印加し、直流300mA駆動の条件下において測定した。(A)AlN(1-100)基板を用いた本参考例の発光ダイオードでは、発光波長は250nm、発光出力は8mW、外部量子効率0.5%である。(B)AlN(0001)基板を用いた従来構造の発光ダイオードでは、発光波長は250nm、発光出力は0.16mW、外部量子効率は0.01%であり、図1に示した従来構造と同様に低い値を示した。

【0038】

本参考例によれば、従来構造の発光ダイオードよりも効率が約50倍も高く、また直流駆動で動作する発光ダイオードを実現することができる。

【0039】

<参考例2>

図9および10を参照して半導体発光素子の参考例を説明する。

【0040】

図9に、発光層をAlN層とした本参考例の発光ダイオード900の断面構造を示す。発光ダイオード900の作製手順は、図7を参照して説明した製造手順に準じる。

【0041】

図9に示す発光ダイオード900は、AlN(1-100)基板902上に順次作製された、アンドープAlN層904と、Siドープn型AlN層906と、アンドープAlN発光層908と、Mgドープp型AlN層910とを備える。また、発光ダイオード900は、Siドープn型AlN層906上に形成されたn型電極922と、Mgドープp型AlN層910上に形成されたp型電極924とをさらに備える。

【0042】

本参考例の発光ダイオードは、まず、MOCVD法により、(1)AlN(1-100)基板902上に、アンドープAlN層904(膜厚1μm)をエピタキシャル成長させる。

(2)次いで、Siドープn型AlN層906(膜厚0.5μm、Si濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(3)次いで、Siドープn型AlN層906上に、アンドープAlN層908(膜厚10nm)をエピタキシャル成長させる。

(4)次いで、アンドープAlN層908上に、Mgドープp型AlN層910(膜厚0.2μm、Mg濃度 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(5)さらに、Mgドープp型AlN層910上に、半透明Pd/Au電極924を形成する。

(6)次いで、エッチングによりSiドープn型AlN層906の一部を露出させる。

(7)次いで、露出したSiドープn型AlN上にTi/Al/Ti/Au電極922を形成する。

【0043】

デバイスサイズは150μm×150μmである。本素子では、AlN(1-100)基板902を用いたことにより、AlN発光層908の<0001>方位と基板902の<1-100>面方位とが90度の角度をなす。

【0044】

一方、上記作製方法において、AlN(1-100)基板902に代えて、AlN(0001)基板とすることで、AlN発光層の<0001>方位と基板の<0001>面方位とが平行となる、すなわちこれらの方位のなす角度が0度をなす、図1で示した従来構造と同様の素子を作製することができる。

【0045】

図10に、作製した本参考例の発光ダイオードおよび従来構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す。図10中、(A)はAlN発光層908の<0001>方位と光取出し方向が90度の角度をなす本参考例の発光ダイオードの発光スペクトルを示し、(B)はAlN発光層の<0001>方位と光取出し方向が0度の角度をなす従来構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す。なお、図10中の(B)は、AlN(0001)基板

10

20

30

40

50

を用いて作製した発光ダイオードの発光強度を20倍で表示している。

【0046】

発光ダイオードの発光スペクトルおよび発光強度は、基板902の面方位方向、半透明Pd/Au電極上方で測定した。この場合、光取出し方向は、基板の面方位と一致する。これらの発光ダイオードのp型電極に正の電圧を、n型電極に負の電圧を印加した。発光波長は205nmである。(A)AlN(1-100)基板を用いた本参考例の発光ダイオードでは、直流300mA駆動の条件下において、発光出力は2mW、外部量子効率は0.1%である。一方、(B)AlN(0001)基板を用いた従来構造の発光ダイオードでは、直流300mA駆動の条件下において、発光出力は0.02mW、外部量子効率は0.001%であり、図1に示した従来構造と同様に低い値を示した。

10

【0047】

本参考例によれば、AlN発光層の<0001>方位と基板の面方位のなす角度 θ を0度から90度にするこゝで、従来構造の発光ダイオードに比べて、発光出力と外部量子効率を100倍増加でき、従来よりも効率が約100倍も高く、また直流駆動で動作する発光ダイオードが実現することができる。

【0048】

なお、本参考例の発光層をアンドープAlN発光層908として説明したが、これに限られるものではなく、発光層を $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層(0.3 X 1、0 Y 0.7、0 Z 0.15)として実施することもできる。

【0049】

<参考例3>

図11および12を参照して、半導体発光素子の参考例を説明する。図11に、本参考例の発光ダイオード1100の断面構造を示す。本参考例の発光ダイオードは、光取出し方向と発光層の<0001>方位のなす角 θ を変化させるため、異なる面方位のAlN基板や傾斜角の異なるAlN基板上に作製される発光ダイオードである。また、発光ダイオード1100の作製手順は、図7を参照して説明した製造手順に準じる。

20

【0050】

図11に示す発光ダイオード1100は、AlN基板1102上に順次作製された、アンドープAlN層1104と、Siドープn型AlN層1106と、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層1108と、Mgドープp型AlN層1110とを備える。また、発光ダイオード1100は、Siドープn型AlN層1106上に形成されたn型電極1122と、Mgドープp型AlN層1110上に形成されたp型電極1124とをさらに備える。

30

【0051】

本参考例の発光ダイオードは、まず、MOCVD法により、(1)AlN基板1102上に、アンドープAlN層1104(膜厚1 μ m)をエピタキシャル成長させる。

(2)次いで、アンドープAlN層1104上に、Siドープn型AlN層1106(膜厚0.5 μ m、Si濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(3)次いで、Siドープn型AlN層1106上に、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層1108(膜厚10nm)をエピタキシャル成長させる。

40

(4)次いで、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層1108上に、Mgドープp型AlN層1110(膜厚0.2 μ m、Mg濃度 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(5)さらに、Mgドープp型AlN層1110上に、半透明Pd/Au電極を形成しする。

(6)次いで、エッチングによりSiドープn型AlN層1106の一部を露出させる。

(7)次いで、露出したSiドープn型AlN層上に、Ti/Al/Ti/Au電極1122を形成する。

【0052】

50

デバイスサイズは $150\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$ である。本素子では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 発光層 1108 の各組成は (A) $X = 0.58$ 、 $Y = 0.4$ 、 $Z = 0.015$ 、(B) $X = 0.3$ 、 $Y = 0.68$ 、 $Z = 0.015$ 、(C) $X = 1$ 、 $Y = 0$ 、 $Z = 0$ (AlN)、(D) $X = 0$ 、 $Y = 1$ 、 $Z = 0$ (GaN)、(E) $X = 0$ 、 $Y = 0.8$ 、 $Z = 0.2$ (InGaN) とすることができる。

【0053】

それぞれの組成における発光波長は、(A) $250\ \text{nm}$ 、(B) $300\ \text{nm}$ 、(C) $205\ \text{nm}$ 、(D) $365\ \text{nm}$ 、(E) $450\ \text{nm}$ である。

【0054】

本素子では、測定系発光強度は、基板 1102 の面方位方向、半透明 Pd/Au 電極 1124 上方で測定した。つまり、光取出し方向は、基板 1102 の面方位と一致する。

【0055】

図 12 に、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 発光層 1108 の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向 (基板 1102 の面方位) のなす角 θ を変化させた場合の、外部量子効率の変化を示す。ただし、それぞれの発光層 1108 を用いた場合の外部量子効率は、 θ が 0 度である従来構造の値で規格化している。

【0056】

図 12 中の (A)、(B)、(C) で示されるように、発光波長が $300\ \text{nm}$ 以下、つまり、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層の各組成が $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0.7$ 、 $0 < Z < 0.15$ の範囲の場合、すなわち、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 発光層 1108 の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向とのなす角 θ を 0 度より大きくした場合、発光ダイオードにおける外部量子効率を増加することができる。

【0057】

例えば、図 12 中の (B) に示すように、発光波長が $300\ \text{nm}$ の発光ダイオードの場合、 θ が 0 度である従来構造の発光ダイオードと比較して、 θ が 10 度以上で外部量子効率は 2 倍以上、 θ が 30 度以上で外部量子効率は 4 倍以上増加する。また図 12 中の (C) に示すように、発光波長が $205\ \text{nm}$ の発光ダイオードの場合、 θ が 0 度である従来構造の発光ダイオードと比較して、 θ が 10 度以上で外部量子効率は 8 倍以上、 θ が 30 度以上で外部量子効率は 40 倍以上増加する。

【0058】

このように、発光波長が短くなるほど、つまり、Al 組成が増加するほど、効果は大きく、飛躍的に外部量子効率を増加できる。ただし、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層の各組成が $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0.7$ 、 $0 < Z < 0.15$ の範囲から外れた場合、 θ を増加しても、発光効率を増加させることはできない。

【0059】

一方、図中の (D)、(E) で示されるように、発光波長が $300\ \text{nm}$ 以上の場合、つまり、Al 組成 X が 0.3 以下の場合、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 発光層 1108 の $\langle 0001 \rangle$ 方位と光取出し方向とのなす角 θ を増加しても、外部量子効率はむしろ低下する。

【0060】

以上より、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層の各組成が限定的な範囲において、光取出し方向を $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層 1108 の $\langle 0001 \rangle$ 方位から傾斜させた場合に、外部量子効率を飛躍的に増加させることができる。

【0061】

<実施例>

図 13 ~ 15 を参照して、本発明に係る半導体発光素子の実施例を説明する。

図 13 (a) に本実施例の発光ダイオード 1300 の上面図を示し、図 13 (b) に本実施例の発光ダイオード 1300 の断面線 A における断面構造を示す。本実施例の発光ダイオード 1300 は、発光層である $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層の端面とその $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層の $\langle 0001 \rangle$ 方位とのなす角が $\theta > 2$ となる発光ダイ

10

20

30

40

50

オードである。

【0062】

図13に示す発光ダイオード1300は、AlN(0001)基板1302上に順次作製された、アンドープAlN層1304と、Siドープn型AlN層1306と、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層1308と、Mgドープp型AlN層1310とを備える。また、発光ダイオード1300は、Siドープn型AlN層1306上に形成されたn型電極1322と、Mgドープp型AlN層1310上に形成されたp型電極1324とをさらに備える。

【0063】

アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層1308の端面は、 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層の<0001>方位とのなす角が θ_2 となるようにエッチングされている。

10

【0064】

本実施例の発光ダイオードは、まず、MOCVD法により、(1)AlN(0001)基板1302上に、アンドープAlN層1304(膜厚 $1\mu m$)をエピタキシャル成長させる。

(2)次いで、アンドープAlN層1304上に、Siドープn型AlN層1306(膜厚 $0.5\mu m$ 、Si濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(3)次いで、Siドープn型AlN層1306上に、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層1308(膜厚 $10nm$)をエピタキシャル成長させる。

20

(4)次いで、アンドープ $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層1308上に、Mgドープp型AlN層1310(膜厚 $0.2\mu m$ 、Mg濃度 $4 \times 10^{19} cm^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(5)さらに、Mgドープp型AlN層1310上に半透明Pd/Au電極1324を形成する。

(6)次いで、エッチングによりSiドープn型AlN層1306の一部を露出させる。この過程で、発光層である $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層1308の端面とその $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層1308の<0001>方位とのなす角 θ_2 はエッチングの条件により制御される。

(7)次いで、露出したSiドープn型AlN層1306上にTi/Al/Ti/Au電極1322を形成する。

30

【0065】

$Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 発光層の各組成は、(A) $X=0.58$ 、 $Y=0.4$ 、 $Z=0.015$ 、(B) $X=0.3$ 、 $Y=0.68$ 、 $Z=0.015$ 、(C) $X=1$ 、 $Y=0$ 、 $Z=0$ (AlN)、(D) $X=0$ 、 $Y=1$ 、 $Z=0$ (GaN)、(E) $X=0$ 、 $Y=0.8$ 、 $Z=0.2$ (InGaN)とすることができる。

【0066】

それぞれの組成における発光波長は、(A) $250nm$ 、(B) $300nm$ 、(C) $205nm$ 、(D) $365nm$ 、(E) $450nm$ である。

【0067】

光検出器406(図4)を、発光ダイオード1300の上部に設置して、取り出す光を観測した。

40

【0068】

図15に、発光層である $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層1308の端面とその $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層の<0001>方位とのなす角 θ_2 と、外部量子効率との関係を示す。ただし、それぞれの発光層を用いた場合の外部量子効率は、 θ_2 が0度である従来構造の値で規格化している。

【0069】

図15中の(A)、(B)、(C)で示されるように、発光波長が $300nm$ 以下、つまり、 $Al_xGa_yIn_zB_{1-x-y-z}N$ 層の各組成が $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0.7$

50

、 $0 < \theta < 15^\circ$ の範囲の場合、 θ を傾斜することで外部量子効率を増加できる。

【0070】

例えば、図15中の(B)に示すように、発光波長が300nmの発光ダイオードの場合、 θ が0度である従来構造の発光ダイオードと比較して、 $10^\circ < \theta < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta < 170^\circ$ で外部量子効率は2倍以上、 $30^\circ < \theta < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta < 150^\circ$ で外部量子効率は4倍以上増加する。また、図15中の(C)に示すように、発光波長が205nmの発光ダイオードの場合、 θ が0度である従来構造の発光ダイオードと比較して、 $10^\circ < \theta < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta < 170^\circ$ で外部量子効率は4倍以上、 θ が $30^\circ < \theta < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta < 150^\circ$ で外部量子効率は20倍以上増加する。

10

【0071】

このように、発光波長が短くなるほど、つまり、Al組成が増加するほど、効果は大きく、飛躍的に外部量子効率を増加できる。ただし、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ の各組成が $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 0.7$ 、 $0 < z < 0.15$ の範囲から外れた場合、 θ を増加しても、発光効率を増加させることはできない。

【0072】

一方、図中の(D)、(E)で示されるように、発光波長が300nm以上の場合、つまり、Al組成 x が0.3以下の場合、 θ を増加しても、外部量子効率は2倍程度増加するのみである。

【0073】

以上より、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層の各組成が $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 0.7$ 、 $0 < z < 0.15$ と限定的な範囲において、発光層である $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層1308の端面とその $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層1308の $\langle 0001 \rangle$ 方位のなす角 θ を $10^\circ < \theta < 90^\circ$ または $90^\circ < \theta < 170^\circ$ とする場合に、外部量子効率を飛躍的に増加させることができる。

20

【0074】

<参考例4>

図16および17を参照して、半導体発光素子の参考例を説明する。

図16および17に、発光層とそれに接する層の界面が複数の面方位を有する本参考例の発光ダイオード1600の断面構造およびその作製方法をそれぞれ示す。

30

【0075】

図16に示す発光ダイオード1600は、AlN(0001)基板1602上に順次作製された、アンドープAlN層1604と、Siドープn型AlN層1606と、アンドープAlN発光層1608と、Mgドープp型AlN層1610とを備える。また、発光ダイオード1600は、Siドープn型AlN層1606上に形成されたn型電極1622と、Mgドープp型AlN層1610上に形成されたp型電極1624とをさらに備える。

【0076】

アンドープAlN層1604は、その一部がAlN(0001)基板1602の表面(積層面)に対して凸状であり、複数の面方位を有する。アンドープAlN層1604上に順次作製された、Siドープn型AlN層1606、アンドープAlN発光層1608、およびMgドープp型AlN層1610も同様に凸状であり、複数の面方位を有する。

40

【0077】

本参考例の発光ダイオードは、まず、(1)MOCVD法によりAlN(0001)基板1602上に、アンドープAlN層1604a(膜厚1 μm)をエピタキシャル成長させる。

(2)次いで、エッチングによりアンドープAlN層1604aの一部を除去して、AlN(0001)基板1602の一部を露出させる。

(3)次いで、再成長により、露出したAlN(0001)基板1602および残ったアンドープAlN層1604a上に、アンドープAlN層1604b(膜厚1 μm)をエ

50

ピタキシャル成長させる。アンドープAlN層1604aとアンドープAlN層1604bとは、AlN(0001)基板1602上に作製された凸状のアンドープAlN層1604であり、複数の面方位を有する。これにより、凸状のアンドープAlN層1604上に作製される以下の層は、複数の面方位を有する。

(4)次いで、アンドープAlN層1604b上に、Siドープn型AlN層1606(膜厚0.5 μm 、Si濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(5)次いで、Siドープn型AlN層1606上に、アンドープAlN発光層1608(膜厚10nm)をエピタキシャル成長させる。

(6)次いで、アンドープAlN発光層1608上に、Mgドープp型AlN層1610(膜厚0.2 μm 、Mg濃度 $4 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる。

(7)さらに、Mgドープp型AlN層1610上に半透明Pd/Au電極1624を形成する。

(8)次いで、エッチングによりSiドープn型AlN層1606の一部を露出させる。

(9)次いで、露出したSiドープn型AlN層1606上にTi/Al/Ti/Au電極を形成する。

【0078】

デバイスサイズは150 μm ×150 μm である。本構造の素子では、AlN発光層1608とそれを挟むSiドープn型AlN層1606とMgドープp型AlN層1610の界面は、(1-101)面、(0001)面、(-1101)面からなり、3つの面方位、<1-101>面方位(図16中の面方位1)、<0001>面方位(図16中の面方位2)、<-1101>面方位(図16中の面方位3)を有する。

【0079】

本素子の発光強度は、基板1602の<0001>面方位方向、半透明Pd/Au電極上方で測定した。つまり、光取出し方向は、基板1602の面方位と一致する。p型電極1324に正の電圧を、n型電極1622に負の電圧を印加した結果、直流300mA駆動の条件下において、発光波長は205nm、発光出力は1mW、外部量子効率 0.05% である。参考例2の図10の(B)に示したように、AlN発光層とそれを挟むSiドープn型AlN層とMgドープp型AlNの界面が(0001)面のみである従来の発光ダイオードでは、発光出力は0.02mW、外部量子効率は0.001%と低かった。本参考例の発光ダイオードによれば、従来構造の発光ダイオードよりも外部量子効率が約50倍も高い発光ダイオードが実現できる。

【0080】

なお、本参考例の発光層をアンドープAlN発光層1608として説明したが、これに限られるものではなく、発光層を $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ 層(0.3 X 1、0 Y 0.7、0 Z 0.15)として実施することもできる。

【0081】

<参考例5>

図18~20を参照して、半導体発光素子の参考例を説明する。

図18および19に、本参考例の発光ダイオード1800の断面構造およびその作製方法をそれぞれ示す。

【0082】

本参考例の発光ダイオード1800は、n型SiC(0001)基板1802上に順次作製された、Siドープn型AlN層1804と、アンドープAlN発光層1806と、Mgドープp型AlN1808と、絶縁膜1810とを備える。また、発光ダイオード1800は、n型SiC(0001)基板1802の表面(積層面)と対向する面に形成されたn型電極1822と、絶縁膜1810で覆われていないMgドープp型AlN層1808を覆うとともに絶縁膜1810の一部に接するように形成されたp型電極1824とをさらに備える。

【0083】

10

20

30

40

50

基板 1802 は、n 型伝導性半導体の $\langle 0001 \rangle$ 面方位を使用し、基板 1802 の表面（積層面）には高さを T_1 とする段差を有し、 T_1 は、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層発光層 1806 とそれを挟む層（1804, 1808）の膜厚の合計を T_2 とすると、 $T_1 > T_2$ を満たす。

【0084】

本参考例の発光ダイオードは、まず、(1) n 型 SiC (0001) 基板 1802 にマスクを形成する。

(2) 次いで、エッチングによりその基板の一部を除去する。

(3) さらに、マスクを除去し、高さ T_1 の段差を有する凸部を基板 1802 の表面（積層面）に形成する。例えば、凸部は円柱、円錐、六角柱、六角錐とすることができるが、これに限られない。

10

(4) 次いで、MOCVD 法により、その基板 1802 上に、Si ドープ n 型 AlN 層 1804（膜厚 $0.5 \mu m$ 、Si 濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ ）をエピタキシャル成長させる。

(5) 次いで、Si ドープ n 型 AlN 層 1804 上に、アンドープ AlN 発光層 1806（膜厚 $10 nm$ ）をエピタキシャル成長させる。

(6) 次いで、アンドープ AlN 発光層 1806 上に、Mg ドープ p 型 AlN 層 1808（膜厚 $0.2 \mu m$ 、Mg 濃度 $4 \times 10^{19} cm^{-3}$ ）をエピタキシャル成長させる。

(7) 次いで、Mg ドープ p 型 AlN 層 1808 上の一部に絶縁膜 1810 を形成する。

20

(8) さらに、露出している Mg ドープ p 型 AlN 層 1808 を覆うように半透明 Pd/Au 電極 1824 を形成する。これにより、Mg ドープ p 型 AlN 層 1808 は、その一部に絶縁膜 1810 で、他の部分を半透明 Pd/Au 電極 1824 によって覆われる。

(9) 次いで、基板 1802 の裏面（積層面に対向する面）に Ti/Al 電極 1822 を形成する。

【0085】

デバイスサイズは $150 \mu m \times 150 \mu m$ である。本構造では、AlN 発光層 1806 とそれを挟む Si ドープ n 型 AlN 層 1804 と Mg ドープ p 型 AlN 層 1808 の膜厚の合計 T_2 は $1.21 \mu m$ である。段差の高さ T_1 は、エッチング条件により変化させることができる。

30

【0086】

図 20 に、基板 1922 の表面の段差の高さ T_1 と発光強度の関係を示す。図 20 の発光強度は、 T_1 が $0 \mu m$ 、つまり、基板表面に凸部加工を施していない場合の従来構造の発光ダイオードの値で規格化している。また、光取出し方向は、基板 1822 の $\langle 0001 \rangle$ 面方位と垂直な方向で測定した。ただし、 T_1 が $0 \mu m$ 、つまり、基板 1802 の表面に加工を施していない従来構造の発光ダイオードの場合、従来どおりの光取出し方向を基板の $\langle 0001 \rangle$ 面方位とした。発光ダイオードの p 型電極に正の電圧を、n 型電極に負の電圧を印加し、直流 $300 mA$ 駆動の条件下において発光強度を測定した。

【0087】

図 20 に示すように、基板 1802 の表面の段差の高さ T_1 を増加することにより、発光強度は増加する。特に、基板 1802 の表面の段差の高さ T_1 が AlN 発光層 1806 とそれを挟む Si ドープ n 型 AlN 層 1804 と Mg ドープ p 型 AlN 層 1808 の膜厚の合計 T_2 を超えると、発光強度は 2 倍以上に増加する。つまり、 $T_2 > T_1$ となる限定的な範囲において、発光強度を飛躍的に増加させることができる。

40

【0088】

なお、本参考例の発光層をアンドープ AlN 発光層 1806 として説明したが、これに限られるものではなく、発光層を $Al_x Ga_y In_z B_{1-x-y-z} N$ 層（ $0.3 < X < 1$ 、 $0 < Y < 0.7$ 、 $0 < Z < 0.15$ ）として実施することもできる。

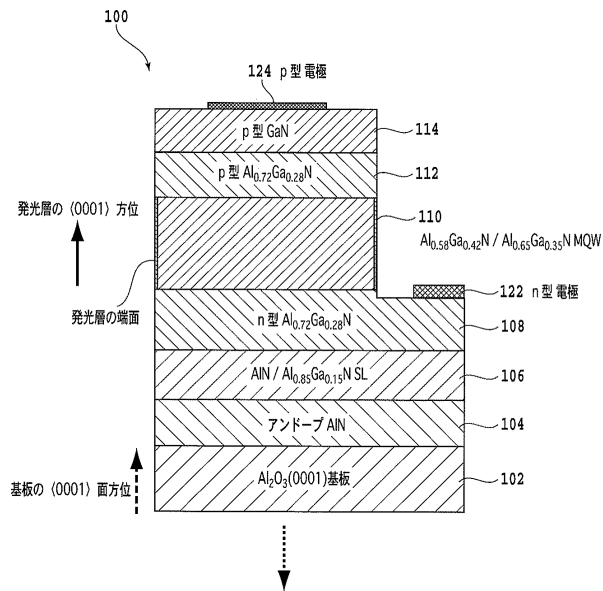
【符号の説明】

【0089】

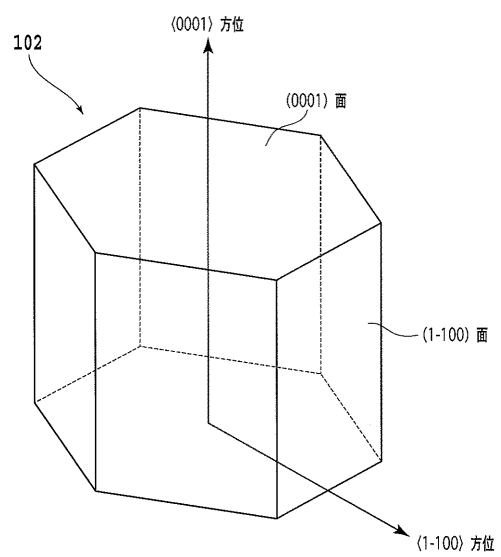
50

100, 300, 600, 900, 1100, 1300, 1600, 1800, 発光
ダイオード
102, 302, 402, 602, 902, 1102, 1302, 1602, 1802
基板
110, 306, 404, 608, 908, 1108, 1308, 1608, 1806
発光層

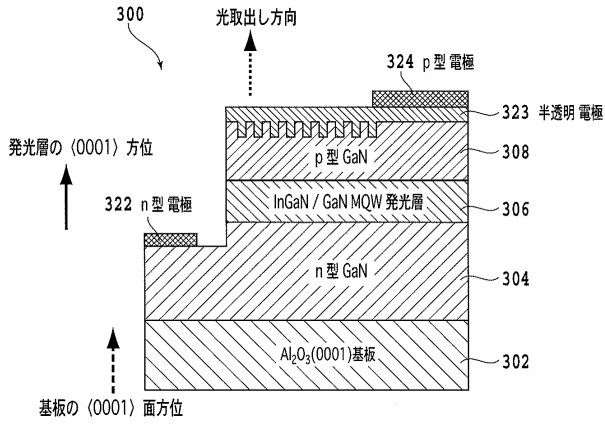
【図1】



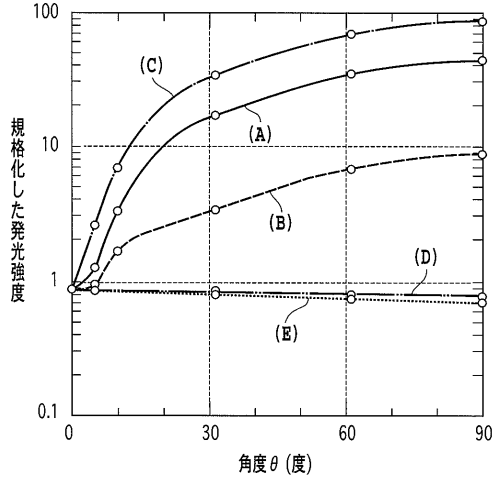
【図2】



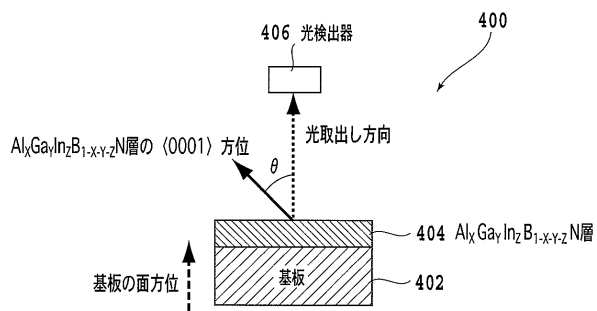
【図3】



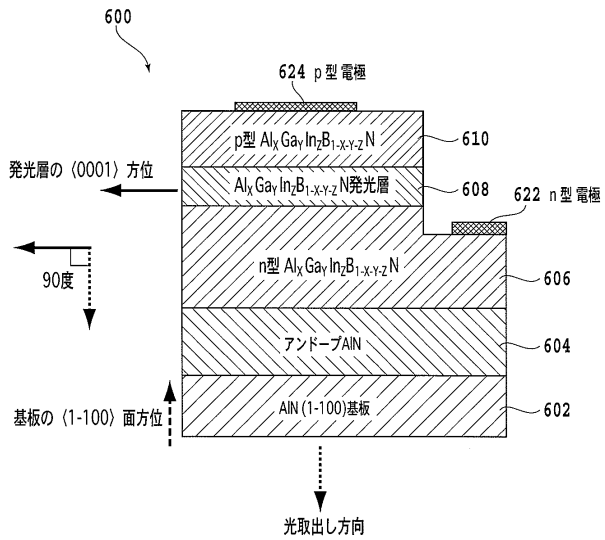
【図5】



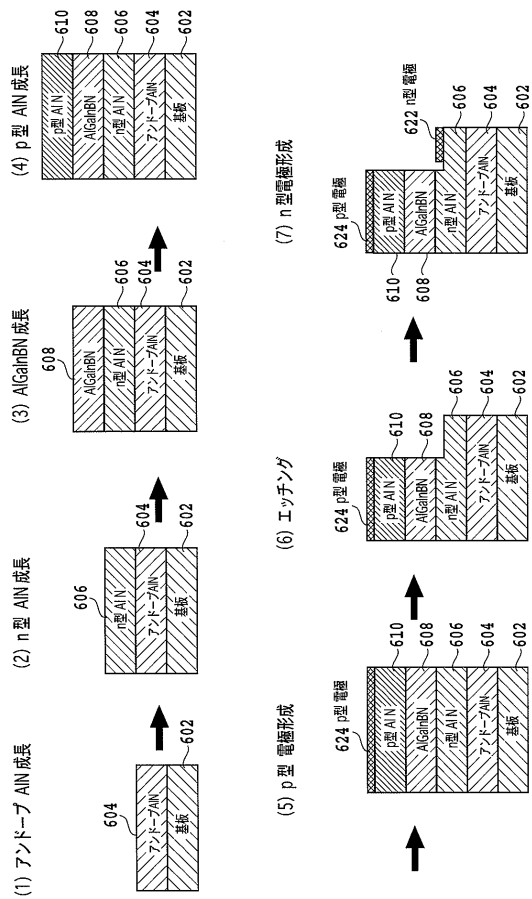
【図4】



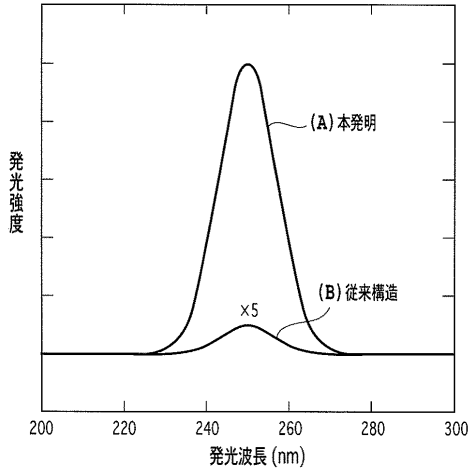
【図6】



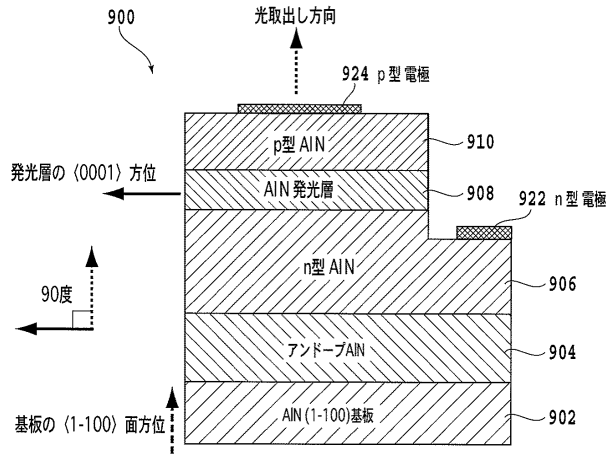
【図7】



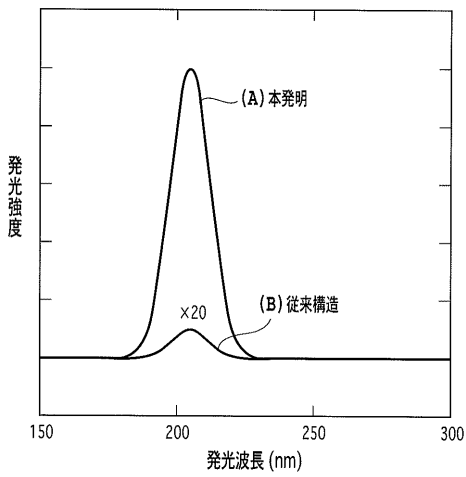
【図8】



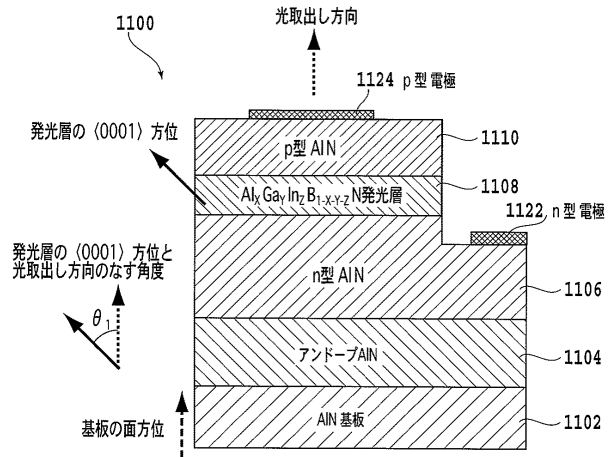
【図9】



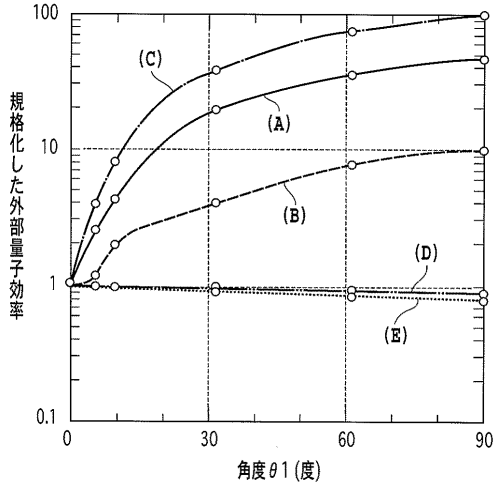
【図10】



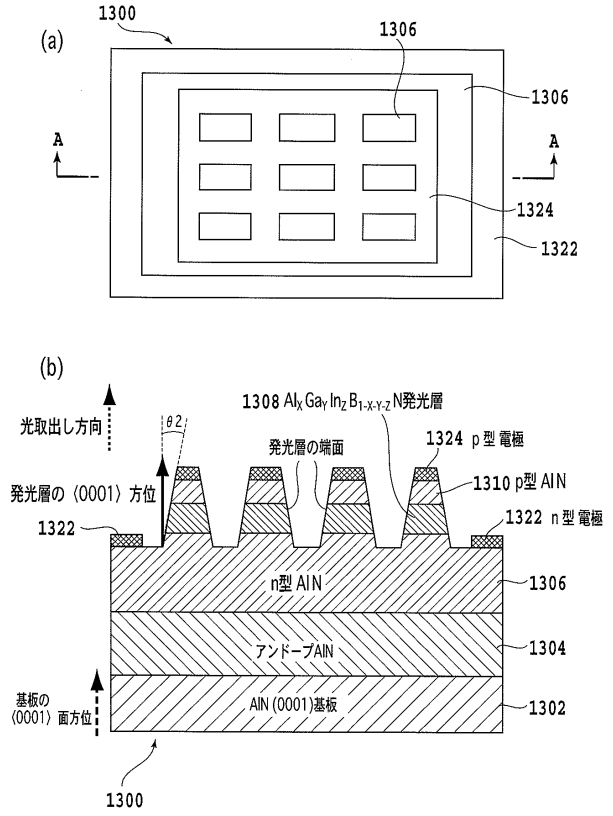
【図11】



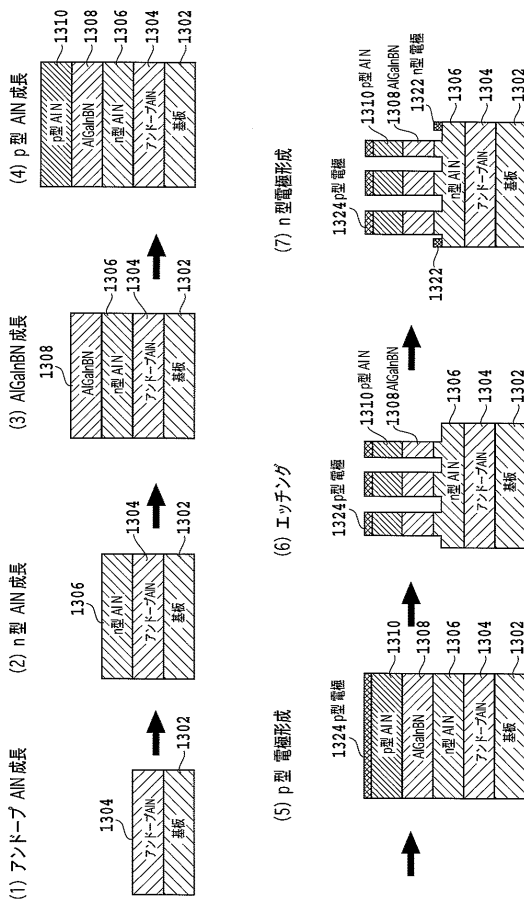
【図 1 2】



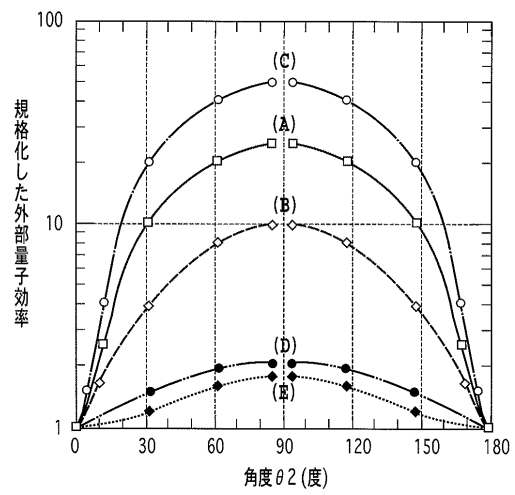
【図 1 3】



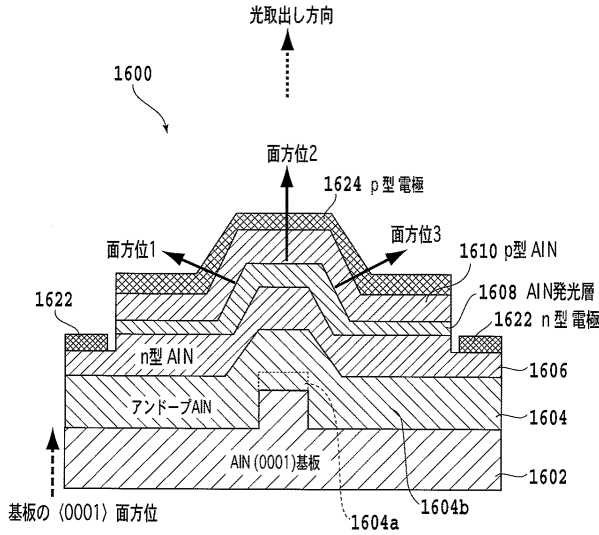
【図 1 4】



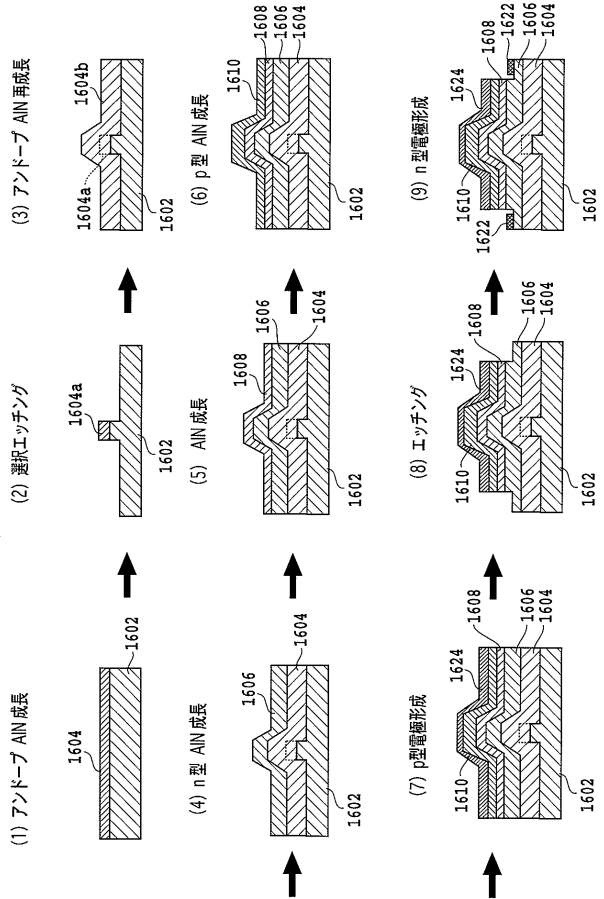
【図 1 5】



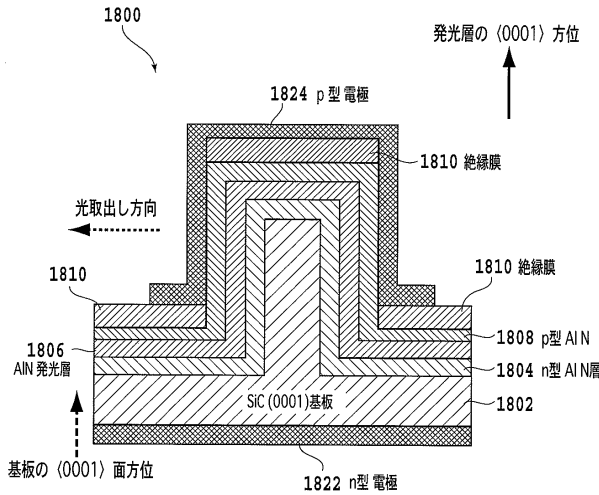
【図16】



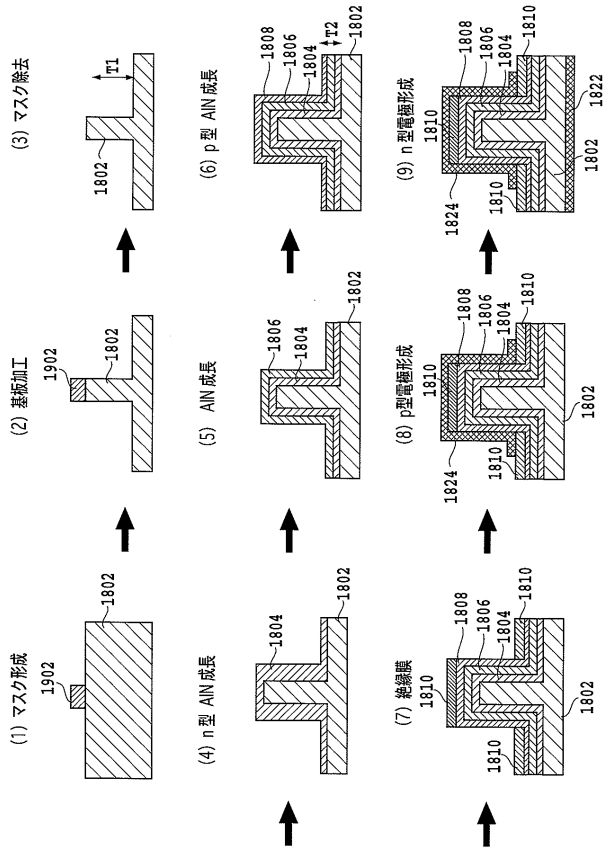
【図17】



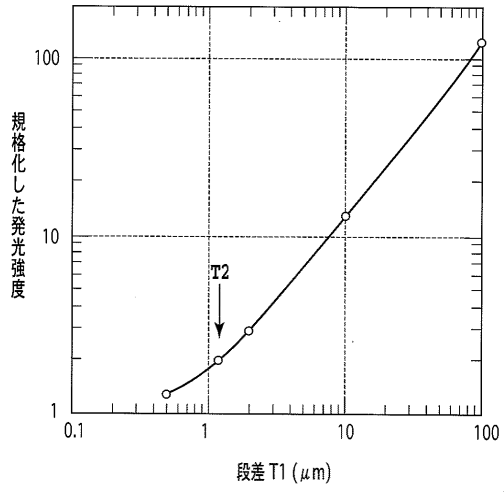
【図18】



【図19】



【図 20】



フロントページの続き

審査官 岡田 吉美

- (56)参考文献 特開2006-066863(JP,A)
特開2006-066556(JP,A)
国際公開第2005/104236(WO,A1)
特開2001-160656(JP,A)
特開2001-085738(JP,A)
国際公開第2004/070844(WO,A1)
国際公開第2005/015647(WO,A1)
国際公開第2005/096399(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64