

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2008年12月11日 (11.12.2008)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2008/149945 A1(51) 国際特許分類:
H01S 5/22 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2008/060385

(22) 国際出願日: 2008年6月5日 (05.06.2008)

(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2007-153045 2007年6月8日 (08.06.2007) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ローム株式会社 (ROHM CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2-1番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 岡本 國美 (OKAMOTO, Kuniyoshi) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2-1番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP). 太田 裕朗 (OHTA, Hiroaki) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2-1番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP).

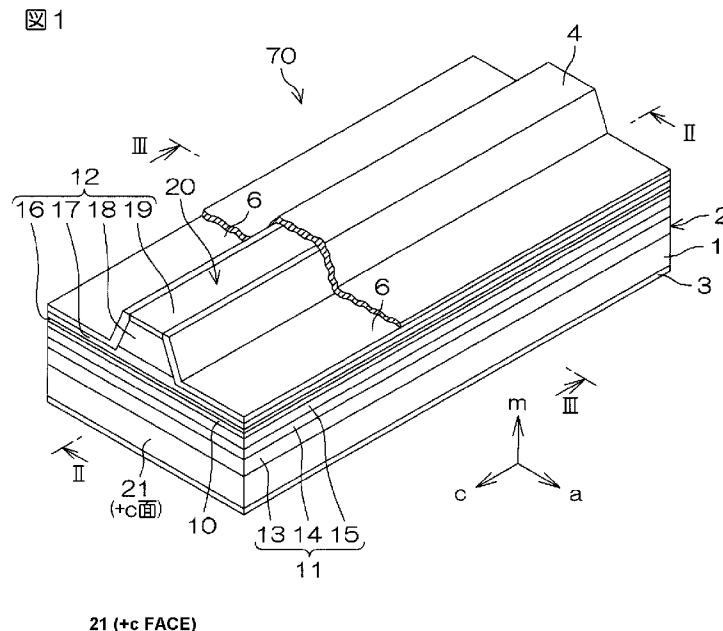
(74) 代理人: 稲岡 耕作, 外 (INAOKA, Kosaku et al.); 〒5410054 大阪府大阪市中央区南本町2丁目6番12号 サンマリオンNBFタワー21階 あい特許事務所内 Osaka (JP).

(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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND METHOD FOR FABRICATING THE SAME

(54) 発明の名称: 半導体発光素子およびその製造方法



21 (+c FACE)

(57) Abstract: A semiconductor light-emitting element includes a III nitride semiconductor laminate structure having an active layer containing In, and a p-type layer and an n-type layer laminated to sandwich the active layer. The III nitride semiconductor laminate structure is composed of a III nitride semiconductor having a nonpolar surface having a negative off angle in the c-axis direction as a major surface. A large effect can be attained when the emission wavelength of the active layer is not less than 450 nm. The III nitride semiconductor constituting the III nitride semiconductor laminate structure preferably has an off angle θ in the c-axis direction satisfying a relation of $-1^\circ < \theta < 0^\circ$.

(57) 要約: この半導体発光素子は、Inを含む活性層ならびにこの活性層を挟むように積層されたp型層およびn型層を有するIII族窒化物半導体積層構造を含む。III族窒化物半導体積層構造は、c軸方向へのオフ角が負の非極性面を主面

[続葉有]



WO 2008/149945 A1



GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

とするⅢ族窒化物半導体からなる。活性層の発光波長が450nm以上の場合に大きな効果が得られる。Ⅲ族窒化物半導体積層構造を構成するⅢ族窒化物半導体は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ を満たしていることが好ましい。

明 細 書

半導体発光素子およびその製造方法

技術分野

[0001] この発明は、発光ダイオード、レーザダイオード等の半導体発光素子およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] III-V族半導体においてV族元素として窒素を用いた半導体は「III族窒化物半導体」と呼ばれ、その代表例は、窒化アルミニウム(AlN)、窒化ガリウム(GaN)、窒化インジウム(InN)である。一般には、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$)と表わすことができる。

c面を主面とする窒化ガリウム(GaN)基板上にIII族窒化物半導体を有機金属化学気相成長法(MOCVD法)によって成長させる窒化物半導体の製造方法が知られている。この方法を適用することにより、n型層およびp型層ならびにこれらに挟まれた活性層(発光層)を有するIII族窒化物半導体積層構造を形成することができ、この積層構造を利用した発光デバイスを作製できる。このような発光デバイスは、たとえば、液晶パネル用バックライトの光源として利用可能である。

[0003] c面を主面とするGaN基板上に再成長されたIII族窒化物半導体の主面はc面である。このc面から取り出される光は、ランダム偏光(無偏光)状態となっている。そのため、液晶パネルに入射する際に、入射側偏光板に対応した特定偏光以外は遮蔽され、出射側への輝度に寄与しない。そのため、高輝度な表示を実現し難い(効率は最大でも50%)という問題がある。

[0004] この問題を解決するために、c面以外、すなわち、a面、m面等の無極性(ノンポーラ)面、または半極性(セミポーラ)面を主面とするIII族窒化物半導体を成長させて、発光デバイスを作製することが検討されている。無極性面または半極性面を主面とするIII族窒化物半導体層によってp型層およびn型層を有する発光デバイスを作製すると、強い偏光状態の発光が可能である。そこで、このような発光デバイスの偏光の方向と、液晶パネルの入射側偏光板の通過偏光の方向とを一致させておくことにより、入

射側偏光板での損失を少なくすることができる。その結果、高輝度な表示を実現できる。

特許文献1:特開2007-129042号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] 450nm以上の長波長域の発光を実現するためには、活性層のIn(インジウム)組成を多くする必要がある。たとえば、発光波長を450nmとするには、In組成を15%程度とする必要があるが、この場合には、活性層は750℃程度の低温で成長させる必要がある。ところが、活性層の後に成長させられるp型層の成長温度は、1000℃程度である。そのため、p型層の成長時の温度のために活性層が熱ダメージを受けるため、所望の発光効率が得られなくなってしまう。

[0006] 一方、本願の発明者は、先に提出した特願2007-040074号において、m面等の非極性面を成長主面とするIII族窒化物半導体積層構造で構成した半導体レーザを提案している。この構造により、発光効率がよく、低閾値の半導体レーザを実現することができる。

しかし、半導体レーザにおいても、450nm以上の長波長域での発光を実現しようとすると、前述の場合と同様の問題に遭遇する。そのため、長波長域で発振効率に優れた半導体レーザを実現するには、なお課題が残されていた。

[0007] 活性層の熱ダメージの問題は、程度の差はあるが、450nm未満の波長域の半導体発光素子の場合であっても同様である。すなわち、活性層を低温で成長させてIn原子を取り込む必要があるので、その後のn型層またはp型層の高温成長時に熱ダメージを受ける。

そこで、この発明の目的は、活性層の熱ダメージを抑制することにより、優れた発光効率を実現することができる半導体発光素子およびその製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] この発明の半導体発光素子は、Inを含む活性層(AlInGaInからなる活性層)ならびにこの活性層を挟むように積層されたp型層およびn型層を有するIII族窒化物半

導体積層構造を含む。このIII族窒化物半導体積層構造は、c軸方向へのオフ角が負の非極性面を主面とするIII族窒化物半導体からなる。

III族窒化物半導体は、六方晶の結晶構造を有しており、一つのIII族原子に対して4つの窒素原子が結合している。4つの窒素原子は、III族原子を中央に配置した正四面体の4つの頂点に位置している。この4つの窒素原子は、一つの窒素原子がIII族原子に対して+c軸方向に位置し、他の三つの窒素原子がIII族原子に対して-c軸側に位置している。c面に平行な2つの面でIII族窒化物半導体の結晶を劈開すると、+c軸側の面(+c面)はIII族原子が並んだ結晶面となり、-c軸側の面(-c面)は窒素原子が並んだ結晶面(窒素面)となる。したがって、+c面と-c面とは異なる結晶面となり、異なる物性を示す。具体的には、+c面は、アルカリに強いなどといった化学反応性に対する耐久性が高く、逆に、-c面は化学的に弱く、たとえば、アルカリに溶けてしまうことが分かっている。

[0009] このように、c面は、+c軸側と-c軸側とで物性が異なる。そして、この物性の相違のために、III族窒化物半導体には、c軸方向に沿う分極が生じている。そのため、c面は、極性面と呼ばれている。

m面およびa面は、c面に垂直であり、m軸およびa軸方向に沿う分極はないので、非極性面と呼ばれる。

[0010] この発明では、III族窒化物半導体積層構造を構成するIII族窒化物半導体は、その主面が非極性面(m面またはa面)となっており、この非極性面のc軸方向へのオフ角が負となっている。オフ角とは、ジャスト面からの傾斜角である。すなわち、ジャスト面の法線方向を基準方向(m軸方向またはa軸方向)とすると、III族窒化物半導体主面の法線方向と基準方向とのなす角がオフ角である。c軸方向へのオフ角を考える際には、基準方向とc軸方向とを含む仮想平面(a面またはm面に平行な平面)を考え、さらに、III族窒化物半導体主面の法線方向を当該仮想平面に投影して当該法線方向の正射影を考える。この正射影と基準方向とのなす角がc軸方向へのオフ角である。この場合、当該法線方向の正射影が基準方向に対して+c軸側に傾斜しているとき、「c軸方向へのオフ角が正である」などという。逆に、当該法線方向の正射影が基準方向に対して-c軸側に傾斜しているとき、「c軸方向へのオフ角が負である」などとい

う。

[0011] 有意なオフ角を有する非極性面からなるIII族窒化物半導体主面には、原子レベルの微小なステップが生じている。−c軸方向へのオフ角を有する非極性面の場合には、ステップにおいて露出するのは、−c面(窒素面)である。そのため、III族窒化物半導体の結晶成長時には、−c面方向に膜状に結晶成長(二次元成長)が進みつつ厚さ方向(主面の法線方向)への結晶成長が進む。前述のとおり、−c面側は化学的に不安定であり、そのため、結晶成長時に不純物を取り込みやすい。これにより、III族窒化物半導体を結晶成長させるときに、不純物としてのIn原子が取り込まれやすくなる。したがって、In原子が比較的に取り込まれにくい高温の条件(たとえば、750°C以上)であっても、In組成の多いIII族窒化物半導体を成長させることができる。

[0012] こうして、Inを含む活性層を高温の条件で成長させることができる(同じ温度であれば、より高いIn組成の活性層を成長させることができる)ので、このような活性層は熱差ダメージに強くなる。すなわち、活性層の成長温度とp型層またはn型層の成長温度との差が小さく、熱影響に起因する活性層の特性劣化を抑制することができる。その結果、発光効率の高い半導体発光素子を実現することができる。

[0013] また、III族窒化物半導体積層構造の主面が自発分極やピエゾ分極のない非極性面であるので、多重量子井戸層で構成する場合に、量子井戸での自発圧電分極によるキャリアの分離が抑制される。これによって、c面を主面とするIII族窒化物半導体を用いる場合を超える内部量子効率を実現できるので、発光効率を向上させることができる。

前記活性層の発光波長が450nm以上である場合に、この発明による効果が大きくなる。発光波長が450nm以上(たとえば、450nm以上550nm以下。より具体的には、たとえば500nm)である場合、活性層のIn組成は、たとえば、15%以上(たとえば、15%以上25%以下。発光波長が500nmの場合にはたとえば20%)とする必要がある。この発明を適用することによって、このようにIn組成の大きな活性層を比較的高温(たとえば、750°C以上)の条件で成長させることができる。したがって、450nm以上の波長域においても、活性層の熱ダメージを抑制して、発光効率の高い半導体発光素子を実現できる。

[0014] 前記III族窒化物半導体積層構造を構成するIII族窒化物半導体は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ を満たしていることが好ましい。このような範囲のオフ角の非極性面を用いることにより、III族窒化物半導体積層構造は、欠陥の少ない良好な結晶構造を有することができる。その結果、発光効率を一層向上することができる。

この発明の半導体素子の製造方法は、Inを含む活性層ならびにこの活性層を挟むように積層されたp型層およびn型層を有するIII族窒化物半導体積層構造を含む半導体発光素子を製造するための方法である。この方法は、c軸方向へのオフ角が負の非極性面を主面としてIII族窒化物半導体を成長させることにより、前記III族窒化物半導体積層構造を形成する工程を含む。

[0015] この方法により、Inを含む活性層を比較的高温の条件で成長させることができるので、活性層の熱ダメージを低減できる。その結果、発光効率のよい半導体発光素子を実現できる。

前記活性層の発光波長が450nm以上である場合に、この発明による効果が大きくなる。450nm以上の波長域の発光のためには、活性層のIn組成を高める必要があるが、この発明では、In組成の高い活性層の形成も比較的高温の温度条件で行うことができる。これにより、450nm以上の波長域においても、発光効率の良い半導体発光素子を実現できる。

[0016] 前記主面が、c軸方向へのオフ角が負のm面であることが好ましい。m面を結晶成長の主面とすることにより、結晶性を向上することができる。これにより、より高性能の半導体発光素子を実現できる。

前記III族窒化物半導体積層構造を形成する工程は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ を満たす非極性面を主面とするIII族窒化物半導体を成長させる工程を含むことが好ましい。オフ角 θ の範囲を $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ とすることにより、平坦なIII族窒化物半導体積層構造を形成することができる。これにより、半導体発光素子の発光効率を一層向上することができる。

[0017] 前記III族窒化物半導体積層構造を形成する工程は、c軸方向へのオフ角が負の主面を有するIII族窒化物半導体単結晶基板上にIII族窒化物半導体を成長させる工程を含むことが好ましい。この方法では、III族窒化物半導体単結晶基板上にIII族窒

化物半導体積層構造を成長させるので、欠陥の少ない良好な結晶性のIII族窒化物半導体積層構造を形成できる。これにより、発光効率が一層向上された半導体発光素子を得ることができる。

[0018] 前記III族窒化物半導体単結晶基板はGaN基板であることが好ましい。GaN基板を用いることによって、III族窒化物半導体積層構造は、欠陥の少ない高品質の結晶となる。これにより、さらに高性能の半導体発光素子を実現することができる。

本発明における上述の、またはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照して次に述べる実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]この発明の第1の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図である。

[図2]図1のII-II線に沿う縦断面図である。

[図3]図1のIII-III線に沿う横断面図である。

[図4]共振器端面に形成された絶縁膜(反射膜)の構成を説明するための図解図である。

[図5]III族窒化物半導体の結晶構造のユニットセルを表した図解図である。

[図6]GaN単結晶基板のc軸方向へのオフ角を説明するための図である。

[図7]GaN単結晶基板上でのIII族窒化物半導体の結晶成長の様子を示す図解図である。

[図8]III族窒化物半導体積層構造を構成する各層を成長させるための処理装置の構成を説明するための図解図である。

[図9]この発明の第2の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を示す斜視図である。

[図10]図9の切断線X-Xに沿う縦断面図である。

[図11]この発明の第3の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図である。

符号の説明

[0020] 1 基板(GaN単結晶基板) 1A 主面の法線方向

2	III族窒化物半導体積層構造	3	n側電極
4	p側電極	6	絶縁層
10	発光層	11	n型半導体層
12	p型半導体層	13	n型GaNコンタクト層
14	n型AlGaNクラッド層	15	n型GaNガイド層
16	p型AlGaN電子ブロック層	17	p型GaNガイド層
18	p型AlGaNクラッド層	19	p型GaNコンタクト層
20	リッジストライプ	21	端面
22	端面	23	絶縁膜
24	絶縁膜	26	n型InGaN層
30	処理室	31	ヒータ
32	サセプタ	33	回転軸
34	回転駆動機構	35	基板
36	排気配管	40	原料ガス導入路
41	窒素原料配管	42	ガリウム原料配管
43	アルミニウム原料配管	44	インジウム原料配管
45	マグネシウム原料配管	46	シリコン原料配管
51	窒素原料バルブ	52	ガリウム原料バルブ
53	アルミニウム原料バルブ	54	インジウム原料バルブ
55	マグネシウム原料バルブ	56	シリコン原料バルブ
70	半導体レーザダイオード	80	半導体レーザダイオード
90	半導体レーザダイオード	100	ステップ(窒素面)

発明を実施するための最良の形態

[0021] 図1は、この発明の一実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図であり、図2は、図1のII-II線に沿う縦断面図であり、図3は、図1のIII-I II線に沿う横断面図である。

この半導体レーザダイオード70は、基板1と、基板1上に結晶成長によって形成されたIII族窒化物半導体積層構造2と、基板1の裏面(III族窒化物半導体積層構造2

と反対側の表面)に接触するように形成されたn側電極3と、III族窒化物半導体積層構造2の表面に接触するように形成されたp側電極4とを備えたファブリペロー型のものである。

[0022] 基板1は、この実施形態では、GaN単結晶基板で構成されている。この基板1は、非極性面の一例であるm面を主面としたものであり、この主面上における結晶成長によって、III族窒化物半導体積層構造2が形成されている。したがって、III族窒化物半導体積層構造2は、m面を結晶成長主面とするIII族窒化物半導体からなる。

III族窒化物半導体積層構造2は、発光層(活性層)10と、n型半導体層11と、p型半導体層12とを備えている。n型半導体層11は発光層10に対して基板1側に配置されており、p型半導体層12は発光層10に対してp側電極4側に配置されている。こうして、発光層10が、n型半導体層11およびp型半導体層12によって挟持されていて、ダブルヘテロ接合が形成されている。発光層10には、n型半導体層11から電子が注入され、p型半導体層12から正孔が注入される。これらが発光層10で再結合することにより、光が発生するようになっている。

[0023] n型半導体層11は、基板1側から順に、n型GaNコンタクト層13(たとえば $2\mu\text{m}$ 厚)、n型AlGaNクラッド層14($1.5\mu\text{m}$ 厚以下。たとえば $1.0\mu\text{m}$ 厚)およびn型GaNガイド層15(たとえば $0.1\mu\text{m}$ 厚)を積層して構成されている。一方、p型半導体層12は、発光層10の上に、順に、p型AlGaN電子ブロック層16(たとえば 20nm 厚)、p型GaNガイド層17(たとえば $0.1\mu\text{m}$ 厚)、p型AlGaNクラッド層18($1.5\mu\text{m}$ 厚以下。たとえば $0.4\mu\text{m}$ 厚)およびp型GaNコンタクト層19(たとえば $0.3\mu\text{m}$ 厚)を積層して構成されている。

[0024] n型GaNコンタクト層13は、低抵抗層である。また、p型GaNコンタクト層19は、p側電極4とのオーミックコンタクトをとるための低抵抗層である。n型GaNコンタクト層13は、GaNにたとえばn型ドーパントとしてのSiを高濃度にドーピング(ドーピング濃度は、たとえば、 $3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)することによってn型半導体とされている。また、p型GaNコンタクト層19は、p型ドーパントとしてのMgを高濃度にドーピング(ドーピング濃度は、たとえば、 $3\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)することによってp型半導体層とされている。

[0025] n型AlGaNクラッド層14およびp型AlGaNクラッド層18は、発光層10からの光をそ

これらの間に閉じ込める光閉じ込め効果を生じるものである。n型AlGa_Nクラッド層14は、AlGa_Nにたとえばn型ドーパントとしてのSiをドーブ(ドーピング濃度は、たとえば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)することによってn型半導体とされている。また、p型AlGa_Nクラッド層18は、p型ドーパントとしてのMgをドーブ(ドーピング濃度は、たとえば、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)することによってp型半導体層とされている。n型AlGa_Nクラッド層14は、n型Ga_Nガイド層15よりもバンドギャップが広く、p型AlGa_Nクラッド層18は、p型Ga_Nガイド層17よりもバンドギャップが広い。これにより、良好な閉じ込めを行うことができ、低閾値および高効率の半導体レーザダイオードを実現できる。

[0026] n型Ga_Nガイド層15およびp型Ga_Nガイド層17は、発光層10にキャリア(電子および正孔)を閉じ込めるためのキャリア閉じ込め効果を生じる半導体層である。これにより、発光層10における電子および正孔の再結合の効率が高められるようになっている。n型Ga_Nガイド層15は、Ga_Nにたとえばn型ドーパントとしてのSiをドーブ(ドーピング濃度は、たとえば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)することによりn型半導体とされており、p型Ga_Nガイド層17は、Ga_Nにたとえばp型ドーパントとしてのMgをドーブする(ドーピング濃度は、たとえば、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)ことによってp型半導体とされている。

[0027] p型AlGa_N電子ブロック層16は、AlGa_Nにp型ドーパントとしてのたとえばMgをドーブ(ドーピング濃度は、たとえば、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)して形成されたp型半導体であり、発光層10からの電子の流出を防いで、電子および正孔の再結合効率を高めている。

発光層10は、たとえばInGa_Nを含むMQW(multiple-quantum well)構造(多重量子井戸構造)を有しており、電子と正孔とが再結合することにより光が発生し、その発生した光を増幅させるための層である。発光層10は、具体的には、InGa_N層(たとえば3nm厚)とGa_N層(たとえば9nm厚)とを交互に複数周期繰り返し積層して構成されている。この場合に、InGa_N層は、Inの組成比が5%以上とされることにより、バンドギャップが比較的小さくなり、量子井戸層を構成する。一方、Ga_N層は、バンドギャップが比較的大きなバリア層(障壁層)として機能する。たとえば、InGa_N層とGa_N層とは交互に2~7周期繰り返し積層されて、MQW構造の発光層10が構成されている。発光波長は、量子井戸層(InGa_N層)におけるInの組成を調整することによって、4

00nm～550nmとされている。前記MQW構造は、Inを含む量子井戸の数が3以下とされることが好ましい。たとえば、発光波長を450nm以上とするときの量子井戸層のIn組成は、15%以上とされる。より具体的には、発光波長を500nmとするときのIn組成は18%～22%である。

[0028] p型半導体層12は、その一部が除去されることによって、リッジストライプ20を形成している。より具体的には、p型コンタクト層19、p型AlGa_Nクラッド層18およびp型Ga_Nガイド層17の一部がエッチング除去され、横断面視ほぼ台形形状(メサ形)のリッジストライプ20が形成されている。このリッジストライプ20は、c軸方向に沿って形成されている。

[0029] III族窒化物半導体積層構造2は、リッジストライプ20の長手方向両端における劈開により形成された一对の端面21, 22(劈開面)を有している。この一对の端面21, 22は、互いに平行であり、いずれもc軸に垂直である。こうして、n型Ga_Nガイド層15、発光層10およびp型Ga_Nガイド層17によって、端面21, 22を共振器端面とするファブリペロー共振器が形成されている。すなわち、発光層10で発生した光は、共振器端面21, 22の間を往復しながら、誘導放出によって増幅される。そして、増幅された光の一部が、共振器端面21, 22からレーザ光として素子外に取り出される。

[0030] n側電極3およびp側電極4は、たとえばAl金属からなり、それぞれ基板1およびp型コンタクト層19にオーミック接続されている。p側電極4がリッジストライプ20の頂面のp型Ga_Nコンタクト層19だけに接触するように、n型Ga_Nガイド層17およびp型AlGa_Nクラッド層18の露出面を覆う絶縁層6が設けられている。これにより、リッジストライプ20に電流を集中させることができるので、効率的なレーザ発振が可能になる。また、リッジストライプ20の表面は、p側電極4との接触部を除く領域が絶縁層6で覆われて保護されているので、横方向の光閉じ込めを緩やかにして制御を容易にすることができるとともに、側面からのリーク電流を防ぐことができる。絶縁層6は、屈折率が1よりも大きな絶縁材料、たとえば、SiO₂やZrO₂で構成することができる。

[0031] さらに、リッジストライプ20の頂面はm面となっていて、このm面にp側電極4が形成されている。そして、n側電極3が形成されている基板1の裏面もm面である。このように、p側電極4およびn側電極3のいずれもがm面に形成されているので、レーザの高

出力化や高温動作に十分に耐えられる信頼性を実現できる。

共振器端面21, 22は、それぞれ絶縁膜23, 24(図1では図示を省略した。)によって被覆されている。共振器端面21は、+c軸側端面であり、共振器端面22は-c軸側端面である。すなわち、共振器端面21の結晶面は+c面であり、共振器端面22の結晶面は-c面である。-c面側の絶縁膜24は、アルカリに溶けるなど化学的に弱い-c面を保護する保護膜として機能することができ、半導体レーザダイオード70の信頼性の向上に寄与する。

[0032] 図4に図解的に示すように、+c面である共振器端面21を被覆するように形成された絶縁膜23は、たとえば ZrO_2 の単膜からなる。これに対し、-c面である共振器端面22に形成された絶縁膜24は、たとえば SiO_2 膜と ZrO_2 膜とを交互に複数回(図4の例では5回)繰り返し積層した多重反射膜で構成されている。絶縁膜23を構成する ZrO_2 の単膜は、その厚さが $\lambda / 2n_1$ (ただし、 λ は発光層10の発光波長。 n_1 は ZrO_2 の屈折率)とされている。一方、絶縁膜24を構成する多重反射膜は、膜厚 $\lambda / 4n_2$ (但し n_2 は SiO_2 の屈折率)の SiO_2 膜と、膜厚 $\lambda / 4n_1$ の ZrO_2 膜とを交互に積層した構造となっている。

[0033] このような構造により、+c軸側端面21における反射率は小さく、-c軸側端面22における反射率が大きくなっている。より具体的には、たとえば、+c軸側端面21の反射率は20%程度とされ、-c軸側端面22における反射率は99.5%程度(ほぼ100%)となる。したがって、+c軸側端面21から、より大きなレーザ出力が出射されることになる。すなわち、この半導体レーザダイオード70では、+c軸側端面21が、レーザ出射端面とされている。

[0034] このような構成によって、n側電極3およびp側電極4を電源に接続し、n型半導体層11およびp型半導体層12から電子および正孔を発光層10に注入することによって、この発光層10内で電子および正孔の再結合を生じさせ、波長400nm~550nmの光を発生させることができる。この光は、共振器端面21, 22の間をガイド層15, 17に沿って往復しながら、誘導放出によって増幅される。そして、レーザ出射端面である共振器端面21から、より多くのレーザ出力が外部に取り出されることになる。

[0035] 図5は、III族窒化物半導体の結晶構造のユニットセルを表した図解図である。III族

窒化物半導体の結晶構造は、六方晶系で近似することができ、一つのIII族原子に対して4つの窒素原子が結合している。4つの窒素原子は、III族原子を中央に配置した正四面体の4つの頂点に位置している。これらの4つの窒素原子は、一つの窒素原子がIII族原子に対して+c軸方向に位置し、他の三つの窒素原子がIII族原子に対して-c軸側に位置している。このような構造のために、III族窒化物半導体では、分極方向がc軸に沿っている。

[0036] c軸は六角柱の軸方向に沿い、このc軸を法線とする面(六角柱の頂面)がc面(0001)である。c面に平行な2つの面でIII族窒化物半導体の結晶を劈開すると、+c軸側の面(+c面)はIII族原子が並んだ結晶面となり、-c軸側の面(-c面)は窒素原子が並んだ結晶面(窒素面)となる。そのため、c面は、+c軸側と-c軸側とで異なる性質を示すので、極性面(Polar Plane)と呼ばれる。

[0037] +c面と-c面とは異なる結晶面であるので、それに応じて、異なる物性を示す。具体的には、+c面は、アルカリに強いなどといった化学反応性に対する耐久性が高く、逆に、-c面は化学的に弱く、たとえば、アルカリに溶けてしまうことが分かっている。

一方、六角柱の側面がそれぞれm面(10-10)であり、隣り合わない一对の稜線を通る面がa面(11-20)である。これらは、c面に対して直角な結晶面であり、分極方向に対して直交しているため、極性のない平面、すなわち、非極性面(Nonpolar Plane)である。

[0038] たとえば、m面を主面とするGaN単結晶基板は、c面を主面としたGaN単結晶から切り出して作製することができる。切り出された基板のm面は、たとえば、化学的機械的研磨処理によって研磨され、(0001)方向(c軸方向)に関する方位誤差(c軸方向へのオフ角)が $-1^{\circ} \sim 0^{\circ}$ (好ましくは、 $-0.3^{\circ} \sim 0^{\circ}$)とされ、(11-20)方向(a軸方向)に関する方位誤差が、 $\pm 1^{\circ}$ 以内(好ましくは $\pm 0.3^{\circ}$ 以内)とされる。こうして、m面を主面とし、かつ、転位や積層欠陥といった結晶欠陥のないGaN単結晶基板が得られる。このようなGaN単結晶基板の表面には、原子レベルの段差(ステップ)が生じているにすぎない。

[0039] とくに、この実施形態では、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^{\circ} < \theta < 0$ (好ましくは、-

0. $3^{\circ} < \theta < 0$)の範囲の負の値を持つようにGa₂N単結晶基板の主面の方位が定められる。

このようにして得られるGa₂N単結晶基板上に、有機金属気相成長法によって、半導体レーザダイオード構造を構成するIII族窒化物半導体積層構造2が成長させられる。

[0040] m面を主面とするGa₂N単結晶基板1上にm面を成長主面とするIII族窒化物半導体積層構造2を成長させてa面に沿う断面を電子顕微鏡(STEM: 走査透過電子顕微鏡)で観察すると、III族窒化物半導体積層構造2には、転位の存在を表す条線が見られない。そして、表面状態を光学顕微鏡で観察すると、c軸方向への平坦性(最後部と最低部との高さの差)は10 Å以下であることが分かる。このことは、発光層10、とくに量子井戸層のc軸方向への平坦性が10 Å以下であることを意味し、発光スペクトルの半値幅を低くすることができる。このように、基板1としてGa₂N単結晶基板を用いることにより、III族窒化物半導体積層構造2は、欠陥の少ない高い結晶品質を有することができる。その結果、高性能のレーザダイオードを実現できる。

[0041] さらにまた、実質的に転位のないGa₂N単結晶基板上にIII族窒化物半導体積層構造を成長させることにより、このIII族窒化物半導体積層構造2は基板1の再成長面(m面)からの積層欠陥や貫通転位が生じていない良好な結晶とすることができる。これにより、欠陥に起因する発光効率低下などの特性劣化を抑制することができる。

また、m面を主面としたGa₂N単結晶基板上に結晶成長させられるIII族窒化物半導体は、m面を成長主面として成長する。c面を主面として結晶成長した場合には、c軸方向の分極の影響で、発光層10での発光効率が悪くなるおそれがある。これに対して、m面を結晶成長主面とすれば、量子井戸層での分極が抑制され、発光効率が増加する。これにより、閾値の低下やスロープ効率の増加を実現できる。また、分極が少ないため、発光波長の電流依存性が抑制され、安定した発振波長を実現できる。

[0042] さらにまた、m面を主面とすることにより、c軸方向およびa軸方向に物性の異方性が生じる。加えて、Inを含む発光層10(活性層)には、格子歪みによる2軸性応力が生じている。その結果、量子バンド構造が、c面を主面として結晶成長された活性層とは異なるものとなる。したがって、c面を成長主面とした活性層の場合とは異なる利得が

得られ、レーザ特性が向上する。

- [0043] また、m面を結晶成長の主面とすることにより、III族窒化物半導体結晶の成長を極めて安定に行うことができ、c面やa面を結晶成長主面とする場合よりも、結晶性を向上することができる。これにより、高性能のレーザダイオードの作製が可能になる。

発光層10は、m面を結晶成長主面として成長させられたIII族窒化物半導体からなるので、ここから発生する光は、a軸方向、すなわちm面に平行な方向に偏光しており、TEモードの場合、その進行方向はc軸方向である。したがって、半導体レーザダイオード70は、結晶成長主面が偏光方向に平行であり、かつ、ストライプ方向、すなわち導波路の方向が光の進行方向と平行に設定されている。これにより、TEモードの発振を容易に生じさせることができ、レーザ発振を生じさせるための閾値電流を低減することができる。

- [0044] 図6は、GaN単結晶基板1のc軸方向へのオフ角 θ を説明するための図である。GaN単結晶基板1の主面はm面であり、ジャストm面の法線方向はm軸方向に一致する。このm軸方向が基準方向である。実際の主面の法線方向1Aは、基準方向(m軸方向)に対してオフ角を有している。その法線方向1Aのa面(c軸およびm軸を含む平面)への正射影が基準方向(m軸方向)に対してなす角が、c軸方向へのオフ角 θ である。法線方向1Aの前記正射影が基準方向に対して+c軸側に傾斜しているとき、オフ角 θ は正の値をとる。逆に、法線方向1Aの前記正射影が基準方向に対して-c軸側に傾斜しているとき、オフ角 θ は負の値をとる。この実施形態では、前述のとおり、オフ角 θ は負の値とされている。

- [0045] 図7は、GaN単結晶基板1上でのIII族窒化物半導体の結晶成長の様子を示す図解図である。この図7には、c軸方向とm軸方向とを含む平面(すなわち、a面)に沿った断面が図解的に表されている。

GaN単結晶基板1の主面は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^{\circ} \sim 0^{\circ}$ の負の値を有する。このGaN単結晶基板1の表面には、原子レベルのステップ100が生じている。各ステップ100は、-c軸方向に向いた表面、すなわち、-c面(窒素面)となっている。このようなGaN単結晶基板1の主面上にIII族窒化物半導体を結晶成長させると、-c軸方向に膜状に半導体結晶が二次元成長しながら、厚さ方向(m軸方向)へと結

晶成長していく。

[0046] 前述のとおり、 c 面は、化学的に不安定な表面であるため、結晶成長時に不純物を取り込みやすくなる。この実施形態では、これを利用して、不純物としてのIn原子を比較的高温の条件(たとえば750°C以上)で多量に(たとえば、15%以上)取り込んで、450nm以上の長波長域に発光波長を有する発光層10を成長させる。

図8は、III族窒化物半導体積層構造2を構成する各層を成長させるための処理装置の構成を説明するための図解図である。処理室30内に、ヒータ31を内蔵したサセプタ32が配置されている。サセプタ32は、回転軸33に結合されており、この回転軸33は、処理室30外に配置された回転駆動機構34によって回転されるようになっている。これにより、サセプタ32に処理対象のウエハ35を保持させることにより、処理室30内でウエハ35を所定温度に昇温することができ、かつ、回転させることができる。ウエハ35は、前述のGaN単結晶基板1を構成するGaN単結晶ウエハである。

[0047] 処理室30には、排気配管36が接続されている。排気配管36はロータリポンプ等の排気設備に接続されている。これにより、処理室30内の圧力は、1/10気圧～常圧とされ、処理室30内の雰囲気は常時排気されている。

一方、処理室30には、サセプタ32に保持されたウエハ35の表面に向けて原料ガスを供給するための原料ガス供給路40が導入されている。この原料ガス供給路40には、窒素原料ガスとしてのアンモニアを供給する窒素原料配管41と、ガリウム原料ガスとしてのトリメチルガリウム(TM_G)を供給するガリウム原料配管42と、アルミニウム原料ガスとしてのトリメチルアルミニウム(TM_{Al})を供給するアルミニウム原料配管43と、インジウム原料ガスとしてのトリメチルインジウム(TM_{In})を供給するインジウム原料配管44と、マグネシウム原料ガスとしてのエチルシクロペンタジエニルマグネシウム(EtCp₂Mg)を供給するマグネシウム原料配管45と、シリコンの原料ガスとしてのシラン(SiH₄)を供給するシリコン原料配管46とが接続されている。これらの原料配管41～46には、それぞれバルブ51～56が介装されている。各原料ガスは、いずれも水素もしくは窒素またはこれらの両方からなるキャリアガスとともに供給されるようになっている。

[0048] たとえば、 m 面を主面とするGaN単結晶ウエハをウエハ35としてサセプタ32に保持

させる。この状態で、バルブ52～56は閉じておき、窒素原料バルブ51を開いて、処理室30内に、キャリアガスおよびアンモニアガス(窒素原料ガス)が供給される。さらに、ヒータ31への通電が行われ、ウェハ温度が1000℃～1100℃(たとえば、1050℃)まで昇温される。これにより、表面の荒れを生じさせることなくGaN半導体を成長させることができるようになる。

[0049] ウェハ温度が1000℃～1100℃に達するまで待機した後、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびシリコン原料バルブ56が開かれる。これにより、原料ガス供給路40から、キャリアガスとともに、アンモニア、トリメチルガリウムおよびシランが供給される。その結果、ウェハ35の表面に、シリコンがドーピングされたGaN層からなるn型GaNコンタクト層13が成長する。

[0050] 次に、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびシリコン原料バルブ56に加えて、アルミニウム原料バルブ53が開かれる。これにより、原料ガス供給路40から、キャリアガスとともに、アンモニア、トリメチルガリウム、シランおよびトリメチルアルミニウムが供給される。その結果、n型GaNコンタクト層13上に、n型AlGaNクラッド層14がエピタキシャル成長させられる。

[0051] 次に、アルミニウム原料バルブ53を閉じ、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびシリコン原料バルブ56を開く。これにより、原料ガス供給路40から、キャリアガスとともに、アンモニア、トリメチルガリウムおよびシランが供給される。その結果、n型AlGaNクラッド層14上にn型ガイド層がエピタキシャル成長させられる。

[0052] 次に、シリコン原料バルブ56が閉じられ、多重量子井戸構造の発光層10(活性層)の成長が行われる。発光層10の成長は、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびインジウム原料バルブ54を開いてアンモニア、トリメチルガリウムおよびトリメチルインジウムをウェハ35へと供給することによりInGaN層を成長させる工程と、インジウム原料バルブ54を閉じ、窒素原料バルブ51およびガリウム原料バルブ52を開いてアンモニアおよびトリメチルガリウムをウェハ35へと供給することにより、無添加のGaN層を成長させる工程とを交互に実行することによって行える。たとえば、GaN層を始めに形成し、その上にInGaN層を形成する。これを、たとえば、5回に渡って繰り返す。発光層10の形成時には、ウェハ35の温度は、たとえば、750℃～800℃

とされることが好ましい。このとき、成長圧力は700torr以上とすることが好ましく、これにより、耐熱性を向上することができる。

[0053] 前述のとおり、結晶成長は、 $-c$ 軸方向に膜状に進むので、量子井戸層としてのInGa N 層の成長時に、不純物としてのIn原子を取り込みやすい。そのため、InGa N 層を形成する際に、比較的高温の条件(750°C以上)とすることができる。このような高温の条件においても、In組成の高いInGa N 層を形成できる。たとえば、450nm以上(たとえば、500nm)の発光波長を実現するためにIn組成を15%以上(たとえば、20%)とする場合でも、780°C程度の温度条件とすることができる。また、発光波長を450nmとする場合でも、より高温でInGa N 層を成長させることができる。

[0054] こうして、発光層10が形成されると、次いで、 p 型電子ブロック層16が形成される。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52、アルミニウム原料バルブ53およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ54, 56が閉じられる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドーピングされたAlGa N 層からなる p 型電子ブロック層16が形成されることになる。この p 型電子ブロック層16の形成時には、ウエハ35の温度は、1000°C~1100°C(たとえば1000°C)とされることが好ましい。

[0055] 次に、アルミニウム原料バルブ53が閉じられ、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびマグネシウム原料バルブ55が開かれる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドーピングされた p 型Ga N 層からなるガイド層17が形成されることになる。この p 型Ga N ガイド層17の形成時には、ウエハ35の温度は、900°C~1100°C(たとえば1000°C)とされることが好ましい。

[0056] 次いで、再び、アルミニウム原料バルブ53が開かれる。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52、アルミニウム原料バルブ53およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ54, 56が閉じられる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドーピングされて p 型とされたAlGa N 層が

らなるクラッド層18が形成されることになる。このp型AlGa_Nクラッド層18の形成時には、ウエハ35の温度は、900℃～1100℃(たとえば1000℃)とされることが好ましい。

[0057] 次に、p型コンタクト層19が形成される。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ53, 54, 56が閉じられる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドーブされたGa_N層からなるp型Ga_Nコンタクト層19が形成されることになる。p型Ga_Nコンタクト層19の形成時には、ウエハ35の温度は、900℃～1100℃(たとえば1000℃)とされることが好ましい。

[0058] p型半導体層12を構成する各層は、1000℃以下の平均成長温度で結晶成長させられることが好ましい。これにより、発光層10への熱ダメージを低減できる。

ウエハ35(GaN単結晶基板1)上にIII族窒化物半導体積層構造2の構成層10, 13～19を成長するのに際しては、いずれの層の成長の際も、処理室30内のウエハ35に供給されるガリウム原料(トリメチルガリウム)のモル分率に対する窒素原料(アンモニア)のモル分率の比であるV/III比は、1000以上(好ましくは3000以上)の高い値に維持される。より具体的には、n型クラッド層14から最上層のp型コンタクト層19までにおいて、V/III比の平均値が1000以上であることが好ましい。これにより、n型クラッド層14、発光層10およびp型クラッド層18の全ての層において、点欠陥の少ない良好な結晶を得ることができる。

[0059] この実施形態では、上記のような高いV/III比を用い、かつ、GaN単結晶基板1とII族窒化物半導体積層構造2との間にバッファ層を介在することなく、m面等を主面とするIII族窒化物半導体積層構造2が、無転位の状態で、かつ、平坦に成長する。このIII族窒化物半導体積層構造2は、GaN単結晶基板1の主面から生じる積層欠陥や貫通転位を有していない。

[0060] こうして、ウエハ35上にIII族窒化物半導体積層構造2が成長させられると、このウエハ35は、エッチング装置に移され、たとえばプラズマエッチング等のドライエッチングによって、p型半導体層12の一部を除去してリッジストライプ20が形成される。このリ

リッジストライプ20は、c軸方向に平行になるように形成される。

リッジストライプ20の形成後には、絶縁層6が形成される。絶縁層6の形成は、たとえば、リフトオフ工程を用いて行われる。すなわち、ストライプ状のマスクを形成した後、p型AlGaInクラッド層18およびp型GaInコンタクト層19の全体を覆うように絶縁体薄膜を形成した後、この絶縁体薄膜をリフトオフしてp型GaInコンタクト層19を露出させるようにして、絶縁層6を形成できる。

[0061] 次いで、p型GaInコンタクト層19にオーミック接触するp側電極4が形成され、基板1にオーミック接触するn側電極3が形成される。これらの電極3、4の形成は、たとえば、抵抗加熱または電子線ビームによる金属蒸着装置によって行うことができる。

次の工程は、個別素子への分割である。すなわち、ウェハ35をリッジストライプ20に平行な方向およびこれに垂直な方向に劈開して、半導体レーザダイオードを構成する個々の素子が切り出される。リッジストライプに平行な方向に関する劈開はa面に沿って行われる。また、リッジストライプ20に垂直な方向に関する劈開はc面に沿って行われる。こうして、+c面からなる共振器端面21と、-c面からなる共振器端面22とが形成される。

[0062] 次に、共振器端面21、22に、それぞれ前述の絶縁膜23、24が形成される。この絶縁膜23、24の形成は、たとえば、電子サイクロトロン共鳴(ECR)成膜法によって行うことができる。

以上のように、この実施形態によれば、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ の範囲の負の値を有するm面を主面としたGaIn単結晶基板1を用い、このGaIn単結晶基板1の主面上にIII族窒化物半導体積層構造2を結晶成長させるようにしている。これにより、発光層10の形成時に、比較的高温の条件でIn組成の高いInGaIn層を形成することができる。したがって、発光層10は、熱ダメージに対して良好な耐久性を有する。そのため、発光層10を形成した後のp型半導体層12の形成時における特性劣化を抑制することができる。これにより、発光効率の高い窒化物半導体発光素子を得ることができる。とくに、発光層10のIn組成を高くして長波長(450nm以上)化を図る場合に、すぐれた発光効率を実現することができる。

[0063] 図9は、この発明の第2の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を示す斜

視図であり、図10は、図9の切断線X-Xに沿う縦断面図である。これらの図9および図10において、前述の図1～図3に示された各部に相当する部分には、同一の参照符号を付して示す。

この実施形態の半導体レーザダイオード80では、リッジストライプ20がa軸方向に平行に形成されており、したがって、共振器端面21, 22は、いずれもa面となっている。これらの共振器端面21, 22も、劈開によって形成された劈開面である。

[0064] III族窒化物半導体積層構造2をエピタキシャル成長する際に生じる積層欠陥は、c面に平行に発生する。そのため、前述の第1の実施形態の構成では、積層欠陥と導波路とが交差することになる。これに対して、この実施形態では、ストライプ方向をa軸に平行にしてあり、したがって、導波路はa軸と平行になっている。そして、a軸はc面と平行であるので、c面と平行に発生する積層欠陥が導波路と交差することがなくなる。これによって、積層欠陥による光導波の妨害やリーク電流の増加を回避することができる。

[0065] 図11は、この発明の第3の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図である。この図11において、前述の図1に示された各部に相当する部分には、同一の参照符号を付して示す。

この実施形態の半導体レーザダイオード90では、III族窒化物半導体積層構造2は、基板1とn型GaNコンタクト層13との間に、2軸性応力を含むInを含む層、すなわちn型InGaN層26(たとえば、 $0.1\mu\text{m}$ 厚。n型不純物濃度は $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)が介在されている。このn型InGaN層26を設けることにより、その2軸性応力によって、III族窒化物半導体積層構造2にc面と平行なクラックが生じることを抑制することができる。

[0066] 基板1をm面を主面とするGaN単結晶基板1とし、この上にIII族窒化物半導体積層構造2を成長させると、その成長主面はm面となり、むしろ、n型InGaN層26もm面を成長主面として成長する。これにより、n型InGaN層26は、2軸性応力を有することになる。

以上、この発明の3つの実施形態について説明したが、この発明はさらに他の形態で実施することもできる。

[0067] たとえば、前述の実施形態では、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ の範囲

のm面を主面とするIII族窒化物半導体積層構造2を用いる例について説明したが、他の非極性面であるa面を主面とするIII族窒化物半導体でIII族窒化物半導体積層構造2を形成してもよい。この場合、III族窒化物半導体積層構造2は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ の範囲の負の値を有するa面を主面とするIII族窒化物半導体で構成すればよい。このような、III族窒化物半導体積層構造2は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ の範囲の負の値を有するa面を主面とするGaN半導体単結晶基板上に形成することができる。

[0068] また、III族窒化物半導体積層構造2を構成する各層の層厚や不純物濃度等は一例であり、適宜適切な値を選択して用いることができる。また、クラッド層14, 18は、AlGaNの単層である必要はなく、AlGaN感層とGaN層とで構成された超格子によりクラッド層を構成することもできる。

また、III族窒化物半導体積層構造2を形成した後にレーザリフトオフなどで基板1を除去し、基板1のない半導体レーザダイオードとすることもできる。

[0069] さらにまた、前述の実施形態では、半導体レーザダイオードを例にとりて説明したが、むろん、この発明は、発光ダイオードのような他の構造の半導体発光素子にも適用することができ、その発光効率を向上することができる。

本発明の実施形態について詳細に説明してきたが、これらは本発明の技術的内容を明らかにするために用いられた具体例に過ぎず、本発明はこれらの具体例に限定して解釈されるべきではなく、本発明の精神および範囲は添付の請求の範囲によってのみ限定される。

[0070] この出願は、2007年6月8日に日本国特許庁に提出された特願2007-153045号に対応しており、この出願の全開示はここに引用により組み込まれるものとする。

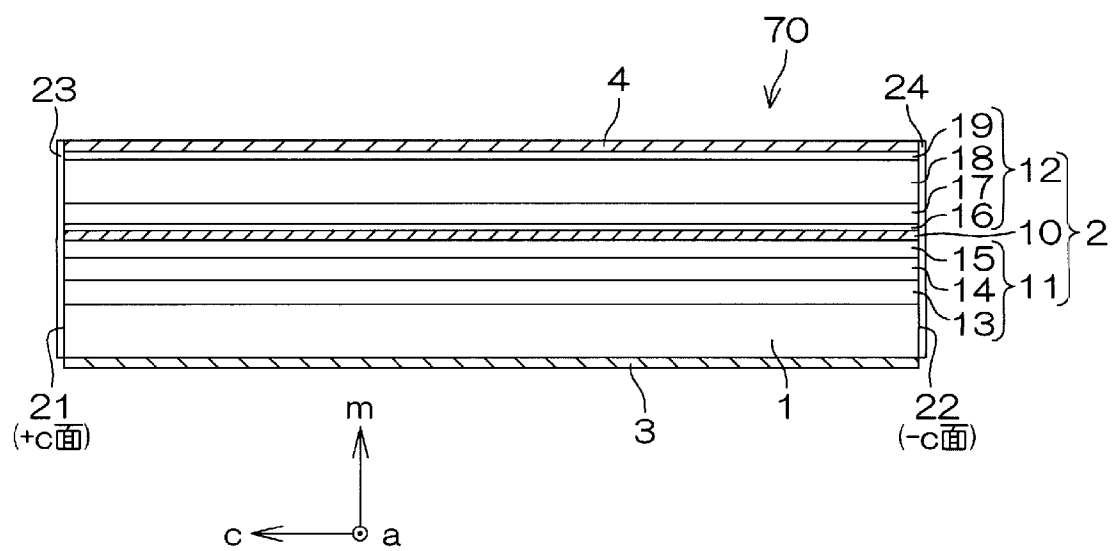
請求の範囲

- [1] Inを含む活性層ならびにこの活性層を挟むように積層されたp型層およびn型層を有するIII族窒化物半導体積層構造を含み、前記III族窒化物半導体積層構造が、c軸方向へのオフ角が負の非極性面を主面とするIII族窒化物半導体からなる、半導体発光素子。
- [2] 前記活性層の発光波長が450nm以上である、請求項1記載の半導体発光素子。
- [3] 前記III族窒化物半導体積層構造を構成するIII族窒化物半導体は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ を満たしている、請求項1または2記載の半導体発光素子。
- [4] Inを含む活性層ならびにこの活性層を挟むように積層されたp型層およびn型層を有するIII族窒化物半導体積層構造を含む半導体発光素子を製造するための方法であって、
c軸方向へのオフ角が負の非極性面を主面としてIII族窒化物半導体を成長させることにより、前記III族窒化物半導体積層構造を形成する工程を含む、半導体発光素子の製造方法。
- [5] 前記活性層の発光波長が450nm以上である、請求項4記載の半導体発光素子の製造方法。
- [6] 前記主面が、c軸方向へのオフ角が負のm面である、請求項4または5記載に半導体発光素子の製造方法。
- [7] 前記III族窒化物半導体積層構造を形成する工程は、c軸方向へのオフ角 θ が $-1^\circ < \theta < 0^\circ$ を満たす非極性面を主面とするIII族窒化物半導体を成長させる工程を含む、請求項4～6のいずれか一項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [8] 前記III族窒化物半導体積層構造を形成する工程は、c軸方向へのオフ角が負の主面を有するIII族窒化物半導体単結晶基板上にIII族窒化物半導体を成長させる工程を含む、請求項4～7のいずれか一項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [9] 前記III族窒化物半導体単結晶基板がGaN基板である、請求項8記載の半導体発光素子の製造方法。

图 1

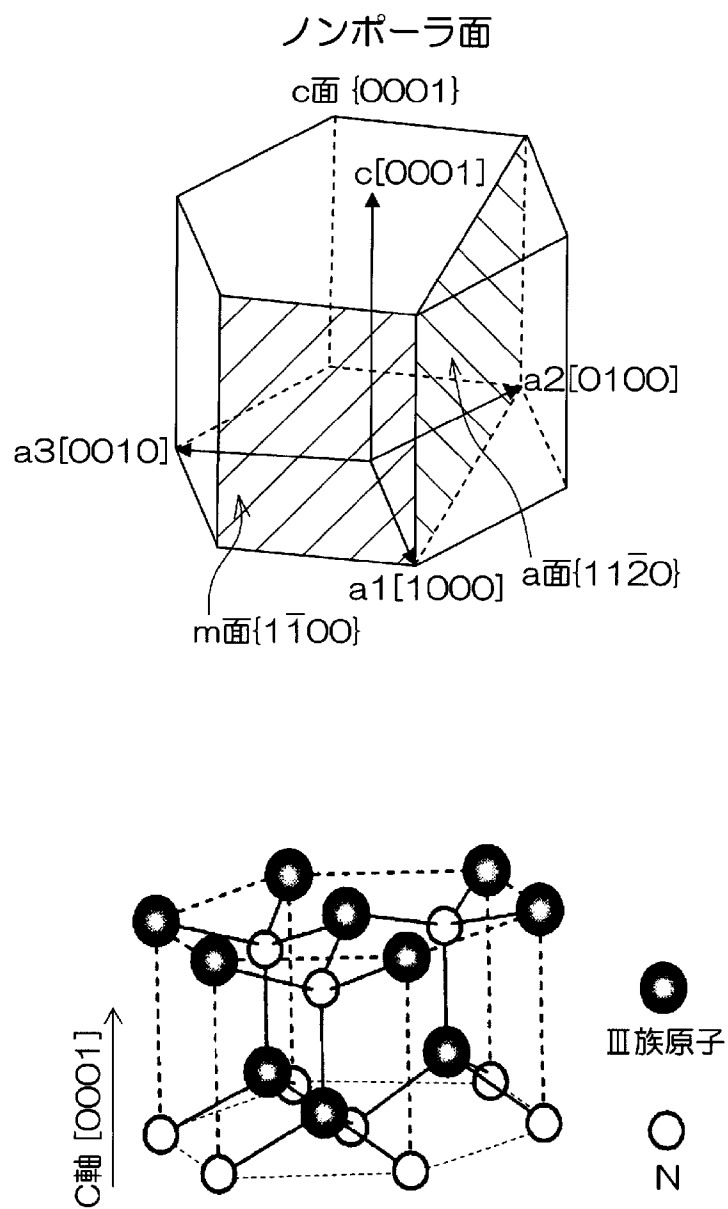


图2



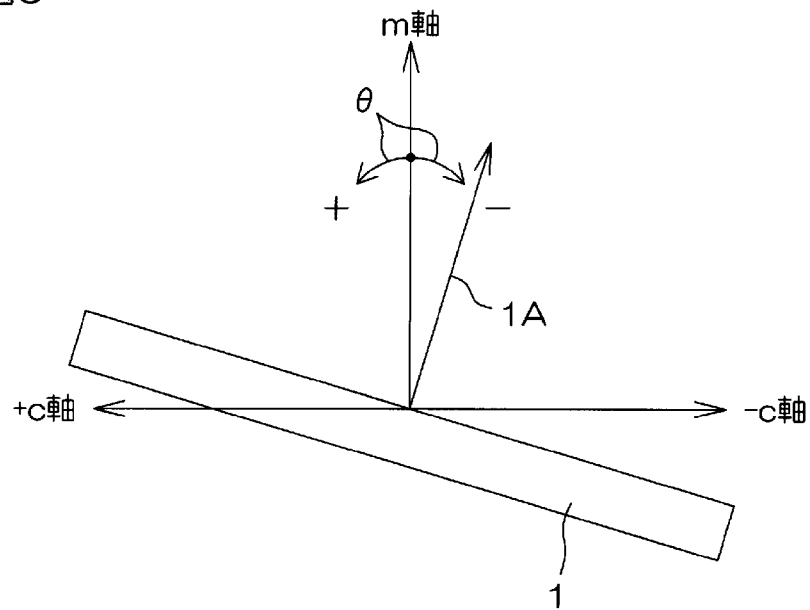
[図5]

図5



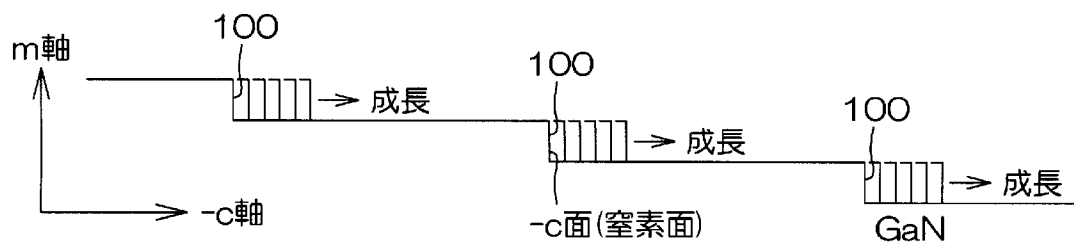
[図6]

图6



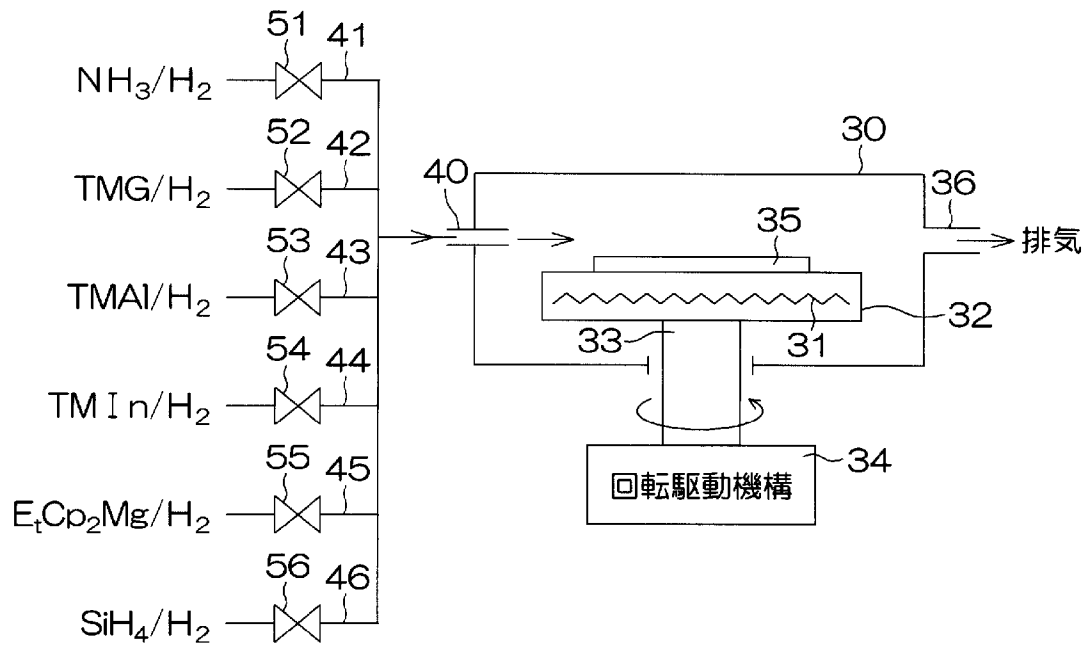
[図7]

图7



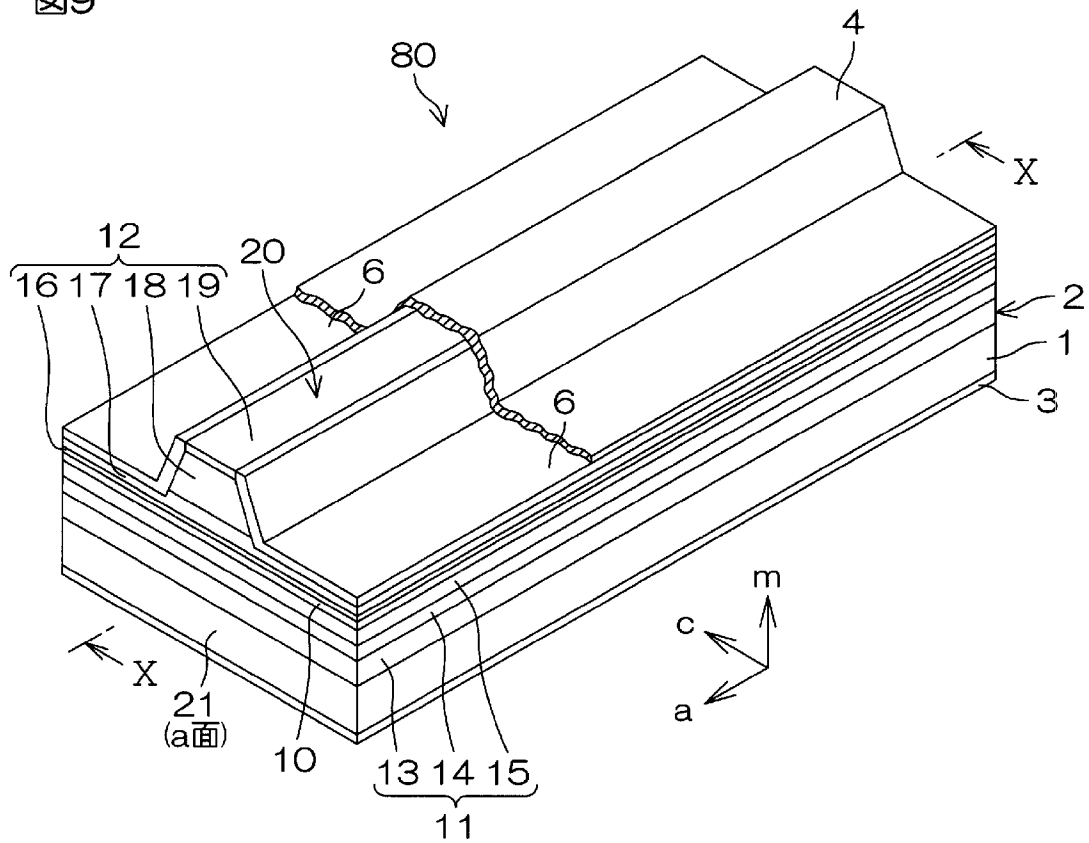
[図8]

図8



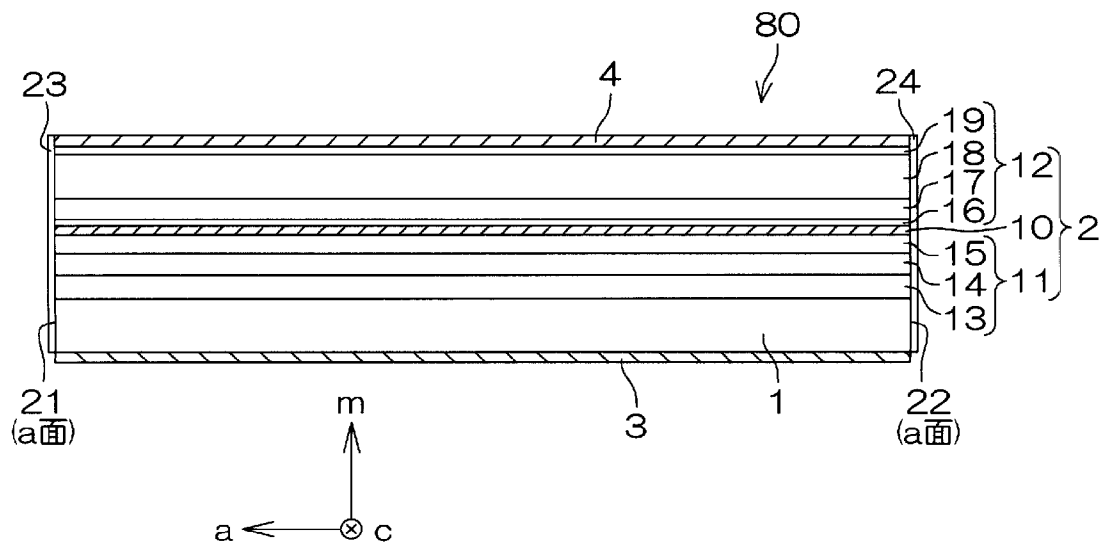
[図9]

図9



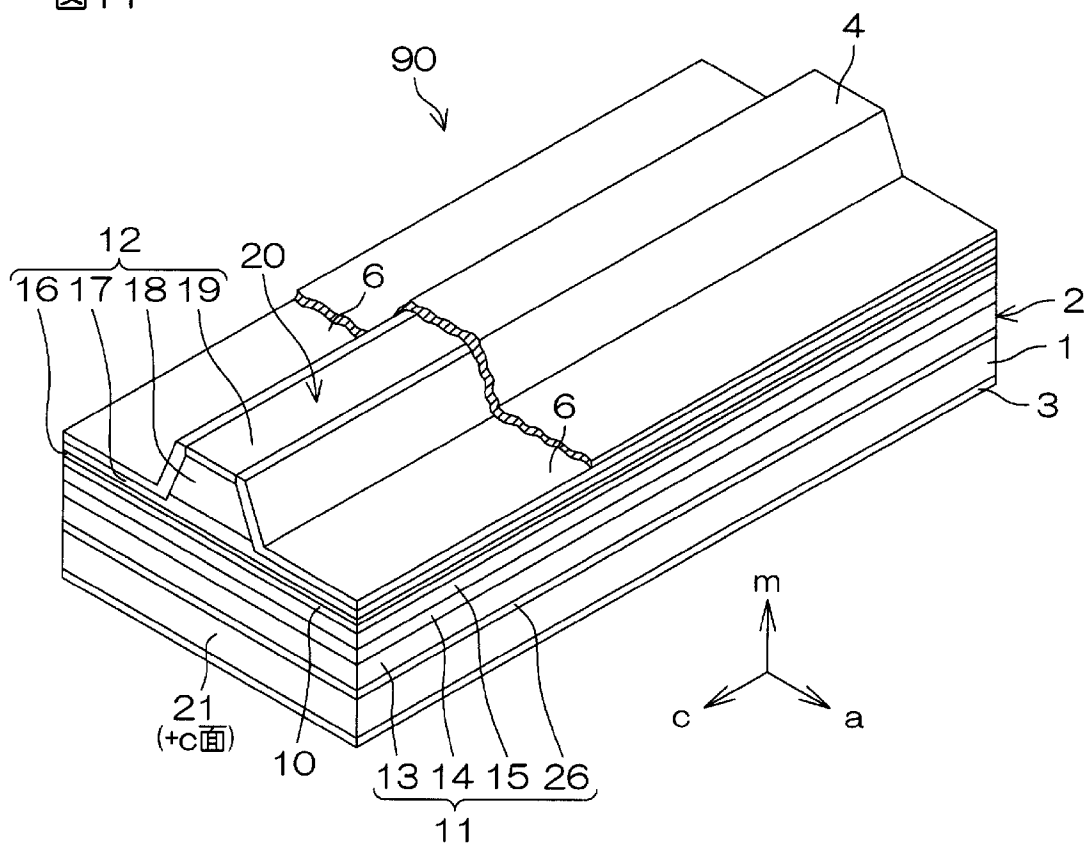
[図10]

図10



[図11]

図11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/060385

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/22 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/22

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	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

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

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-245564 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 14 September, 2006 (14.09.06), Claims & US 2006/0175618 A1	1-9
A	JP 2001-217506 A (Ricoh Co., Ltd.), 10 August, 2001 (10.08.01), Par. Nos. [0052], [0084], [0143] (Family: none)	1-9

☒ 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
18 June, 2008 (18.06.08)

Date of mailing of the international search report
01 July, 2008 (01.07.08)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/060385

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-531154 A (AMMONO Sp.zo.o.), 13 October, 2005 (13.10.05), Claims & US 2005/0249255 A1 & US 2004/0238810 A1 & US 2004/0251471 A1 & US 2004/0261692 A1 & US 2006/0032428 A1 & US 2007/0040240 A1 & EP 1520329 A & EP 1453158 A1 & EP 1453159 A1 & EP 1442162 A & EP 1518009 A & WO 2004/004085 A2 & WO 2003/036771 A1	1-9
A	JP 2005-340765 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 08 December, 2005 (08.12.05), Claims; Par. Nos. [0002], [0017], [0024] & US 2005/0242357 A1 & EP 1592075 A2	1-9
T	Hisashi YAMADA et al., Impact of Substrate Miscut on the Characterisitic of m-plane InGaN/GaN Light Emitting Diodes, Japanese Journal of Applied Physics, 2007.11.22, Vol.46, No.46, pp. L1117-L1119	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/22(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/22

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 8 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 8 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 8 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）

JSTPlus(JDreamII)

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 請求の範囲の番号
A	JP 2006-245564 A（松下電器産業株式会社）2006.09.14, 特許請求の範囲、 & US 2006/0175618 A1	1 - 9
A	JP 2001-217506 A（株式会社リコー）2001.08.10, 【0052】、【0084】、【0143】（ファミリーなし）	1 - 9

☒ 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

1 8 . 0 6 . 2 0 0 8

国際調査報告の発送日

0 1 . 0 7 . 2 0 0 8

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

榎本 英吾

2 K

9 6 0 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

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 請求の範囲の番号
A	JP 2005-531154 A (アンモノ・スプウカ・ジ・オグラニチョノン・オドポヴィエドニアウノシツィオン) 2005.10.13, 特許請求の範囲 & US 2005/0249255 A1 & US 2004/0238810 A1 & US 2004/0251471 A1 & US 2004/0261692 A1 & US 2006/0032428 A1 & US 2007/0040240 A1 & EP 1520329 A & EP 1453158 A1 & EP 1453159 A1 & EP 1442162 A & EP 1518009 A & WO 2004/004085 A2 & WO 2003/036771 A1	1 - 9
A	JP 2005-340765 A (住友電気工業株式会社) 2005.12.08, 特許請求 の範囲、【0002】、【0017】、【0024】 & US 2005/0242357 A1 & EP 1592075 A2	1 - 9
T	Hisashi YAMADA et al., Impact of Substrate Mismatch on the Characterisitic of m-plane InGaN/GaN Light Emitting Diodes, Japanese Journal of Applied Physics, 2007.11.22, Vol. 46, No. 46, pp. L1117-L1119	1 - 9