

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3910041号

(P3910041)

(45) 発行日 平成19年4月25日(2007.4.25)

(24) 登録日 平成19年2月2日(2007.2.2)

(51) Int. Cl.

F I

| | | | | | |
|---------|--------|-----------|---------|--------|-------|
| HO 1 S | 5/343 | (2006.01) | HO 1 S | 5/343 | 6 1 0 |
| C 2 3 C | 16/04 | (2006.01) | C 2 3 C | 16/04 | |
| C 2 3 C | 16/34 | (2006.01) | C 2 3 C | 16/34 | |
| HO 1 L | 21/205 | (2006.01) | HO 1 L | 21/205 | |

請求項の数 14 (全 22 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2001-330068 (P2001-330068) | (73) 特許権者 | 000005049 シャープ株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成13年10月29日(2001.10.29) | | 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 |
| (65) 公開番号 | 特開2003-133649 (P2003-133649A) | (73) 特許権者 | 000002130 住友電気工業株式会社 |
| (43) 公開日 | 平成15年5月9日(2003.5.9) | | 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 |
| 審査請求日 | 平成16年7月6日(2004.7.6) | (74) 代理人 | 100085501 弁理士 佐野 静夫 |
| | | (72) 発明者 | 湯浅 貴之 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内 |
| | | (72) 発明者 | 上田 吉裕 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子及びこれを備えた半導体光学装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

窒化物半導体基板と、該窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される窒化物半導体レーザ素子において、

前記窒化物半導体基板には、互いに相反する極性を有する以下(1)の転位集中領域と以下(2)の低転位領域とが含まれ、

(1) ストライプ状の高密度の欠陥領域を底とするとともに、その底の両側にファセット面から成る斜面を形成することでV字型とし、そのファセット面の斜面を維持させながら成長させることにより、前記斜面の下部に結晶欠陥を集中させたストライプ状の転位集中領域

(2) 該転位集中領域を除く領域である低転位領域

前記窒化物半導体基板の表面上の前記転位集中領域の位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を有し、

該成長抑制膜が設けられた前記窒化物半導体基板上に前記窒化物半導体層が積層されるとともに、

窒化物半導体レーザ素子のリッジストライプ部が、前記成長抑制膜の間に形成される前記窒化物半導体層の上方であり、かつ、以下(3)の高ルミネッセンス領域の直上を避けた領域に形成される窒化物半導体レーザ素子；

(3) 低転位領域の中央に含まれるとともに、ファセット面{0001}面が表出して成長することにより生じる高ルミネッセンス領域。

10

20

【請求項 2】

窒化物半導体基板と、該窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される窒化物半導体レーザ素子において、

前記窒化物半導体基板には、互いに相反する極性を有することで境界を生じさせる以下(1)の転位集中領域と以下(2)の低転位領域とが含まれ、

(1) ストライプ状の高密度の欠陥領域を底とするとともに、その底の両側にファセット面から成る斜面を形成することでV字型とし、そのファセット面の斜面を維持させながら成長させることにより、前記斜面の下部に結晶欠陥を集中させたストライプ状の転位集中領域

(2) 該転位集中領域を除く領域である低転位領域

前記窒化物半導体基板の表面上の前記転位集中領域の位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を有し、

該成長抑制膜が設けられた前記窒化物半導体基板上に前記窒化物半導体層が積層されるとともに、

窒化物半導体レーザ素子のリッジストライプ部が、前記成長抑制膜の間に形成される前記窒化物半導体層の上方であり、かつ、以下(3)の高ルミネッセンス領域の直上を避けた領域に形成される窒化物半導体レーザ素子；

(3) 低転位領域の中央に含まれるとともに、ファセット面{0001}面が表出して成長することにより生じる高ルミネッセンス領域。

10

【請求項 3】

前記転位集中領域の極性を有する面が、窒素原子が露出する面である請求項1または請求項2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 4】

前記成長抑制膜の形状が線状であり、

前記転位集中領域それぞれに対して簧の子状となるように複数本毎の前記成長抑制膜が設けられるとともに、該複数本毎の成長抑制膜によって前記各転位集中領域が覆われる請求項1～請求項3のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記各転位集中領域に対して設けられた前記複数本毎の成長抑制膜が、その幅が1 μm以上10 μm以下で、且つ、隣の成長抑制膜との間隔が1 μm以上10 μm以下で平行に並んで位置するように設けられ、

該複数本毎の成長抑制膜の幅と間隔とを合わせた領域それぞれが、前記各転位集中領域を被覆する請求項4に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記窒化物半導体基板の伝導特性がn型の伝導特性であるとともに、前記成長抑制膜を被覆するように、前記窒化物半導体基板の表面上にn型の伝導特性を有するGaN膜を形成する請求項1～請求項5のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 7】

前記n型の伝導特性を有するGaN膜の膜厚が、1 μm以上20 μm以下である請求項6に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記成長抑制膜の膜厚が0.05 μm以上1 μm以下である請求項1～請求項7のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 9】

前記成長抑制膜が、シリコン化合物膜、又は、金属膜である請求項1～請求項8のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 10】

前記成長抑制膜が、SiO₂膜、Si₃N₄膜、チタン膜、又は、タンゲステン膜のいずれかである請求項9に記載の窒化物半導体レーザ素子。

20

30

40

50

【請求項 1 1】

前記窒化物半導体層が量子井戸活性層を有するとともに、該活性層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) により構成される井戸層を含有する請求項 1 ~ 請求項 1 0 のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 1 2】

As、P および Sb の元素群のうち少なくともいずれかの元素が、前記活性層に含有される請求項 1 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 1 3】

前記窒化物半導体基板が GaN 基板である請求項 1 ~ 請求項 1 2 のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子。

10

【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 請求項 1 3 のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子を光源とすることを特徴とする半導体光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、窒化物半導体基板上に窒化物半導体層が積層されることによって構成される窒化物半導体レーザ素子とその製造方法及びこの窒化物半導体レーザ素子を用いた半導体光学装置に関する。

【0002】

20

【従来の技術】

Al、Ga、及び In 等の III 族元素と、V 族元素である N との化合物で構成される窒化物 III-V 族半導体(以後、「GaN 系半導体」と記す)は、そのバンド構造や化学的安定性から発光素子やパワーデバイスとして期待され、応用が試みられてきた。例えば、サファイア基板 (Al_2O_3) や SiC 基板上に GaN 系半導体を積層して青色レーザを発光する窒化物半導体レーザ素子を作製する試みが盛んに行われている。

【0003】

しかしながら、サファイア基板、SiC 基板上に GaN 結晶薄膜を成長させると GaN と基板材料との間の格子定数の違いから、転位などの多くの欠陥がエピタキシャル層に導入される。よって、高密度の電流を流す窒化物半導体レーザ素子の場合、欠陥が引き金になって格子構造が乱れ、欠陥が増殖するという恐れがある。又、窒化物半導体レーザ素子がサファイア基板上に構成される場合、寿命の点でも問題がある。それは、高密度の転位が窒化物半導体レーザ素子の寿命を制限していると考えられる。

30

【0004】

これらの点より、GaN 系半導体デバイスに用いる基板は、GaN 単結晶であることが理想的である。よって、基板と基板に積層される各層との間における格子定数の違いがなくなる。又、GaN は劈開性があるからウエハをチップに切り出す工程が容易になる。更に、GaN 結晶には導電性があり電極配置が単純化される。このような点で、基板に GaN 単結晶を用いることが最適である。

【0005】

40

このような GaN 単結晶による GaN 基板を用いた、紫外から可視領域で発振する窒化物半導体レーザ素子が、ジャパニーズ=ジャーナル=オブ=アプライド=フィジックス 39 号 L 6 4 7 ~ L 6 5 0 頁 (Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp. L 6 4 7 - 6 5 0) で報告されている。この窒化物半導体レーザ素子は、GaN 基板上に周期的なストライプ状の開口部をもつ SiO_2 マスクパターンが形成され、この上に、ストライプ状導波路(リッジストライプ構造)を有する窒化物半導体の積層構造が形成されることにより、構成される。

【0006】

この GaN 基板の製造には、次の方法が用いられている。周期 $20\ \mu\text{m}$ 毎にストライプ状の開口部をもつ SiO_2 マスクパターンが形成された下地となる種結晶上に、MOCVD

50

法 (Metalorganic Chemical Vapor Deposition) により、 $15\ \mu\text{m}$ 厚の GaN 層を形成し、表面が平坦なウェハーを得た。これは、ELOG (Epitaxially Lateral Overgrown) と呼ばれる技術であり、ラテラル成長の利用により、欠陥を低減する手法である。さらに、通常の HVPE 法 (Hydride Vapor Phase Epitaxy) により $200\ \mu\text{m}$ 厚の GaN 層を形成し、下地を除去することで GaN 基板が製造された。得られた半導体レーザの寿命特性は、60 において $30\ \text{mW}$ の出力条件で、推定寿命 15000 時間となった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述の窒化物半導体レーザ素子では、GaN 基板の製造方法が、3 回の結晶成長 (HVPE 成長、MOCVD 下地成長、MOCVD レーザ構造成長) を必要としており、複雑で、生産性に問題があった。また、寿命特性もまだ十分でなく、さらに高温で高出力 (例えば、 $70\text{--}60\ \text{mW}$) の条件での寿命特性が十分でなかった。又、製造時に歩留まりの低下につながる積層構造成長後の成長膜表面に現れるクラックによる歩留まりの低下を生じる場合がある。

【0008】

これらの問題は、窒化物半導体レーザ素子内に存在する結晶欠陥 (= 転位) が原因であり、この結晶欠陥は、通常、GaN 基板において、約 $5 \times 10^7\ \text{cm}^{-2}$ の結晶欠陥が基板表面に存在していることが確認されている。本結晶欠陥を曲げるあるいは消滅させる等の手段を用いれば、低欠陥密度の領域が得られることになり、課題となっている高出力の条件における十分な素子寿命の確保が可能になる。又、GaN 基板内あるいは GaN 基板上に形成された結晶成長層の中に構造的にひずみを緩和する機構を有していればクラックの生じる確率が低下し、クラックが原因となる歩留まりの低下が生じない。

【0009】

このような問題を鑑みて、本発明は、内部の結晶欠陥が低減されるとともに応力の緩和された窒化物半導体レーザ素子及びこの窒化物半導体レーザ素子を備えた半導体光学装置を提供することを目的とする。

【0010】

本発明は、窒化物半導体基板と、該窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される窒化物半導体レーザ素子である。そして、かかる窒化物半導体レーザ素子では、窒化物半導体基板には、互いに相反する極性を有する以下 (1) の転位集中領域と以下 (2) の低転位領域とが含まれ、

(1) ストライプ状の高密度の欠陥領域を底とするとともに、その底の両側にファセット面から成る斜面を形成することで V 字型とし、そのファセット面の斜面を維持させながら成長させることにより、前記斜面の下部に結晶欠陥を集中させたストライプ状の転位集中領域

(2) 転位集中領域を除く領域である低転位領域

窒化物半導体基板の表面上の転位集中領域の位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を有し、その長抑制膜が設けられた窒化物半導体基板上に窒化物半導体層が積層される。さらに、窒化物半導体レーザ素子のリッジストライプ部は、成長抑制膜の間に形成される窒化物半導体層の上方であり、かつ、以下 (3) の高ルミネッセンス領域の直上を避けた領域に形成される。

(3) 低転位領域の中央に含まれるとともに、ファセット面 {0001} 面が表出して成長することにより生じる高ルミネッセンス領域。

また、窒化物半導体基板と、窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される本発明の窒化物半導体レーザ素子にあっては、窒化物半導体基板には、互いに相反する極性を有することで境界を生じさせる以下 (1) の転位集中領域と以下 (2) の低転位領域とが含まれ、

(1) ストライプ状の高密度の欠陥領域を底とするとともに、その底の両側にファセット面から成る斜面を形成することで V 字型とし、そのファセット面の斜面を維持させながら成長させることにより、前記斜面の下部に結晶欠

10

20

30

40

50

陥を集中させたストライプ状の転位集中領域

(2) 転位集中領域を除く領域である低転位領域

窒化物半導体基板の表面上の前記転位集中領域の位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を有し、成長抑制膜が設けられた前記窒化物半導体基板上に前記窒化物半導体層が積層される。さらに、窒化物半導体レーザ素子のリッジストライプ部は、成長抑制膜の間に形成される窒化物半導体層の上方であり、かつ、以下(3)の高ルミネッセンス領域の直上を避けた領域に形成される。

(3) 低転位領域の中央に含まれるとともに、ファセット面{0001}面が表出して成長することにより生じる高ルミネッセンス領域。

【0011】

このようにすることで、窒化物半導体層を窒化物半導体基板の表面上に積層させる際に、転位集中領域からの結晶欠陥である転位の伝播を成長抑制膜で抑制し、窒化物半導体層に高密度な結晶欠陥が広がることが防がれる。よって、窒化物半導体層内の結晶欠陥密度を低くすることができる。

なお、転位集中領域の極性を有する面が、窒素原子が露出する面であると望ましい。

【0012】

このような窒化物半導体レーザ素子において、前記成長抑制膜の形状が線状であり、前記転位集中領域それぞれに対して箕の子状となるように複数本毎の前記成長抑制膜が設けられるとともに、該複数本毎の成長抑制膜によって前記各転位集中領域が覆われるようにしても構わない。このようにすることで、低転位領域から成長する窒化物半導体結晶が結合し易くなり、板状の成長抑制膜が設けられ、低転位領域からの窒化物半導体結晶が結合していない状態で窒化物半導体層が積層される場合に比べて、劈開が容易である。

【0013】

このとき、前記各転位集中領域に対して設けられた前記複数本毎の成長抑制膜が、その幅が1 μm以上10 μm以下で、且つ、隣の成長抑制膜との間隔が1 μm以上10 μm以下で平行に並んで位置するように設けられ、該複数本毎の成長抑制膜の幅と間隔とを合わせた領域それぞれが、前記各転位集中領域を被覆するようにする。

【0014】

又、前記窒化物半導体基板の伝導特性をn型の伝導特性とするとともに、前記成長抑制膜を被覆するように、前記窒化物半導体基板の表面上にn型の伝導特性を有するGaN膜を形成することによって、表面が平坦となるGaN膜を形成することができるため、窒化物半導体層への高密度の結晶欠陥の伝播を防ぐことができる。又、窒化物半導体基板を抵抗の高いn型の導電性の基板とすることで、窒化物半導体層がn型、p型の順序で積層されるため、結晶成長した窒化物半導体層の表面の平坦性がより向上し、レーザを出力するための電流の閾値を低減することができる。このとき、前記n型の伝導特性を有するGaN膜の膜厚を、1 μm以上20 μm以下とする。

【0015】

又、前記成長抑制膜の膜厚を0.05 μm以上1 μm以下とすることで、成長抑制膜の効果を与えると同時に、成長抑制膜による影響を防ぐ。又、前記成長抑制膜を、シリコン化合物膜、又は、金属膜とする。更に、このとき、前記成長抑制膜を、SiO₂膜、Si₃N₄膜、チタン膜、又は、タングステン膜のいずれかとする。

【0016】

上述した窒化物半導体レーザ素子において、前記窒化物半導体層が量子井戸活性層を有するとともに、該活性層がIn_xGa_{1-x}N(0 < x < 1)により構成される井戸層を含有するようにしても構わないし、更に、As、PおよびSbの元素群のうち少なくともいずれかの元素が、前記活性層に含有されるようにしても構わない。又、前記窒化物半導体基板がGaN基板であることが好ましい。

【0019】

本発明の半導体光学装置は、上述したような窒化物半導体レーザ素子を光源とすることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【0020】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施形態について、図面を参照して、説明する。尚、本明細書における窒化物半導体基板（GaN基板）に積層された窒化物半導体層とは、少なくとも $Al_xGa_yIn_zN$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、 $x + y + z = 1$ ）で構成された層である。窒化物半導体層は、この窒化物半導体層を構成している窒素元素の約10%以下（但し、六方晶系であること）が、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも何れかの元素で置換されても構わない。

【0021】

又、窒化物半導体層は、Si、O、Cl、S、C、Ge、Zn、Cd、Mg、及びBeの不純物群のうち、少なくとも何れかの不純物が添加されても構わない。その不純物の総添加量は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましい。前記窒化物半導体層がn型導電性を有するための不純物は、前記不純物群のうち、Si、Ge、S、Seの何れかが特に好ましく、p型導電性を有するための不純物はMg、Cd、Beの何れかが特に好ましい。

10

【0022】

又、本明細書における活性層とは、井戸層もしくは井戸層と障壁層から構成された層の総称を指すものとする。例えば、単一量子井戸構造の活性層は、1つの井戸層のみから構成されるか、もしくは、障壁層/井戸層/障壁層から構成される。また、多重量子井戸構造の活性層は複数の井戸層と複数の障壁層から構成される。

20

【0023】

GaNは六方晶系（hexagonal）であるから軸方向や面方位を表すには4つの指数を使う表記方法を採用する。a軸、b軸は120度をなし、長さは等しい（ $a = b$ ）これらに直交するc軸は特異な軸でありa軸と等しくない（ $c \neq a$ ）。a軸とb軸だけではab面の方向を表す際に対称性がなくなるのでもう一つの軸を想定する。これを仮にd軸とする。尚、a、b、d軸は、a、b軸だけで十分に方位を指定できるが対称性を損なわないようにもう一つ余分のd軸を導入したのであるからこれらは互いに独立でない。

【0024】

一つの平行面群を4つの指数（ $klmn$ ）で表現したとすると、これは原点から数えて1枚目の面がa軸、b軸、d軸、c軸を切る点の原点からの距離が a/k 、 b/l 、 d/m 、 c/n であるということである。これは他の晶系の場合と同じ定義である。ただしa、b、d軸は平面内に含まれる冗長な座標であるから、 k 、 l 、 m は独立でなく、常に $k + l + m = 0$ である。c軸に関しては立方晶等の場合と同じである。同等な平行面がc軸単位長さにn枚あるときc方向の指数がnとなる。だから4つの指数のうち前3つについては回転対称性があるが、c軸の指数は独立である。

30

【0025】

個々の面方位は（...）で表現する。集合的な面方位は{...}によって表現する。集合的なというのはある面方位をその晶系が許す全ての対称操作によって到達できる全ての面方位の集合を意味する。結晶方位も同じ指数によって表現する。結晶方位はそれに垂直な面の指数と同じ指数をつかう。個別の方位は[...]であらわす。集合方位は<...>で表現する。これらは結晶学の常識であるが混乱を避けるため説明した。マイナスの指数は数字の上に横線を引いて示すのが直観的に分かりやすく結晶学の決まりでもある。しかし数字の上に横線を引く事ができないので、ここでは数字の前に-をつけて負数を示す。

40

【0026】

< GaN基板の作製方法 >

まず、窒化物半導体レーザ素子を作製するために、その表面に窒化物半導体層を形成するGaN基板の作製方法について、図1を参照して説明する。図1は、n型GaN基板の製造過程を示す図である。

【0027】

このn型GaN基板を製造する際の結晶成長において、ファセット面からなる斜面を有し

50

て成長する。尚、ファセット面というのは成長方向に垂直な面（成長面）以外の面をいう。このファセット面となる斜面を維持して成長することで、転位を成長方向に対して伝播させて所定の位置に集合させることができる。このファセット面の成長した領域は、結晶欠陥（＝転位）の移動により低転位領域となる。又、ファセット面となる斜面の下部には、明確な境界を持った高密度の欠陥領域を有した成長が成される。そして、転位が、この高密度の欠陥領域（後述する「転位集中領域」に相当する）の境界或いはその内部に集合するため、この高密度の欠陥領域内で消滅或いは蓄積する。

【 0 0 2 8 】

このとき、この高密度の欠陥領域の形状によって、ファセット面の形状も異なる。高密度の欠陥領域がドット状となる場合、ファセット面が高密度の欠陥領域を取り巻くように形成され、ファセット面から成るピットが形成される。又、高密度の欠陥領域がストライプ状となる場合、この高密度の欠陥領域のストライプとなる部分を底となるようにして、高密度の欠陥領域の両側にファセット面の斜面を形成してV字型となる。

10

【 0 0 2 9 】

この高密度の欠陥領域を形成するためには、下地基板となる支持基体上に、高密度の欠陥領域を形成する場所に、非晶質又は多結晶の層である転位形成用の種を予め形成しておく必要がある。このように転位形成用の種が表面上に形成された支持基体にGa₂Nを成長させることによって、この転位形成用の種の直上の領域に、高密度の欠陥領域が形成される。そして、この高密度の欠陥領域を有してGa₂N層を成長させることにより、ファセット面を埋め込むこと無く、ファセット面を維持して成長を進行させることができる。

20

【 0 0 3 0 】

即ち、ハイドライド気相成長法（HVPE）法により、支持基体21上にn型Ga₂N層22を成長させるとき、ファセット面{11-22}面23が成長中の表面に主として表出するように成長する。その結果、図1(a)のように、表面の断面図形は鋸歯状の凹凸形状となる。ただし、凸部の頂点付近には、わずかに、{0001}面26が表出した部分がストライプ状に生成される。

【 0 0 3 1 】

ここで、HVPE法というのは、ホットウォール型の反応炉の上流部にGaポートを設け、加熱したGa融液にHClガスを吹き込むようにし、反応炉の下流部にGa₂N層22を成長させるための基体21を設けて、NH₃を吹き込むようにしておく。そして、加熱したGaメタル（融液）にHClを吹きこんでGaClを合成し、下方へ送り、下方でNH₃と反応させGa₂Nを合成しGa₂Nが基板に堆積するようにしたものである。

30

【 0 0 3 2 】

又、基体21としては2インチ（111）GaAsウェハを用いた。凹凸はピッチP = 400 μmの周期構造であり、図面奥行き方向に敵状に伸びている形状となっている。このGaAsウェハは、Ga₂Nを成長させて、後述するn型Ga₂N層22のインゴットを作製した後に除去する際に、容易に除去できるため、サファイアウェハなどに比べて適している。このように、凹凸の位置を規定するためには、基体21上にあらかじめ上記凹部に対応した開口を持つSiO₂のマスク（開口部が上述の「転位形成用の種」に相当する）を形成しておき、ファセット面が表出する状態で、結晶成長を行えば良い。

40

【 0 0 3 3 】

つまり、マスクの開口部は、Ga₂N結晶の[1-100]方向に平行になるように、ピッチP = 400 μmでストライプ状配置されており、そのマスクの形状は、連続したストライプ状としたり、あるいは個々のドット状として列上に並ぶような配置にしても良い。以降、本例では、間隔が400 μmでストライプ状の形状を形成することによりGa₂N基板を作製した例ついて記述するが、開口部の間隔は400 μmに限る必要は無い。望ましくはこの間隔は1000 μm以上がよく、更に望ましくは2000 μm以上、6000 μm以下がよい。

【 0 0 3 4 】

ファセット面{11-22}面23が表出した状態で、結晶成長を持続させる手法（成長

50

条件)に付いては、本出願人が先に出願した特開2001-102307号広報に詳細に開示している。なお、成長時に酸素をドーピングすることで、成長する結晶をn型とする。

【0035】

このように、ファセット面{11-22}面23が表出した状態で結晶成長を継続させ、さらにGaN結晶の形成を続けることで、図1(b)のように、基体21上に高さ30mmのn型GaN層22によるインゴットが作製される。このとき、その表面上に、種となるマスクの形状に応じたファセット面が形成される。即ち、マスクがドット状のパターンとなる場合は、ファセット面からなるピットが規則正しく形成され、又、マスクがストライプ状のパターンとなる場合は、V字型のファセット面が形成される。

10

【0036】

このn型GaN層22によるインゴットを、スライサーによりスライス切断加工して薄片(n型GaN基板)を得る。更に、この薄片を研磨加工して、図1(c)の断面図及び図1(d)の上面図で表されるような、表面が平坦な2インチ径、厚さ350 μ mのn型GaN基板10が得られる。その後、n型GaN基板10の表面を研削、研磨を施すことによって、表面を平坦化して、使用可能な状態とすることができる。即ち、このn型GaN基板10において、エピタキシャル成長を行うための表面を鏡面研磨仕上げとする。

【0037】

尚、この表面は、ほぼ(0001)面としたが、上にエピタキシャル成長される窒化物半導体層のモフォロジーが平坦で良好になるためには、(0001)面から任意の方向に0.2~1°の範囲で、オフ角度を有していることが望ましく、特に表面の平坦性が最小になるようにするためには、0.4~0.8°の範囲とすることが好ましい。

20

【0038】

このようにして構成されるn型GaN基板10の表面を顕微鏡で詳細に観察した。研磨加工された表面は必ずしも平坦でなく、凹凸が生じている。即ち、図1における結晶成長時に凹部の最底部が生じていた領域24に対応する領域がやや窪んでいる。

【0039】

又、硫酸、磷酸の混酸を250に加熱した液にサンプルとなるn型GaN基板10を浸しエッチングを行って、ファセット面が集合するエッチピットが表面にできるようにした。その結果、領域24に対応する領域に多数のエッチピットが現れるため、この領域に転位が極めて集中していることが判明した。この上記した領域24は、転位が極めて集中しているために、研磨工程で他の部分よりも侵食されやすく、窪みが生じて生成されたものと考えられる。

30

【0040】

この窪みの生じた領域24の幅は約10~40 μ mであった。この領域24以外の領域は、EPD(エッチピット密度)10⁴~10⁵cm⁻²台の低転位領域となっており、又、領域24のEPDは、これよりも3桁以上大きくなる。このように、窪みの生じる領域24は、周囲に比べて数桁も結晶欠陥密度(=転位密度)が大きくなっている部分で、上述の高密度の欠陥領域に相当する領域であるため、本明細書では、以後「転位集中領域」と呼称する。

40

【0041】

この転位集中領域24は基板上の他の領域と異なり、極性が反転している場合があった。即ち、n型GaN基板10の表面位置において、転位集中領域24以外の面はGa(ガリウム)が露出する面方位であり、転位集中領域24の面はN(窒素)が露出する面方位である場合があった。又、この転位集中領域24は、このような状態を含めていくつかの状態がある。即ち、例えば、多結晶からなる場合、単結晶であるが周囲の低欠陥領域に対して微かに傾斜している場合、又、上述のような周囲の低欠陥領域に対して[0001]方向のc軸が反転している場合などがある。このような転位集中領域24は、明確な境界を有して、周囲の領域と区別される。

【0042】

50

また、サンプルとなるn型Ga_{0.99}N基板10に対して紫外線(Hgランプ365nm輝線を用いることができる)を照射して、表面からのルミネッセンスを顕微鏡を用いて蛍光顕微鏡観察を行った。その結果、転位集中領域24に挟まれた低転位領域の中央に、比較的はっきりと境界をもった、周囲とコントラストが異なるストライプ状の領域が観察される。この領域は、周囲よりも肉眼で観察される発光(ルミネッセンス)が強く、やや黄色がかった発光が明るく観察される領域である。

【0043】

この観察された発光の明るい領域25は、結晶成長時に{0001}面が表出しつつ成長していた部分である。このように周囲と異なって観察されるのは、ドーパントの取りこまれが周囲と異なるなどの理由が考えられる。よって、以下、この領域25を「高ルミネッセンス領域」と呼称する。又、結晶成長時に、{0001}面が表出しつつ成長した部分は必ずしも同一の幅をもって均一に進行するものではないために、高ルミネッセンス領域25の幅は、やや揺らぎを持っているものの、0μmから30μmの程度であった。

10

【0044】

このようなn型Ga_{0.99}N基板10の形成のための結晶成長方法は、HVPE法以外の気相成長によってもよく、MOCVD法(Metalorganic Chemical Vapor Phase Deposition)、MOVPE法(Metalorganic Chloride Vapor Phase Epitaxy)、昇華法などを用いても実施することができる

【0045】

又、n型Ga_{0.99}N基板10の形成のための成長に用いる基体21としては、GaAsの他にも、軸廻りに六回対称性あるいは三回対称性がある単結晶基板を用いることができる。つまり結晶系としては六方晶系又は立方晶系(Cubic symmetry)の単結晶である。立方晶系の場合(111)面を使えば三回対称性がある。サファイア、SiC、SiO₂、NdGaO₃、ZnO、Ga_{0.99}N、AlN、ZrB₂などの六方晶系の単結晶を用いることができる。Si、スピネル、MgO、GaPなどの立方晶系の(111)面基板を用いることもできる。これらはGa_{0.99}Nを(0001)面で成長させるものである。

20

【0046】

更に、n型Ga_{0.99}N基板10の形成のためのマスクの設け方も2種類ある。一つは基体21の上に直接にマスクを形成する手法である。この場合エピ層に先立ち窓の内部の基板露出面にGa_{0.99}Nバッファ層を堆積する等の工夫が必要になる。もう一つは基体21の上に予め薄くGa_{0.99}N層を形成しておいて、その上にマスクを形成する手法である。後者の方が成長がスムーズに進行し、より好ましい場合が多い。

30

【0047】

<第1の実施形態>

上述のようにして形成され、転位集中領域及び高ルミネッセンス領域を有するn型Ga_{0.99}N基板を用いて製作される窒化物半導体レーザ素子の第1の実施形態について、図面を参照して以下に説明する。図2は、本発明の窒化物半導体レーザ素子の構成を示す断面図である。尚、図2において、高ルミネッセンス領域は省略している。

【0048】

1. 成長抑制膜の形成

まず、このn型Ga_{0.99}N基板10の表面上に、図2のような成長抑制膜13が形成される。この成長抑制膜13は、n型Ga_{0.99}N基板10表面において、転移集中領域11(図2の転移集中領域24に相当する)を被覆するように形成される。この成長抑制膜13は、n型Ga_{0.99}N基板10に窒化物半導体層を積層して窒化物半導体レーザ装置を構成する際、n型Ga_{0.99}N基板10上の成長膜内に転位が引き継がれるのを防ぐ役割を行う。よって、成長抑制膜13については、この成長抑制膜13から通常の窒化物半導体のエピタキシャル成長が困難となる材料が用いられる。本実施形態では、成長抑制膜13の材料として、SiO₂(酸化シリコン)を用いた。

40

【0049】

n型Ga_{0.99}N基板10を電子ビーム蒸着装置内に設置し、内部の圧力が所定の真空度に達し

50

た後、 SiO_2 を $0.2\ \mu\text{m}$ の厚さになるように制御して、 SiO_2 膜をn型Ga_{0.99}N基板10の表面に形成する。その後、蒸着した SiO_2 膜を簡便なフォトリソグラフィを用いて、n型Ga_{0.99}N基板10表面の転位集中領域11のみを被覆するようにエッチングを行うことによって、成長抑制膜13を形成する。転位集中領域11の幅は $40\ \mu\text{m}$ 以下であるため、被覆する成長抑制膜13の幅を $50\ \mu\text{m}$ とした。このようにすることで、低転位領域12からGa_{0.99}N結晶が成長を行う。

【0050】

尚、本実施形態では成長抑制膜13として SiO_2 を用いたが、同様に Si_3N_4 等のシリコン化合物や、タングステン(W)、チタン(Ti)などの金属を用いても構わない。又、被覆する成長抑制膜13の膜厚を $0.2\ \mu\text{m}$ としたが、 $0.05\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$ 程度であれば十分効果が得られる。又、被覆する成長抑制膜13の幅を $50\ \mu\text{m}$ としたが、転位集中領域11を被覆し、低転位領域12に通常の窒化物半導体のエピタキシャル成長が行われるための幅を有していれば更に広くても構わない。

10

【0051】

2. 窒化物半導体層のエピタキシャル成長

MOCVD装置を用いて、n型Ga_{0.99}N基板10に、V族原料の NH_3 とIII族原料のTMGa(トリメチルガリウム)又はTEGa(トリエチルガリウム)と、ドーパント原料としての SiH_4 を使用し、水素あるいは窒素を原料キャリアガスとして用い、基板温度 1050 で、膜厚 $3\ \mu\text{m}$ のn型Ga_{0.99}N層101を形成する。ついで、 800 の基板温度で、上記原料にIII族原料としてのTMIn(トリメチルインジウム)を加え、n型In_{0.07}Ga_{0.93}Nクラック防止層102を $40\ \text{nm}$ 形成する。

20

【0052】

次に、基板温度が 1050 に昇温し、TMAI(トリメチルアルミニウム)またはTEAI(トリエチルアルミニウム)のIII族原料を用い、 $1.2\ \mu\text{m}$ 厚のn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層103を形成する。前記n型不純物としてSiが $5 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ になるようにドーパント原料を調整した。続いてn型Ga_{0.99}N光ガイド層104(Si不純物濃度 $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$)を $0.1\ \mu\text{m}$ の膜厚になるように形成する。

【0053】

その後、基板温度を 750 まで降温し、3周期の、膜厚 $4\ \text{nm}$ のIn_{0.1}Ga_{0.9}N井戸層と膜厚 $8\ \text{nm}$ のIn_{0.01}Ga_{0.99}N障壁層から構成された活性層(多重量子井戸構造)105を、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層の順序で形成する。その際、障壁層の形成時のみ、又は、障壁層及び井戸層の両方の形成時に、 SiH_4 (Si不純物濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$)を導入するようにする。又、障壁層と井戸層それぞれの形成を切り換える際に、1秒以上180秒以内の成長中断が実施されると、各層の平坦性が向上し、発光半値幅が減少して好ましい。

30

【0054】

このような活性層105にAsが添加される場合はAsH₃(アルシン)又はTBAs(ターシャリブチルアルシン)又はTMAAs(トリメチルアルシン)を、活性層105にPが添加される場合はPH₃(ホスフィン)又はTBP(ターシャリブチルホスフィン)又はTMP(トリメチルホスフィン)を、活性層105にSbが添加される場合はTMSb(トリメチルアンチモン)又はTESb(トリエチルアンチモン)を、それぞれ添加すると良い。また、活性層105が形成される際、N原料として、 NH_3 以外に N_2H_4 (ヒドラジン)又は $\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_8$ (ジメチルヒドラジン)等のヒドラジン原料、あるいはエチルアジドなどのアジド原料を用いても構わない。

40

【0055】

活性層105に複数層のIn_xGa_{1-x}N量子井戸を有する場合、及び活性層105にAs又はP添加して量子井戸活性層とする場合、量子井戸中に貫通転位があると、Inが転位部分に偏析することが知られている。従って、上記In_xGa_{1-x}Nを主構成元素とする量子井戸を活性層に用いる場合には、転位(結晶欠陥)を可能な限り少なくすることが良好

50

なレーザ特性を得るためには必要である。

【0056】

次に、基板温度を再び1050℃まで昇温して、厚み20nmのp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nキャリアブロック層106、0.1μmのp型Ga_{0.99}N光ガイド層107、0.5μmのp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層108と0.1μmのp型Ga_{0.99}Nコンタクト層109を順次形成する。この際、p型不純物として原料にEtCP₂Mg(ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgが $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ になるように調整する。Mg原料としてはシクロペンタジエニルマグネシウム、ビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウムなど、他のシクロペンタ系のMg原料を用いても構わない。

【0057】

又、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層109のp型不純物濃度は、p電極15の方向に向かって、p型不純物濃度を多くする方が好ましい。このことによりp電極15を形成する際のコンタクト抵抗が低減する。又、p型不純物であるMgの活性化を妨げているp型層中の残留水素を除去するために、p型層成長中に微量の酸素を混入しても構わない。

【0058】

このようにして、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層109を形成した後、MOCVD装置のリアクター内を全て窒素キャリアガスとNH₃に変え、基板温度を60℃/分の割合で低下させる。基板温度が800℃に達した時点で、NH₃の供給量を停止し、5分間、基板温度を800℃で維持させて待機してから、基板温度を室温まで低下させる。この待機温度は650℃から900℃の間が好ましく、待機時間は、3分以上10分以下が好ましい。又、

【0059】

このようにして作製された窒化物半導体層がラマン測定によって評価された結果、前記手法により、MOCVD装置からのウェハー取りだした後のp型化アニールが実行されなくても、Mgが活性化しているため、成長後すでにp型化の特性が示される。又、p電極15の形成によるコンタクト抵抗も低減する。更に、従来のp型化アニールが組み合わせて行われると、Mgの活性化率がより向上して好ましい。

【0060】

尚、n型In_{0.07}Ga_{0.93}Nクラック防止層102は、In組成比が0.07以外であっても構わないし、n型InGa_{0.99}Nクラック防止層102自体がなくとも構わない。しかしながら、n型AlGa_{0.99}Nクラッド層103とn型Ga_{0.99}N基板10との格子不整合が大きくなる場合は、このn型InGa_{0.99}Nクラック防止層102を挿入した方がクラックを防止するため好ましい。また、クラックを防止するために、n型の不純物として、Siの代わりにGeを用いても構わない。

【0061】

又、活性層105は、障壁層で始まり障壁層で終わる構成であったが、井戸層で始まり井戸層で終わる構成であってもよい。又、井戸層の層数は、前述の3層に限らず、10層以下であれば閾値電流密度が低く、室温連続発振が可能である。このとき、特に2層以上6層以下とした場合、閾値電流密度が低く好ましい。更に、この活性層105に、Alが含まれても構わない。

【0062】

又、活性層105は、井戸層と障壁層の両層にSiが所要量添加された構成とされたが、不純物が添加されない構成としても構わない。しかしながら、Siのような不純物が活性層105に添加される方が発光強度が強くなる。このように添加される不純物としては、Si以外にO、C、Ge、ZnおよびMgの不純物群のうち、少なくとも何れかの不純物としても構わない。又、この不純物群の添加量の総和は、約 $1 \times 10^{17} \sim 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度が好ましい。更に、不純物が添加される層は、井戸層と障壁層の両層に限らず片方の層のみにとっても構わない。

【0063】

又、p型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nキャリアブロック層106は、その組成を別のものとしても構

10

20

30

40

50

わない。例えば、Inを添加すれば、より低温成長でp型化するので、基板温度を低温として成長させることができ、結晶成長時に活性層105にダメージを与えることが減少する。尚、p型AlGa_{0.1}Nキャリアブロック層106自体がなくても構わないが、このp型AlGa_{0.1}Nキャリアブロック層106を設けた方が閾値電流密度が低くなる。これは、p型AlGa_{0.1}Nキャリアブロック層106が活性層105にキャリアを閉じ込める働きがあるからである。

【0064】

又、p型AlGa_{0.1}Nキャリアブロック層106のAl組成比を高くすることによって、キャリアの閉じ込めが強くなって好ましい。このとき、キャリアの閉じ込めが保持される程度までAl組成比を小さくすれば、p型AlGa_{0.1}Nキャリアブロック層106内のキャリア移動度が大きくなり電気抵抗が低くなるため、更に好ましい。

10

【0065】

又、n型AlGa_{0.9}Nクラッド層103とp型AlGa_{0.1}Nクラッド層108として、Al_{0.1}Ga_{0.9}N結晶が用いられたが、Alの組成比が0.1以外となるAlGa_{0.1}N3元結晶であっても構わない。Alの混晶比が高くなると活性層105とのエネルギーギャップ差及び屈折率差が大きくなり、キャリアや光を活性層105に効率良く閉じ込めることができるため、レーザ発振閾値電流密度の低減させることができる。又、キャリアおよび光の閉じ込めが保持される程度までAl組成比を小さくすれば、n型AlGa_{0.9}Nクラッド層103及びp型AlGa_{0.1}Nクラッド層108それぞれでのキャリア移動度が大きくなり、素子の動作電圧を低くすることができる。

20

【0066】

このとき、n型AlGa_{0.9}Nクラッド層103の厚みを、0.7μm~1.5μmとすることで、垂直横モードの単峰化と光り閉じ込め効率が増し、レーザの光学特性の向上とレーザ閾値電流密度の低減を図ることができる。又、n型クラッド層103及びp型クラッド層108を、AlGa_{0.1}N3元混晶としたが、AlInGa_{0.1}N、AlGa_{0.1}NP、AlGa_{0.1}NAs等の4元混晶としても良い。更に、p型クラッド層108は、電気抵抗を低減するために、p型AlGa_{0.1}N層とp型Ga_{0.1}N層からなる超格子構造、又は、p型AlGa_{0.1}N層とp型InGa_{0.1}N層からなる超格子構造で構成しても構わない。

【0067】

又、n型Ga_{0.9}N基板10上に窒化物半導体層を積層する際に、MOCVD装置による結晶成長方法が用いられるものとしたが、分子線エピタキシー法(MBE)、又は、上述したHVPE法が用いられても構わない。

30

【0068】

続いて、上述のようにして窒化物半導体層の各層がn型Ga_{0.9}N基板10上に形成されたエピウェハをMOCVD装置から取り出した後、窒化物半導体レーザ素子チップに加工するための後述する各プロセス工程がなされる。ここで、図2のように、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層108は凸型のリッジストライプ部となっているが、これは後述するプロセス工程により加工された形状である。

【0069】

このようにして、窒化物半導体レーザ素子を作製し終えたエピウェハの表面は、成長抑制膜13直上以外は平坦となる。又、成長抑制膜13直上において、窒化物半導体層はエピタキシャル成長せず凹状の状態となる。このようにして得られた窒化物半導体層において、エピタキシャル成長が成された成長抑制膜13直上以外の部分(以下、「エピタキシャル成長部分」と呼ぶ)にはクラックが全く観察されることは無かった。

40

【0070】

これは、成長抑制膜13直上に生成される凹部が応力を緩和しているため、エピタキシャル成長部分が、リッジストライプ部に対して垂直方向(図2の左右方向)に残留応力が低減されることによるものと考えられる。又、Ga_{0.9}N基板10の表面まで伝搬している転位が成長抑制膜13により、Ga_{0.9}N基板10の上部に位置するエピタキシャル成長部分への拡散を防止しているため、窒化物半導体層の中は基板の低欠陥領域内の転位密度を超える

50

ことなく通常のGaN基板10を使用したものよりも転位密度が低くなる。

【0071】

又、転位集中領域11ではGaN基板10の表面の極性が窒素面に反転する旨記述したが、成長抑制膜13を転位集中領域11上に形成して窒化物半導体層を成長させることで、窒素面がGaN基板10の表面に共存することにより通常のGa面上の成長が阻害されることがなくなる。よって、窒化物半導体レーザ素子の特性としては転位集中領域11の極性が反転していない場合と同様に、結晶欠陥の低減と、応力の緩和による効果が確認できる。

【0072】

3. 素子化プロセス

n型GaN基板10に対して水平方向に光を閉じ込めるためのリッジストライプ部が、窒化物半導体層の平坦な部分の表面に形成された。但し、高ルミネッセンス領域25(図1)を有するn型GaN基板10を使用する場合には、リッジストライプ部が高ルミネッセンス領域25の直上となる位置に形成されないようにすることが望ましい。これは、高ルミネッセンス領域25が他の領域と比べて、ドーパントの含有量または活性化度が小さく、抵抗率が高くなっているために、窒化物半導体レーザ素子に注入される駆動電流及び素子電圧が上昇するので、高ルミネッセンス領域25に駆動電流が流れることが好ましくないためである。

【0073】

リッジストライプ部は、エピウエハの表面より、p型AlGaNクラッド層108の途中までをストライプ状の部分を残してエッチングすることにより、作製される。ここで、ストライプ幅は1~3 μm 、好ましくは1.3~2 μm とし、又、エッチング底面のp型GaNガイド層107からの距離は、0~0.1 μm とした。その後、リッジストライプ部以外の部分に絶縁膜110を形成する。ここで、絶縁膜110としてはAlGaNを用いた。エッチングされずに残ったp型GaNコンタクト層109は露出しているので、このp型GaNコンタクト層109及び絶縁膜110の表面上に、p電極15がPd/Mo/Auの順序で蒸着されて形成された。

【0074】

ここで、絶縁膜110としては上記以外に珪素、チタン、ジルコニア、タンタル、アルミニウム等の酸化物もしくは窒化物を用いても構わない。又、p電極15の材料として、Pd/Pt/Au、Pd/Au、又は、Ni/Auの何れかが用いられても構わない。

【0075】

更に、このようにp電極15が形成されたエピウエハの裏面側(基板側)を研磨することにより、エピウエハの厚みを80~200 μm に調整し、後にエピウエハの分割を行いやすいようにする。

【0076】

そして、n電極16が、n型GaN基板10の裏側にHf/Alの順序で形成される。このn電極16の材料として、Hf/Al/Mo/Au、Hf/Al/Pt/Au、Hf/Al/W/Au、Hf/Au、Hf/Mo/Auの他、これらのうちからHfをTi、Zrに置き換えた電極材料等が用いられても構わない。

【0077】

最後に、このn電極16が設けられたエピウエハは、リッジストライプ方向に対して垂直方向に劈開されることで、共振器長600 μm のファブリ・ペロー共振器が作製される。尚、共振器長は300 μm から1000 μm が好ましい。この工程により、エピウエハは個々の窒化物半導体レーザ素子が横に連なったバー状の形態となった。ストライプ方向が<1-100>方向に沿って形成された窒化物半導体レーザ素子の共振器端面は、窒化物半導体結晶の{1-100}面である。劈開は、エピウエハ全面にスクライバーによる罫書き傷がつけられてから劈開されるのではなく、エピウエハの一部、例えば、エピウエハの両端にのみスクライバーによる罫書き傷がつけられて、これを起点に劈開される。

【0078】

10

20

30

40

50

このようにして得られたバー状のファブリ・ペロー共振器において、その帰還手法として、上述のように劈開されて得られた共振器端面による帰還手法以外に、一般に知られている回析格子が共振器内に設けられたDFB (Distributed Feedback)、回析格子が共振器の外に設けられたDBR (Distributed Bragg Reflector) が用いられても構わない。エピウェハが劈開されて、バー状のファブリ・ペロー共振器の共振器端面が形成された後、この端面に70%の反射率を有するSiO₂とTiO₂の誘電体膜が交互に蒸着され、誘電体多層反射膜が形成される。この誘電体多層反射膜として、SiO₂/Al₂O₃が誘電多層反射膜として用いられても構わない。

【0079】

このようにして得られるバー状のファブリ・ペロー共振器は、n型GaN基板10上に積層される窒化物半導体層の膜厚又は成長条件(成長時の基板温度や反応炉内の圧力など)が異なることによって、その構成が異なる。例えば、窒化物半導体層の膜厚が薄い場合は、図3のように、窒化物半導体層402が成長抑制膜13の直上で結合が行われず、成長抑制膜13の直上の領域403が離れた状態となる。このとき、成長抑制膜13間の領域に構成される部分が1つの窒化物半導体レーザ素子401を構成する。

【0080】

又、窒化物半導体層の膜厚を図3の場合よりも厚くしたとき、図4又は図5のようになる。即ち、図4では、窒化物半導体層502が成長抑制膜13の直上で結合されるが、成長抑制膜13の直上の領域503において、窒化物半導体層502の表面上まで達したクラックが存在する。又、この領域503において、図4のように、成長抑制膜13表面上に空洞504を有する場合もある。このとき、成長抑制膜13間の領域に構成される部分が窒化物半導体レーザ素子501を構成する。

【0081】

又、図5では、窒化物半導体層602が成長抑制膜13の直上で完全に結合された状態となる。よって、図4と異なり、成長抑制膜13の直上の領域603において、窒化物半導体層602の表面上まで達したクラックが存在が確認されない。又、この領域603において、図5のように、成長抑制膜13表面上に空洞604を有する場合もある。このとき、成長抑制膜13間の領域に構成される部分が窒化物半導体レーザ素子601を構成する。

【0082】

更に、この後、上述のバー状のファブリ・ペロー共振器を分割することで、図2のような構成の窒化物半導体レーザ素子を得る。このとき、窒化物半導体レーザ素子の中央にレーザ光導波領域14(リッジストライプ部の直下に位置する)を配置し、窒化物半導体レーザ素子の横幅W=400μmとなるように分割する。もともと、n型GaN基板10にはピッチP=400μmで転位集中領域24(図1)が配置されている。尚、バー状のファブリ・ペロー共振器を分割して、窒化物半導体レーザ素子を得る際、窒化物半導体レーザ素子の横幅Wが、転位集中領域24のピッチPの整数倍又は整数倍分の1の幅に分割すると都合が良い。

【0083】

このようにして図2に示される窒化物半導体レーザ素子チップが作製されることで、結晶欠陥である転位を意図的に制御したn型GaN基板10を用い、転位集中領域11を成長抑制膜13により被覆し、低転位かつ低応力の領域に窒化物半導体レーザ素子の電流狭窄部分となるレーザ光導波領域14が作製される。よって、レーザ出力60mW、雰囲気温度70℃の条件下、レーザ発振寿命5000時間以上が達成された。

【0084】

尚、本実施形態において、成長抑制膜13の膜厚を0.2μmとしたが、これに限るものではない。成長抑制膜13の膜厚を0.01μmから2μmまで変化させて、窒化物半導体レーザ素子を構成したとき、成長抑制膜13の膜厚が0.05μmより薄い場合、窒化物半導体層積層前の昇温により損傷を受け、成長抑制膜13としての効果が得られない。

【0085】

10

20

30

40

50

又、成長抑制膜13の膜厚が、 $0.1\ \mu\text{m}$ よりも厚い場合、 n 型GaN基板10と成長抑制膜13の熱膨張係数差により、窒化物半導体層積層前の昇温が原因となって、成長抑制膜13自体が損傷を受けることがある。このとき、成長抑制膜13自体が損傷を受けなくても、成長抑制膜13以外のGaN基板10の表面上に直接成長する窒化物半導体層が、成長抑制膜13とGaN基板10との間にできる段差の影響による原料拡散の阻害により段差近傍で異常成長が生じる。このような異常成長が生じることを、「エッジ効果」と称する。このエッジ効果のため、プロセス工程において支障が生じたり、レーザの発振波長が変動したり、又は、発振する閾値が高くなることがある。

【0086】

よって、成長抑制膜13の膜厚を $0.05\ \mu\text{m}$ 以上、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の条件で作製することによって、成長抑制膜13を作製した効果が得られ、このような成長抑制膜13を有する窒化物半導体レーザ素子において、高出力エージングにおける良好な素子寿命が得られる。

【0087】

<第2の実施形態>

上述のようにして形成され、転位集中領域及び高ルミネッセンス領域を有する n 型GaN基板を用いて製作される窒化物半導体レーザ素子の第2の実施形態について、図面を参照して以下に説明する。尚、窒化物半導体層のエピタキシャル成長及び素子化プロセスについては、第1の実施形態と同様となるため、その詳細な説明は第1の実施形態を参照するものとして、省略する。

【0088】

本実施形態では、第1の実施形態と異なり、転位集中領域24(図1)を被覆するように、 n 型GaN基板10の表面上に形成される簀の子状となるように、成長抑制膜が形成される。即ち、第1の実施形態と同様、まず、 n 型GaN基板10を電子ビーム蒸着装置内に設置し、内部の圧力が所定の真空度に達した後、 SiO_2 を $0.2\ \mu\text{m}$ の厚さになるように制御して、 SiO_2 膜を n 型GaN基板10の表面に形成する。その後、蒸着した SiO_2 膜を簡便なフォトリソグラフィを用いて、図6(a)のように、その間隔が $5\ \mu\text{m}$ で且つ幅が $10\ \mu\text{m}$ となる成長抑制膜301を、3つ毎に n 型GaN基板10上の転位集中領域11を被覆するように形成する。

【0089】

このように、図6(a)に示すように、GaN基板10の転位集中領域11に、上述の方法で膜厚 $0.2\ \mu\text{m}$ の成長抑制膜301が形成されると、MOCVD装置を用い、常圧、基板温度 1000°C で n 型のGaN膜を成長させる。よって、図6(b)に示すように、成長抑制膜301間の $5\ \mu\text{m}$ の窓部からGaN結晶302が $[0001]$ 方向に成長する。このとき、GaN結晶302の断面形状が完全な凸状の三角になった状態となる。そして、MOCVD装置反応炉の圧力を $70\ \text{Torr}$ に下げ、基板温度 1080°C で再びGaN結晶302を成長させる。

【0090】

このとき、図6(b)において、 n 型GaN結晶304は成長抑制膜301に被覆されていない部分からの成長部分であり、この n 型GaN膜304中には n 型GaN基板10内の転位集中領域11以外の領域の転位密度と同程度の転位密度しか存在しない。又、GaN結晶302の中には、 $[0001]$ 方向の成長軸に対して平行方向に転位303が引き継がれて存在する。しかしながら、 $[0001]$ 方向の成長軸に対して垂直となる横方向への成長が始まると、この転位303は $[0001]$ 方向に対して垂直な方向に曲がる。このとき、ファセット面である $(11-22)$ 面及び $(-1-122)$ が最先端となって成長する。

【0091】

このようにして、図6(b)のように凸状にGaN結晶302が成長した部分から、横方向の成長が促進し、図6(c)に示すように、成長抑制膜301上の中央部分で相合して更に上向きに成長する。又、低転位である n 型GaN膜304が横方向に成長することによって、このようにGaN結晶302が成長して生成されたGaNエピタキシャル膜を被

10

20

30

40

50

覆するn型Ga_{0.9}N膜305が形成される。このn型Ga_{0.9}N膜305で被覆されたGa_{0.9}Nエピタキシャル層は、横方向成長により曲げられた転位306を有する。又、横方向成長によりGa_{0.9}N結晶302及びn型Ga_{0.9}N膜304がつながった接合部分307には、少量の転位が集中する。

【0092】

これについては、日本学術振興会短波長光デバイス第162委員会第22回、光電相互返還第125委員会第171回合同研究会資料（平成12年12月15～16日）25～32頁に記載されている。このようにして、n型Ga_{0.9}N基板10の表面上にGa_{0.9}N結晶を成長させた場合、合計約8μmの膜厚まで成長したGa_{0.9}N膜305の表面は完全に平坦になった。n型Ga_{0.9}N膜305を成長させた後、第1の実施形態と同様の方法で窒化物半導体レーザ素子を構成する層構造を順次結晶成長させた。よって、窒化物半導体層308がn型Ga_{0.9}N膜305上に形成される。

10

【0093】

その後、エッチングをおこなうことで、リッジストライプ部309が形成されレーザ素子が作製される。窒化物半導体レーザ素子のリッジストライプ309を形成する位置は、転位集中領域11直上の領域以外の低転位領域12の上部でも構わないし、成長抑制膜303の直上でも構わない。このようにすることで、本実施形態においても、結晶欠陥の低減の効果と、ひずみの緩和の効果により、第1の実施形態と同様の特性を有する窒化物半導体レーザ素子を得ることができた。

【0094】

尚、本実施形態では、成長抑制膜301の幅を10μmで且つ間隔を5μmとしたが、成長抑制膜301の幅が、選択成長及び横方向成長が可能な幅及び間隔であれば、窒化物半導体レーザ素子の特性における優位性は認められた。但し、成長抑制膜301の幅は1μm以上10μm以下であり、且つ、隣の成長抑制膜301との間隔が1μm以上10μm以下であるときが、最も望ましい特性の窒化物半導体レーザ素子を得ることができる。又、成長抑制膜301を覆うように形成されるGa_{0.9}N膜305の膜厚を8μmとしたが、その膜厚を1～20μmとすることによって、積層する窒化物半導体層に対して成長抑制膜301の影響を低減させることができる。

20

【0095】

更に、成長抑制膜301の材料として、SiO₂を用いたが、第1の実施形態と同様に、Si₃N₄等のシリコン化合物や、タングステン(W)、チタン(Ti)などの金属を用いても構わない。又、被覆する成長抑制膜301の膜厚を0.2μmとしたが、0.05μm～1μm程度としても構わない。又、簀の子状の成長抑制膜301は、その幅と間隔との総和となる幅が、転位集中領域11を覆うように構成される。

30

【0096】

尚、第1及び第2の実施形態ではリッジストライプ構造の窒化物半導体レーザ素子について記述したが、その限りではない。又、n型Ga_{0.9}N基板の裏面とn型Ga_{0.9}N基板の表面に成長して作製した窒化物半導体膜の表面との両面に電極を形成した例について記述したが、p型及びn型の両電極をn型Ga_{0.9}N基板の表面側に設けるようにしても構わない。

【0097】

（活性層にAs、PおよびSbの元素群を含有させた場合）
第1又は第2の実施形態のようにして作製された図2のような構成の半導体レーザ素子は、活性層105をInGa_{0.9}N井戸層とInGa_{0.9}N障壁層が積層された構成とされている。このような活性層105に対して、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも何れかの元素を含有させるようにしても構わない。

40

【0098】

このとき、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも何れかの元素が、窒化物半導体レーザ素子を構成している活性層105のうち少なくとも井戸層に含有されるようにする。このとき、この井戸層に含有された上記As、P及びSbの元素群の総和の組成比をXとするとともに井戸層のN元素の組成比をYとすると、XをYよりも小さくするとともに

50

、 $X / (X + Y)$ を 0.3 以下とする。又、 $X / (X + Y)$ については、0.2 以下とする方が好ましい。

【0099】

又、前記元素群の総和の下限値は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。上述の元素群の総和の組成比 X が 0.2 よりも高くなると、井戸層内において、前記元素の組成比の異なる濃度分離が次第に生じ始める。更に、前記元素群の総和の組成比 X が 0.3 よりも高くなると、上述の濃度分離から六方晶系と立方晶系が混在する結晶系分離に移行し始めて井戸層の結晶性が低下し始める。一方、上述の元素群の総和の添加量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなると、井戸層に上述の元素を含有したことによる効果が得られにくくなる。

【0100】

このように、As、P および Sb の元素群の元素を活性層 105 に含有させることで、井戸層の電子とホールの有効質量が小さくなるとともに、又、井戸層の電子とホールの移動度が大きくなる。よって、窒化物半導体レーザ素子の場合、前者により少ない電流注入量でレーザ発振のためのキャリア反転分布が得られるという効果が得られ、又、後者により活性層で電子とホールが発光再結合によって消滅しても新たに電子・ホールが拡散して高速に注入されるという効果が得られる。

【0101】

これらの効果は、量子井戸内に結晶欠陥が存在しない場合に特に顕著に現れることがわかっている。即ち、活性層 105 に As、P および Sb の元素群のうち何れも含有しない InGaN 系窒化物半導体レーザ素子と比べて、これらの元素群のうちの何れかの元素を含有させることで、閾値電流密度が低く、自励発振特性の優れた（雑音特性に優れた）窒化物半導体レーザ装置を作製することが可能である。

【0102】

<半導体光学装置への適用例>

上述した本発明における窒化物半導体レーザ素子を光ピックアップシステム等の半導体光学装置に適用した場合について、図面を参照して以下に説明する。図7は、本例における半導体光学装置の内部構成を示すブロック図である。尚、本例では、窒化物半導体レーザ素子を光ディスク装置に利用するものとして説明する。

【0103】

図7に示す光ディスク装置は、光ディスク701を円周方向に回転させるためのスピンドルモータ702と、光ディスク701にレーザ光を照射して情報を読み出す光ピックアップ703と、装置全体を制御する制御回路704とを有する。尚、光ピックアップ703は、制御回路704によって駆動される不図示のアクチュエータによって、光ディスク701の径方向に移動する。

【0104】

このような光ディスク装置において、光ピックアップ703は、レーザ光を出力する窒化物半導体レーザ素子を有するレーザ装置705と、レーザ装置705からのレーザ光を透過するとともに追従鏡708からのレーザ光を光検出器707へ導出するビームスプリッタ706と、ビームスプリッタ706からのレーザ光を検出して検出信号を制御回路704に与える光検出器707と、レーザ装置705からのレーザ光を光ディスク701へ導くとともに光ディスク701を反射したレーザ光をビームスプリッタ706に導く追従鏡708と、追従鏡708からのレーザ光を光ディスク701上で集光させる対物レンズ709とから構成される。

【0105】

このとき、レーザ装置705に設けられる本発明による窒化物半導体レーザ素子（330～550nmの発振波長）は、上述したように、高出力（30mW）、高温雰囲気中（60℃）で安定して動作し、尚且つレーザ発振寿命が長寿命である。よって、発振波長が短いほど、より高密度に記録再生が可能となるため、信頼性の高い高密度記録再生用光ディスク装置に最適である。

【0106】

10

20

30

40

50

このような構成の光ディスク装置において、情報の記録時は、レーザ装置705から出力されるレーザ光が、制御回路704からの入力情報に応じて変調され、ビームスプリッタ706を透過した後に追従鏡708で反射され、対物レンズ709を通して光ディスク703上に照射されることで、光ディスク703に情報が記録される。又は、光ディスク703の記録面に与える磁界が制御回路704からの入力情報に応じて変調され、情報がディスク上に記録される。

【0107】

又、情報の再生時は、光ディスク701上のピット配列によって光学的に変化を受けたレーザ光が対物レンズ709を通して追従鏡708で反射された後、ビームスプリッタ706を通して光検出器707で検出されることによって、再生信号が得られる。これらの動作は制御回路704によって制御される。半導体レーザ素子から出力されるレーザ光のパワーについては、例えば、記録時は30mWで、再生時は5mW程度である。

【0108】

本発明に係る窒化物半導体レーザ素子は、このような光ピックアップシステムを有する光ディスク装置の他に、例えば、レーザプリンタ、バーコードリーダ、光の三原色（青色、緑色、赤色）レーザによるプロジェクタ等にも利用可能である。

【0109】

【発明の効果】

本発明によると、窒化物半導体基板内に結晶欠陥の集中した転位集中領域が設けられることから、窒化物半導体基板内で生じる熱歪み及び格子定数差が原因となる歪みの影響を低減することができる。又、窒化物半導体基板の表面上において、転位集中領域を被覆するように成長抑制膜が形成されるため、窒化物半導体基板表面上に窒化物半導体層が積層されたとき、窒化物半導体層に窒化物半導体基板の高密度な結晶欠陥が伝播されることを抑制することができる。よって、窒化物半導体層の結晶欠陥密度を低くすることができる。以上のことから、窒化物半導体レーザ素子を高出力で動作させたときに、その素子寿命を十分に長くすることができるとともに、歩留まりの向上を図ることができる。又、窒化物半導体層と窒化物半導体基板との間にGaN膜を設けることによって、窒化物半導体レーザ素子内にあるクラックの低減と歪みの低減を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 n型GaN基板の製造過程を示す図。

【図2】 窒化物半導体レーザ素子の内部構成を示す断面図。

【図3】 n型GaN基板上に窒化物半導体層が積層された様子を示す断面図。

【図4】 n型GaN基板上に窒化物半導体層が積層された様子を示す断面図。

【図5】 n型GaN基板上に窒化物半導体層が積層された様子を示す断面図。

【図6】 第2の実施形態におけるGaN結晶の成長過程を示す図。

【図7】 本発明の窒化物半導体レーザ素子を有する半導体光学装置の内部構成を示すブロック図。

【符号の説明】

- 10 n型GaN基板
- 11 転位集中領域
- 12 低転位領域
- 13 成長抑制膜
- 14 レーザ光導波領域
- 15 p型電極
- 16 n型電極
- 21 支持基体
- 22 n型GaN層
- 23 ファセット面
- 24 転位集中領域
- 25 高ルミネッセンス領域

10

20

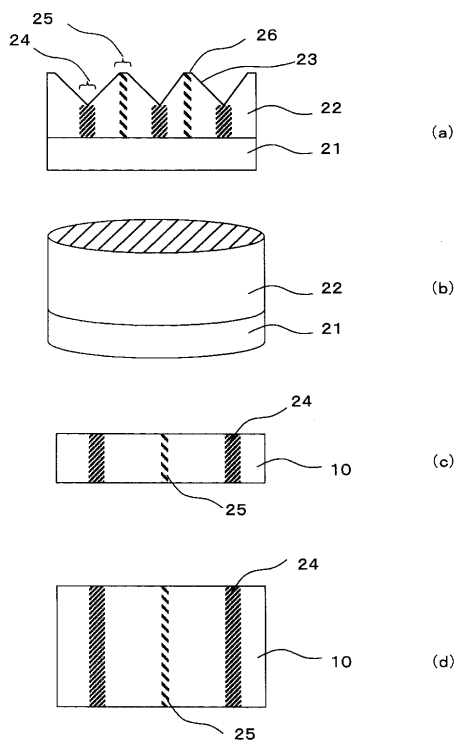
30

40

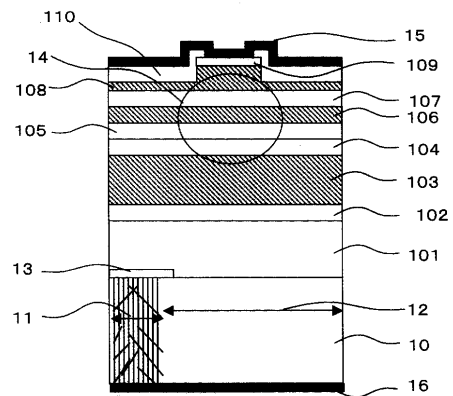
50

- 2 6 { 0 0 0 1 } 面
- 1 0 1 n 型 G a N 層
- 1 0 2 クラック防止層
- 1 0 3 n 型クラッド層
- 1 0 4 n 型 G a N 光ガイド層
- 1 0 5 活性層
- 1 0 6 キャリアブロック層
- 1 0 7 p 型 G a N 光ガイド層
- 1 0 8 p 型クラッド層
- 1 0 9 p 型コンタクト層

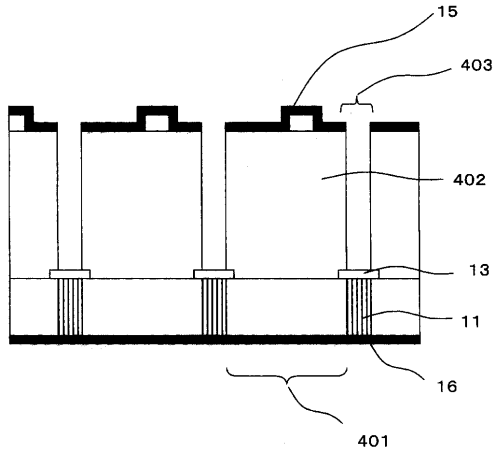
【 図 1 】



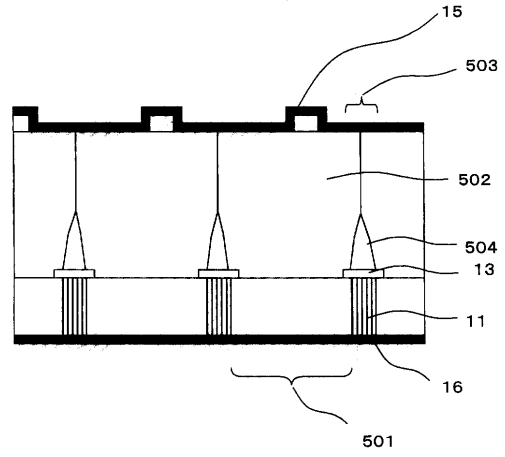
【 図 2 】



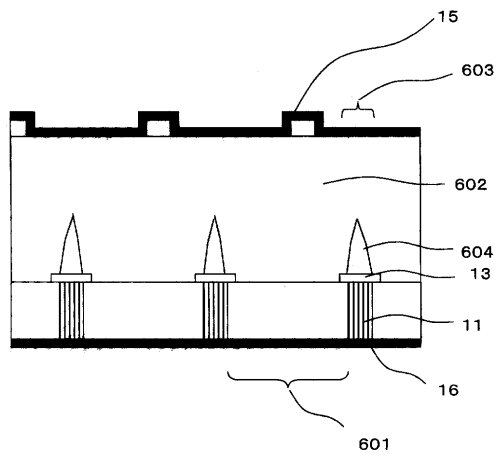
【 図 3 】



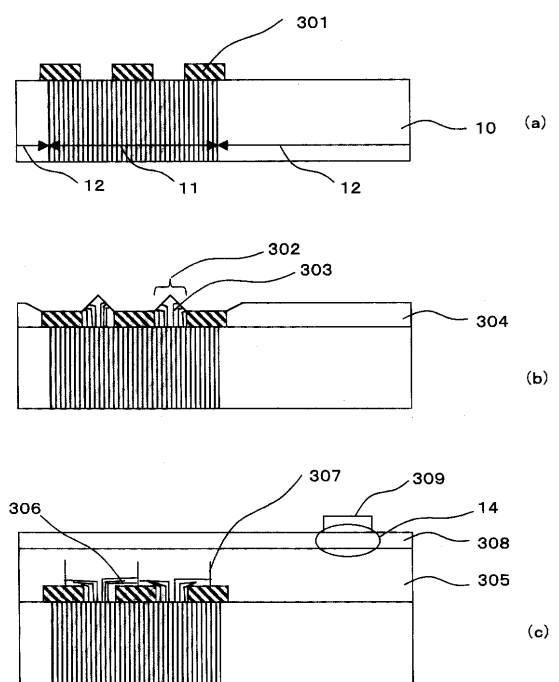
【 図 4 】



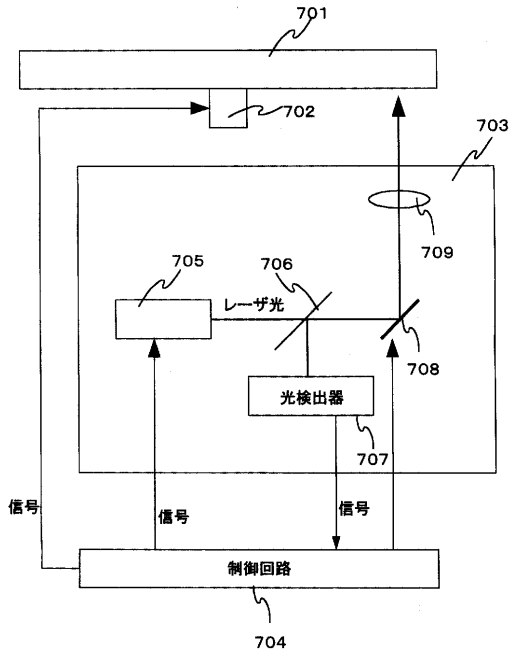
【 図 5 】



【 図 6 】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 伊藤 茂稔
大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 種谷 元隆
大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 谷 善平
大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 元木 健作
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

審査官 檀本 英吾

- (56)参考文献 特開2001-196700(JP,A)
特開2001-094151(JP,A)
特開2000-183399(JP,A)
特開2001-274521(JP,A)
欧州特許出願公開第00852416(EP,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 5/00-5/50
JSTPlus(JDream2)