

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-100475

(P2006-100475A)

(43) 公開日 平成18年4月13日(2006.4.13)

(51) Int.Cl.

H01L 33/00 (2006.01)

F I

H01L 33/00

C

テーマコード (参考)

5FO41

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2004-283263 (P2004-283263)

(22) 出願日 平成16年9月29日 (2004.9.29)

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地

(74) 代理人 100087723

弁理士 藤谷 修

(72) 発明者 瀧 哲也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 奥野 浩司

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 西島 和樹

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

最終頁に続く

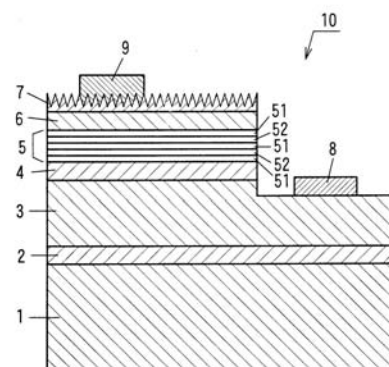
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】外部量子効率の高い半導体発光素子の生産性や信頼性を確保すること。

【解決手段】MQW構造の活性層5は膜厚約3.5nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ から成る井戸層51と膜厚約7nmの GaN から成るバリア層52とが交互に合計5層積層することにより形成されている。この活性層5の上には、Mgドープのp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ から成る膜厚約50nmのp型クラッド層6が形成されている。更に、p型クラッド層6の上にはMgドープのp型 $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ から成る膜厚約200nmのp型コンタクト層7が形成されている。このp型コンタクト層7の上面(c面)には、所定の結晶成長条件下で実施されるp型コンタクト層7自身の結晶成長によって、凹凸形状が故意に形成されている。この凹部は6つのファセット面からなる逆六角錐形状の多数の穴(ピット)から形成されている。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III族窒化物系化合物半導体の結晶成長によって生成される半導体層を複数積層することにより形成される半導体発光素子において、

1%以上のインジウム(In)を含むInGaN結晶から形成され、かつ、表面に電極が形成されている電極形成層を有し、

前記電極形成層の前記表面に、

穴であるピットが 10^5 個/cm²以上の点在密度で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

10

前記電極形成層の前記表面は、

結晶c面から成り、

前記ピットの形状は、

結晶構造上同等な6つのファセット面から構成された逆六角錐形状であることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項 3】

前記ピットの直径は、

1nm以上、600nm以下である

ことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

20

前記電極形成層は、

マグネシウム(Mg)が添加されたp型のInGaN結晶から形成されていることを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

前記半導体発光素子は、青色半導体発光素子であり、

前記電極形成層は、pコンタクト層から形成されており、

前記pコンタクト層のIn組成比xは、0.01以上、0.20以下である

ことを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】

30

前記半導体発光素子は、青緑色半導体発光素子であり、

前記電極形成層は、pコンタクト層から形成されており、

前記pコンタクト層のIn組成比xは、0.01以上、0.25以下である

ことを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の半導体発光素子。

【請求項 7】

前記半導体発光素子は、緑色半導体発光素子であり、

前記電極形成層は、pコンタクト層から形成されており、

前記pコンタクト層のIn組成比xは、0.01以上、0.30以下である

ことを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の半導体発光素子。

【請求項 8】

40

前記電極形成層の前記表面は、

気相エッチングによる被浸食面から構成されている

ことを特徴とする請求項1乃至請求項7の何れか1項に記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、III族窒化物系化合物半導体の結晶成長によって生成される半導体層を複数積層することにより形成される半導体発光素子の構造に関する。

本発明は、半導体発光素子における光取り出し効率(外部量子効率)の向上と、その高発光効率の半導体発光素子の生産性の確保の両方に大いに有用なものである。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

半導体層の最上層を非鏡面にして、半導体発光素子の光取り出し効率を向上させる従来技術としては、例えば下記の特許文献 1 や特許文献 2 に記載されている様に、半導体層の最上層に対してエッチングを実施する方法が知られている。

これらの従来技術は、生成された光が非鏡面（凹凸面）に入射する場合には、光が臨界角よりも小さい法線角で入射する確率が鏡面（平面）の場合よりも大きくなることを利用して、光取り出し効率（外部量子効率）の向上を図ったものである。

【特許文献 1】特開平 6 - 2 9 1 3 6 8

【特許文献 2】特開 2 0 0 0 - 1 9 6 1 5 2

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 3 】

しかしながら、これらの従来技術に見られるエッチング処理は、結晶成長炉内から目的の半導体ウェハを取り出してから実施する必要がある、かつ、エッチング工程などのその他の余分な工程が必要となったり、そのエッチング工程が非常に複雑であったり、或いは別にエッチング装置を必要としたりする。これらの事情は、製品の生産コストの面で明らかに不利である。

また、特許文献 1 でも言及されている様に、従来のエッチング技法を採用する限り、半導体層を構成する結晶をエッチング時に傷める恐れがあり、よって、素子の発光強度や歩留りが低下する恐れを十分には払拭することができない。これらの事情は、製品の性能や信頼性の点でも明らかに不利である。

【 0 0 0 4 】

本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、外部量子効率の高い半導体発光素子を実現しつつ、その生産性や信頼性を確保することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

上記の課題を解決するためには、以下の手段が有効である。

即ち、本発明の第 1 の手段は、 III 族窒化物系化合物半導体の結晶成長によって生成される半導体層を複数積層することにより形成される半導体発光素子において、1 % 以上のインジウム（In）を含む InGa_N 結晶から形成され、かつ表面に電極が形成された電極形成層を設け、この電極形成層の表面に、穴であるピットを 10^5 個 / cm^2 以上の点在密度で形成することである。

【 0 0 0 6 】

ただし、電極形成層の表面において形成すべきピットの望ましい点在密度は、 10^6 個 / cm^2 以上であり、より望ましくは 10^7 個 / cm^2 以上であり、更に望ましくは 10^8 個 / cm^2 ~ 10^9 個 / cm^2 程度である。

この点在密度は高い場合程、電極形成層が薄くてもその表面を密にピットで覆い尽くすことができる。ただし、ピットの点在密度の上限値は、結晶の転位密度に略比例して拘束される傾向が強いので、結晶の転位密度を抑制する上で、ピットの点在密度には、上記の様に自ずと限界が生じる。結晶の転位密度は、内部量子効率の観点より勿論低い方が望ましいためである。

【 0 0 0 7 】

また、互いに近傍に位置するピットは立体的に一部が相互に重なっていても良い。言い換えれば、ピットを構成する全ての傾斜面などが必ずしも電極形成層の表面にそれぞれ達している必要はない。

また、上記の電極形成層は、p 型半導体層から形成することが望ましいが、勿論 n 型の半導体層から形成しても良い。また、上記の電極形成層は、コンタクト層から形成することが望ましいが、勿論その他の半導体層から形成しても良い。

【 0 0 0 8 】

なお、上記のピットは、電極形成層を構成する InGa_N 結晶の結晶成長過程において

10

20

30

40

50

、その半導体結晶中に1%以上のインジウム(In)を含ませることにより、所定の結晶成長条件下でその結晶成長面上に自然に形成されるものである。ただし、このピットの直径または点在密度は、例えば非選択的なエッチングなどによる後処理によって増大させることも可能である。

【0009】

このインジウム(In)の組成比は、0.01~0.7の範囲が有効であるが、望ましくは0.02~0.5の範囲が良い。また、より望ましくは0.03~0.4の範囲が良い。更に望ましくは0.04~0.2の範囲が良い。

【0010】

また、本発明の第2の手段は、上記の第1の手段において、上記の電極形成層の表面を結晶c面から形成し、上記のピットの形状を、結晶構造上同等な6つのファセット面から構成された逆六角錐形状にすることである。 10

【0011】

ただし、その他の多角錐状のピットが同時に電極形成層の表面上に形成されていても良い。例えば、結晶成長条件によっては、c面上には12角錐形状のピットが形成される場合もある。

なお、上記のピットは、InGa_N結晶のc面成長過程において、その半導体結晶中に1%以上のインジウム(In)を含ませることにより、所定の結晶成長条件下でc面上に自然に形成されるものである。

【0012】

また、本発明の第3の手段は、上記の第1又は第2の手段において、上記のピットの直径を1nm以上、600nm以下にすることである。ただし、より望ましくは、ピットの直径は、10nm以上、200nm以下にすると良い。 20

この様なピットの直径の好適化或いは最適化は、例えば電極形成層を形成するInGa_N結晶のインジウム組成比や膜厚などの調整パラメータを適当に選択することなどによって実施することも可能である。

【0013】

また、本発明の第4の手段は、上記の第1乃至第3の何れか1つの手段において、上記の電極形成層をマグネシウム(Mg)が添加されたp型のInGa_N結晶から形成することである。 30

また、本発明の第5の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、上記の半導体発光素子を青色半導体発光素子とし、その電極形成層をpコンタクト層から形成し、そのpコンタクト層のIn組成比xを0.01以上、0.20以下にすることである。

【0014】

また、本発明の第6の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、上記の半導体発光素子を青緑色半導体発光素子とし、その電極形成層をpコンタクト層から形成し、そのpコンタクト層のIn組成比xを0.01以上、0.25以下にすることである。

また、本発明の第7の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、上記の半導体発光素子を緑色半導体発光素子とし、その電極形成層をpコンタクト層から形成し、そのpコンタクト層のIn組成比xを0.01以上、0.30以下にすることである。 40

【0015】

また、本発明の第8の手段は、上記の第1乃至第7の何れか1つの手段において、上記の電極形成層の表面を気相エッチングによる被浸食面から構成することである。

この気相エッチングは、生産性の観点から言えば、非選択的に実施することが望ましく、更には、電極形成層を結晶成長させた結晶成長炉内からその半導体ウェハを取り出すことなく、同一炉内にて実施することが望ましい。この様な非選択的なエッチングは、例えばH₂ガスや水素化ハロゲンガスや或いは任意の混合比によるこれらの混合ガスを用いた 50

気相エッチングによって同一の結晶成長炉内にて極めて容易に実施することも可能である。

以上の本発明の手段により、前記の課題を効果的、或いは合理的に解決することができる。

【発明の効果】

【0016】

以上の本発明の手段によって得られる効果は以下の通りである。

即ち、本発明の第1の手段によれば、電極形成層の結晶成長に伴い、その電極形成層の表面に多数のピットが形成されるので、電極形成層を結晶成長させるだけで電極形成層の表面に所望の非鏡面を形成することができる。電極形成層にインジウム(In)を1%以上含ませることにより、ピットが形成され易くなる理由は今のところ明確には判明していないが、我々の検証により少なくともインジウム組成比の上昇と共にこれらのピットが形成され易くなる傾向があることが判っている。そして、これらの各ピットは電極形成層の結晶成長と共に拡大していく。また、ピットを構成する傾斜面の傾斜角は十分に大きく確保することができるので、光の透過率も大きく確保することができる。

【0017】

上記の様なピットの生成は、電極形成層を結晶成長させる結晶成長炉内で、電極形成層自身の結晶成長により、半導体ウェハを取り出すことなく極めて容易に実施することができる。また、別途エッチング装置を必要としたりすることもない。即ち、従来から行われてきた様な煩雑なエッチング工程を実行することなく、電極形成層の表面上に所望の非鏡面を獲得することができる。

したがって、本発明の第1の手段によれば、半導体発光素子における光取り出し効率(外部量子効率)の向上と、その高発光効率の半導体発光素子の生産性の確保とを容易に両立することができる。

【0018】

また、本発明の第2の手段によれば、6つのファセット面で上記のピットを構成することができ、これらの各ピットは電極形成層のc面を底面として倒立した略六角錐形状に形成されて、その底面は電極形成層の成長と共に上方へ拡大していく。これらのファセット面の傾斜角は十分に大きく、よって、光の透過率を向上させる上で好適であるので、これにより、電極形成層の表面からの光取り出し効率を良好に確保することができる。

【0019】

この様な六角錐形状のピットやその半導体結晶構造との関係などについては、例えば、公開特許公報「特開2001-102307」などに具体的な例示がある。

また、この様なピットは上記の通り電極形成層をc面成長させることによって得ることができるため、本発明の第2の手段は、極めて多くの半導体発光素子に対して適用することができる。

【0020】

また、本発明の第3の手段によれば、ピットの点在密度や電極形成層の膜厚などについて、ある程度拘束された諸条件の下で、電極形成層の表面を多くのピットで覆うことができる。即ち、電極形成層の表面広範に渡って凹凸を形成することができる。

ピットの点在密度は、電極形成層またはその直下の半導体層の結晶品質を劣化させる程高くできるが、その様な設定によって必要以上に電極形成層の結晶品質を劣化させると、内部量子効率の点で不利となる。また、電極形成層を厚く積む程ピットの半径を大きくすることができるが、必要以上に電極形成層を厚く積むと、抵抗、透光性、生産性の点で不利となる。これらの事情から、ピットの点在密度や電極形成層の膜厚などには、自ずと適正な拘束条件が現れる。

【0021】

例えば、ピットの半径を10nm未満にすると、結晶品質が良好な電極形成層を形成する限り、その表面をピットで覆い尽くすことはできない。また、ピットの半径を600nmよりも大きくするためには、電極形成層も厚く積層しなければならない。

しかしながら、本発明の第3の手段によれば、これらの諸条件（例：ピットの点在密度や電極形成層の膜厚など）を実用性の高い範囲内に納めつつ、電極形成層の表面広範に渡って凹凸を形成することができる。

【0022】

また、インジウム組成比 x を大きくする程、ピットが発現し易くなり、その点在密度も高くすることができる。また、同時に、電極形成層を厚く積む程、ピットが発現し易くなる。したがって、本発明の第4の手段によれば、特に電極形成層をpコンタクト層で形成する場合に、インジウム組成比 x をパラメータとして、この組成比 x の値に基づいて電極形成層の膜厚を好適値または最適値に設定することができる。

【0023】

なお、これらのピットの形成によって、電極形成層の表面（c面）に十分な凹凸が確保できる場合には、抵抗、透光性、生産性などの観点より、コンタクト層の膜厚は400nm以下とすることが望ましく、更には200nm以下とすることがより望ましい。本発明の第3の手段は、この様な好適化或いは最適化を可能または容易とするものである。

【0024】

また、本発明の第5の手段によれば、低抵抗で透光性が高い電極形成層を簡単に製造することができる。

また、本発明の第6乃至第8の何れかの手段によれば、内部量子効率と外部量子効率とを両立させる様に、pコンタクト層のインジウム組成比 x を最適化することができるので、何れの発光色の場合にも、高い発光効率を得ることができる。

ただし、電極形成層の表面にピットを良好に形成するには、上記の第3の手段を取り入れることがより望ましい。

【0025】

また、本発明の第9の手段によれば、ピットの半径または点在密度を極めて容易に増大させることができるので、生産コストを効果的に抑制した上で、所望の半導体発光素子の発光効率を更に増大させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

例えば、pコンタクト層で上記の電極形成層を構成する場合、そのpコンタクト層の結晶成長工程における結晶成長温度は、700～1000の範囲内の温度にすることが望ましい。より望ましくは、800～900の範囲内が良い。この温度が高すぎるとその他の半導体層に対して熱的なダメージを与える恐れが生じ望ましくない。また、この温度が低すぎると、結晶成長が理想的に進まず、pコンタクト層の結晶性や或いは所望のピットの数や大きさや形などに問題が生じ易くなり望ましくない。

また、上記の電極形成層の材料ガスを運ぶフローガスは、希ガス、 N_2 の何れでも良く、これらを任意の比で混合した混合ガスでも良い。

【0027】

なお、ファセット面から構成されるファセット構造（即ち、逆六角錐形状のピット）を維持したまま、そのファセット構造を埋め込まないで成長させる結晶成長技法としては、例えば、「特開2001-102307」に記載されている結晶成長条件などの周知の結晶成長技法を応用することができる。

【0028】

また、本明細書で言う「III族窒化物系化合物半導体」一般には、2元、3元、又は4元の「 $Al_{1-x-y}Ga_yIn_xN$ ； $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ， $0 \leq 1-x-y \leq 1$ 」成る一般式で表される任意の混晶比の半導体が含まれ、更に、p型或いはn型の不純物が添加された半導体もまた、これらの「III族窒化物系化合物半導体」の範疇である。

【0029】

また、上記のIII族元素（Al，Ga，In）の内の少なくとも一部をボロン（B）やタリウム（Tl）等で置換したり、或いは、窒素（N）の少なくとも一部をリン（P）、砒素（As）、アンチモン（Sb）、ビスマス（Bi）等で置換したりしても良い。

10

20

30

40

50

【0030】

また、上記のp型の不純物（アクセプター）としては、例えば、マグネシウム（Mg）や、或いはカルシウム（Ca）等の公知のp型不純物を添加することができる。

また、上記のn型の不純物（ドナー）としては、例えば、シリコン（Si）や、硫黄（S）、セレン（Se）、テルル（Te）、或いはゲルマニウム（Ge）等の公知のn型不純物を添加することができる。

また、これらの不純物（アクセプター又はドナー）は、同時に2元素以上を添加しても良いし、同時に両型（p型とn型）を添加しても良い。

【0031】

また、目的とする半導体発光素子の形態は、フェイスアップ型にした方が電極形成層の表面からの光取り出し効果を引き出す上で優位ではあるが、適当な反射構造（例：pコンタクト層の上の金属反射層など）を設ければフェイスダウン型の半導体発光素子を製造した場合にも、本発明の手段に基づいて同様の作用・効果を引き出すことが十分に可能である。

【0032】

また、ピットを形成した電極形成層の表面に電極を形成する際の電極材料としては、周知の任意のものを用いることができる。特にその電極材料としてITO（インジウムスズ酸化物；Indium Tin Oxide）を用いた場合には、透光性の点で大きな利点を得ることができる。このITOの積層方法は、真空蒸着でもスパッタ法でも良い。

【0033】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

ただし、本発明の実施形態は、以下に示す個々の実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0034】

図1は、サファイア基板1上に形成されたIII族窒化物系化合物半導体で形成された発光ダイオード10の模式的な断面構成図である。サファイア基板1の上には窒化アルミニウム（AlN）から成る膜厚約25nmのバッファ層2が設けられ、その上にはシリコン（Si）ドープのGaNから成る膜厚約4.0μmのn型コンタクト層3（n型の高キャリア濃度層）が形成されている。

【0035】

そして、n型コンタクト層3の上に、ノンドープのGaNから成る膜厚10nmのn型クラッド層4（低キャリア濃度層）が形成されている。更に、その上には、膜厚約3.5nmのIn_{0.30}Ga_{0.70}Nから成る井戸層51と膜厚約7nmのGaNから成るバリア層52とが交互に合計5層積層されたMQW構造の活性層5が形成されている。また、この活性層5の上には、Mgドープのp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nから成る膜厚約50nmのp型クラッド層6が形成されている。更に、p型クラッド層6の上にはMgドープのp型In_{0.03}Ga_{0.97}Nから成る膜厚約200nmのp型コンタクト層7が形成されている。このp型コンタクト層7の上面には、所定の結晶成長条件下で実施されるp型コンタクト層7自身の結晶成長によって、凹凸形状が故意に形成されている。そして、この凹部は六角錘が倒立した形状の多数の穴（ピット）から形成されている。

【0036】

又、p型コンタクト層7の上には蒸着によって透光性の電極9が、他方n型コンタクト層3上には電極8が形成されている。透光性の電極9は、p型コンタクト層7に接合する膜厚約400nmのITO（Indium Tin Oxide, インジウムスズ酸化物）で形成されている。電極8は膜厚約20nmのパナジウム（V）と膜厚約1.8μmのアルミニウム（Al）又はAl合金で形成されている。

【0037】

次に、この発光ダイオード10の製造方法について説明する。

上記発光ダイオード10は、有機金属気相成長法（以下「MOVPE」と略す）による

10

20

30

40

50

気相成長により製造された。用いられたガスは、アンモニア(NH_3)、キャリアガス(H_2 , N_2)、トリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMG」と記す)、トリメチルアルミニウム($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMA」と記す)、トリメチルインジウム($\text{In}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMI」と記す)、シラン(SiH_4)とシクロペンタジエニルマグネシウム($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (以下「 Cp_2Mg 」と記す)である。

【0038】

まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とした単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧で H_2 を流速2リットル/分で約30分間反応室に流しながら温度1100でサファイア基板1をベークキングした。

10

【0039】

次に、温度を400まで低下させて、 H_2 を20リットル/分、 NH_3 を10リットル/分、TMAを 1.8×10^{-5} mol/分で供給してAlNから成るバッファ層2を約25nmの膜厚に形成した。

次に、サファイア基板1の温度を1150に保持し、 H_2 を20リットル/分、 NH_3 を10リットル/分、TMGを 1.7×10^{-4} mol/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 2×10^{-7} mol/分で供給し、膜厚約4.0 μm 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、Si濃度 $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のGaNから成るn型コンタクト層3を形成した。

【0040】

20

その後、サファイア基板1の温度を1150に保持して、 H_2 を20リットル/分、 NH_3 を10リットル/分、TMGを 1.7×10^{-4} mol/分で供給し、ノンドープのGaNから成る膜厚10nmのn型クラッド層4(低キャリア濃度層)を形成した。

【0041】

そして、上記のn型クラッド層4を形成した後、合計5層から成る前記のMQW構造(図1)の活性層5を形成した。

即ち、まず最初に、サファイア基板1の温度を730まで低下させ、それと同時に H_2 から N_2 にキャリアガスを変更し、このキャリアガスと NH_3 の供給量を維持しながら、TMGを 3.1×10^{-6} mol/分、TMIを 0.7×10^{-5} mol/分で供給することにより、膜厚約3.5nmの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ から成る井戸層51をn型クラッド層4の上に形成した。

30

【0042】

次に、サファイア基板1の温度を885にまで昇温し、上記の井戸層51上に、 N_2 を20リットル/分、 NH_3 を10リットル/分、TMGを 1.2×10^{-5} mol/分で供給して、膜厚約7nmのGaNから成るバリア層52を形成した。

以下、これを繰り返して、井戸層51とバリア層52とを交互に積層し、合計5層(井戸層51、バリア層52、井戸層51、バリア層52、最後の井戸層51)から成る前記の活性層5を形成した。

【0043】

その後、サファイア基板1の温度を900に昇温し、 N_2 を10リットル/分、TMGを 1.6×10^{-5} mol/分、TMAを 6×10^{-6} mol/分、 Cp_2Mg を 4×10^{-7} mol/分で供給して、膜厚約20nm、濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)をドープしたp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ から成るp型クラッド層6を形成した。

40

【0044】

そして最後に、サファイア基板1の温度を850に降温し、 N_2 を10リットル/分、 NH_3 を10リットル/分、TMGを100 μmol /分、TMIを500 μmol /分、 Cp_2Mg を60 μmol /分で供給し、濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のMgをドープした膜厚約200nmのp型 $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ から成るp型コンタクト層7を形成した。このp型コンタクト層7の結晶成長により、p型コンタクト層7の表面(c面)には、結晶構造上同等な6つのファセット面から構成された逆六角錐形状の穴であるピットが10

50

$6 \sim 10^8$ 個 / cm^2 の点在密度で多数形成された。また、それらの各ピットの直径は、 $10 \text{ nm} \sim 100 \text{ nm}$ 程度であった。

以上に示した工程が、III族窒化物系化合物半導体から成る各半導体層の結晶成長工程である。

【0045】

その後、p型コンタクト層7の上にエッチングマスクを形成し、所定領域のエッチングマスクを除去して、エッチングマスクで覆われていない部分のp型コンタクト層7、p型クラッド層6、活性層5、n型クラッド層4、及びn型コンタクト層3の一部を塩素を含むガスによる反応性イオンエッチングによってエッチングして、n型コンタクト層3の表面を露出させた。

10

【0046】

次に、エッチングマスクを残した状態で、全面にフォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィによりn型コンタクト層3の露出面上の所定領域に窓を形成し、 10^{-4} Pa オーダ以下の高真空中に排気した後、膜厚約 20 nm のバナジウム(V)と膜厚約 $1.8 \mu\text{m}$ のAlを蒸着する。この後、フォトレジスト及びエッチングマスクを除去する。

【0047】

続いて、表面上にフォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィによりp型コンタクト層7上の電極形成部分のフォトレジストを除去して窓を形成し、p型コンタクト層7を露出させる。蒸着装置内を 10^{-4} Pa オーダ以下の高真空中に排気した後、p型コンタクト層7の上にITOを膜厚約 400 nm 程度蒸着する。次に、そのウェハを蒸着装置から取り出し、リフトオフ法によりフォトレジスト上に堆積したITOを除去し、p型コンタクト層7に対する透光性の電極9を形成する。

20

【0048】

この後、試料雰囲気を実験ポンプで排気し、 O_2 ガスを供給して圧力 3 Pa とし、その状態で雰囲気温度を約 550°C にして、3分程度、加熱し、p型コンタクト層7、p型クラッド層6をp型低抵抗化すると共に、p型コンタクト層7と電極9との合金化処理、n型コンタクト層3と電極8との合金化処理を行った。このようにして、n型コンタクト層3に対する電極8とp型コンタクト層7に対する電極9を形成した。

【0049】

以上の様にして、半導体層側から光を取り出すフェイスアップ型の発光ダイオード（発光ダイオード10）を製造した。

30

以上の様な発光ダイオードの製造方法により、p型コンタクト層7の表面に適切かつ簡単に凹凸（：多数のピット）を形成することができるので、これにより、外部量子効率の高い発光ダイオードを実現しつつ、その生産性や信頼性を確保することができる。

【実施例2】

【0050】

図2-A、-Bにそれぞれ、本実施例2の電極形成層の表面の写真を示す。図2-Bの写真は、一辺が $10 \mu\text{m}$ に相当している。また、明暗差で高さが表現されており、最も明るい部位が最も高く、最も明るい部位と最も暗い部位との高低差は、 10 nm ある。ただし、ピット内はその深さに関係なく黒く表現されている。

40

この電極形成層は、上記の実施例1のp型コンタクト層7に対応するものであり、実施例1の発光ダイオード10のp型コンタクト層7とは、以下の特徴点だけが異なっている。

【0051】

(1) 構造上の特徴点

電極形成層の膜厚 : $600 [\text{nm}]$
 ピットの直径 : $440 [\text{nm}]$
 ピットの点在密度 : $10^6 \sim 10^7 [\text{個} / \text{cm}^2]$

(2) 結晶成長条件における特徴点

結晶成長温度 : $850 [^\circ\text{C}]$

50

結晶成長時間 : 20 [分]
 TMI流量 : 500 [$\mu\text{mol}/\text{min}$]

【0052】

そして、この様に低い点在密度でピットを形成した場合にも、例えば上記の様にピットの直径を比較的大きく確保することにより、各ピットからの光取り出し効率が良好に確保できるため、その他の構成を例えば上記の実施例1の発光ダイオード10等と同等にすることにより、外部量子効率を効果的に向上させることができる。

【0053】

〔その他の変形例〕

本発明の実施形態は、上記の形態に限定されるものではなく、その他にも以下に例示される様な変形を行っても良い。この様な変形や応用によっても、本発明の作用に基づいて本発明の効果を得ることができる。

例えば、pコンタクト層を備えない構成を採用する場合であっても、同様にして、p型層の最上層の上面に凹凸形状を形成することができ、この様な構成によっても、前記の本発明の手段に基づく本発明の作用により本発明の効果を得ることができる。例えば、p型クラッド層をn層構造(n 2)とし、そのn層の最上層の上面に、上記と同様の方法で凹凸形状を形成しても良い。

【0054】

また、上記の実施例では、バリア層52の組成をGa_xNとしたが、バリア層52には、井戸層51よりもバンドギャップの広い「Al_(1-x1-y1)Ga_{y1}In_{x1}N(0 < x1 < 1, 0 < y1 < 1)」より成る2元、3元、又は4元のIII族窒化物系化合物半導体を用いることができる。また、上記の実施例では、発光ダイオード10の活性層5をMQW構造(多重量子井戸構造)としたが、活性層5の構造はSQW構造(単一量子井戸構造)としてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0055】

本発明は、少なくとも最上層の半導体層の表面に凹凸を有する発光ダイオード及びその製造方法に関するものであり、発光ダイオードの高輝度化と生産性の向上に寄与する。また、本発明の構成又は方法に従えば、形状加工等によって半導体層が損傷されることが無いので、適正な発光強度、発光効率、駆動電圧、静電耐圧、素子寿命、歩合、生産コストなどの実際の基本的な商用要件を十分に満たす発光ダイオードを製造することが可能又は容易となる。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】実施例1の発光ダイオードの積層構成を示した模式的な断面図

【図2 - A】実施例2の電極形成層の表面の写真

【図2 - B】実施例2の電極形成層の表面の写真

【符号の説明】

【0057】

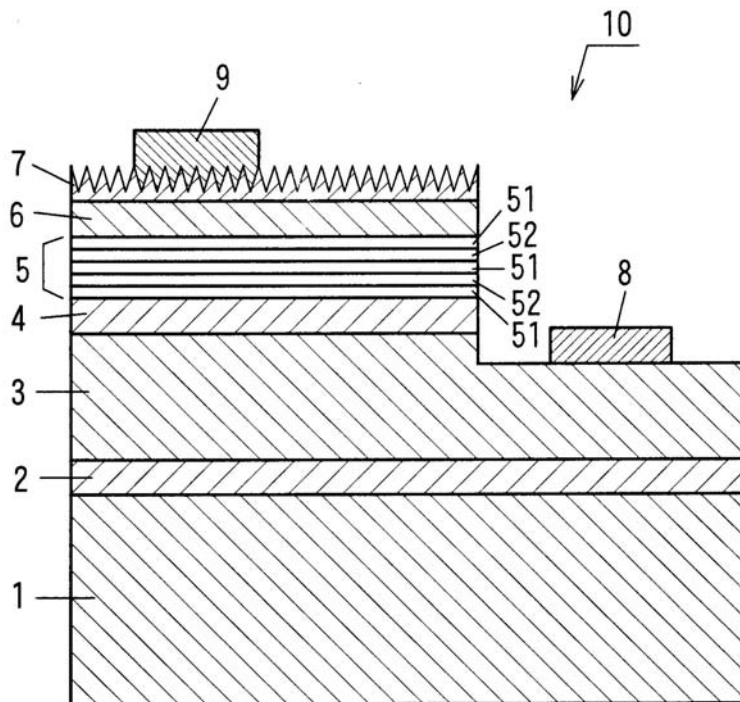
- 10 : 発光ダイオード
- 1 : サファイア基板
- 2 : パッファ層
- 3 : n型コンタクト層(n型の高キャリア濃度層)
- 4 : n型クラッド層(ノンドープ低キャリア濃度層)
- 5 : 活性層
- 51 : 井戸層
- 52 : バリア層
- 6 : p型クラッド層
- 7 : p型コンタクト層
- 8 : 電極

40

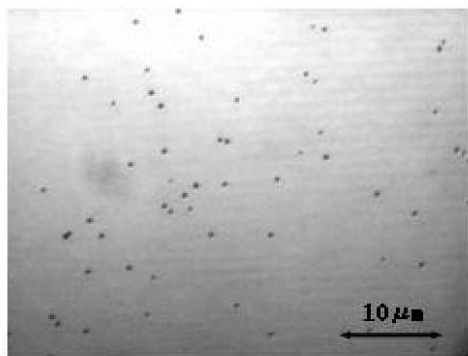
50

9 : 透光性電極

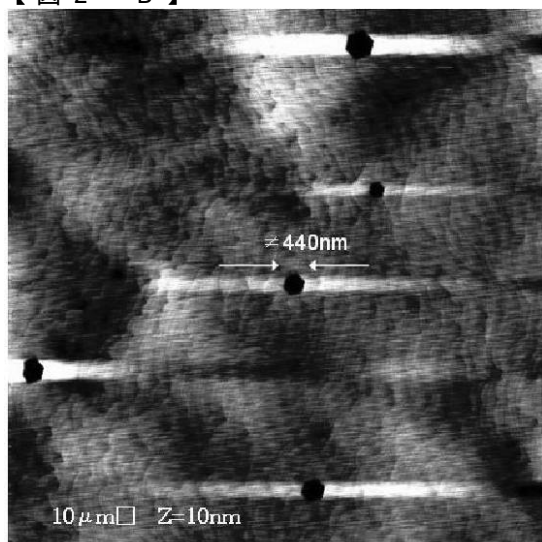
【図 1】



【 図 2 - A 】



【 図 2 - B 】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F041 AA03 AA42 AA43 CA05 CA34 CA40 CA46 CA65 CA67 CA74