

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4163240号  
(P4163240)

(45) 発行日 平成20年10月8日(2008.10.8)

(24) 登録日 平成20年8月1日(2008.8.1)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>HO 1 S</b>	<b>5/343</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 S	5/343	6 1 0
<b>HO 1 S</b>	<b>5/323</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 S	5/323	6 1 0
<b>HO 1 L</b>	<b>33/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	33/00	C

請求項の数 2 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2007-161662 (P2007-161662)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成19年6月19日 (2007.6.19)		株式会社東芝
(62) 分割の表示	特願2004-5524 (P2004-5524)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
	の分割	(74) 代理人	100075812
原出願日	平成10年9月25日 (1998.9.25)		弁理士 吉武 賢次
(65) 公開番号	特開2007-235181 (P2007-235181A)	(74) 代理人	100088889
(43) 公開日	平成19年9月13日 (2007.9.13)		弁理士 橘谷 英俊
審査請求日	平成19年6月19日 (2007.6.19)	(74) 代理人	100082991
			弁理士 佐藤 泰和
前置審査		(74) 代理人	100096921
			弁理士 吉元 弘
		(74) 代理人	100103263
			弁理士 川崎 康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子の製造方法および半導体発光装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に前記基板を構成する材料よりも小さいバンドギャップを有する窒化物系半導体からなる第1の層を形成する工程と、

S i O<sub>2</sub>層を前記第1の層の上に選択的に形成する工程と、

前記 S i O<sub>2</sub>層の上に、前記第1の層を結晶成長の核として面内方向に窒化物系半導体をラテラル成長させて、窒化物系半導体からなる第2の層を形成する工程と、

前記基板の裏面からレーザ光を照射して前記第1の層に吸収させることにより前記基板と前記第2の層とを分離する工程と、

前記レーザ光の照射により、前記第1の層の前記第2の層とは反対の面側の窒素を解離させて、前記第1の層よりも窒素の含有率が低い窒化物系半導体からなる第3の層を形成する工程と、

前記第3の層の前記第2の層側とは反対側の面に電極を形成する工程と、

を備えたことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 2】

前記基板は、サファイア基板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の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は半導体発光素子の製造方法および半導体発光装置の製造方法に関する。より具体的には、本発明は、窒化物系半導体を用いた半導体発光素子に関し、サファイア基板を容易且つ確実に分離することにより高品質の結晶が得られる半導体発光素子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、家庭電化製品、OA機器、通信機器、工業計測器などさまざまな分野で発光ダイオード(LED)や半導体レーザーなどの半導体発光素子が利用されている。例えば、多くの分野で用いられることになるであろうと予想される高密度光ディスク記録等への応用を目的として、短波長の半導体レーザーの開発が注力されている(特許文献1~4参照)。

10

【0003】

現在は赤色半導体レーザーが用いられており、それまでの赤外半導体レーザーに比べ記録密度が向上した。この赤色の半導体レーザーは、InGaAlP系の材料を用いた600nm帯での発光素子であり、光ディスクの読み取りと書き込みのどちらも可能なレベルにまで特性改善され、すでに実用化されている。

【0004】

しかし、この材料系による赤色の半導体レーザーは、次世代の光ディスク記録等への応用に対しては結晶欠陥の低減が困難で、動作電圧が高いなど材料的な問題が数多く存在する。また、発振波長は短いものでも460nm程度であり、システムから要求される420nm台での発振は物性からいって困難である。

20

【0005】

一方で、さらなる記録密度の向上を目指して青色半導体レーザーの開発が進められている。すでに、II-VI族系材料を用いた半導体レーザーは発振動作が確認されている。しかしながら、その信頼性は100時間程度にリミットされるなど実用化への障壁は多く、また発振波長を480nm以下とすることも困難であるなど、次世代の光ディスクシステム等への応用には材料的なリミットが数多く存在する。

【0006】

これに対して、GaN(窒化ガリウム)を含む窒化物系半導体レーザーは、原理的には350nm以下までの短波長化が可能であり、400nmでの発振動作が報告されている。信頼性に関しても、LEDにおいて1万時間以上の信頼性が確認されている。また、室温でのレーザー発振も最近、確認された。このように、窒化物半導体系は、次世代の光ディスク記録用光源などの種々の用途において必要とされる条件を満たす優れた特性を持つ材料である。

30

【0007】

なお、本願において「窒化物系半導体」とは、 $B_x In_y Al_z Ga_{(1-x-y-z)} N$  ( $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq z < 1$ )なる化学式で表されるIII-V族化合物半導体を含み、さらに、V族元素としては、Nに加えてリン(P)や砒素(As)などを含有する混晶も含むものとする。

【特許文献1】特開昭61-7621号公報

【特許文献2】特開平7-165498号公報

【特許文献3】特開平10-117016号公報

【特許文献4】特開平6-234595号公報

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、窒化物系半導体を用いた従来の発光素子は、以下に詳述する種々の問題を有する。

【0009】

すなわち、窒化物系半導体を用いた従来の発光素子は、サファイア基板の上にエピタキシャル成長させることが一般的であった。しかし、サファイア基板と窒化物系半導体と

50

は格子定数が顕著に異なるため、成長結晶に結晶欠陥が多数発生する。このような結晶欠陥が、本質的に、種々の素子特性や素子寿命の改善に対する阻害要因となっている。

【 0 0 1 0 】

また、絶縁性のサファイア基板上に形成するため、n側電極とp側電極のいずれも、エピタキシャル成長面側に形成する必要がある。そのために、p型層と活性層とn型層の一部をエッチング除去し、n側電極をn型層の上に形成している。しかし、この構造では実際に素子として動作する部分は厚いサファイア基板上に形成されており、レーザに必要な共振器面を作成するためのへき開が困難である。

【 0 0 1 1 】

また、素子の放熱性を向上させるためには、通常はヒートシンクに素子を密着させるが、この構造ではサファイア側をヒートシンクに密着させても、サファイアの熱伝導率が低いために十分な放熱を確保することができない。逆に、電極側をヒートシンクに密着させた場合には、熱抵抗は減少するが電極を基板に対して同じ方向に設置しているこの素子では作成が難しく歩留まりが悪い。

10

【 0 0 1 2 】

また、ヒートシンクと接していない側にはサファイア基板がついており、やはり放熱性が悪い。

【 0 0 1 3 】

さらに、サファイア基板がついている限りは、電極から注入した電流を素子の横方向に流す必要があり、素子抵抗が大きくなる。

20

【 0 0 1 4 】

また、p側電極とn側電極との間の幾何学的にもっとも近い経路は素子の表面となり、リーク電流が多く生じる。

【 0 0 1 5 】

一方、HCl（塩酸）を輸送担体として用いるハイドライド化学堆積法（H-CVE法）により、窒化物系半導体の結晶を厚膜で成長する方法が最近行われはじめている。しかし、成長基板としてサファイア基板を用いているため、成長した結晶には結晶欠陥が多く含まれ、その上に作成した発光素子の素子特性の向上を阻害する要因のひとつとなっている。

【 0 0 1 6 】

また、この際に、石英で局所的にマスクをつくり成長を行うラテラル成長方法が行われはじめているが、石英マスク上に成長した部分に小けい角粒界や欠陥やボイドの発生が見られる。

30

【 0 0 1 7 】

一方、上述したような種々の問題を避けるために、サファイア基板上にGaNを100 $\mu$ m程度形成し、サファイア基板を除去し、得られたGaN膜を擬似基板として利用する技術が提案されている。しかし、硬いサファイア基板を除去するために通常用いられる研磨法ではスループットが悪く、また研磨時に異常割れなどが発生するという問題があった。

【 0 0 1 8 】

本発明は係る種々の問題点に鑑みてなされたものである。すなわち、その目的は、再現性良く容易且つ確実にサファイア基板を分離することにより、良好なへき開性、放熱性、リーク耐圧性などを有する窒化物系半導体の半導体発光素子の製造方法および半導体発光装置の製造方法を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 9 】

本発明の一態様によれば、基板上に前記基板を構成する材料よりも小さいバンドギャップを有する窒化物系半導体からなる第1の層を形成する工程と、

SiO<sub>2</sub>層を前記第1の層の上に選択的に形成する工程と、

前記SiO<sub>2</sub>層の上に、前記第1の層を結晶成長の核として面内方向に窒化物系半導体

50

をラテラル成長させて、窒化物系半導体からなる第2の層を形成する工程と、

前記基板の裏面からレーザ光を照射して前記第1の層に吸収させることにより前記基板と前記第2の層とを分離する工程と、

前記レーザ光の照射により、前記第1の層の前記第2の層とは反対の面側の窒素を解離させて、前記第1の層よりも窒素の含有率が低い窒化物系半導体からなる第3の層を形成する工程と、

前記第3の層の前記第2の層側とは反対側の面に電極を形成する工程と、

を備えたことを特徴とする半導体発光素子の製造方法が提供される。

【発明の効果】

【0023】

本発明は、以上説明したような形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。

【0024】

まず、本発明によれば、サファイア基板を容易且つ確実に剥離することができるので、サファイア基板との格子のズレによる結晶性の低下を解消することができる。その結果として、従来よりもはるかに品質の高い結晶を得ることができ、半導体発光素子の電氣的、光学的特性を改善するとともに、寿命も伸ばすことができる。

【0025】

また、本発明によれば、サファイア基板を剥離することにより、レーザの端面を形成するためのへき開を容易且つ確実に行うことができる。つまり、従来の窒化物系半導体のレーザ素子よりも鏡面状の端面を安定して形成することができ、レーザの発振特性を大きく改善することができる。

【0026】

また、サファイア基板上に形成した従来の素子では、メサを形成し、同じ表面からp側とn側の電極をとっていたが、これと比較して本実施形態によればリーク電流が減少する。

【0027】

さらに、窒化物系半導体とは熱膨張係数の異なるサファイア基板がないためにレーザの動作時の発熱による歪みが生じず素子の寿命が向上する。また、サファイア基板とGaN界面で生じていた光反射がないために発振モードが安定しており、しきい値も低下する。

【0028】

しかも、本発明によれば、剥離したサファイア基板は基板剥離によってもほとんどダメージを受けないので、これを再利用して次の結晶成長に用いることができる。これにより、欠陥の少ない良質な窒化物系半導体のエピタキシャル結晶を多量にコストも安く生産することが可能となる。

【0029】

以上詳述したように、本発明によれば、高性能且つ高信頼性を有する半導体発光素子を低コストで提供することができるようになり、その有用性は絶大である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

まず、本発明の第1の実施の形態として「リフトオフ層」を用いて基板を剥離する方法について説明する。

【0031】

図1は、本発明の第1の実施の形態にかかる半導体発光素子の製造方法を例示する工程断面図である。すなわち、同図は、窒化物系半導体を用いた半導体レーザの製造方法を表す。

【0032】

まず、図1(a)に示したように、サファイア基板11の上にMOCVD(有機金属気相成長法)によりGaN層12、AlGaN層13、n型GaN層14を成長する。ここで、基板11とGaN層12との間には、図示しないバッファ層を設けても良い。各層の

10

20

30

40

50

成長時の圧力は常圧とし、パッファ層以外のGaN層12、14及びAlGaN層13は、基本的には窒素、水素、アンモニアを混合した雰囲気において1000 から1100の温度範囲内で成長した。

【0033】

ここで、AlGaN層13のAl組成は30%前後とし、成長層の全面にクラックが入るように層厚を厚くする。このように欠損部を有したAlGaN層13は、後に詳述するように基板11を剥離するための「リフトオフ層」として作用する。

【0034】

次に、図1(b)に示したように、n型GaN層15を80 $\mu$ m前後の層厚に成長し、さらに、半導体レーザの要部となるダブルヘテロ構造などを含む多層構造部16を成長する。ここで、n型GaN層15を層厚80 $\mu$ m前後の層厚に成長するためには、MOCVD法よりも成長速度が大きいハイドライドVPE(Vapor Phase Epitaxy)法を用いることが望ましい。一方、多層構造部16の成長に際しては、従来と同様にMOCVD法を用いることができる。

10

【0035】

次に、図1(c)に示したように、基板11を剥離する。具体的には、フォトリソグラフィ法などを用いて半導体レーザのメサストライフ部などを形成した後、レーザの多層構造部16を下にして治具17にワックスなどで貼り付ける。そして、基板11の側面または裏面に対して治具をあてて刷動させるなどの方法により応力を加えることで、簡単に基板11を剥離することができる。ここで、剥離は、「リフトオフ層」すなわちAlGaN層13の前後の界面付近において生ずる。

20

【0036】

基板11を剥離したら、図1(d)に示したように、p側電極18とn側電極19を形成する。さらに、へき開によりレーザ端面を形成してチップ化する。

【0037】

なお、レーザの多層構造部16は、基板11を剥離した後に形成しても良い。すなわち、n型GaN層15をハイドライドVPEにより成長した後に、図1(c)に示したように基板11を剥離し、得られたn型GaN層15を新たな基板として多層構造部15を成長し、電極18、19を形成しても良い。

【0038】

本実施形態において、基板11を剥離できるメカニズムについて以下に説明する。

図2は、図1のGaN12、AlGaN層13、GaN層14の部分を表す要部拡大断面図である。本実施形態においては、AlGaN層13を成長する時にAl(アルミニウム)がもたらす格子歪によってクラック20Aが発生する。特に、Alの組成を30%以上とすることでクラック20Aは高密度化する。本発明者の実験によれば、このクラック20Aを平面的に観察すると六角形状に発生する場合が多いことが分かった。

30

【0039】

このようにAlGaN層13を成長した後にその成長温度においてウェーハを一旦保持すると、クラック20Aの下部にあるGaN層12の一部が成長雰囲気に含まれる水素によってエッチングされ、空隙20Bが生ずる。この上にn型GaN層14を成長すると、2次元成長モードによりクラック20Aの上が埋められて平坦化し、これより上の成長には悪影響は生じない。

40

【0040】

こうして形成されたクラック20Aや空隙20Bにより、「リフトオフ層」すなわちAlGaN層13の界面は、物理的に脆弱となる。そこに例えば上述したように応力を与えることで、クラック20Aや空隙20Bをきっかけとして基板11を剥離することができる。本実施形態において、基板11の剥離を容易に生じさせるためには、「リフトオフ層」であるAlGaN層13のAl組成は、10~30%の範囲内とすることが望ましい。また、その層厚は、0.1~1 $\mu$ mの範囲内とすることが望ましい。Al組成がこれよりも低く、または層厚が薄いと、クラックが不足して基板11の剥離が容易でなく、また、

50

A1組成がこれよりも高く、または層厚がこれよりも厚いと、この上に成長する窒化物系半導体層の結晶性が劣化する傾向が顕著となるからである。

【0041】

応力を負荷する方法としては、治具を用いて加える方法の他にも、多層構造部16の成長後に、降温を急峻に行うことでも基板は剥離する。また、サファイア基板11の裏面側にダイサーなどで一部に「けがき」を入れるような方法を用いても剥離することができる。さらに、超音波洗浄機にウェーハを投入しても剥離することができる。また、後に詳述するように、サファイア基板11の裏面側から紫外線領域の波長のレーザ光を照射し、窒化物系半導体層での光吸収により局所的な熱を発生させ、窒化物系半導体を蒸発させて剥離することもできる。

10

【0042】

本実施形態における層13、すなわち基板11を剥離するための「リフトオフ層」としては、高組成のAlGaN以外にも、格子歪みを生ずる各種の材料を用いることができる。

図3は、「リフトオフ層」としてInGaNを用いた場合を例示する要部断面図である。すなわち、同図に示した構成においては、GaN層12とn型GaN層14との間にInGaN層21が設けられている。ここで、InGaN層21のIn(インジウム)の組成は20%前後とすることができる。InGaN層21を挿入した場合、Inの相分離が原因と考えられる高密度のピット20Cが成長中に形成される。このピット20Cは、InGaN層21を貫通する微細な孔であり、 $10^7 \sim 10^9 / \text{cm}^2$ 程度の密度で形成される場合が多い。このピットにより、InGaN層21は物理的には脆弱な層となり、基板11を容易に剥離することができる。

20

【0043】

ここで、基板11の剥離を容易に生じさせるためには、「リフトオフ層」であるInGaN層13のIn組成は、10%以上とすることが望ましく、20%以上とすることがさらに望ましい。但し、MOCVD法を用いる場合には、In組成が高いほど成長が容易でない傾向がある。また、その層厚は、 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ の範囲内とすることが望ましい。In組成がこれよりも低く、または層厚が薄いと、ピットが不足して基板11の剥離が容易でなく、また、InGaN層の層厚がこれよりも厚いと、この上に成長する窒化物系半導体層の結晶性が劣化する傾向が顕著となるからである。

30

【0044】

InGaNはハイドライドVPE法でも成長が可能である。したがって、成長条件を最適化すればサファイア基板11の上に直接GaN層12からハイドライドVPE法により成長することもできる。

【0045】

一方、本実施形態における「リフトオフ層」として用いることができるものは、前述したようなクラックやピットなどの空間的な空隙を有するもの他にも、例えば、転位などの結晶欠陥を他の部分と比べて著しく高密度に有する層でも良い。具体的には、欠陥密度が $10^8 / \text{cm}^2$ 以上であり、層厚が10nm以上の半導体層であれば、「リフトオフ層」として作用させることが可能である。また、以上説明したようなリフトオフ層は、サファイア基板の上に直接設けても良い。

40

【0046】

あるいは、結晶成長によりリフトオフ層を設けなくても、GaN層12の上にSiO<sub>2</sub>などの誘電体膜をストライプ状などの形状にパターンニングし、MOCVDやハイドライドVPEによる成長時に横方向の成長モードを加速させて上方向への転位を終端させる方法もある。この場合には、SiO<sub>2</sub>層の部分を基板の剥離のための「リフトオフ層」として利用できる。また、この場合に、成長後に弗酸などでSiO<sub>2</sub>をサイドエッチングし、空隙を形成しても良い。

【0047】

図4は、本実施形態により作製した半導体レーザを例示する概略断面図である。図中1

50

5は、ハイドライドVPE成長によるn型GaNコンタクト層(Siドープ、ドーピング濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )であり、図1(c)に関して前述したように、サファイア基板上に成長した後に剥離して新たな基板として用いられるものである。また、図中24は、n型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚 $0.8 \mu\text{m}$ )、25はGaN光導波層、26は多重量子井戸構造(MQW)からなる活性層部、27はGaN光導波層(Mgドープ、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ )である。

【0048】

ここで、活性層部26のMQWの井戸層は3nm厚の $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層からなり、バリア層は厚さ6nmの $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ からなる。また、井戸層は5層である。また、活性層部26は、MQWとp型光導波層27との間に、層厚2nmのp型 $\text{Al}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ キャップ層を有する。

10

【0049】

さらに、図中28はp型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層(Mgドープ、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.8 \mu\text{m}$ )、30はp型GaNコンタクト層(Mgドープ、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$ )であり、最上部はMgを $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ まで高濃度化した。29はn型InGaNからなる電流狭窄層、31はPt/Ti/Pt/Auをこの順に積層したp側電極、32はn側電極である。紙面に対して平行方向に設けられる端面のレーザミラーは、へき開により形成する。

【0050】

図4のレーザは、図1に関して前述した通りである。すなわち、図示しないサファイア基板上にリフトオフ層を介してハイドライドVPE(H-VPE)法によりn型GaN層15を結晶成長する。そして、リフトオフ層の部分からサファイア基板を剥離することにより得られたn型GaN層15を基板として層24~30をMOCVD法より成長することにより製造される。あるいは、サファイア基板上において、リフトオフ層を介して層15~30を成長した後に、サファイア基板を剥離しても良い。

20

【0051】

また、電流狭窄層29を用いたリッジ構造は、感光レジストを用いた光リソグラフィー技術と反応性塩素系イオンによるドライエッチング技術を用いて形成することができる。すなわち、選択再成長法を用いて電流狭窄層29を成長し、その上にコンタクト層30を成長する。

30

【0052】

本実施形態によれば、サファイア基板を剥離することができるので、レーザの端面を形成するためのへき開を容易且つ確実に行うことができる。つまり、従来の窒化物系半導体のレーザ素子よりも鏡面状の端面を安定して形成することができ、レーザの発振特性を大きく改善することができる。

【0053】

また、サファイア基板上に形成した従来の素子では、メサを形成し、同じ表面からp側とn側の電極をとっていたが、これと比較して本実施形態によればリーク電流が減少する。

【0054】

さらに、窒化物系半導体とは熱膨張係数の異なるサファイア基板がないためにレーザの動作時の発熱による歪みが生じず素子の寿命が向上する。また、サファイア基板とGaN界面で生じていた光反射がないために発振モードが安定しており、しきい値も低下する。

40

【0055】

例えば、本実施形態によれば、リッジの幅が底面で $4 \mu\text{m}$ の場合に、しきい値 $65 \text{ mA}$ で室温において連続発振した。また、p側電極31をヒートシンクにマウントして測定した結果、発振波長は $405 \text{ nm}$ であり、動作電圧は約 $4.5 \text{ V}$ であった。ピーム特性は単峰性であり、非点隔差は約 $10 \mu\text{m}$ と十分小さな値が得られた。また、最高光出力は連続発振で $10 \text{ mW}$ まで得られ、最高連続発振温度は $60$ であった。信頼性に関しても室温で $1000$ 時間以上安定に動作した。すなわち、本実施形態によれば、サファイア基板が

50

ら容易且つ確実にエピタキシャル成長層を剥離することにより、極めて高性能且つ高信頼性を有する半導体発光素子を製造することができるようになる。

【0056】

しかも、剥離したサファイア基板は基板剥離によってもほとんどダメージを受けないので、これを再利用して次の結晶成長に用いることができる。これにより、欠陥の少ない良質な窒化物系半導体のエピタキシャル結晶を多量にコストも安く生産することが可能となる。

【0057】

本実施形態は、発光ダイオードの製造にも適用することができる。

図5は、図4と同様な製造方法により作製した発光ダイオードを表す概略断面図である。同図中15はハイドライドVPE法によるn型GaNコンタクト層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、34はn型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$ )、35は多重量子井戸構造(MQW)活性層である。ここでMQWの井戸層は3nm厚の $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 層からなり、バリア層は厚さ6nmの $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.08}\text{N}$ から構成される。井戸層は3層である。

10

【0058】

また、36はp型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層(Mgドープ、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ )、37はp型GaNコンタクト層(Mgドープ、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ )であり、最上部はMgを $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ まで高濃度化した。また、38はPt/Ti/Pt/Auからなるp側電極、39はn側電極、40はチップキャリアである。

20

【0059】

本具体例によれば、p側電極38を光反射層として作用させることができ、また全面コンタクトを取ることが可能で、光取り出し効率の向上と動作電圧の低減が可能である。また、p側とn側の電極をそれぞれチップの上下に設けることができるので、サファイア基板の上に形成した従来の窒化物系LEDよりもチップサイズを小型化できる。

【0060】

本具体例では、印加電圧2.8Vで20mAの電流が得られ、450nmの青色波長帯において10mWの光出力が得られた。

【0061】

次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。本実施形態においては、サファイアなどの基板の表面に予め加工を施した後に窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させ、基板を容易且つ確実に剥離する。

30

【0062】

図6は、本発明の第2実施形態を説明するための概念図である。すなわち、同図は基板部分の工程断面図であり、101はサファイア基板、102は空隙、103はGaNエピタキシャル層、104は多結晶化したGaNをそれぞれ表す。

【0063】

本実施形態においては、まず、図6(a)に示したように、サファイア基板101の表面に凹部を形成する。具体的には、サファイア基板101に図示しないマスクをつけ、ドライエッチング法を用いて例えば幅 $2 \mu\text{m}$ で深さ $3 \mu\text{m}$ を溝を形成する。

40

【0064】

次に、マスクを除去し、図6(b)に示したように、ハイドライドVPE法を用いてGaN層103をエピタキシャル成長する。ガリウム(Ga)の原料としては金属ガリウム、窒素(N)の原料としてはアンモニアを用い、ガリウムの輸送担体としては塩化水素(HCl)を用い、結晶成長温度を約950℃として8時間成長することにより、約 $100 \mu\text{m}$ のGaN層103をエピタキシャル成長させることができる。このエピタキシャル成長により、基板101の凹部の上が塞がれて、空隙102が形成される。また、この際に、基板101の空隙102の底面には、多結晶状のGaN104が堆積する。

【0065】

エピタキシャル成長の後に、室温まで降温すると、図6(c)に示したように、エピタ

50

キシャル成長したGaN層103から基板101が剥離する。これは、降温時に、基板101とGaN層103との間に、熱収縮率の差による歪みに起因してクラックが発生するためであると考えられる。本実施形態によれば、空隙102を設けることにより、このようなクラックの発生を促進させ、基板101の容易且つ確実に剥離することができる。

#### 【0066】

また、基板101を剥離するには、エピタキシャル成長温度から冷却する方法の他にも、熱的あるいは機械的な衝撃を印加するあらゆる方法を用いることができる。例えば、エピタキシャル成長後に室温まで冷却して基板101が剥離しない場合には、RTA (Rapid Thermal Annealing) のような方法により急加熱・急冷を施すことにより、基板101とGaN層103との間にクラックを生じさせ基板101を剥離することができる。また、

10

#### 【0067】

このようにして得られた厚さ約100 $\mu\text{m}$ のGaN層103の表面はミラー状であり、n型の導電性を示し、キャリア濃度はおよそ $10^{17}\text{cm}^{-3}$ であった。キャリア濃度は、エピタキシャル成長の際のドーピングにより調節することができる。また、このようにして得られた厚さ約100 $\mu\text{m}$ のGaN層103を溶融水酸化カリウム中で約350においてエッチングしたところ、エッチピットはおよそ $10^6\text{cm}^{-2}$ オーダーであった。従来の

20

#### 【0068】

次に、図6(d)に示したように、このようにして得られた低欠陥密度のGaN層103を基板として、その上に所定の素子構造106をエピタキシャル成長させる。さらに、必要に応じて、図示しない電極や保護膜などを形成する。

#### 【0069】

なお、図6(b)に示したようにハイドライドVPE法によりGaN層103を成長した後に、ウェーハを室温まで冷却してもサファイア基板101が剥離しない場合には、そのまま、ウェーハをMOCVD装置に導入してレーザの素子構造106を成長しても良い。しかる後に、前述したような方法により熱的あるいは機械的な衝撃を加えることにより、サファイア基板101を容易且つ確実に剥離することができる。

30

#### 【0070】

本実施形態においても、剥離したサファイア基板は基板剥離によってもほとんどダメージを受けないので、これを再利用して次の結晶成長に用いることができる。これにより、欠陥の少ない良質な窒化物系半導体のエピタキシャル結晶を多量にコストも安く生産することが可能となる。

#### 【0071】

ここで、本実施形態においてサファイア基板101の表面に形成する凹部は、図6(a)に示したような溝には限定されず、その他の各種の形状のものでも良い。すなわち、その上に成長するGaN層103により塞ぐことができ、また、クラックを生じさせて基板の剥離を容易にする形状であれば良く、平行に形成された複数の溝の他に、互いに交差する複数の溝や、多数の独立した孔であっても良い。このような孔の開口形状としては、円形の他に、楕円形や多角形などの種々の形状が挙げられ、不定形であっても良い。

40

#### 【0072】

また、本発明者の試作の結果によれば、サファイア基板101の表面に形成する凹部の幅をA、深さをB、隣接する凹部間の距離をCとした場合に、 $A < C$ かつ $A < B$ なる関係とすると良好な結果が得られる傾向が認められた。すなわち、このような条件とすると、クラックの発生を容易にしつつ、凹部をGaN層103により塞ぐことができる。

50

## 【0073】

図7は、本実施形態により製造した半導体レーザ装置の構造の一例を表す概略断面図である。すなわち、同図においては、基板として用いるGaN層103が向かって上側に示されている。同図中206はn型クラッド層(GaN層：アンドープ、層厚40nm、AlGaN層：Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚40nm、全膜厚 $0.8 \mu\text{m}$ )、207はGaN光閉じ込め層(アンドープ、 $0.1 \mu\text{m}$ )、208は $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ /GaN-MQW活性層(アンドープ、井戸層2nm、障壁層4nm、3周期)、209はGaN光閉じ込め層(アンドープ、 $0.1 \mu\text{m}$ )、210は第1のp型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ クラッド層(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、Siドープ、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ )、211はn型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 電流狭窄層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、Siドープ、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ )、212は第2のp型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ クラッド層(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、Siドープ、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ )、213はp型GaNコンタクト層をそれぞれ表す。

10

## 【0074】

具体的な成長手順としては、まず、GaN層103の上にクラッド層206～電流狭窄層211までを成長する。その後、成長室からウェーハを取り出し、電流を流す部分を選択的にエッチングしてクラッド層210を露出させる。次に、再び成長室にウェーハを導入し、第2のクラッド層212とコンタクト層213を成長する。レーザの素子構造106の一連の成長は、MOCVD法により行うことができる。

## 【0075】

このようにして成長したウェーハに図示しない電極を形成し、へき開してチップ化し、ヒートシンク300にマウントすることよりレーザ装置が完成する。このようにして形成したレーザ装置は、チップの上側にn側電極を有し、下側にp側電極を有する。

20

## 【0076】

本発明により製造された半導体発光素子は、従来のサファイア基板上に形成された発光素子と比較して、極めて良質の結晶性を有し、電気的光学的特性が顕著に改善される。しかも、前述した第1実施形態と同様に、p側とn側電極をそれぞれ素子の上下に設けることができるので、コンタクト面積を拡大して素子抵抗を低減させ、チップサイズも小型化することができる。

## 【0077】

また、チップの上下方向に電流を流すことができるために、素子中の欠陥が極端に減少し、レーザの信頼性が大きく向上した。すなわち、信頼性試験の結果、室温で50mWの動作条件において10万時間を越える寿命が予想される結果が得られた。

30

## 【0078】

図8は、本実施形態により製造される半導体レーザ装置の第2の具体例を表す概略断面図である。同図関しては、図7と同様の部分には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。図8のレーザ装置は、ヒートシンク300とは反対側の表面にp側電極260とn側電極250が形成されている。

## 【0079】

このタイプの素子を作成するには、素子構造106の形成までは、図7に前述した工程と同じが良いが、その次にn側電極250を形成するためのエッチングが必要となる。すなわち、はじめにp側電極260をパターニングして形成する。次に、p側電極260が作成される部分には $\text{SiO}_2$ などによるマスクを形成し、それ以外の部分をドライエッチング法により選択的にエッチングしてn型GaN層103を露出させる。 $\text{SiO}_2$ を除去した後に、n側電極を形成する部分とp側電極以外を $\text{SiO}_2$ 電流リーク防止膜240で覆う。最後に、n側電極250を形成する。

40

## 【0080】

図8に示したレーザ装置の場合には、従来の装置と異なりサファイア基板がヒートシンクと活性層との間に存在しないので、熱の放出が効率的に行われレーザの熱特性、寿命、及び発光効率が大きく向上した。

50

## 【0081】

次に、本実施形態の変形例について説明する。

図9は、本発明の第2実施形態の変形例を表す概略工程断面図である。本具体例においては、まず、図9(a)に示したように、サファイア基板101の上にハイドライドVPE法によりGaN層107を約1 $\mu$ mの層厚に成長する。

## 【0082】

次に、図9(b)に示したように溝を形成する。具体的には、図示しないマスクを形成し、ドライエッチング法を用いて例えば幅2 $\mu$ mで深さ3 $\mu$ mのエッチングを施して溝102を形成する。

## 【0083】

次に、図9(c)に示したように、GaN層を成長する。具体的には、ウェーハをもう一度ハイドライド成長装置に導入し、約100 $\mu$ mの層厚のGaN層103を成長する。この際に、予め成長したGaN層107がエピタキシャル成長の結晶核となり、溝102を安定して塞ぐことができる。

## 【0084】

その後、室温まで冷却することにより、図9(d)に示したように、サファイア基板101を剥離することができる。この後、得られたGaN層103と107の積層体を新たな基板としてMOCVD装置に導入し、所定の素子構造を成長することができる。

## 【0085】

なお、GaN層103を成長後にサファイア基板101が剥離しない場合には、ウェーハをそのままMOCVD層に導入し、所定の素子構造を形成してから、熱的あるいは機械的な負荷を加えることによって応力を印加し、サファイア基板101を剥離しても良い。

## 【0086】

本具体例においても、図6～図8に関して前述した種々の効果を同様に得ることができる。さらに、本具体例においては、サファイア基板101の上に予めGaN層107を成長することにより、その上のGaN層103の成長が容易となり、溝102を安定して塞ぐとともに、この上に成長する素子構造の結晶性をさらに向上させることができる。

## 【0087】

次に、本実施形態の第2の変形例について説明する。

図10は、本発明の第2実施形態の第2変形例を表す概略工程断面図である。本具体例においては、まず、図10(a)に示したように、サファイア基板101の上に溝102を形成する。具体的には、サファイア基板にダイシングカッターで例えば幅20 $\mu$ m、深さ20 $\mu$ mの溝を約40 $\mu$ m間隔で形成する。

## 【0088】

次に、図10(b)に示したように溝の底部にマスク層108を堆積する。具体的には、溝102以外の部分に図示しないマスクを形成し、SiO<sub>2</sub>などを堆積してマスク層108とする。この場合、マスク層108となるSiO<sub>2</sub>の厚さはサファイアの溝の深さである20 $\mu$ m以下であれば良く、例えば1 $\mu$ mとすることができる。

## 【0089】

次に、図9(c)に示したように、GaN層103を成長する。具体的には、ウェーハをもう一度ハイドライド成長装置に導入し、約100 $\mu$ mの層厚のGaN層103を成長する。この際に、溝102の底部に予めマスク層108を設けたことにより、GaNの異常成長を防ぐことができる。すなわち、サファイア基板の溝102の底部は、ダイシングなどによる加工の際の歪みが残留している場合が多い。このような歪みは、その上に成長するGaNの異常成長を引き起こすことがあり、このために、溝102がGaN層103によりうまく塞がれず、その上に成長する素子構造部の結晶性が劣化するという事態が生ずることがある。

## 【0090】

本変形例においては、溝102の底部にSiO<sub>2</sub>などのマスク層108を設けることにより、GaNの異常成長を抑止し、良好な結晶品質を有する窒化物系半導体のエピタキシ

10

20

30

40

50

ヤル層を得ることができる。

【0091】

本変形例により、およそ $100\mu\text{m}$ の層厚のGaN層103を成長したところ、その表面はミラー状の平坦面となり、光学顕微鏡で観察しても穴（ピット）などの目立った表面パターンは見られなかった。また、GaN層103を成長したウェーハをハイドライド成長装置を取り出したところ、ほとんどのウェーハはサファイア基板から剥離していた。剥離しなかったウェーハを、純水の中で超音波洗浄した結果、5分程度でサファイア基板101が剥離した。

【0092】

さらに、得られたGaN層103の上に図7および図8と同様のレーザ素子を作製したところ、ほぼ同様の特性が得られた。一方、剥離したサファイア基板について通常の前処理を行い、再びGaN層103を成長したところ、前に得られたGaN層103と同様の高品質の結晶が得られた。

10

【0093】

このように、本変形例によっても、容易且つ確実にサファイア基板を剥離し、極めて良質の結晶性を有するGaN層を得ることができる。また、窒化物系半導体からなる半導体素子の生産コストのうちで大きな部分を占めるサファイア基板を再利用でき、顕著なコストダウンも併せて実現することができる。

【0094】

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。

20

図11は、本発明の第3の実施の形態を表す要部工程断面図である。

また、図12は、本実施形態により製造されるレーザ装置の一例を表す概略断面図である。

まず、図12に示したレーザ装置の構成を説明すると、同図中の符号402はp側電極、403はp型GaNコンタクト層（Mgドープ、 $3\sim 5\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.01\mu\text{m}$ ）、404は第1のAlGaNクラッド層（Mgドープ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.7\mu\text{m}$ ）、405はAlGaN電流狭窄層（Siドープ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.2\mu\text{m}$ ）、406は第2のAlGaNクラッド層（Mgドープ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ ）、407はAlGaNオーバーフロー防止層、408はGaNガイド層（アンドープ、 $0.1\mu\text{m}$ ）、409はMQW（ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 、3周期）活性層、410はGaNガイド層（Siドープ、 $5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ ）、411はn型AlGaNクラッド層（Siドープ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ ）、412はn型GaNコンタクト層（Siドープ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.01\mu\text{m}$ ）、413はGaリッチn型GaN層（Siドープ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.01\mu\text{m}$ ）、414はn側電極である。また、同図中500はヒートシンクである。

30

【0095】

このようなレーザ素子は、サファイア基板101の上にエピタキシャル成長することにより製造することができる。すなわち、図11(a)に示したように、MOCVD法によりサファイア基板101の上に素子構造部401を成長する。

【0096】

40

具体的には、まず、GaN層412からAlGaN電流狭窄層405までをこの順番にサファイア基板101の上に成長する。この後、MOCVD装置の成長室よりウェーハを取り出し、電流狭窄層405上の一部にマスクを形成しクラッド層406が露出するまでエッチングを行い一部を除去し、電流が流れる部分を設けた後、再成長を行いクラッド層404とコンタクト層403を成長する。

【0097】

次に、図11(b)に示したように、サファイア基板101の裏面側からレーザ光を照射する。すると、GaN層412が電界により分解され、ガリウム（Ga）と窒素（N）に分かれて窒素が蒸発し、図11(c)に示したようにサファイア基板101を剥離することができる。

50

## 【0098】

ここで照射するレーザー光としては、サファイア基板101の上に成長されたGaN層412において吸収率が高い波長の光とすることが望ましい。具体的には、例えば窒素レーザーを用いることができる。また、基板を安定して剥離するためには、レーザー光の照射密度は、 $20\text{ MW/cm}^2$ 以上とすることが望ましい。但し、結晶が多結晶であったり、InGaNのようなIn（インジウム）を含む層である場合には、 $1\text{ MW/cm}^2$ 程度でも基板を剥離することが可能であった。

## 【0099】

このようにしてサファイア基板101を剥離すると、GaN層412の剥離面においてGaNがガリウム（Ga）と窒素とに分離し、表面付近の窒素が解離してGaリッチGaN層413が形成される。

10

## 【0100】

このようにしてサファイア基板101を剥離した素子構造401の上下に電極402、414を形成し、へき開してチップ化する。GaリッチGaN層413の上にn側電極414を形成する際には、電極とGaN層413とが合金化しやすく、接触抵抗を従来よりも小さくすることができるという利点が得られる。

## 【0101】

その後、p側電極402をヒートシンク500に接合させる。p側電極と金属ヒートシンクを接合するためには、高真空中でそれぞれの表面を水素やアルゴンなどのプラズマにより処理することが望ましい。この場合には、ヒートシンクの表面は、銅（Cu）、アルミニウム（Al）またはそのいずれかの合金によりコーティングされていることが望ましい。このようにして接合すれば、従来用いていたようなIn（インジウム）やガリウム（Ga）あるいはすず（Sn）、鉛（Pb）などの低融点金属半田を用いた場合に問題となっていた金属の這い上がりによる電流リークを解消することができる。

20

## 【0102】

このようにして製造したレーザー装置を動作させたところ、しきい値70mAで室温で連続発振した。また、発振波長は410nmであり、動作電圧は3.1Vであった。さらに、サファイア基板を介することなくヒートシンクにマウントすることにより、レーザーの放熱特性は従来のものに比べて5倍向上した。また、共振器面をへき開により安定して形成することができるために端面反射率が高く、また、高反射コートを施した場合にも面の荒れが少ないので高反射が容易に得られる。これらの効果により、しきい値を始めとする諸特性を改善することができる。

30

## 【0103】

また、サファイア基板上に形成した従来の素子では、メサを形成し、同じ表面からp側とn側の電極をとっていたが、これと比較して本実施形態によればリーク電流が減少する。

## 【0104】

さらに、窒化物系半導体とは熱膨張係数の異なるサファイア基板がないためにレーザーの動作時の発熱による歪みが生じず素子の寿命が向上する。また、サファイア基板とGaN界面で生じていた光反射がないために発振モードが安定しており、しきい値も低下する。

40

## 【0105】

また、本実施形態においても、剥離したサファイア基板を再利用することにより、製造コストを大幅に低減することもできる。

## 【0106】

従来は、プロセス中の取扱いの容易さや結晶成長時に用いる基板の関係上、研磨などにより薄膜化を行うものの、その全体の厚みは、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度であった。しかし、このように厚い素子では、素子の特に活性層から発生した熱を放出するため際の熱抵抗及び熱容量が大きくなる。また、厚みが限定以上になると、熱の分布により素子中の歪みが大きくなり、特性の劣化を引き起こす。

## 【0107】

50

本発明者は、このような素子の厚みと特性の関係を調べた。下記の表は、素子の厚みと、寿命試験により得られた素子寿命（時間）との関係を表すものである。

【 0 1 0 8 】

厚み ( $\mu\text{m}$ )	10	20	30	50	70
素子 A	$10^5$	$10^5$	$6 \times 10^4$	$9 \times 10^3$	$6 \times 10^3$
素子 B	$10^5$	$10^5$	$10^5$	$8 \times 10^4$	$6 \times 10^4$
素子 C	$10^5$	$10^5$	$4 \times 10^4$	$6 \times 10^3$	$4 \times 10^2$

( 時間 )

ここで、素子 A は、ヒートシンクに接している窒化物層が GaN であるレーザ素子であり、素子 B は、ヒートシンクに接している窒化物層が AlGaIn ( Al 組成は 5 % )、素子 C は、ヒートシンクに接している窒化物層が InGaIn ( In 組成は 10 % ) のレーザ素子である。いずれの素子構成の場合にも、素子の厚みが薄くなる方が寿命が良好であることが分かる。素子の構造によりばらつきがあるが、素子の厚みがおよそ  $20 \mu\text{m}$  よりも薄くなると寿命が安定している。つまり、本実施形態において、素子の部分の厚みを  $20 \mu\text{m}$  以下とすると、良好な寿命が得られる。

【 0 1 0 9 】

ここで、サファイア基板を剥離して得られる素子部の厚みが  $20 \mu\text{m}$  以下の場合にも、通常は、既存の製造方法により製造することは十分に可能である。しかし、ハンドリングが容易でない場合には、サファイア基板を剥離する前に、p 側電極を形成し、適当な基板を貼り付けてハンドリングを行えば良い。この場合に、貼り付ける基板として、へき開性のある基板を用い、素子の GaN 層とへき開方向が平行になるように貼り付けることが望ましい。このようにすれば、レーザの端面を形成する際のへき開を円滑に行うことができる。このような基板としては、Si、SiC、GaAs、InP、GaP、GaN などを用いることができる。この基板は、主要なプロセスが終了した時点で剥離すれば良い。このようにすれば、素子の厚みが薄い場合においても、ハンドリング性が向上し生産効率を改善することができる。

【 0 1 1 0 】

次に、本実施形態の第 2 の具体例について説明する。

図 1 3 は、本実施形態の第 2 の具体例を表す概略断面図である。

すなわち、同図は、サファイア基板 1 0 1 の上に素子構造を形成した状態を表す。同図に関しては、図 1 2 について前述した部分と同一の部分には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【 0 1 1 1 】

図 1 3 に示した具体例においては、結晶成長の際にいわゆるラテラル成長を行い結晶の欠陥を低減する。具体的には、サファイア基板 1 0 1 の上に GaN 層 5 0 2 を成長し、成長室より取り出して GaN 層 5 0 2 の一部を覆うように選択的に SiO<sub>2</sub> 層 5 0 3 を形成する。その後、再び MOCVD 装置に導入し、SiO<sub>2</sub> 層 5 0 3 の間に露出する GaN 層 5 0 2 を結晶成長の核として面内方向に GaN を成長させるラテラル成長により、GaN 層 5 0 4 を成長する。

【 0 1 1 2 】

その後、n 型コンタクト層 4 1 2 から p 型コンタクト層 4 0 3 までの各層を成長する。しかる後に、サファイア基板 1 0 1 の裏面側からレーザ光を照射して基板 1 0 1 を剥離し、GaN 層 5 0 4、SiO<sub>2</sub> 層 5 0 3、GaN 層 5 0 4 をドライエッチングにより除去してコンタクト層 4 1 2 を露出させる。さらに、電極を形成してレーザ素子が完成する。

【 0 1 1 3 】

本変形例によれば、サファイア基板 1 0 1 の上に窒化物系半導体の層をエピタキシャル成長するに際して、いわゆるラテラル成長を採用することにより、素子の各層の結晶欠陥を大幅に減少し、発光特性や電気特性さらに素子寿命を向上させることができる。

【 0 1 1 4 】

次に、本実施形態の第 3 の具体例について説明する。

図14は、本実施形態の第3の具体例を表す概略断面図である。すなわち、同図は、サファイア基板101の上に素子構造を形成した状態を表す。まず、サファイア基板101の上にGaN層601を成長し、成長装置からウェーハを取り出し、一部分を残してSiO<sub>2</sub>膜602で表面を覆う。この後、再び成長を行う。すなわち、GaNバッファ層603、InGaN層604、n型GaN層605、n型GaN/AlGaN超格子クラッド層(GaN層:アンドープ、40nm、AlGaN層:Siドープ、3~5×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、40nm、全膜厚0.8μm)606、GaN光閉じ込め層(アンドープ、0.1μm)607、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN-MQW活性層(アンドープ、井戸層2nm、障壁層4nm、3周期)608、GaN光閉じ込め層(アンドープ、0.1μm)609、第1のp型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nクラッド層(Mgドープ、1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、Siドープ、1×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>、0.1μm)610、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N電流狭窄層(Siドープ、1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、Siドープ、1×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>、0.1μm)611をこの順に成長する。

10

## 【0115】

その後成長室からウェーハを取り出し、電流を流す部分をエッチングにより選択的に除去して第1のクラッド層610を露出させ、さらに第2のp型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nクラッド層(Mgドープ、1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、Siドープ、1×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>、0.1μm)612、n型GaNコンタクト層613を成長する。この状態を表したものが図14である。

## 【0116】

20

この後、サファイア基板101の裏面からレーザー光を照射して基板101を剥離する。ここで、レーザー光の波長として、GaNに対しては透明でInGaNに対して吸収率が高い波長を用いることにより、InGaN層604にレーザー光を吸収させて電界によりInGaNが分解され、サファイア基板101とともにGaN層601、SiO<sub>2</sub>膜602およびGaNバッファ層603を剥離することができる。

## 【0117】

InGaN層604のIn(インジウム)組成比が20%程度の場合には、レーザー光の波長は400nm前後がよい。

## 【0118】

このようにして剥離した後、素子の両面にそれぞれ電極を形成し、へき開してチップ化する。これをヒートシンク500の上にマウントすることにより、図15に示したような半導体レーザー装置が完成する。

30

## 【0119】

また、図16は、ヒートシンク500と反対側の表面においてp側電極とn側電極を形成した例を表す概略断面図である。このレーザー素子も、前述したものと同様に、サファイア基板上に各層を結晶成長し、基板の裏面からレーザー光を照射することにより基板を剥離して形成することができる。図16の素子の構成は、図8に関して前述したものと概略同様であるので、ここでは同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

## 【0120】

本実施形態においても、サファイア基板を容易且つ確実に剥離することができるので、前述した第1実施形態や第2実施形態と同様の効果を得ることができる。さらに、本実施形態においては、サファイア基板を剥離して得られる素子の厚みを20μm以下とすることにより、前述したように寿命を改善することができる。

40

## 【0121】

次に、本発明により得られるスタック(積層)型レーザーについて説明する。

## 【0122】

図17は、本発明により得られるスタック型レーザーの構成を例示する概念図である。すなわち、本発明のスタック型レーザー700は、レーザー素子701を縦横に積層した構成を有する。それぞれのレーザー素子701の間には、ヒートシンク702が設けられ、電極としての役割も有する。また、一端に正極側の電極710が設けられ、他端に負極側の電極

50

720が設けられる。レーザ素子701は、前述した第1乃至第3実施形態により製造することができ、それぞれ素子の上下にp側コンタクトとn側コンタクトを有するものである。電流の注入は、上下の電極710、720を介して行う。

【0123】

このようなスタック型レーザにより超高出力が得られる。図17においては、5行5列にレーザ素子701を積層したレーザを例示したが、素子の個数は何個でもよい。本発明によれば、これらのレーザ素子701にはサファイア基板がないので放熱特性が良好で非常にコンパクトなスタック型レーザが得られる。これにより得られるレーザビームスポットは、固体レーザやガスレーザとほぼ同じサイズも可能であり大口径の平行ビームが得られる。

10

【0124】

本発明によれば、特に高出力でビームスポットが小さいことと、半導体レーザゆえに高速変調ができることを利用することによりレーザプロジェクタの光源としても非常に理想的なスタック型レーザが実現される。

【0125】

本発明者の実験の結果、図17のレーザに電流を注入したところ、動作電圧15Vで発振しきい値150mA、駆動電流10Aにおいて出力90Wの発光特性が得られた。スタック型レーザを構成しているレーザ素子701の厚みが20 $\mu$ m程度なので、5段重ねた場合には、ヒートシンク702の厚さを加えても、全体の厚みは数mm程度である。

【0126】

従来の高出力スタック型レーザにおいては、積層前の個々のレーザ素子の電極間の厚みが100 $\mu$ m以上もあり、つまり、レーザ素子の発光点の間隔がこのような素子の厚みの分だけあった。このようなレーザでは、それぞれの素子から放出されるレーザビームは独立したものであり、ある素子から放出された光が隣接する素子に与える影響は極めて小さかった。

20

【0127】

これに対して、本発明によれば、個々のレーザ素子701の厚みを20 $\mu$ m程度とすることによって発光点が近接し、相互に隣接するレーザ素子からの光の影響をうけるようになる。その結果として、個々のレーザ素子701は、隣接する素子の活性層からの光により励起されやすくなり、発光効率が上昇する。

30

【0128】

図18は、本発明によるスタック型レーザの変形例を表す概念図である。すなわち、同図のスタック型レーザにおいては、ヒートシンク704としてダイヤモンド薄膜を用い、電流注入のための電極703をダイヤモンド薄膜704の上にパターンニングして形成することにより、レーザ素子701のそれぞれを個別に制御することが可能である。

【0129】

また、それぞれの素子701の電極とヒートシンク704の上の電極とを接合するために高真空中でそれぞれの表面を水素やアルゴンなどのプラズマにより処理し接合することにより、これまで用いていたような低融点金属を用いた場合に問題となっていた金属の這い上がりによる電流リークを抑えることができる。

40

【0130】

また、ヒートシンク704の上下から圧力を加えることにより、結晶に歪みがかかりバレンスバンドのバンドスプリットिंगが生じ、状態密度が小さくなるのでしきい値の低減が図れる。同時に密着性が良くなり熱抵抗が減少する。

【0131】

本発明のスタック型レーザをレーザプロジェクタに使用したところ1000インチの大型画面であっても屋外で日中に鑑賞可能な輝度の高い高品位なプロジェクタが実現された。また、これまでではガスレーザを用いていたので1500kgもあったプロジェクタ装置の重量を50kgに減少することができた。

【0132】

50

以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。

【0133】

例えば、各具体例において用いたサファイア基板の他に、サファイアに限定されず、その他にも、例えば、スピネル、 $MgO$ 、 $ScAlMgO_4$ 、 $LaSrGaO_4$ 、 $(LaSr)(AlTa)O_3$ などの絶縁性基板や、 $SiC$ 、 $Si$ 、 $Ge$ 、 $GaAs$ などの導電性基板も同様に用いてそれぞれの効果を得ることができる。また、II-VI族化合物半導体を基板として用いることもできる。ここで、 $ScAlMgO_4$ 基板の場合には、(0001)面、 $(LaSr)(AlTa)O_3$ 基板の場合には(111)面を用いることが望ましい。

10

【0134】

また、各具体例において示した発光素子の構造は一例に過ぎず、その構成は当業者が種々に変形することができる。例えば、各層の導電性は、反転させることが可能であり、また、活性層として多重量子井戸構造を採用したり、また、種々の電流狭窄構造を採用しても良い。

【0135】

さらに、本発明は半導体レーザに限定されず、発光ダイオードやその他の窒化物系半導体をもちいた発光素子に対して同様に適用して同様の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0136】

20

【図1】本発明の第1の実施の形態にかかる半導体発光素子の製造方法を例示する工程断面図である。

【図2】図1の $GaN$ 12、 $AlGaN$ 層13、 $GaN$ 層14の部分を表す要部拡大断面図である。

【図3】「リフトオフ層」として $InGaN$ を用いた場合を例示する要部断面図である。

【図4】第1実施形態により作製した半導体レーザを例示する概略断面図である。

【図5】図4と同様な製造方法により作製した発光ダイオードを表す概略断面図である。

【図6】本発明の第2実施形態を説明するための概念図である。

【図7】第2実施形態により製造した半導体レーザの構造の一例を表す概略断面図である。

30

【図8】第2実施形態により製造されるレーザ素子の別の具体例を表す概略断面図である。

【図9】本発明の第2実施形態の第1変型例を表す概略工程断面図である。

【図10】本発明の第2実施形態の第2変型例を表す概略工程断面図である。

【図11】本発明の第3の実施の形態を表す要部工程断面図である。

【図12】第3実施形態により製造されるレーザ素子の一例を表す概略断面図である。

【図13】第3実施形態の第2の具体例を表す概略断面図である。

【図14】第3実施形態の第3の具体例を表す概略断面図である。

【図15】第3実施形態による半導体レーザ装置を表す概略断面図である。

【図16】ヒートシンク500と反対側の表面においてp側電極とn側電極を形成した例を表す概略断面図である。

40

【図17】本発明により得られるスタック型レーザの構成を例示する概念図である。

【図18】本発明によるスタック型レーザの変形例を表す概念図である。

【符号の説明】

【0137】

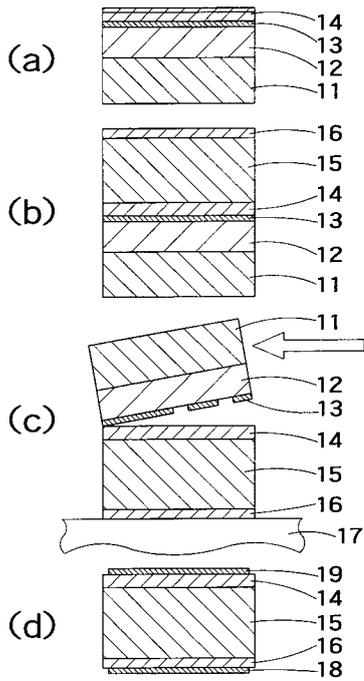
- 12  $GaN$ 層
- 13  $AlGaN$ 層
- 14  $GaN$ 層
- 15  $GaN$ 層
- 16 多層構造部

50

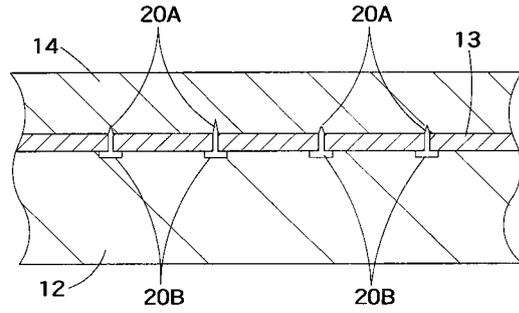
17	治具	
18	p側電極	
19	n側電極	
20A	クラック	
20B	空隙	
20C	ピット	
21	InGa <sub>N</sub> 層	
24	n型Al <sub>0.08</sub> Ga <sub>0.92</sub> Nクラッド層	
25	GaN光導波層	
26	多重量子井戸構造からなる活性層部	10
27	GaN光導波層	
28	p型Al <sub>0.08</sub> Ga <sub>0.92</sub> Nクラッド層	
29	n型InGa <sub>N</sub> からなる電流狭窄層	
30	p型GaNコンタクト層	
31	p側電極	
32	n側電極	
34	n型Al <sub>0.08</sub> Ga <sub>0.92</sub> Nクラッド層	
35	多重量子井戸構造(MQW)活性層	
36	p型Al <sub>0.08</sub> Ga <sub>0.92</sub> Nクラッド層	
37	p型GaNコンタクト層	20
38	p側電極	
39	n側電極	
40	チップキャリア	
101	サファイア基板	
102	空隙	
103	GaNエピタキシャル層	
104	多結晶化したGaN	
106	素子構造	
107	GaN層	
108	マスク層	30
206	n型クラッド層	
207	GaN光閉じ込め層	
208	In <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N/GaN-MQW活性層	
209	GaN光閉じ込め層	
210	第1のp型Al <sub>0.03</sub> Ga <sub>0.97</sub> Nクラッド層	
211	n型Al <sub>0.03</sub> Ga <sub>0.97</sub> N電流狭窄層	
212	第2のp型Al <sub>0.03</sub> Ga <sub>0.97</sub> Nクラッド層	
213	p型GaNコンタクト層	
240	保護膜	
250	n側電極	40
260	p側電極	
300	ヒートシンク	
401	素子構造部	
402	p側電極	
403	p型GaNコンタクト層	
404	第1のAlGaNクラッド層	
405	AlGaN電流狭窄層	
406	第2のAlGaNクラッド層	
407	AlGaNオーバーフロー防止層	
408	GaNガイド層	50

4 0 9	M Q W 活性層	
4 1 0	G a N ガイド層	
4 1 1	n 型 A l G a N クラッド層	
4 1 2	n 型 G a N コンタクト層	
4 1 3	G a リッチ n 型 G a N 層	
4 1 4	n 側電極	
5 0 0	ヒートシンク	
6 0 1	G a N 層	
6 0 2	S i O <sub>2</sub> 膜	
6 0 3	G a N パツファ層	10
6 0 4	I n G a N 層	
6 0 5	n 型 G a N 層	
6 0 6	n 型 G a N クラッド層	
6 0 7	G a N 光閉じ込め層	
6 0 8	活性層	
6 0 9	G a N 光閉じ込め層	
6 1 0	第 1 の p 型 A l <sub>0.03</sub> G a <sub>0.97</sub> N クラッド層	
6 1 1	n 型 A l <sub>0.03</sub> G a <sub>0.97</sub> N 電流狭窄層	
6 1 2	第 2 の p 型 A l <sub>0.03</sub> G a <sub>0.97</sub> N クラッド層	
6 1 3	n 型 G a N コンタクト層	20
7 0 0	スタック型レーザ	
7 0 1	レーザ素子	
7 0 2	ヒートシンク	
7 0 3	電極	
7 0 4	ヒートシンク	
7 1 0	電極	
7 2 0	電極	

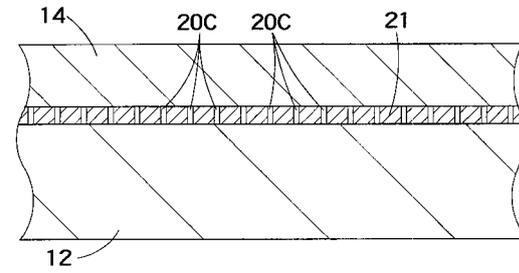
【図1】



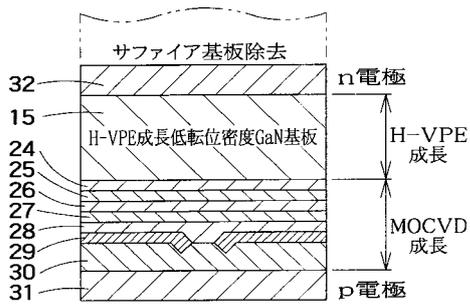
【図2】



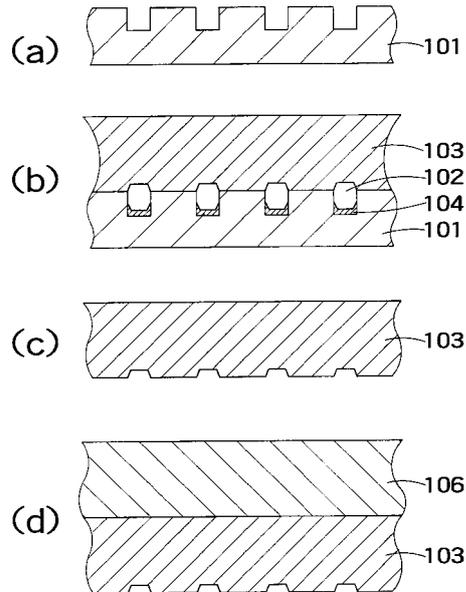
【図3】



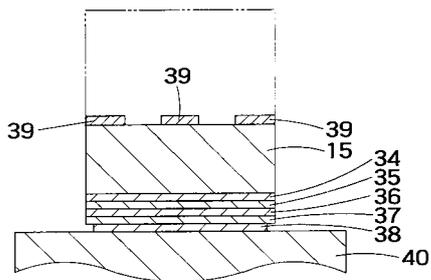
【図4】



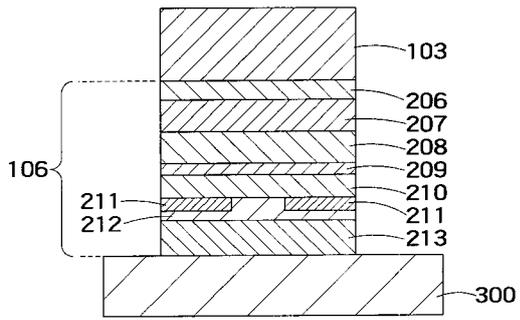
【図6】



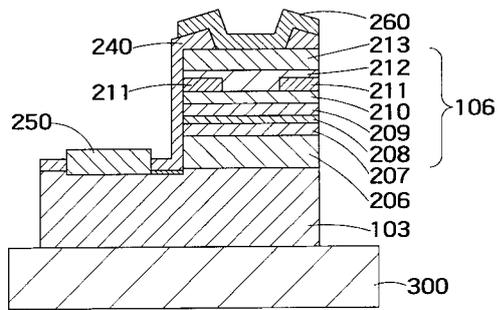
【図5】



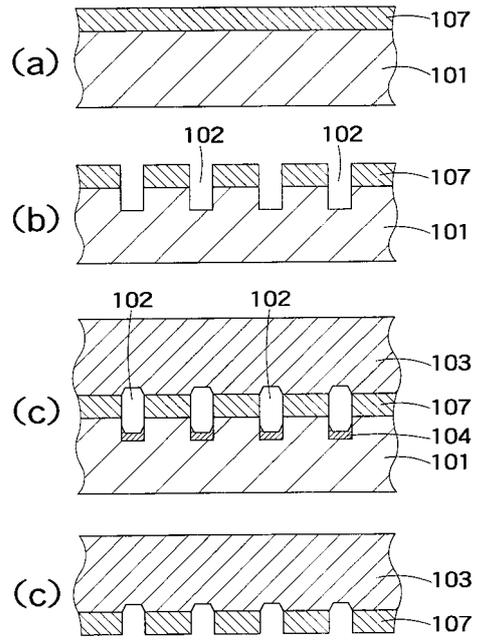
【図7】



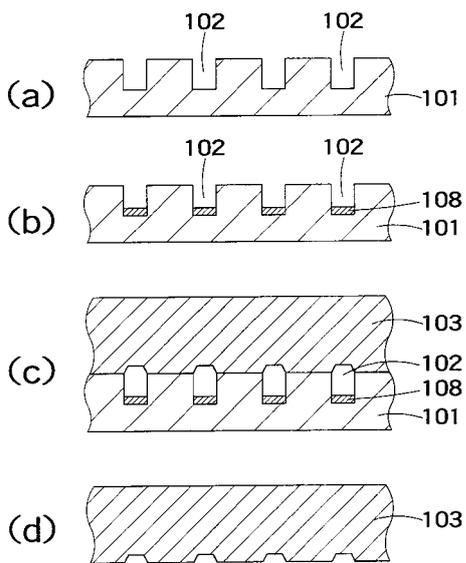
【図8】



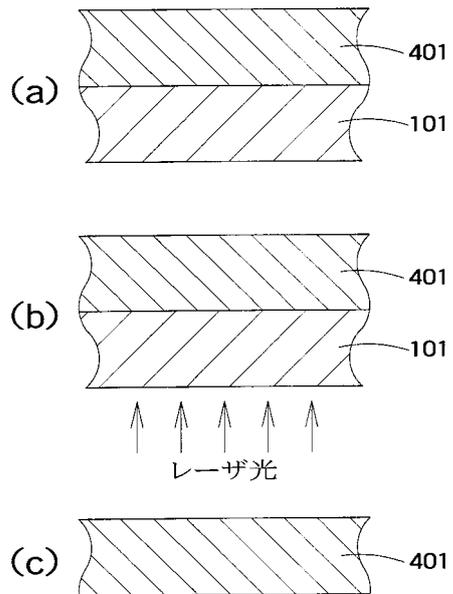
【図9】



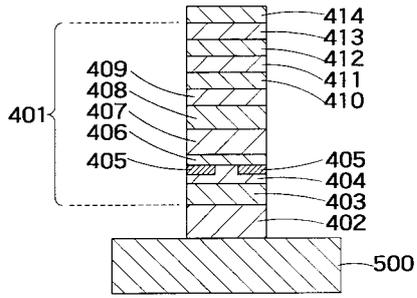
【図10】



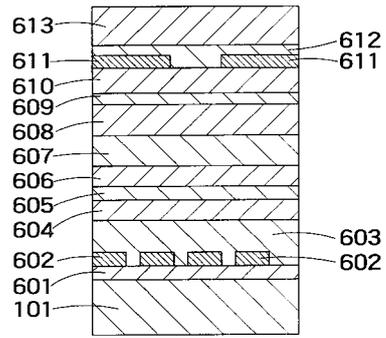
【図11】



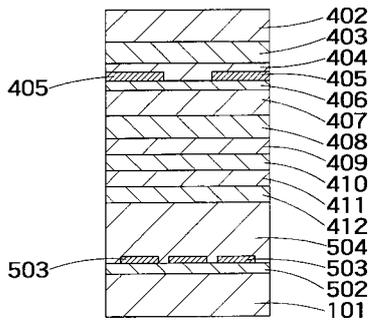
【図12】



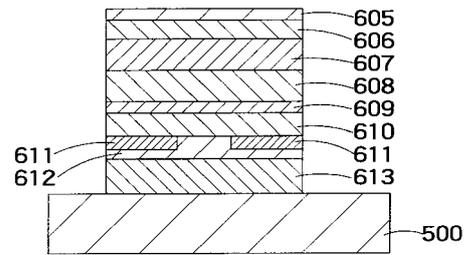
【図14】



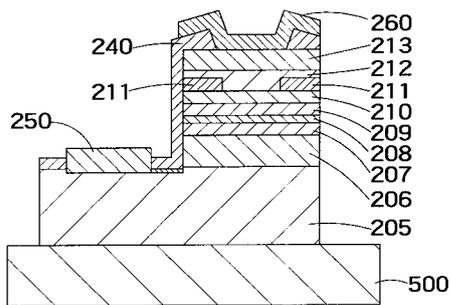
【図13】



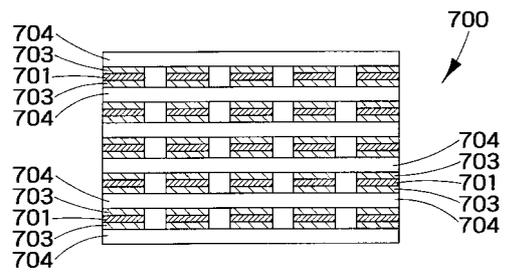
【図15】



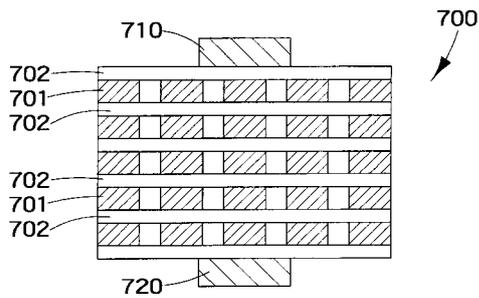
【図16】



【図18】



【図17】



## フロントページの続き

- (72)発明者 吉 田 博 昭  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 板 谷 和 彦  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 齋 藤 真 司  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 西 尾 謙 司  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 布 上 真 也  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

審査官 土屋 知久

- (56)参考文献 国際公開第98/014986(WO, A1)  
特開平10-041580(JP, A)  
特開2000-101139(JP, A)  
Shuji Nakamura et al, InGan/Gan/AlGaN-Based Laser Diodes with Modulation-Doped Strained  
-Layer Superlattices, Japanese Journal of Applied Physics, 1997年12月 1日, par  
t2 Vol.36 No.12A, pp.L1568-L1571

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00  
H01S 5/00 - 5/50  
C30B 1/00 - 35/00