(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4333092号
(P4333092)

(45)発行日　平成21年9月16日(2009.9.16)　(24)登録日　平成21年7月3日(2009.7.3)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 29/26	(2006.01)	H01L	29/26	
H01L 21/20	(2006.01)	H01L	21/20	
H01L 21/205	(2006.01)	H01L	21/205	
H01L 21/338	(2006.01)	H01L	29/80	H
H01L 29/778	(2006.01)	H01L	33/00	

請求項の数 6　(全 10 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2002-203674(P2002-203674)
(22)出願日　平成14年7月12日(2002.7.12)
(65)公開番号　特開2004-47762(P2004-47762A)
(43)公開日　平成16年2月12日(2004.2.12)
審査請求日　平成16年9月17日(2004.9.17)

(73)特許権者　000005120
日立電線株式会社
東京都千代田区外神田四丁目１４番１号
(74)代理人　100071526
弁理士　平田　忠雄
(72)発明者　藤倉　序章
東京都千代田区大手町一丁目６番１号　日立電線株式会社内
(72)発明者　鈴木　貴征
東京都千代田区大手町一丁目６番１号　日立電線株式会社内

審査官　村岡　一磨

最終頁に続く

(54)【発明の名称】窒化物半導体の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

基板上へ窒化物半導体層を形成するに当たり、

単結晶の絶縁性基板であるサファイア基板、ＳｉＣ基板、又はＳｉ基板上に接して、（$In_aAl_bGa_cN)_xSi_y$（ａ≧０、ｂ≧０、ｃ≧０、０．０１≦ｘ≦０．９、０．１≦ｙ≦０．９９、ａ＋ｂ＋ｃ＝１、ｘ＋ｙ＝１）で表されるＩＩＩ－Ｖ－ＩＶ族混晶バッファ層をエピタキシャル成長し、

この混晶バッファ層上に、エピタキシャル成長法により単結晶の結晶構造を有する窒化物半導体層を形成することを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項２】

上記バッファ層の混晶半導体層を４００～１２００℃の温度範囲で成長することを特徴とする請求項１に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項３】

上記窒化物半導体層を６００～１２００℃の温度範囲で成長することを特徴とする請求項１又は２に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項４】

上記混晶バッファ層を０．１分子層～１μｍの厚さで形成することを特徴とする請求項１～３のいずれかに記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項５】

上記窒化物半導体層の厚さを０．５～１０μｍ未満に形成することを特徴とする請求項

１～４のいずれかに記載の窒化物半導体の製造方法。
【請求項６】
上記窒化物半導体層の厚さを１０～５００μｍに形成することを特徴とする請求項１～４のいずれかに記載の窒化物半導体の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、低転位な窒化物半導体の製造方法に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
半導体エピタキシャル膜を得ようとする場合、最も容易な方法としては、成長しようとしている半導体と同一材料からなる単結晶基板を準備し、その上に気相成長する方法が考えられ、実際に色々な材料系で成功している。
【０００３】
しかしながら、窒化ガリウムのように技術的に半導体単結晶基板を得ることが困難であったり、半導体単結晶基板が高価であるため産業的にはコスト面で用いれない等の理由により、異種基板上へ半導体を成長せざるをえない状況が多々存在する。代表例としては、シリコン基板上のＧａＡｓや、サファイア及び炭化珪素基板上のＧａＮや、ＧａＡｓ基板上のII－VI族半導体等が知られる。
【０００４】
例えば、窒化ガリウム（ＧａＮ）は、青色から紫外域にかけての短波長発光ダイオード（ＬＥＤ）や半導体レーザ（ＬＤ）等の光デバイスの材料として、あるいは高出力電界効果トランジスタ（ＦＥＴ）や高電子移動度トランジスタ（ＨＥＭＴ）等の電子デバイス用の材料として重要であるが、窒化ガリウムはバルク単結晶基板を得ることができないため、基板材料としてサファイアやＳｉＣ基板が用いられ、この基板上へ、気相成長法（ＶＰＥ法）（有機金属気相成長法（ＭＯＶＰＥ法）を含む）によりＧａＮの成長が行われる。
【０００５】
この様な異種基板上へ半導体を成長した場合、格子不整合、熱膨張係数の不整合、表面エネルギーの不整合等の様々な材料固有の特性の不整合により、成長した半導体エピタキシャル膜中に高密度の転位が導入される。半導体中の転位は、非発光再結合中心、散乱中心として働くため、このような転位を多く含む半導体を用いた光および電子デバイスの特性、安定性、寿命は転位を微量にしか含まないデバイスに比べて極めて劣ったものとなってしまう。
【０００６】
上記ＧａＮや、ＡｌＧａＮ、ＧａＩｎＮなどに代表される窒化物系化合物半導体も、単結晶基板が得られないためサファイアや炭化珪素などの異種基板上に成長が行われることから、同様に、初期の研究においては上述の転位の発生が深刻な問題となっていた。
【０００７】
しかし、近年、ＭＯＶＰＥ法を用いた「２段階成長法」によりこの問題は一部解決された。即ち、サファイア基板上に５００～６００℃程度の低温でＧａＮあるいはＡｌＮからなる低温バッファ層を成長し、その後、その上に１０００℃程度の温度でＧａＮを成長する方法であり、これにより従来10^{10}～$10^{11}cm^{-2}$程度であったサファイア上ＧａＮの転位密度を10^{8}～$10^{9}cm^{-2}$台に抑制することに成功している（特公平８－８２１７号公報）。
【０００８】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、窒化物半導体中の転位密度が$10^{8}cm^{-2}$台であっても、窒化物半導体電子デバイスの耐圧低下や光デバイスの寿命短縮などの現象を引き起こす原因となり、これらのデバイスの実用化に対する大きな障害となっている。即ち、窒化物半導体の電子・光デバイスの実用化を達成するためには、窒化物半導体中の更なる転位密度の低減が必要であ

る。ちなみに、窒化物半導体の次世代の製品ターゲットである青紫レーザーダイオードや紫外ＬＥＤの実現のためには、転位密度を１０^{7}cm^{-2}台以下にすることが要請される。

【０００９】

そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、転位密度の更なる低減を実現する窒化物半導体の製造方法を提供することにある。

【００１０】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明は、次のように構成したものである。

【００１１】

請求項１の発明に係る窒化物半導体の製造方法は、基板上へ窒化物半導体層を形成するに当たり、単結晶の絶縁性基板であるサファイア基板、ＳｉＣ基板、又はＳｉ基板上に接して、（$In_aAl_bGa_cN)_xSi_y$（ａ≧０、ｂ≧０、ｃ≧０、０．０１≦ｘ≦０．９、０．１≦ｙ≦０．９９、ａ＋ｂ＋ｃ＝１、ｘ＋ｙ＝１）で表されるＩＩＩ－Ｖ－ＩＶ族混晶バッファ層をエピタキシャル成長し、この混晶バッファ層上に、エピタキシャル成長法により単結晶の結晶構造を有する窒化物半導体層を形成することを特徴とする。

【００１２】

本発明において基板とその上の窒化物半導体層の間に形成されるIII－Ｖ－IV族混晶バッファ層は、一般式、$(In_aAl_bGa_cN)_xSi_y$（ａ≧０、ｂ≧０、ｃ≧０、ｘ＞０、ｙ＞０、ａ＋ｂ＋ｃ＝１、ｘ＋ｙ＝１）で表される。いくつか例を挙げると、ＩｎＮＳｉ、ＩｎＡｌＮＳｉ、ＡｌＮＳｉ、ＡｌＧａＮＳｉ、ＧａＮＳｉ、ＩｎＧａＮＳｉ、ＩｎＡｌＧａＮＳｉなどである。

【００１４】

請求項２の発明は、請求項１に記載の窒化物半導体の製造方法において、上記バッファ層の混晶半導体層を４００～１２００℃の温度範囲で成長することを特徴とする。

【００１５】

請求項３の発明は、請求項１又は２に記載の窒化物半導体の製造方法において、上記窒化物半導体層を６００～１２００℃の温度範囲で成長することを特徴とする。転位密度を低減する観点からは、好ましくは９５０～１１００℃、更に好ましくは１０１０～１０５０℃の温度範囲で成長する。

【００１６】

請求項４の発明は、請求項１～３のいずれかに記載の窒化物半導体の製造方法において、上記混晶バッファ層を０．１分子層～１μｍの厚さで形成することを特徴とする。

【００１７】

請求項５の発明は、請求項１～４のいずれかに記載の窒化物半導体の製造方法において、上記窒化物半導体層の厚さを０．５～１０μｍ未満に形成することを特徴とする。これは本発明において好ましい上記窒化物半導体層の厚さである０．５～５００μｍの範囲のうちの一部を特定したものである。

【００１８】

請求項６の発明は、請求項１～４のいずれかに記載の窒化物半導体の製造方法において、上記窒化物半導体層の厚さを１０～５００μｍに形成することを特徴とする。これは本発明において好ましい上記窒化物半導体層の厚さである０．５～５００μｍの範囲のうちの一部を特定したものである。

【００２０】

この半導体ウェハにおいて、混晶バッファ層上へ形成される窒化物半導体の積層構造（デバイス構造）としては、短波長発光ダイオード（ＬＥＤ）や半導体レーザ（ＬＤ）等の光デバイスの構造の他、高出力電界効果トランジスタ（ＦＥＴ）や高電子移動度トランジスタ（ＨＥＭＴ）、ヘテロ・バイポーラ・トランジスタ（ＨＢＴ）等の電子デバイスの構造がある。具体的には、例えばＬＥＤやＬＤなどを製造する場合には、ＡｌＧａＮ、ＩｎＧａＮ、ＧａＮなどを多層に積層し、発光層（活性層）をｎ型クラッド層およびｐ型クラッド層によりはさんだ構造を形成する必要がある。また、ＨＢＴにおいても、ＡｌＧａＮ、

ＩｎＧａＮ、ＧａＮなどを多層に積層し、ｎｐｎあるいはｐｎｐ接合を形成する必要がある。

【００２４】

＜発明の要点＞

本発明者等は、上記課題を解決するべく、上記のＡｌＮ、ＧａＮ低温バッファに代わる新たなバッファ層材料を探索し、鋭意研究努力した結果、図１に示すように、$(In_aAl_bGa_cN)_xSi_y$（ａ≧０、ｂ≧０、ｃ≧０、ｘ＞０、ｙ＞０、ａ＋ｂ＋ｃ＝１、ｘ＋ｙ＝１）で表されるIII－Ⅴ－IV族混晶バッファ層２を、異種単結晶の絶縁性基板１とその上に成長する窒化物半導体層３との間に形成することにより、転位密度を10^8cm^{-2}より小さくすることが可能であることを見出した。

【００２５】

これは、ＳｉＣ、Ｓｉ等の異種基板上へ窒化物半導体を成長する場合、異種基板１上にまず上記バッファ層２の混晶半導体を成長しその上に窒化物半導体層３を成長すると、異種基板と窒化物半導体間の歪が効果的に緩和し、結果的に窒化物半導体中の転位が低減するためと考えられる。

【００２６】

また、異種基板上にあらかじめ窒化物半導体層を成長した複合基板上へ窒化物半導体層を成長する場合にも、異種基板の影響により、あらかじめ成長した窒化物半導体は歪んでおり、転位を多く含んでいる。この場合にも、上記バッファ層の混晶半導体層を挿入する事により、その上に成長する窒化物半導体中の歪みが効果的に緩和し、結果的に窒化物半導体中の転位が低減する。

【００２７】

【発明の実施の形態】

次に、本発明による窒化物半導体の製造方法と、これにより得られる半導体ウェハならびに半導体デバイス製造の実施形態について説明する。以下の実施例はＭＯＶＰＥ成長による場合の例であるが、ＨＶＰＥ成長（ハイドライド気相成長）あるいはＭＢＥ成長（分子線エピタキシー）による場合においても同様な結果を得ている。

【００２８】

＜実施例１＞

本実施例においては、基板１としてサファイア基板を用い、これをまず１１００℃で水素雰囲気中でクリーニングした後、その上に混晶バッファ層２として$(GaN)_xSi_{1-x}$バッファ層を組成・膜厚を様々に変えて成長し、更にその上に窒化物半導体層３として約３μｍのＧａＮ層を成長している。

【００２９】

表１に、ＧａＮＳｉバッファ層とＧａＮ層につき、その成長条件である膜厚、原料、キャリアガスの種類と量を示す。

【００３０】

【表１】

	GaNSi混晶バッファ層	GaN層
膜厚	0.1分子層～1μm	3μm
原料 トリメチルガリウム(TMG)(μmol/m)	0.01～60	660
原料 テトラエチルシラン(TESi)(μmol/m)	0.01～60	0
原料 アンモニア(slm)	10	20
原料 キャリアガス 水素／窒素の比率	0.3	0.3

【００３１】

表１に示すように、ＧａＮＳｉバッファ層は、膜厚を０．１分子層～１μｍの範囲で変更した。このＧａＮＳｉバッファ層の成長中に供給した原料およびキャリアガスの種類と量は、III族原料であるトリメチルガリウム（ＴＭＧ）を０．０１～６０（μmol/m）、IV族原料であるテトラエチルシラン（ＴＥＳｉ）を０．０１～６０（μmol/m）、Ｖ族原料であるアンモニアを１０（slm）とし、キャリアガスの水素／窒素の比率を０．３とした。また、このＧａＮＳｉバッファ層上に形成したＧａＮ層は、膜厚を３μｍとし、その成長

中に供給した原料およびキャリアガスの種類と量は、III族原料であるトリメチルガリウムＴＭＧを６６０（μmol/m）、Ｖ族原料であるアンモニアを２０（slm）とし、キャリアガスの水素／窒素の比率を０．３とした。そして、成長時の圧力、総ガス流量、温度はＧａＮＳｉバッファ層とＧａＮ層を通じて全て一定として、それぞれ、３００Torr、１００slm、１０２５℃である。

【００３２】

なお、本実験に先立ち、約１μｍの$(GaN)_xSi_{1-x}$層をサファイア基板上へ直接成長し、Ｘ線回折測定により、その組成ｘが、原料ガスであるトリメチルガリウム（ＴＭＧ）とテトラエチルシラン（ＴＥＳｉ）の供給量で制御可能であることを見出している。

【００３３】

図２に、膜厚０．１分子層の$(GaN)_xSi_{1-x}$混晶バッファ層を、組成ｘを変えて成長した場合の、その上に成長したＧａＮ層の転位密度（cm^{-2}）の変化を示す。ＧａＮ組成ｘが０．０１の場合に転位密度が最小の$1\times10^{7}cm^{-2}$となっており、また、ＧａＮ組成ｘが０．９においても、従来のＡｌＮあるいはＧａＮ低温バッファ層を用いた２段階成長法によるＧａＮよりも低い値である$10^{7}cm^{-2}$台の転位密度が得られている。

【００３４】

また、図３はＧａＮ組成ｘが０．０１の場合（つまり$GaN_{0.01}Si_{0.99}$の混晶バッファ層）の膜厚（nm）と転位密度（cm^{-2}）の関係を示したものである。混晶バッファ層の膜厚を０．１分子層程度（０．０２５nm）とした図２の場合、転位密度の最小が$1\times10^{7}cm^{-2}$となっているが、他の膜厚との関係では、図３に示すように、混晶バッファ層の膜厚が１０００nm以下で転位密度は$2\times10^{8}cm^{-2}$以下であり、従来法によるＧａＮバッファ層よりも転位密度が低い。また混晶バッファ層の膜厚が１００nm以下では転位密度が$1\times10^{8}cm^{-2}$以下となる。よって、混晶バッファ層は、０．１分子層～１０００nm（１μｍ）の厚さとするのがよく、更には０．１分子層～１００nmの厚さで形成するのが好ましいことが判る。

【００３５】

＜参考例＞

参考例では、基板１として、ＳｉＣ基板上にＧａＮ層を約１μｍ成長した複合基板を用い、この複合基板上へ、実施例１と同様な条件でバッファ層２として$(In_{0.1}Ga_{0.5}Al_{0.4}N)_{0.1}Si_{0.9}$混晶バッファ層を１分子層成長し、その上に窒化物半導体層３として、$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$を約２μｍ成長している。この結果、複合基板の段階では、ＧａＮ層の最表面で転位密度が$1\times10^{9}cm^{-2}$であったのが、$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$の表面では、転位密度が$5\times10^{7}cm^{-2}$にまで低減している。

【００３６】

＜実施例２＞

本実施例では、その前提として、実施例１の$(GaN)_xSi_{1-x}$混晶バッファ層のＧａＮ組成ｘが０．０１で、且つ膜厚が０．１分子層の場合において、混晶バッファ層の成長温度を２００～１３００℃の範囲で変化させた実験を行っている。その結果、混晶バッファ層の成長温度が４００～１２００℃の範囲内では、転位密度が、従来法によるＧａＮの転位密度以下となった。ことに、成長温度が８００～１１００℃の範囲内では転位密度は$5\times10^{7}cm^{-2}$以下であり、また、１０００～１０５０℃の範囲内では転位密度は$2\times10^{7}cm^{-2}$以下にまで低減された。

【００３７】

＜実施例３＞

本実施例では、その前提として、実施例１の$(GaN)_xSi_{1-x}$混晶バッファ層のＧａＮ組成ｘが０．０１で、且つ膜厚が０．１分子層の場合において、混晶バッファ層上に成長するＧａＮ層の成長温度を２００～１３００℃の範囲で変化させた実験を行っている。その結果、成長温度が６００～１２００℃の範囲内では、転位密度が、従来法によるＧａＮの転位密度以下となった。ことに、成長温度が９５０～１１００℃の範囲内では転位密度は$5\times10^{7}cm^{-2}$以下であり、また、１０１０～１０５０℃の範囲内では転位

密度は２×１０^{7}ｃｍ$^{-2}$以下にまで低減された。

【００３８】

＜実施例４＞

上記実施例１～３において、窒化物半導体層の膜厚としては０．５μｍ～５００μｍが好適である。窒化物半導体層の膜厚が０．５μｍ未満の場合には、窒化物半導体の電気的・光学的特性に劣化がみられ、また、窒化物半導体層の膜厚が５００μｍ以上の場合には、成長時間が長くなりすぎる。ことに、窒化物半導体層の膜厚が０．５μｍ～１０μｍ未満の場合には、低コスト、且つ低転位な窒化物半導体エピタキシャルウェハとして好適であり、また、窒化物半導体層の膜厚が１０μｍ～５００μｍの場合には、多少ウェハコストは高くなるが、より低転位な窒化物半導体エピタキシャルウェハとして好適である。

【００３９】

＜実施例５＞

図４はＭＯＣＶＤ法を用いて、サファイア基板１１上に、窒化ガリウム系化合物半導体のダブルヘテロ（ＤＨ）構造を積層成長した光放出半導体デバイス用ウェハの例である。このウェハＷは、サファイア基板１１上に、４００～１２００℃の温度範囲でＧａＮＳｉバッファ層１２を０．１分子層～１μｍの厚さで形成し、次に６００～１２００℃の温度範囲でオーミック電極を付けるためのｎ型ＧａＮ層１３を形成し、その上に、ｎ型ＡｌＧａＮクラッド層１４（第１のクラッド層）、ＩｎＧａＮ活性層１５、及びｐ型ＡｌＧａＮクラッド層１６（第２のクラッド層）から成るダブルヘテロ構造を成長した後、ｐ型のＧａＮコンタクト層１７を成長させたものである。

【００４０】

図５は上記半導体ウェハを用いて形成した半導体デバイスの例である。上記ウェハＷの表面の一部を反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）法でエッチングして除去し、ｎ型ＧａＮ層１３を露出させた後、ｎ型ＧａＮ層１３の表面にチタン（Ｔｉ）とアルミニウム（Ａｌ）の積層構造から成るｎ型電極１８を、またｐ型層の表面の一部にはニッケル（Ｎｉ）と金（Ａｕ）の積層構造から成るｐ型電極１９を付けて、ＬＥＤチップ（窒化ガリウム系化合物半導体光放出半導体デバイス）を作製した。

【００４１】

＜実施例６＞

図６はＭＯＶＰＥ法を用いて、サファイア基板２１上に、４００～１２００℃の温度範囲でＧａＮＳｉバッファ層２２を０．１分子層～１μｍの厚さで形成し、次に６００～１２００℃の温度範囲でアンドープＧａＮ層２３を形成し、その上に、ｎ型ＡｌＧａＮ層２４を形成して、ＧａＮ系ＨＥＭＴ用ウェハを構成した例である。ＧａＮＳｉバッファ層２２の働きにより、急峻なヘテロ界面が形成され、これにより高い電流密度が得られるものである。

【００４２】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、単結晶の絶縁性基板上へ窒化物半導体層を形成するに際し、基板と窒化物半導体層の間に、（Ｉｎ$_{a}$Ａｌ$_{b}$Ｇａ$_{c}$Ｎ）$_{x}$Ｓｉ$_{y}$（ａ≧０、ｂ≧０、ｃ≧０、０．０１≦ｘ≦０．９、０．１≦ｙ≦０．９９、ａ＋ｂ＋ｃ＝１、ｘ＋ｙ＝１）で表されるＩＩＩ－Ｖ－ＩＶ族混晶バッファ層を形成しているので、従来以上に低転位な窒化物半導体を成長することが可能となる。これは、窒化物半導体層における転位密度を飛躍的に低減して１０^{7}ｃｍ$^{-2}$台以下にすることが実現できることを意味する。このため、本発明の窒化物半導体の製造方法によれば、次世代の青紫レーザーダイオードや紫外ＬＥＤの実現を可能にすると共に、窒化物半導体電子デバイスの耐圧や光デバイスの寿命などを向上させ、実用に適した電子デバイスや光デバイスを得ることができる。

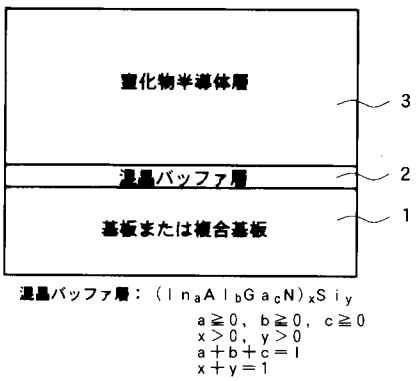
【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の窒化物半導体の構造を示す図である。

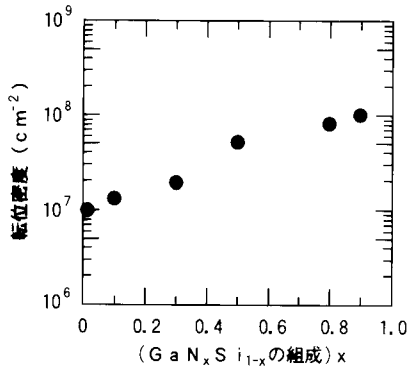
【図２】本発明における混晶バッファ層の膜厚が０．１分子層の場合の組成と転位密度の

関係を示す図である。
【図３】本発明における窒化物半導体の混晶バッファ層の膜厚と転位密度の関係を示す図である。
【図４】本発明により作成した光デバイス用ウェハの構造を示す断面図である。
【図５】本発明により図４のウェハを用いて作成した光デバイスの構造を示す断面図である。
【図６】本発明により作成したＧａＮ系ＨＥＭＴ用ウェハの構造を示す断面図である。
【符号の説明】
１　基板
２　バッファ層
３　窒化物半導体層

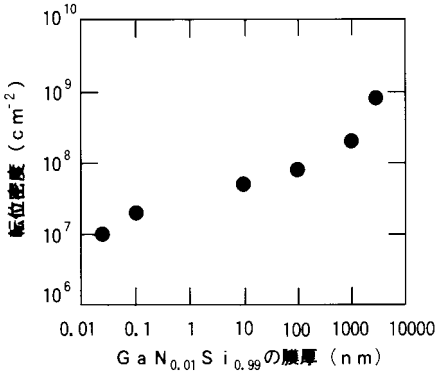
【図１】



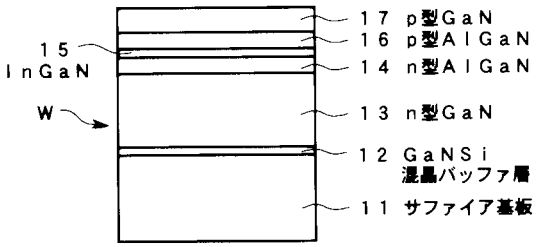
【図２】



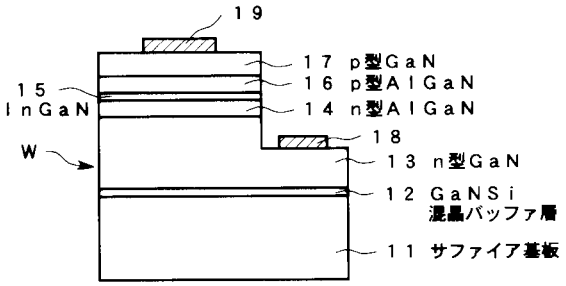
【図３】



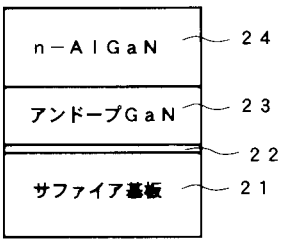
【図４】



【図５】


１９
１７ ｐ型ＧａＮ
１６ ｐ型ＡｌＧａＮ
１５
ＩｎＧａＮ
１４ ｎ型ＡｌＧａＮ
１８
Ｗ
１３ ｎ型ＧａＮ
１２ ＧａＮＳｉ
混晶バッファ層
１１ サファイア基板

【図６】


ｎ－ＡｌＧａＮ
２４
アンドープＧａＮ
２３
２２
サファイア基板
２１

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H01L	***29/812***	***(2006.01)***	Ｈ０１Ｓ	5/323	６１０
H01L	***33/00***	***(2006.01)***			
H01S	***5/323***	***(2006.01)***			

(56)参考文献 特開２００１－１７６８０４（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２０６５１９（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－０４４２０９（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１２９９２０（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－０７４９８０（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１４５０５７（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－１５０３８８（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－１９６１４６（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－２２３７８８（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１０１１４９（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１１０１９７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

H01L 29/26
H01L 21/20
H01L 21/205
H01L 21/338
H01L 29/778
H01L 29/812
H01L 33/00
H01S 5/323