(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3561105号
(P3561105)
(45)発行日　平成16年9月2日(2004.9.2)　(24)登録日　平成16年6月4日(2004.6.4)

(51)Int.Cl.[7]	F I
H01S 5/323	H01S 5/323 610
H01L 21/205	H01L 21/205
H01L 29/20	H01L 29/20
H01L 33/00	H01L 33/00 C

請求項の数 10　(全 22 頁)

(21)出願番号　特願平8-332199
(22)出願日　平成8年12月12日(1996.12.12)
(65)公開番号　特開平9-321389
(43)公開日　平成9年12月12日(1997.12.12)
審査請求日　平成13年3月22日(2001.3.22)
(31)優先権主張番号　特願平8-69590
(32)優先日　平成8年3月26日(1996.3.26)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　100058479
弁理士　鈴江　武彦
(74)代理人　100084618
弁理士　村松　貞男
(74)代理人　100068814
弁理士　坪井　淳
(74)代理人　100092196
弁理士　橋本　良郎
(74)代理人　100091351
弁理士　河野　哲
(74)代理人　100088683
弁理士　中村　誠

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ｐ型半導体膜および半導体素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

半導体膜にｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄、およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物とを含み、下記化学式で表わされる化合物半導体からなることを特徴とするｐ型半導体膜。

$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）

【請求項２】

前記ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物は、マグネシウムである請求項１に記載のｐ型半導体膜。

【請求項３】

ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物とを含み、下記化学式で表わされる化合物半導体からなるｐ型半導体層を具備することを特徴とする半導体素子。

$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）

【請求項４】

前記ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物は、マグネシウムである請求項３に記載の半導体素子。

【請求項５】

前記ｐ型半導体層中に、さらにケイ素を含有する請求項３または４に記載の半導体素子。

【請求項６】
前記ｐ型半導体層は、コンタクト層であることを特徴とする請求項３ないし５のいずれか１項に記載の半導体素子。
【請求項７】
基板、ｎ型クラッド層、ｐ型クラッド層、および、前記ｎ型クラッド層と前記ｐ型クラッド層との間に設けられた活性層を具備し、
前記ｎ型クラッド層、前記ｐ型クラッド層、および前記活性層は、下記化学式で表わされる化合物半導体からなり、前記ｐ型クラッド層は、ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物を含有することを特徴とする半導体レーザ。
$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）
【請求項８】
前記ｐ型クラッド層は、ケイ素をさらに含有することを特徴とする請求項７に記載の半導体レーザ。
【請求項９】
基板、ｎ型クラッド層、ｐ型クラッド層、および、前記ｎ型クラッド層と前記ｐ型クラッド層との間に設けられた発光層を具備し、
前記ｎ型クラッド層、前記ｐ型クラッド層、および前記発光層は、下記化学式で表わされる化合物半導体からなり、前記ｐ型クラッド層は、ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物を含有することを特徴とする発光ダイオード。
$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）
【請求項１０】
前記ｐ型クラッド層は、ケイ素をさらに含有することを特徴とする請求項９に記載の発光ダイオード。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、例えば半導体レーザや発光ダイオードなどに用いられるｐ型半導体膜およびｐ型層を具備する半導体素子に関する。
【０００２】
【従来の技術】
現在、青色発光ダイオードや半導体レーザ用の材料としてＧａＮを始めとする窒化物化合物半導体が注目されており、一部では青色発光ダイオードが実現され、半導体レーザも実現されようとしている。このような素子は、ｐ型およびｎ型といった異なる導電型を有する一対の材料で発光層を挟んだ、いわゆるダブルヘテロ構造を有している。なお、ｐ型およびｎ型の材料のエネルギーギャップは、発光層のそれより大きい。しかしながら、このうちｐ型の窒化物化合物半導体層を形成する際には、特開平２－２５７６７９号公報や特開平５－１８３１８９号公報等に示されているように、有機金属気相成長法（ＭＯＣＶＤ法）などで成膜した後、電子線照射や熱的なアニール等の工程を経なければならない。このような工程は、窒化物化合物半導体に特有である窒素空孔等の欠陥を生成することになる。そのため、ｐ型窒化物化合物半導体層の実現は図れたものの、いまだｐ型キャリア濃度を上げることができず、電極の接触抵抗を含めた素子抵抗の低減を図ることができなかった。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
上述したように、従来のｐ型化合物半導体層の製造工程は、その目的に反するような現象を生じさせるものを含んでおり、高キャリア濃度を有するｐ型窒化物化合物半導体層を形成することができなかった。
そこで本発明は、高キャリア濃度のｐ型半導体膜、およびこれを具備する半導体素子を提

供することを目的とする。

【０００４】

【課題を解決するための手段】

本発明によると、半導体膜にｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄、およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物とを含み、下記化学式で表わされる化合物半導体からなることを特徴とするｐ型半導体膜が提供される。

$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）

【０００５】

また本発明によると、ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物とを含み、下記化学式で表わされる化合物半導体からなるｐ型半導体層を具備することを特徴とする半導体素子が提供される。

$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）

さらに本発明によると、基板、ｎ型クラッド層、ｐ型クラッド層、および、前記ｎ型クラッド層と前記ｐ型クラッド層との間に設けられた活性層を具備し、前記ｎ型クラッド層、前記ｐ型クラッド層、および前記活性層は、下記化学式で表わされる化合物半導体からなり、前記ｐ型クラッド層は、ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物を含有することを特徴とする半導体レーザが提供される。

$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）

またさらに本発明によると、基板、ｎ型クラッド層、ｐ型クラッド層、および、前記ｎ型クラッド層と前記ｐ型クラッド層との間に設けられた発光層を具備し、前記ｎ型クラッド層、前記ｐ型クラッド層、および前記発光層は、下記化学式で表わされる化合物半導体からなり、前記ｐ型クラッド層は、ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物と、チタン、鉄およびニッケルからなる群から選択される残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物を含有することを特徴とする発光ダイオードが提供される。

$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$　　（０≦ｘ，ｙ，ｚ≦１）

【０００６】

本発明者らは、高キャリア濃度を有するｐ型窒化物化合物半導体を製造し得なかった原因について鋭意検討した結果、次のような知見を得た。すなわち、窒化物化合物半導体は、本来、アクセプタとしての性質を有するＭｇ（マグネシウム）をドーパントとして添加するのみでｐ型伝導を示すはずである。しかしながら、まず第１に、窒化物半導体には窒素空孔や格子間位置に入るＧａが生成されやすいことから、ｐ型化された半導体層中における残留ドナー濃度が高い。第２に、窒化物半導体中におけるＭｇのアクセプターレベルが、一般に考えられている半導体中のアクセプターレベルよりも著しく深い。この２つの現象のため、Ｍｇを添加したのみでは高キャリア濃度の窒化物化合物半導体を形成することができなかった。

【０００７】

したがって、通常ｐ型化には関与しない不純物、またはアクセプター性不純物を、Ｍｇとともに添加することによって、生成された窒素空孔によるドナーを補償することができる。すなわち、Ｍｇを添加してｐ型化を付与する際に阻害となる要因を取り除くことができるので、Ｍｇによる高キャリア濃度のｐ型結晶を実現することが可能となった。

【０００８】

残留不純物を補償し、高キャリア濃度の結晶を実現するための不純物、またはアクセプター性不純物としては、エネルギー的に深いものを用いることが好ましい。かかる不純物を用いることによって、捕獲断面積を大きくすることができ、少ない添加量で多くの残留ドナーを補償することができる。

【０００９】

なお、ｐ型層中に残留ドナーを補償するアクセプター性不純物に加えて、さらにＳｉを添

加した場合には、これによってＭｇの拡散を抑制することができ、エッチングの容易性も高められる。さらに、Ｓｉは、Ｍｇが水素や酸素と結合することによりアクセプター化が阻害されるのを抑制するという作用も有している。

【００１０】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明を実施例により詳細に説明する。

（実施例１）

図１は、本実施例に関わる半導体レーザ１００の断面構造を示す。半導体レーザ１００は、ｐ型ＳｉＣ基板１０１を有しており、このＳｉＣ基板１０１の上には格子不整合を緩和させることを目的としたＧａＮバッファ層１０２が１０ｎｍの厚さで形成されている。さらに、ＧａＮバッファ層１０２の上には、ｐ型ＧａＮ層１０３（２μｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮ層１０４（５００ｎｍ）、ＩｎＧａＮ活性層１０５（１００ｎｍ）、ｎ型ＡｌＧａＮ層１０６（５００ｎｍ）、およびｎ型ＧａＮ層１０７（３００ｎｍ）が順次積層されている。各層には、故意に不純物を添加することによってｐ型またはｎ型の導電性を付与している。具体的には、ｐ型ＧａＮ１０３層およびｐ型ＡｌＧａＮ層１０４に添加した不純物は、ＭｇおよびＣ（炭素）であり、ｎ型ＡｌＧａＮ層１０６およびｎ型ＧａＮ層１０７に添加した不純物はＳｉである。このような不純物のうちｐ型層１０３および１０４中のＣが、深いアクセプタレベルを形成することから残留ドナーを補償し、比較的浅いアクセプタレベルを形成するＭｇによる高キャリア濃度化を助ける働きをする。

【００１１】

また、ｎ型ＧａＮ層１０７の上には、SiO_2 膜１１０によって１０μｍの幅でストライプ化されたＴｉ／Ａｕ積層電極１１１が形成されており、ｐ型ＳｉＣ基板１０１の裏面にも、同様のＴｉ／Ａｕ積層電極１１１が同一の厚さで形成されている。

【００１２】

以下に、半導体レーザ１００の製造方法を順に説明する。

この半導体レーザ１００は、周知の有機金属気相成長法（ＭＯＣＶＤ法）による気相成長を用いて製造した。用いた原料は、有機金属原料としてのトリメチルガリウム（ＴＭＧ）、トリメチルアルミニウム（ＴＭＡ）、トリメチルインジウム（ＴＭＩ）およびビスシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp_2Mg）であり、ガス原料としてアンモニア、シランおよびプロパンである。また、キャリアガスとしては水素および窒素を用いた。

【００１３】

まず、有機洗浄・酸洗浄によってＳｉＣ基板１０１を処理した後、このＳｉＣ基板を、ＭＯＣＶＤ装置の反応室内に載置され、高周波によって加熱されるサセプタ上に装着した。次に、常圧で水素を２０リットル／分の流量で流しながら、１２００℃で約１０分間、気相エッチングを施すことによって、ＳｉＣ基板１０１の表面に形成された自然酸化膜を除去した。

【００１４】

基板上への半導体層の成膜に当たっては、まず、ＳｉＣ基板１０１を８００℃まで降温し、水素、窒素、アンモニアおよびＴＭＧを約５分間流すことにより、ＧａＮバッファ層１０２を形成した。なお、水素、窒素およびアンモニアの流量はいずれも５リットル／分とし、ＴＭＧの流量は３０ｃｃ／分とした。

【００１５】

その後、ＳｉＣ基板１０１を１１００℃まで昇温・保持し、キャリアガスとしての水素および窒素、ガス原料としてのアンモニアおよびプロパン、有機金属原料としてのＴＭＧおよびCp_2Mgを約３０分間流すことにより、ｐ型ＧａＮ層１０３を形成した。キャリアガスの流量はいずれも５リットル／分とし、有機金属原料の流量はいずれも３０ｃｃ／分とした。また、アンモニアおよびプロパンの流量は、それぞれ５リットル／分および１０ｃｃ／分とした。さらに引き続いて、これらのガスに１００ｃｃ／分の流量のＴＭＡを追加して、約８分間流すことによりｐ型ＡｌＧａＮ層１０４を形成した。

【００１６】

ＩｎＧａＮ活性層１０５の形成に当たっては、ＳｉＣ基板１０１を８００℃まで降温・保持し、窒素（１０リットル／分）、アンモニア（５リットル／分）、ＴＭＧ（３０ｃｃ／分）、およびＴＭＩ（２００ｃｃ／分）を約１０分間流した。

【００１７】

その後、ＳｉＣ基板１０１を再び１１００℃まで昇温・保持し、キャリアガスとしての水素および窒素、有機金属原料としてのＴＭＧおよびＴＭＡ、ガス原料としてのアンモニアおよびシランを約８分間流すことによりｎ型ＡｌＧａＮ層１０６を形成した。キャリアガスの流量は、いずれも５リットル／分とし、ＴＭＧおよびＴＭＡの流量は、それぞれ３０ｃｃ／分および１００ｃｃ／分とした。また、アンモニアおよびシランの流量は、それぞれ５リットル／分および１ｃｃ／分とした。これに引き続いてＴＭＡの供給を停止し、残りのガスを約１時間流すことにより、ｎ型ＧａＮ層１０７を形成した。この後、窒素のみを１０リットル／分の流量で流しながら室温まで冷却して、反応室から成長ウェハーを取り出した。

【００１８】

次いで、ｎ型ＧａＮ層１０７上に周知の熱ＣＶＤ法などを用いてSiO_2膜１１０を０．５μｍの厚さで成膜した後、このSiO_2膜にフォトエッチングプロセスなどを施して幅１０μｍの孔を形成した。さらに、この上に周知の真空蒸着法などにより厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と３μｍのＡｕ膜とを順次形成して、Ｔｉ／Ａｕ積層電極１１１とした。これと同様の厚さのＴｉ／Ａｕ積層電極を、ＳｉＣ基板１０１の裏面にも形成した。

【００１９】

このような素子においては、ｐ型ＧａＮ層１０３およびｐ型ＡｌＧａＮ層１０４中にＣはおよそ1×10^{17} cm^{-3}の濃度で含まれている。これはアンドープのＧａＮ膜のキャリア濃度におよそ一致しているためである。なお、Ｍｇの濃度は、ｐ型ＧａＮ層１０３中では約5×10^{19} cm^{-3}であり、ｐ型ＡｌＧａＮ層１０４中では約3×10^{19} cm^{-3}である。

【００２０】

上述した例においては、ｐ型層中の炭素濃度を上記の値に設定したが、炭素濃度はこれに限定されるものではない。残留ドナー濃度は結晶成長の条件によって異なるので、これを補償するための濃度も成長条件に応じて適宜決定することができる。しかしながら、残留ドナー濃度を補償し、ｐ型結晶の阻害要因にならないようにするためには、炭素濃度は1×10^{16} cm^{-3}以上1×10^{19} cm^{-3}以下であることが必要であり、1×10^{18} cm^{-3}以下であることが望ましい。

【００２１】

このようにして作製したウェハーを３５０μｍ×５００μｍの大きさにへき開し、レーザダイオードチップとした。このチップは活性層中のＩｎ組成によるが、素子４２０ｎｍで室温連続発振し、今回作製したものについては、Ｉｎの平均組成比が８％程度の場合に４２０ｎｍで発振した。

（実施例２）

図２に、本発明の他の半導体レーザ２００の断面構造を示す。半導体レーザ２００は、スピネル基板２０１を有しており、そのスピネル基板２０１上にＡｌＮバッファ層２０２が５０ｎｍの厚さで形成されている。さらにバッファ層２０２の上には、ｎ型ＧａＮ層２０３（４μｍ）、ｎ型ＡｌＧａＮ層２０４（５００ｎｍ）、ＩｎＧａＮ活性層２０５（１００ｎｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮ層２０６（５００ｎｍ）、およびｐ型ＧａＮ層２０７（３００ｎｍ）が順次形成されている。各層には、故意に不純物を添加することによりｐ型またはｎ型の導電性を付与している。具体的には、ｐ型ＡｌＧａＮ層２０６およびｐ型ＧａＮ層２０７に添加した不純物はＭｇおよびＣｄ（カドミウム）であり、ｎ型ＧａＮ層２０３およびｎ型ＡｌＧａＮ層２０４に添加した不純物はＳｉ（ケイ素）である。このような不純物のうちｐ型層２０６および２０７中のＣｄが残留ドナーを補償する働きをする。

【００２２】

ｐ型ＧａＮ層２０７の上には、SiO_2膜２１１によって１０μｍの幅でストライプ化

されたＴｉ／Ａｕ積層電極２１０が形成されている。なお、このＴｉ／Ａｕ積層電極２１０は、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と厚さ３μｍのＡｕ膜との積層構造からなり、これと同様の積層電極２１０が、エッチングにより上方の層を除去して表面を露出させたｎ型ＧａＮ層２０３の上にも形成されている。

【００２３】

半導体レーザ２００は、前述の（実施例１）と同様のＭＯＣＶＤ法により製造し、ｐ型層に添加したＣｄの原料としては、ジメチルカドミウム（ＤＭＣｄ）を用いた。ｐ型層中におけるＣｄ濃度が高すぎる場合には、ｐ型領域でキャリアが捕獲されこの領域で発光が生じ、活性層への注入が十分に行なわれないおそれがある。このため、Ｃｄ濃度は、1×10^{18} ｃｍ$^{-3}$ 以下であることが望ましい。しかしながら、濃度が低すぎる場合にはＣｄを添加する効果が現れないので1×10^{15} ｃｍ$^{-3}$ 以上の濃度であることが必要とされる。望ましくは1×10^{16} ｃｍ$^{-3}$ 以上1×10^{17} ｃｍ$^{-3}$ 以下であるとき、ｐ型結晶のキャリア濃度は極大領域をもった。

【００２４】

本実施例において基板として用いたスピネルは、へき開性および導電性がＳｉＣに比べて乏しいので、閾値電流が前述の（実施例１）の場合より２割程度高くなる。しかしながらスピネルは、ＳｉＣ基板に特有な貫通欠陥を有していないので、出力を３割程度高くすることが可能であった。

（実施例３）

図３に本実施例に関わる発光ダイオード３００の断面構造を示す。発光ダイオード３００は、サファイア基板３０１を有しており、サファイア基板３０１上には、ＧａＮバッファ層３０２（２０ｎｍ）、ｎ型ＧａＮ層３０３（４μｍ）、ＩｎＧａＮ発光層３０４（１００ｎｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮ層３０５（３００ｎｍ）、およびｐ型ＧａＮ層３０６（５００ｎｍ）が順次積層されている。各層には、不純物を故意に添加することによってｐ型またはｎ型の導電性を付与している。具体的には、ｐ型ＡｌＧａＮ層３０５およびｐ型ＧａＮ層３０６に添加した不純物はＭｇおよびＦｅ（鉄）であり、ｎ型ＧａＮ層３０３に添加した不純物はＳｉである。このうちｐ型層３０５および３０６中のＦｅが、残留ドナーを補償する働きをする。Ｆｅはレベルが非常に深いので、ｐ型層中に微量含まれていればよいが、1×10^{13} ｃｍ$^{-3}$ 以上1×10^{16} ｃｍ$^{-3}$ 以下であることが望ましい。

【００２５】

ｐ型ＧａＮ層３０６の上には、厚さ２０ｎｍのＮｉ膜と１μｍのＡｕ膜との積層構造からなるＮｉ／Ａｕ積層電極３１０が形成されている。また、エッチングにより上方の層を除去して表面を露出させたｎ型ＧａＮ層３０３には、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と２μｍのＡｕ膜との積層構造からなるＴｉ／Ａｕの積層構造３１１が形成されている。

【００２６】

本実施例の発光ダイオードにおける窒化物化合物半導体の積層構造は、前述の（実施例１）と同様のＭＯＣＶＤ法により作製した。各層の成長膜厚は成長時間によって管理し、その後、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）によって測定した。なお、残留ドナーを補償するための不純物であるＦｅは、ｐ型ＡｌＧａＮ層３０５およびｐ型ＧａＮ層３０６をエピタキシャル成長した後、イオン注入によって結晶中に導入した。また、ＩｎＧａＮ発光層３０４中には発光中心としてＺｎ（亜鉛）およびＳｉを導入し、その原料としてはジメチルジンク（ＤＭＺｎ）およびシランを用いた。

【００２７】

このようにして積層構造を形成した後、ｐ型ＧａＮ層３０６、ｐ型ＡｌＧａＮ層３０５およびＩｎＧａＮ発光層３０４の一部の領域を、塩素ガスを用いたドライエッチングにより除去して、ｎ型ＧａＮ層３０３を露出させ、このｎ型ＧａＮ層３０３上にｎ型電極３１１を形成した。このウェハーを３５０μｍ角の大きさにスクライブし、ステム上に設置し、ボンディング、モールドして発光ダイオードランプを得た。このランプは波長４５０ｎｍで発光し、順方向電流２０ｍＡで３ｍＷ程度の出力を示した。

【００２８】

本実施例においては、残留ドナーを補償する不純物としてＦｅをｐ型層に添加したが、発光中心として発光層に添加するＺｎをｐ型層３０５および３０６に微量添加しても同様の効果が得られる。ただし、Ｚｎのエネルギーレベルは鉄より浅いので、Ｚｎの濃度は1×10^{14} ｃｍ$^{-3}$以上1×10^{17} ｃｍ$^{-3}$以下とすることが望ましい。

（実施例４）

図４に本実施例に係る発光ダイオード４００の断面構造を示す。発光ダイオード４００は、ｎ型ＳｉＣ基板４０１を有しており、このＳｉＣ基板４０１上には、ｎ型ＧａＮ層４０２（１μｍ）、ＩｎＧａＮ発光層４０３（１００ｎｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮ層４０４（３００ｎｍ）、およびｐ型ＧａＮ層４０５（５００ｎｍ）が順次形成されている。各層には、不純物を故意に添加することによってｐ型またはｎ型の導電性を付与している。具体的には、ｐ型ＡｌＧａＮ層４０４およびｐ型ＧａＮ層４０５に添加した不純物はＭｇおよびＴｉ（チタン）であり、ｎ型ＧａＮ層４０２に添加した不純物はＳｉである。このうちｐ型層４０４および４０５中のＴｉが残留ドナーを補償する働きをする。なお、このＴｉは、膜成長後に蒸着・熱拡散によってｐ型層４０４および４０５に導入した。

【００２９】

ｐ型ＧａＮ層４０５の上には、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と２μｍのＡｕ膜との積層構造からなるＴｉ／Ａｕ積層電極４１０が形成されている。これと同様のＴｉ／Ａｕ積層電極４１０は、ｎ型ＳｉＣ基板４０１の裏面にも形成されている。

【００３０】

この発光ダイオード４００は、アンモニアガスを用いたガスソースＭＢＥ法により製造した。３族用の蒸発用ルツボには、Ｇａ（ガリウム）金属、Ｉｎ（インジウム）金属およびＡｌ（アルミニウム）金属を収容し、それぞれ所定温度に加熱した。Ｇａ金属の加熱温度は１０５０℃であり、Ｉｎ金属は７５０℃、Ａｌ金属は１０６０℃にそれぞれ加熱した。ガスの導入には、内部にアルミファイバを充填したクラッキングガスセルを使用し、５００℃に加熱して、ガスを直接基板に吹き付けるようにして５ｃｃ／分の速度で供給した。

【００３１】

まず、ＳｉＣ基板４０１を有機洗浄および酸洗浄し、洗浄後の基板を、加熱可能なサセプタに装着して反応室内に導入した。その後、９００℃で３０分間ＳｉＣ基板４０１を加熱し、次いで６５０℃の温度に保持して基板上への半導体層の成膜を行なう。

【００３２】

成膜に当たっては、アンモニアガスをクラッキングガスセルから供給しながら、まずＧａおよびＳｉのシャッタを開けて約０．５μｍ／時の成膜速度で膜厚１μｍのｎ型ＧａＮ層４０２を形成した。次いで、ＩｎおよびＧａのシャッタを開けてＩｎＧａＮ発光層４０３を形成し、さらにＡｌ，ＧａおよびＭｇのシャッタを開けてＡｌＧａＮ層４０４、ＧａおよびＭｇのシャッタを開けてＧａＮ層４０５を順次形成した。

【００３３】

これらの膜を形成した後、アンモニアガスの供給を停止し、続けて反応室内でスパッタ法等により厚さ３００ｎｍのＴｉ膜をＧａＮ層４０５の上に成膜した。その後、１０００℃まで昇温し、ＴｉをＡｌＧａＮ層７４およびＧａＮ層４０５中に拡散させることによって、ＡｌＧａＮ層４０４およびＧａＮ層４０５をｐ型化した。このとき、ＡｌＧａＮ層４０４およびＧａＮ層４０５中へのＴｉの拡散量は、Ｔｉ膜の膜厚および熱処理の温度によって制御することができる。Ｔｉのレベルは非常に深いので、ＴｉはＭｇドープＧａＮ系半導体中に微量含有されていればよい。具体的には、ｐ型層中におけるＴｉ濃度は、1×10^{13} ｃｍ$^{-3}$以上1×10^{16} ｃｍ$^{-3}$以下であることが望ましい。

【００３４】

このようにして作製した発光ダイオード７０では、Ｔｉをｐ型層４０４および４０５に添加しないときと比べて発光強度に改善がみられ、光出力としては発光波長４３０ｎｍで５ｍＷ程度の値が得られた。

（実施例５）

図５に、本実施例に係るＺｎＳｅ系半導体レーザ５００の断面構造を示す。ＺｎＳｅ系材

料においても、ｐ型高キャリア濃度結晶の実現は困難であり、その阻害要因としてＳｅ空孔が考えられる。半導体レーザ５００は、ＧａＡｓ基板５０１を有しており、このＧａＡｓ基板５０１上には、ＧａＡｓバッファ層５０２、ｎ型ＺｎＳｅ層５０３、ＣｄＺｎＳｅ活性層５０４、およびｐ型ＺｎＳｅ層５０５が順次形成されている。各層は、周知のＭＯＣＶＤ法を用いて形成することができ、ｎ型ＺｎＳｅ層５０３およびｐ型ＺｎＳｅ層５０５には、故意に不純物を添加することによってそれぞれの導電性を付与している。具体的には、ｎ型ＺｎＳｅ層５０３に添加した不純物はＣｌであり、ｐ型ＺｎＳｅ層５０５に添加した不純物は窒素（Ｎ）およびヒ素（Ａｓ）である。このうち、ｐ型層５０５中のＡｓが残留ドナーを補償する働きをする。

【００３５】

ＺｎＳｅ系半導体層においては、残留ドナー濃度が2×10^{16} ｃｍ$^{-3}$程度であることから、ｐ型層５０５に添加するＡｓの濃度は、1×10^{15} ｃｍ$^{-3}$以上1×10^{17} ｃｍ$^{-3}$以下であることが望ましい。このときには、ｐ型層５０５は2×10^{18} ｃｍ$^{-3}$程度のキャリア濃度を有しており、波長５００ｎｍで発振した。

【００３６】

上述した例においては、残留ドナーを補償する不純物としてＡｓを用いたが、Ｏ（酸素），Ｐ（リン），ＴｉおよびＮｉ（ニッケル）などを用いることも可能である。ここで挙げた不純物の好ましい濃度は、その種類によって異なり、例えば、ＯおよびＰの場合には1×10^{15} ｃｍ$^{-3}$以上1×10^{17}以下であることが好ましく、ＴｉおよびＮｉの場合には1×10^{14} ｃｍ$^{-3}$以上1×10^{17} ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。かかる範囲の濃度で添加した場合には、前述と同等の効果が得られる。

（実施例６）

図６に、本実施例に係る４Ｈ型炭化ケイ素（ＳｉＣ）による電子デバイス（ＭＯＳＦＥＴ）６００の断面構造を示す。図示する電子デバイス６００においては、ｎ型ＳｉＣ基板６０１にイオン注入により２つのｐ型層６０２が離間して形成されており、このｐ型層６０２上にソースおよびドレイン電極６０５が設けられている。また、２つのｐ型層６０２に挟まれた領域の上には、酸化膜６０３を介したゲート電極６０４が形成されている。

【００３７】

ＳｉＣには、ドナー不純物である窒素が非常に取り込まれやすく、また活性化率が非常に高いため、窒素が残留ドナーとして結晶中に存在している。これに起因して、ｐ型高キャリア濃度結晶を作製することは困難である。ＳｉＣ層にｐ型導電性を付与する際には、通常、ＡｌやＢ（ホウ素）がアクセプター性不純物として用いられるが、同時にＩｎ，ＧａおよびＳｃなどから選択される不純物を添加することによって、残留ドナーを補償して高キャリア濃度のｐ型結晶を形成することができる。なお、これらの濃度としては、1×10^{14} ｃｍ$^{-3}$以上5×10^{16} ｃｍ$^{-3}$以下であることが望ましい。

【００３８】

上述したような残留ドナーを補償する不純物は、例えばイオン注入によってアクセプター性不純物と同時にｐ型層に添加することができる。通常、ＳｉＣに不純物を注入するに当たっては、１０００℃程度の温度で注入した後、１５００℃以上の温度での熱処理が必要とされるが、不純物種によっては、このような高温熱処理を必要としないものもある。その場合には、まず、ＡｌやＢを高温で注入して熱処理を施し、次いで、６００℃程度の温度に降温してＩｎなどの不純物を注入することが可能である。

【００３９】

また、アクセプター性不純物としてのＢは、高温の熱処理時に外方拡散するおそれがあり、これを抑制するには、熱処理を施す前にＩｎ，ＧａおよびＳｃなどの残留ドナーを補償する不純物を表面に蒸着し、その後、熱処理を施すことが有効である。さらに、Ｂよりも２桁程度低い濃度で、第３の不純物としての酸素や水素を注入した場合にも、外方拡散を抑制することができる。

（実施例７）

図７に、本実施例に関わる半導体レーザ７００の断面図を示す。半導体レーザ７００は、

ｎ型ＳｉＣ基板７０１を有しており、そのＳｉＣ基板７０１上に格子不整合を緩和させることを目的としたＡｌＮバッファ層７０２が５ｎｍの膜厚で形成されている。さらに、ＡｌＮバッファ層７０２の上に、ｎ型ＧａＮ層７０３（２μｍ）、ｎ型ＡｌＧａＮ層７０４（５００ｎｍ）、ＩｎＧａＮ活性層７０５（１０ｎｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮ層７０６（５００ｎｍ）、およびｐ型ＧａＮ層７０７（３００ｎｍ）が順次形成されている。各層には、不純物を故意に添加することによってｐ型またはｎ型の導電性を付与している。具体的には、ｎ型ＧａＮ層７０３およびｎ型ＡｌＧａＮ層７０４に添加した不純物はＳｉであり、ｐ型ＡｌＧａＮ層７０６およびｐ型ＧａＮ層７０７に添加した不純物はＭｇ、ＣおよびＺｎである。このうち、ｐ型層７０６および７０７に添加したＣが残留ドナーを補償するための不純物である。なお、ｐ型層に同時に添加したＺｎもアクセプター性不純物であるため、Ｃ等、他の不純物を添加した場合と同様の効果が期待できる。ただしＺｎは、Ｍｇと同時に添加した場合でもｐ型ＧａＮ系結晶は得られず、本発明の示す効果は見られなかった。これは、Ｚｎの不純物レベルの深さが他の不純物と比較して浅いためと思われる。

【００４０】

ｐ型ＧａＮ層７０７の上には、SiO_2 膜７１０によって１０μｍの幅でストライプ化されたＮｉ／Ａｕ積層電極７１１がオーミック電極として形成されている。このＮｉ／Ａｕ積層電極７１１は、厚さ２００ｎｍのＮｉ膜と２μｍのＡｕ膜との積層構造により形成されており、これと同様の電極がｎ型ＳｉＣ基板７０１の裏面にも形成されている。

【００４１】

この半導体レーザ７００は、前述の実施例１と同様の原料および装置を用いて製造した。なお、ｐ型層に添加するＺｎの原料としてはジメチル亜鉛を用いた。このようにして作製したウェハーを３５０μｍ×５００μｍの大きさにへき開し、レーザダイオードチップとした。このチップは活性層中のＩｎ組成によるが、波長４１０ｎｍ、電流値５０ｍＡで室温連続発振した。

（実施例８）

図８に、本実施例に関わる半導体レーザ８００の断面構造を示す。半導体レーザ８００は、ｃ面を主面とするサファイア基板８０１を有しており、サファイア基板８０１上には、厚さ５０ｎｍのＧａＮバッファ層８０２が形成されている。ＧａＮバッファ層８０２の上には、ｎ型ＧａＮコンタクト層８０３（２μｍ）、ｎ型ＡｌＧａＮクラッド層８０４（５００ｎｍ）、ＩｎＧａＮ活性層８０５（５０ｎｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮクラッド層８０６（５００ｎｍ）、およびｐ型ＧａＮコンタクト層８０７（３００ｎｍ）が順次形成されている。各層中には、不純物を故意の添加することによってｐ型またはｎ型の導電性を付与している。具体的には、ｎ型ＧａＮ層８０３およびｎ型ＡｌＧａＮクラッド層８０４に添加した不純物はＳｉであり、ｐ型ＡｌＧａＮ層８０６およびｐ型ＧａＮ層８０７に添加した不純物はＭｇ、ＳｉおよびＣである。このような不純物のうち、ｐ型層８０６および８０７に添加したＣが、残留ドナーを補償する働きをする。

【００４２】

ｐ型ＧａＮ層８０７の上には、SiO_2 膜８１０によって１０μｍの幅でストライプ化されたＮｉ／Ａｕ積層電極８１１が形成されている。このＮｉ／Ａｕ積層電極８１１と同一の厚さのＴｉ／Ａｕ積層電極８１２が、エッチングにより上方の層を除去して表面を露出させたｎ型ＧａＮ層８０３の上にも形成されている。

【００４３】

以下に、半導体レーザ８００の製造方法を順に説明する。

この半導体レーザ８００は、周知のＭＯＣＶＤ法による気相成長を用いて製造した。有機金属原料としては、ＴＭＧ、ＴＭＡ、ＴＭＩおよびCp_2Mgを用い、ガス原料としては、アンモニア、SiH_4 およびC_3H_8 を用いた。また、キャリアガスとして水素および窒素を用いた。

【００４４】

なお、有機金属原料は上述したものに限定されず、例えば、メチル基の代わりにエチル基の結合したトリエチルガリウム（ＴＥＧ）を用いることも可能である。さらに、Cp_2

Ｍｇの代わりにメチルビスシクロペンタジエニルマグネシウムなどを用いることも可能である。

【００４５】

上述した有機金属原料のうち、SiH_4 とC_3H_8 との２種類のガスを同時に用いれば、ｐ型層にＳｉとＣとを同時に導入することができる。なお、このように２種類の原料を用いる以外にも、ヘキサメチルジシラン（$(CH_3)_6Si_2$）などの有機原料を１種類のみ用いることによって、ｐ型層中にＳｉとＣとを同時に添加することも可能である。

【００４６】

まず、有機洗浄・酸洗浄によってサファイア基板８０１を処理した後、このサファイア基板を、ＭＯＣＶＤ装置の反応室内に載置され、高周波によって加熱されるサセプタ上に装着した。次に、常圧で水素を２０リットル／分の流量で流しながら、温度を１２００℃で約１０分間、気相エッチングを施すことによって、サファイア基板８０１の表面に形成された自然酸化膜を除去した。

【００４７】

基板上への半導体膜の成膜に当たっては、まず、サファイア基板８０１を５５０℃まで降温し、水素、窒素、アンモニアおよびＴＭＧを約４分間流すことにより、ＧａＮバッファ層８０２を形成した。なお、水素、窒素、アンモニアおよびＴＭＧの流量は、それぞれ１５リットル／分、５リットル／分、１０リットル／分、および３０ｃｃ／分とした。その後、ＴＭＧの供給を停止し、１２分間かけて温度を１１００℃まで上昇させた。

【００４８】

続いて、サファイア基板８０１を１１００℃で保持し、水素（１５リットル／分）、窒素（５リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）、ＴＭＧ（１００ｃｃ／分）、およびSiH_4（８ｃｃ／分）を約６０分間流すことにより、ｎ型ＧａＮ層８０３を形成した。なお、SiH_4 は、水素によって１０ｐｐｍに稀釈して用いた。さらに引き続いて、これらの原料に５０ｃｃ／分の流量のＴＭＡを追加して、約１０分間流すことによりｎ型ＡｌＧａＮ層８０４を形成した。

【００４９】

次に、サファイア基板８０１を８００℃まで降温・保持し、窒素（２０リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）、ＴＭＧ（３０ｃｃ／分）、およびＴＭＩ（２００ｃｃ／分）を約１０分間流すことによりＩｎＧａＮ活性層８０５を形成した。

【００５０】

その後、サファイア基板８０１を再び１１００℃まで昇温・保持し、窒素（２０リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）、ＴＭＧ（３０ｃｃ／分）、ＴＭＡ（１００ｃｃ／分）、Cp_2Mg（１５０ｃｃ／分）、SiH_4（１ｃｃ／分）、およびC_3H_8（０．２ｃｃ／分）を、約１０分間流すことによりｐ型ＡｌＧａＮ層８０６を形成した。これに引き続いてＴＭＡの供給を停止し、残りの原料ガスを約１０分間流すことによって、ｐ型ＧａＮ層８０７を形成した。

【００５１】

ｐ型層８０６および８０７中に添加されるＳｉは、Ｍｇの拡散を抑制する作用を有する。また、このようにＳｉを添加することによって、結晶のエッチングを容易に行なうことができる。なおＭｇが、水素や酸素と結合した場合にはアクセプタとなることが阻害されるが、Ｓｉを添加することによって、そのような望ましくない結合を抑制することもできる。しかしながら、ＧａＮ系半導体中のＳｉは、それ自身がドナーとして作用するため、過剰に添加した場合にはｐ型化が阻害されるおそれがある。具体的には、ｐ型層中におけるＳｉの濃度は$6\times10^{16}\ cm^{-3}$以上$2\times10^{19}\ cm^{-3}$以下であることが望ましい。一方、炭素は、同時に添加されたＳｉと残留ドナーとを同時に補償する必要があるので、その濃度は、$1\times10^{16}\ cm^{-3}$以上であることが好ましい。

【００５２】

この後、アンモニア（１０リットル／分）、および窒素（２０リットル／分）を流しなが

ら３５０℃まで冷却した。さらにアンモニアの供給のみを停止した後、室温まで冷却し、反応室からウェハーを取り出した。

【００５３】

次いで、ｐ型ＧａＮ層８０７上に周知の熱ＣＶＤ法などを用いてSiO_2膜８１０を０．５μｍの厚さで成膜し、フォトエッチングプロセスなどを施して幅１５０μｍの縞状構造を形成した。SiO_2膜８１０が除去されたｐ型ＧａＮ層８０７部分を、ｐ型ＡｌＧａＮ層８０６、ＩｎＧａＮ活性層８０５およびｎ型ＡｌＧａＮ層８０４とともに、塩素ガス等を用いたエッチングにより除去することによって、ｎ型ＧａＮ層８０３の表面を露出させた。

【００５４】

ｐ型ＧａＮ層８０７に形成されたSiO_2膜８１０には、フォトエッチングプロセスなどにより幅１０μｍの孔を形成した。この孔に周知の真空蒸着法などにより厚さ５０ｎｍのＮｉ膜と３μｍのＡｕ膜とを順次形成してＮｉ／Ａｕ積層電極８１１を形成した。また、ｎ型ＧａＮ層８０３上には、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と３μｍのＡｕ膜とを順次積層してＴｉ／Ａｕ積層電極を形成した。

【００５５】

なお、電極としては、Ｐ型層の上にＰｔ，Ｐｄ，Ｉｎ，ＭｇまたはＴｉなどと上述したＮｉやＡｕとの合金あるいは積層構造を用いることもできる。また、ｎ型層の上には、ＳｉまたはＣｒなどと上述したＴｉやＡｕとの合金あるいは積層構造を形成してもよい。

【００５６】

このようにして作製したウェハーを３５０μｍ×５００μｍの大きさにへき開し、レーザダイオードチップとした。このチップは、活性層中のＩｎ組成によるが、電流密度５ｋＡ／cm^2を流したとき、波長４２０ｎｍ、出力５ｍＷで室温連続発振した。

【００５７】

上述した例においては、残留ドナーを補償する不純物としてＣを用いたが、Ｃｄ、Ｔｉ、Ｎｉ及びＦｅを用いることも可能（これら不純物の他にＺｎを含めることも可能）である。これらは、例えばジメチルカドミウムなどの有機金属原料を用いて、結晶成長中に導入することができる。あるいは、成長後の結晶表面にスパッタなどの方法を用いて上述した金属膜を形成し、その後、この膜を加熱することによって不純物を結晶中に拡散導入してもよい。さらに、結晶成長後にイオン注入によってこれらの原料を導入することもできる。イオン注入した場合には、結晶性が乱れることが知られているので、注入後に熱処理を施すことが好ましい。

【００５８】

ここで挙げた不純物の好ましい濃度は、その種類によって異なる。例えば、Ｃｄの場合には、1×10^{15} cm^{-3}以上1×10^{18} cm^{-3}以下であることが好ましく、Ｔｉ及びＦｅの場合には、1×10^{13} cm^{-3}以上1×10^{16} cm^{-3}以下であることが望ましい。またＮｉの場合には、1×10^{13} cm^{-3}以上4×10^{16} cm^{-3}以下であることが望ましい。いずれの不純物も上限を越えた濃度で添加されると、Ｍｇのアクセプターへの活性化を阻害するおそれがあり、一方、不純物濃度が下限に満たない場合には、残留ドナーを補償するという効果を得ることが困難となる。

【００５９】

本実施例においては、ＭＯＣＶＤ法を用いて結晶成長を行なったが、分子線エピタキシー法（ＭＢＥ法）や塩素ガスなどによる原料輸送法を用いることができる。ただし、それぞれの場合において原料を選択しなければならないことはいういまでもない。

【００６０】

また、本実施例では、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体としてＧａＮ系半導体について説明したが、これに限定されるものではない。$B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$（$0\leqq x, y, z\leqq 1$）で表わされる任意の化合物半導体を使用することができる。なお、ＧａＡｓやＩｎＧａＰなどの半導体では、ｐ型層中におけるＳｉ濃度は5×10^{18} cm^{-3}以上であることが必要であった。この場合、Ｍｇはアクセプターレベルが浅いこ

とから、この程度のＳｉ濃度でｐ型化を完全に阻害されることはなかった。

【００６１】

さらに、上述の例では、バッファ層としてＧａＮを用いたが、これに限定されるものではなく、$Ga_x Al_y In_z N$（ｘ＋ｙ＋ｚ＝１）で表わされる任意の化合物半導体を使用することができる。

（実施例９）

図９に、本実施例の半導体レーザ９００の断面図を示す。半導体レーザ９００は、ｐ型ＳｉＣ基板９０１を有しており、そのＳｉＣ基板９０１上には、格子不整合を緩和させることを目的としたＧａＮバッファ層９０２が１０ｎｍの厚さで形成されている。さらにＧａＮバッファ層９０２の上に、ｐ型ＧａＮ層９０３（２μｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮ層９０４（５００ｎｍ）、厚さ２０ｎｍの井戸層と厚さ４０ｎｍの障壁層とを有する多重量子井戸（ＭＱＷ）構造のＩｎＧａＮ活性層９０５、ｎ型ＡｌＧａＮ層９０６（５００ｎｍ）、およびｎ型ＧａＮ層９０７（３００ｎｍ）が順次積層されている。ＧａＮ系の層９０２、９０３、９０４、９０５、９０６および９０７の全ての層には、Ｓｉが添加されており、さらにｐ型ＧａＮ層９０３およびｐ型ＡｌＧａＮ層９０４には、ＭｇおよびＣが添加されている。このうちｐ型層９０３および９０４中のＣが、深いアクセプタレベルを形成することから残留ドナーを補償し、比較的浅いアクセプタレベルを形成するＭｇによる高キャリア濃度化を助ける働きをする。

【００６２】

ｎ型ＧａＮ層９０７の上には、SiO_2 膜９１０によって１０μｍの幅でストライプ化されたＴｉ／Ａｕ積層電極９１１が形成されている。このＴｉ／Ａｕ積層電極９１１は、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と２μｍのＡｕ膜との積層構造により形成されており、これと同一の厚さのＴｉ／Ａｕ積層電極９１１がｐ型ＳｉＣ基板９０１の裏面にも形成されている。

【００６３】

以下に、この半導体レーザ９００の製造方法を順に説明する。

この半導体レーザ９００は、周知のＭＯＣＶＤ法による気相成長を用いて製造した。有機金属原料として、ＴＭＧ、ＴＭＡ、ＴＭＩおよびCp_2Mgを用い、ガス原料としてアンモニア、シランおよびプロパンを用いた。また、キャリアガスとして水素および窒素を用いた。

【００６４】

まず、有機洗浄・酸洗浄によってｐ型ＳｉＣ基板９０１を処理した後、このＳｉＣ基板９０１を、ＭＯＣＶＤ装置の反応室内に載置され、高周波によって加熱されるサセプタ上に装着した。次に、常圧で水素を２０リットル／分の流量で流しつつ、１２００℃で約１０分間、気相エッチングを施すことによって基板表面に形成された自然酸化膜を除去した。

【００６５】

基板上への半導体層の成膜に当たっては、まず、ＳｉＣ基板９０１を８００℃まで降温し、水素、窒素、アンモニア、ＴＭＧおよびシランを５分間流すことにより、ＧａＮバッファ層９０２を形成した。なお、水素、窒素およびアンモニアの流量はいずれも５リットル／分とし、ＴＭＧの流量は３０ｃｃ／分、シランの流量は０．２ｃｃ／分とした。

【００６６】

その後、ＳｉＣ基板９０１を１１００℃まで昇温・保持し、キャリアガスとしての水素および窒素、ガス原料としてのアンモニア、プロパンおよびシラン、有機金属原料としてのＴＭＧおよびCp_2Mgを約３０分間流すことにより、ｐ型ＧａＮ層９０３を形成した。なお、キャリアガスの流量はいずれも５リットル／分とし、有機金属原料の流量はいずれも３０ｃｃ／分とした。また、アンモニア、プロパンおよびシランの流量は、それぞれ５リットル／分、１０ｃｃ／分、および０．２ｃｃ／分とした。さらに引き続いて、これらのガスに１００ｃ／分の流量のＴＭＡを追加し、約８分間流すことによりｐ型ＡｌＧａＮ層９０４を形成した。

【００６７】

次に、ＳｉＣ基板９０１を８００℃まで降温・保持し、窒素（１０リットル／分）、アン

モニア（５リットル／分）、ＴＭＧ（３０ｃｃ／分）、シラン（０．２ｃｃ／分）を流しつつ、２種類の流量に切り替えてＴＭＩを流して２５周期の多重量子井戸を有するＩｎＧａＮ活性層９０５を形成した。なお、ＴＭＩは、２００ｃｃ／分の流量での１分間の供給と、５０ｃｃ／分の流量で２分間での供給とを１周期として２５周期流した。

【００６８】

続いて、ＳｉＣ基板９０１を再び１１００℃まで昇温・保持し、キャリアガスとしての水素および窒素、有機金属原料としてのＴＭＧおよびＴＭＡ、ガス原料としてのアンモニアおよびシランを約８分間流すことによりｎ型ＡｌＧａＮ層９０６を形成した。なお、キャリアガスの流量は、いずれも５リットル／分とし、ＴＭＧおよびＴＭＡの流量は、それぞれ３０ｃｃ／分および１００ｃｃ／分とした。また、アンモニアおよびシランの流量は、それぞれ５リットル／分および１ｃｃ／分とした。これに引き続いてＴＭＡの供給を停止し、残りのガスを約１時間流すことにより、ｎ型ＧａＮ層９０７を形成した。この後、窒素のみ１０リットル／分の流量で流しながら室温まで冷却して、反応室から成長ウェハーを取り出した。

【００６９】

続いて、ｎ型ＧａＮ層９０７上に周知の熱ＣＶＤ法などを用いてSiO_2　膜９１０を０．５μｍの厚さで形成し、このSiO_2　膜にフォトエッチングプロセスなどにより幅１０μｍの孔を形成した。さらに、この上に周知の真空蒸着法などにより厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と厚さ３μｍのＡｕ膜とを順次形成してＴｉ／Ａｕ積層電極９１１とした。これと同様の厚さのＴｉ／Ａｕ積層電極９１１をｐ型ＳｉＣ基板９０１の裏面にも形成した。

【００７０】

このような素子においては、ｐ型ＧａＮ層９０３およびｐ型ＡｌＧａＮ層９０４中にＣは約$1\times10^{17}\ cm^{-3}$の濃度で含まれている。これは、アンドープのＧａＮ膜のキャリア濃度におよそ一致している値である。上述した例においては、ｐ型層中の炭素濃度を上記の値に設定したが、炭素濃度はこれに限定されるものではない。残留ドナー濃度は結晶成長の条件によって異なるので、これを補償するための不純物の濃度も、成長条件に応じて適宜決定することができる。

【００７１】

このようにして作製したウェハーを３５０μｍ×５００μｍの大きさにへき開し、レーザダイオードチップとした。このチップは、活性層中にＩｎ組成にもよるが、波長４２０ｎｍで室温連続発振した。

【００７２】

上述した例においては、残留ドナーを補償する不純物としてＣを用いたが、Ｃｄ、Ｔｉ又はＦｅを用いることも可能である。これらは、例えばジメチルカドミウムなどの有機金属原料を用いて、結晶成長中に導入することができる。あるいは、成長後の結晶表面にスパッタなどの方法を用いて上述した金属膜を形成し、その後、この膜を加熱することによって不純物を結晶中に拡散導入してもよい。さらに、結晶成長後にイオン注入によりこれらの原料を導入することもできる。イオン注入した場合には、結晶性が乱れることが知られているので、注入後に熱処理を施すことが好ましい。

【００７３】

ここで挙げた不純物の好ましい濃度は、その種類によって異なる。例えば、Ｃｄの場合には、$1\times10^{15}\ cm^{-3}$以上$1\times10^{18}\ cm^{-3}$以下であることが好ましく、Ｔｉ及びＦｅの場合には、$1\times10^{13}\ cm^{-3}$以上$1\times10^{16}\ cm^{-3}$以下であることが望ましい。いずれの不純物も上限を越えた濃度で添加されると、Ｍｇのアクセプターへの活性化を阻害するおそれがあり、一方、不純物濃度が下限に満たない場合には、残留ドナーを補償するという効果を得ることが困難となる。

【００７４】

また本実施例においては、ＳｉＣ基板として６Ｈ型の基板を用いたが、６Ｈ型ＳｉＣとＧａＮ系半導体との間にはエネルギーギャップ差が０．５Ｖ程度あるため、動作電圧が上昇してしまう傾向がある。そのため、エネルギーギャップ差の小さい４Ｈ型や２Ｈ型のＳｉ

Ｃを基板として用いることがさらに好ましい。

【００７５】

ここで基板として用いたＳｉＣも、ＧａＮ系半導体と同様にエッチングするのが困難な材料である。そのため、エッチング性の容易性の向上のために窒素を１×１０^{１７}ｃｍ$^{-３}$以上添加することが望ましい。しかしながら、ＳｉＣ中では窒素は有効なドナー不純物である。また、残留ドナーは２×１０^{１６}ｃｍ$^{-３}$程度の濃度で含まれている。これらのドナーをアクセプタ性不純物によって補償することによって、より高キャリア濃度のｐ型ＳｉＣ結晶を実現することが必要である。特にｐ型層と基板表面の電極との界面においては、動作電圧の低減のためにその必要性が高い。このアクセプター不純物としては、Ａｌ，Ｇａ，Ｉｎ，Ｓｃ，ＹおよびＴｉなどが挙げられる。このような不純物のｐ型層中における好ましい濃度は、その種類によって異なり、例えば、ＧａやＳｃの場合には、１×１０^{１７}ｃｍ$^{-３}$程度とすることが好ましい。

（実施例１０）

図１０（ａ）に、本実施例の発光ダイオード１０００の断面図を示す。発光ダイオード１０００は、サファイア基板１００１を有しており、このサファイア基板１００１上には、ＧａＮバッファ層１００２が２０ｎｍの膜厚で形成されている。さらにバッファ層１００２の上には、ｎ型ＧａＮ層１００３（４μｍ）、ＩｎＧａＮ発光層１００４（１００ｎｍ）、およびｐ型ＧａＮ層１００５（５００ｎｍ）が順次積層されている。各層には、不純物を故意に添加することによってｐ型またはｎ型の導電性を付与している。具体的には、ｐ型ＧａＮ層１００５に添加した不純物は、アクセプタとしてのＭｇおよび残留ドナーを補償するためのＣであり、ｎ型ＧａＮ層１００３に添加した不純物はドナーとしてのＳｉである。また、ＩｎＧａＮ発光層１００４には、発光中心としてＺｎおよびＳｉを導入した。

【００７６】

ｐ型ＧａＮ層１００５上には、厚さ２０ｎｍのＮｉ膜と１μｍのＡｕ膜との積層構造からなるＮｉ／Ａｕの積層電極１０１０が形成されている。また、エッチングによりその上方の層を除去して表面を露出させたｎ型ＧａＮ層１００３上には、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と２μｍのＡｕ膜との積層構造からなるＴｉ／Ａｕの積層電極１０１１が形成されている。

【００７７】

本実施例の発光ダイオードにおける窒化物化合物半導体の積層構造は、前述の（実施例１）と同様のＭＯＣＶＤ法により作製した。なお、各層の成長膜厚は成長時間によって管理し、その後、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）によって測定した。

【００７８】

このようにして積層構造を作製した後、ｐ型ＧａＮ層１００５およびＩｎＧａＮ活性層１００４の一部の領域を、塩素ガスを用いたドライエッチングにより除去して、ｎ型ＧａＮ層１００３を露出させ、ここにｎ型電極１０１１を形成した。このウェハーを３５０μｍ角の大きさにスクライプし、ステム上に設置し、ボンディング、モールドして発光ダイオードランプを得た。このランプは、波長４５０ｎｍで発光し、順方向電流２０ｍＡで３ｍＷ程度の出力を示した。

【００７９】

本実施例のように、発光中心としてＳｉを用いる場合には、特にｐ型層／発光層界面にＳｉが蓄積したり、あるいはｐ型層へＳｉが拡散するおそれがある。Ｓｉの蓄積や拡散が生じると、ヘテロバリアの生成やｐ型層のｎ型反転が生じるので、かかる現象は極力避けることが望まれる。ｐ型層中に添加するＣの濃度を高めにすることによって、そのような不都合は避けることができ、具体的には、ｐ型層中における炭素濃度は、８×１０^{１７}ｃｍ$^{-３}$以上とすることが好ましい。

【００８０】

なお、ｐ型層中における残留ドナーの発生要因としては、窒素空孔が挙げられる。この空孔は、Ａｓ，ＯおよびＰなどで埋めることができるものの、これらの元素が単独で添加されると、エネルギーギャップの低下や電気的な不活性の要因を生じさせてしまう。その結

果、不純物を添加した効果を発揮できなくなるおそれがあるので、このような元素は、Ｃと同時に添加することが望まれる。また、深いレベルで形成するアクセプタ性不純物であるＣｄ，Ｆｅ，ＴｉおよびＮｉなどで、残留ドナーを補償することができる。しかしながら、これらの不純物も単独では電気的な不活性を生じさせるだけであるので、Ｃと同時に添加することが望まれる。

【００８１】

図１０（ａ）に示した発光ダイオードは、図１０（ｂ）に示すように変更することができる。図１０（ａ）に示す例においては、図１０（ｂ）におけるｐ型ＧａＮ層１００５を、ｐ型ＧａＮ注入層１１０５とｐ型コンタクト層１１０６との２つの層に分けたものである。ここでは、注入層１１０５には不純物としてＭｇのみを添加し、コンタクト層１１０６にはＭｇとＣとを添加した。このような構造とすることにより、コンタクト層の抵抗を下げることができるため、動作電圧の低減を図ることができる。具体的には、図１０（ａ）に示した構造では、電流２０ｍＡにおける電圧が４Ｖであったのに対し、図１０（ｂ）に示した構造とすることで、３．５Ｖにまで低下することができた。

【００８２】

さらに、コンタクト層１１０６にＳｉを添加してもよい。ＳｉはＭｇの拡散を抑制したり、結晶のエッチングの容易性を増加させる働きがある。また、ＳｉはＩＶ族元素であるので、窒素位置に置換させることによりアクセプタとして用いることができる。このためには、通常の成長温度より低温で成長させるという手法が挙げられる。あるいは、窒素／ＩＩＩ族元素供給比を下げることによって、　ＩＩＩ族元素の供給を窒素の供給より過剰にすることで　ＩＩＩ族元素位置に置換することを抑制することができる。このような成長によって、Ｓｉをアクセプタとして機能させることも可能である。

【００８３】

また、Ｓｉの代わりにＡｓ，Ｐ，Ｏ，Ｃｄ，Ｆｅ，ＴｉまたはＮｉをコンタクト層１１０６に添加しても、同様の効果を得ることができる。

（実施例１１）

図１１に、本実施例に関わる半導体レーザ断面構造を示す。半導体レーザ１２００は、ｃ面を主面とするサファイア基板１２０１を有しており、サファイア基板１２０１上にはＧａＮバッファ層１２０２（約５０ｎｍ）、アンドープＧａＮ層１２０３（約２μｍ）、およびｎ型ＧａＮコンタクト層１２０４（約４μｍ）が順次形成されている。さらに、ｎ型ＧａＮコンタクト層１２０４上には、ｎ型ＡｌＧａＮクラッド層１２０５（約０．２μｍ）、ｎ型ＧａＮガイド層１２０６（約０．１μｍ）、厚さ２ｎｍの井戸層と４ｎｍの障壁層とを有する多重量子井戸（ＭＱＷ）構造のＩｎＧａＮ活性層１２０７、ｐ型ＧａＮガイド層１２０８（約０．１μｍ）、ｐ型ＡｌＧａＮクラッド層１２０９（約０．２μｍ）、ｐ型ＧａＮ層１２１０（約０．５μｍ）、ｎ型ＧａＮ層１２１１（１μｍ）、ｐ型ＧａＮ層１２１２（約２μｍ）、および高濃度ｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３（約０．２μｍ）が順次積層されている。

【００８４】

ｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３の上には、厚さ０．５μｍのSiO_2　膜１２２０によって所定の幅にストライプ化されたＰｔ／Ｔｉ／Ｐｔ／Ａｕ積層電極１２２２が形成されている。この積層電極は、厚さ約１０ｎｍのＰｔ膜、約５０ｎｍのＴｉ膜、約３０ｎｍのＰｔ膜、および約１μｍのＡｕ膜を順次積層したものである。また、エッチングによりその上方の層を除去して表面を露出させたｎ型ＧａＮコンタクト層１２０４の上には、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と０．５μｍのＡｕ膜との積層構造からなるＴｉ／Ａｕ積層電極１２２１が形成されている。

【００８５】

図示する半導体レーザ１２００においては、特に低抵抗であることが要求されるｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３に、不純物としてＭｇ，ＳｉおよびＣが添加されており、これらのなかのＣが残留ドナーを補償する働きをする。なお、ｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３におけるＭｇの濃度は、$2\times10^{20}\ cm^{-3}$ 程度であることが好ましい。Ｓｉは、前述

の（実施例８）において説明したように、Ｍｇの拡散を抑制する作用を有し、Ｓｉを添加することによって結晶のエッチングを容易に行なうことが可能となる。しかしながら、Ｓｉが過剰に添加された場合には、ｐ型化が阻害されるおそれがあるため、ｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３におけるＳｉの濃度は、6×10^{16} ｃｍ$^{-3}$ 以上1×10^{18} ｃｍ$^{-3}$ 以下であることが好ましく、1×10^{17} ｃｍ$^{-3}$ 以下であることが好ましい。一方、Ｃは同時に添加されたＳｉと残留ドナーとを同時に補償する必要があるので、その濃度は、1×10^{16} ｃｍ$^{-3}$ 以上1×10^{17} ｃｍ$^{-3}$ 以下であることが好ましい。

【００８６】

なお、ｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３以外のｐ型層、すなわちｐ型ＧａＮガイド層１２０８、ｐ型ＡｌＧａＮクラッド層１２０９、ｐ型ＧａＮ層１２１０、およびｐ型ＧａＮ層１２１２にも同様の不純物を添加してもよい。これによって、Ｍｇの拡散を抑制するとともに活性化率の向上を図ることができる。

【００８７】

以下に、この半導体レーザ１２００の製造方法を順に説明する。

まず、有機洗浄・酸洗浄によってサファイア基板１２０１を処理した後、このサファイア基板１２０１を、ＭＯＣＶＤ装置の反応室内に載置され、高周波によって加熱されるサセプタ上に装着した。次に、常圧で水素を１０リットル／分の流量で流しつつ、１１００℃で約１０分間、気相エッチングを施すことによって基板表面に形成された自然酸化膜を除去した。

【００８８】

基板表面への半導体層の成膜に当たっては、まず、サファイア基板１２０１を５３０℃まで降温し、水素、窒素、アンモニアおよびＴＭＧを約４分間流すことにより、ＧａＮバッファ層１２０２を形成した。なお、各ガスの流量は、水素１５リットル／分、窒素５リットル／分、アンモニア１０リットル／分、ＴＭＧ２５ｃｃ／分とした。

【００８９】

次いで、水素（１５リットル／分）、窒素（５リットル／分）およびアンモニア（１０リットル／分）を流しながら、サファイア基板１２０１を１１００℃に昇温した後、前述のガスにＴＭＧ（１００ｃｃ／分）を追加して６０分間流すことにより、アンドープＧａＮ層１２０３を形成した。その後、水素で１０ｐｐｍに稀釈したシラン（３ｃｃ／分）を追加して約１３０分間流すことによってｎ型ＧａＮ層１２０４を形成し、ＴＭＡ（５０ｃｃ／分）をさらに追加して約１０分間流すことにより、ｎ型ＧａＮ層１２０４上にｎ型ＡｌＧａＮ層１２０５を形成した。なお、ｎ型ＡｌＧａＮ層１２０５におけるＡｌの組成比は０．１５であった。

【００９０】

続いて、サファイア基板１２０１を１１００℃に保持し、水素（１５リットル／分）、窒素（５リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）およびＴＭＧ（１００ｃｃ／分）を約３分間流すことにより、ＧａＮガイド層１２０６を形成した。ガイド層は、光の閉じ込めを向上させる作用を有しているので、この層に微量のＩｎを追加してもよい。ただしこの場合には、ガイド層の厚さを適宜変化させることが望まれる。

【００９１】

その後、窒素（２０リットル／分）およびアンモニア（１０リットル／分）を流しながら、約３分間かけてサファイア基板１２０１を８００℃まで降温した。さらに、前述のガスに加えてＴＭＧ（１０ｃｃ／分）を流すとともに、２種類の流量に切り替えてＴＭＩを流して１５周期の多重量子井戸を有するＩｎＧａＮ層１２０７を形成した。なお、ＴＭＩは、５０ｃｃ／分の流量で約１分間の供給と、４６０ｃｃ／分の流量で約３０秒間の供給とを１周期として１５周期流した後、最後に５０ｃｃ／分の流量で３分間流した。得られた活性層１２０７における障壁層は、Ｉｎ含有量５％であってその厚さは４ｎｍであり、井戸層はＩｎ含有量２０％であってその厚さは２ｎｍである。

【００９２】

本実施例においては、Ｉｎ含有量が５％のＩｎＧａＮを障壁層とし、Ｉｎ含有量が２０％

のＩｎＧａＮを井戸層としたが、これに限定されるものではない。多重量子井戸構造においては、障壁層のバンドギャップエネルギーが井戸層のそれよりも大きいことが必要であるため、ＧａＮやＡｌＧａＮを障壁層として用いることもできる。この場合には、ガイド層１２０６および１２０８には、活性層の平均的な屈折率より値が小さくなるような材料系を用いることが必要である。例えば、障壁層としてＧａＮ層を用い、井戸層としてＩｎ含有量が２０％のＩｎＧａＮ層を同じ厚さで形成した場合には、ガイド層としては、Ｉｎ含有量が１０％未満のＩｎＧａＮ、ＧａＮ、またはＡｌＧａＮを用いることができる。ただし、この場合のＩｎ含有量は、クラッド層よりも小さくしなければならないことはいうまでもない。

【００９３】

続いて、窒素（２０リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）を流しながら、約３分間でサファイア基板１２０１を１１００℃まで昇温した。この温度に基板を保持し、水素（１５リットル／分）、窒素（５リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）、ＴＭＧ（１００ｃｃ／分）およびCp_2　Ｍｇ（５０ｃｃ／分）を約３分間流すことにより、ｐ型ＧａＮガイド層１２０８を形成した。さらに、これらの原料にＴＭＡ（５０ｃｃ／分）を加え、約１０分間流すことによりｐ型ＡｌＧａＮクラッド層１２０９を形成した。その後、ＴＭＡの供給を停止し、残りのガスを約１５分間流すことによりｐ型ＧａＮ層１２１０を形成した。

【００９４】

次に、Cp_2　Ｍｇの供給を停止し、残りのガスにシラン（３ｃｃ／分）を追加してｎ型ＧａＮ層１２１１を形成した後、ＴＭＧおよびシランの供給を停止してサファイア基板を３５０℃まで降温した。さらにこの温度に保持して水素およびアンモニアの供給を停止し、室温まで冷却した後、反応室から成長ウェハーを取り出した。

【００９５】

続いて、熱ＣＶＤ法で形成したSiO_2　膜およびフォトレジスト膜をマスクとして、Cl_2　ガスを用いたエッチングによりｎ型ＧａＮ層１２１１の所定領域を５μｍのストライプ幅で除去して、ｐ型ＧａＮ層１２１０表面を露出させた。

【００９６】

このプロセスを施したウェハーを再びＭＯＣＶＤ装置内のサセプタに戻して、水素（１５リットル／分）、窒素（５リットル／分）、およびアンモニア（１０リットル／分）を流しつつ、１１００℃まで昇温した。さらにこれらのガスにＴＭＧ（１００ｃｃ／分）およびCp_2　Ｍｇ（５０ｃｃ／分）を追加し、約６０分間流すことによりｐ型ＧａＮ層１２１２を形成した。

【００９７】

この成長過程においては、低温成長の工程を経ることが好ましい。低温成長の工程とは、まず、窒素（約２０リットル／分）およびアンモニア（１０リットル／分）を流しながら、約３分間かけて５５０℃まで昇温する。次に、この温度に基板を保持し、水素（１５リットル／分）、窒素（５リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）、ＴＭＧ（２５ｃｃ／分）およびCp_2　Ｍｇ（５０ｃｃ／分）を約４分間流すことにより、厚さ約５０ｎｍのｐ型ＧａＮ層を形成するものである。ここで形成した直後のＧａＮ層は、ｃ軸に配向性を有した多結晶体であった。

【００９８】

上述のようにして形成されたｐ型ＧａＮ層１２１２上には、窒素（２０リットル／分）、アンモニア（１０リットル／分）、ＴＭＧ（１００ｃｃ／分）、Cp_2　Ｍｇ（１５０ｃｃ／分）、シラン（１ｃｃ／分）、およびプロパン（２ｃｃ／分）を６分間流すことにより、ｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３を形成した。このようにコンタクト層にＳｉおよびＣを添加することにより、活性化率は約３倍に向上し、またＭｇの拡散も、これらを添加しない場合よりも抑制された。この後、窒素のみを１０リットル／分の流量で流しながら室温まで冷却し、反応室から成長ウェハーを取り出した。

【００９９】

ｐ型ＧａＮコンタクト層１２１３上には、周知の熱ＣＶＤ法などを用いて、厚さ０．５μｍのSiO_2膜１２２０を形成し、フォトエッチングプロセスなどによりSiO_2膜の一部を除去した。このSiO_2膜１２２０およびフォトエッチングマスクとしてのレジストパターンをエッチングマスクとして、塩素ガス等による反応性イオンエッチング法を用いて上方の層を除去して、ｎ型ＧａＮ層１２０４表面を露出させた。

【０１００】

ｎ型ＧａＮ層１２０４表面の一部には、周知の真空蒸着法やスパッタ法などを用いて、厚さ５０ｎｍのＴｉ膜と０．５μｍのＡｕ膜との積層構造を形成し、窒素雰囲気中、４５０℃で約３０秒間の熱処理を施すことによりｎ側電極１２２１を形成した。

【０１０１】

一方、ｐ型ＧａＮ層１２１３のほぼ全面には、周知の真空蒸着法やスパッタ法などを用いて、厚さ約１０ｎｍのＰｔ膜、約５０ｎｍのＴｉ膜、約３０ｎｍのＰｔ膜、および約１μｍのＡｕ膜を積層し、窒素雰囲気中、３００℃で約３０秒間熱処理を施すことによりｐ側電極１２２２を形成した。なお、ここでは、ｐ側電極としてＰｔ／Ｔｉ／Ｐｔ／Ａｕの積層構造を用いたがこれに限定されず、例えば、Ａｌ，Ａｇ，Ｎｉ，Ｃｒ，Ｍｇ，Ｓｉ，Ｚｎ，Ｂｅ，Ｇｅ，Ｉｎ，Ｐｄ，およびＳｎなどを用いてもよい。これらの金属は、単層、積層構造、あるいは合金として用いることができる。

【０１０２】

上述のようにして形成されたの電極１２２１および１２２２の上には、ボンディングの密着性を高めるために、厚さ約５ｎｍのＣｒ膜と、約１μｍのＡｕ膜とを順次積層し、電極パッドを形成した。ここにＡｕなどによるボンディングすることによって素子は動作する。

【０１０３】

電極形成まで終了した素子は、サファイア基板１２０１の裏面（素子が形成された側と反対側の面）を６０μｍ以下の厚さまで研磨し、基板側からのラインスクライブ、およびへき開により約５００μｍ×１ｍｍの大きさに素子を分離した。このとき、レーザの端面は、ＧａＮ系材料のＡ面、すなわち（１１－２０）面となるようにした。

【０１０４】

この後、レーザの端面となる面にSiO_2膜とTiO_2膜との多層膜を形成し、レーザの端面反射率の向上を図った。

このようにして作製した半導体レーザ１２００は、しきい電流密度３ｋＡ／cm^2で動作した。発振波長は、活性層１２０７の平均的なＩｎ組成に依存するが、３９０～４５０ｎｍの波長で発振させることが可能である。

【０１０５】

なお、本実施例の段差構造は、エッチングによって作製したが選択成長によって作製することも可能である。

以上、特定のｐ型半導体層を有する半導体素子を例に挙げて本発明を説明したが、本発明はこれに限定されず、ｐ型導電性を付与するためのアクセプター性不純物に加えて、残留ドナーを補償するためのアクセプター性不純物をさらに含むｐ型半導体膜は、本発明の範囲である。

【０１０６】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば、わずかな不純物を同層に存在せしめることにより高キャリア濃度のｐ型結晶が実現できるため、素子の効率を上げることができる。このことは、素子の信頼性の向上にもつながり、またｐ型半導体膜を有する全ての素子に適用し得るので、その工業的価値は大きい。

【図面の簡単な説明】

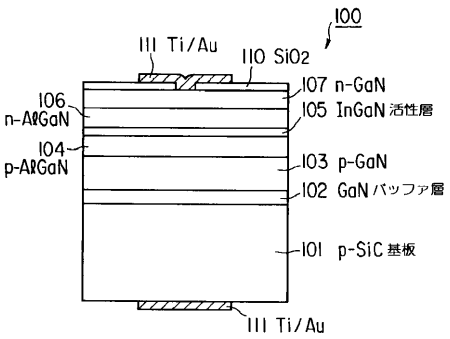
【図１】本発明のＧａＮ系半導体レーザの一例を示す断面図。

【図２】本発明のＧａＮ系半導体レーザの他の例を示す断面図。

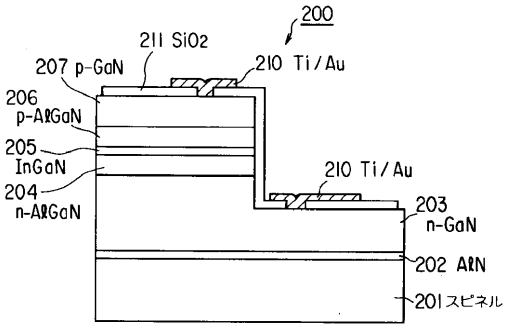
【図３】本発明のＧａＮ系発光ダイオードの一例を示す断面図。

【図４】本発明のＧａＮ系発光ダイオードの他の例を示す断面図。
【図５】本発明のＺｎＳｅ系半導体レーザの一例を示す断面図。
【図６】本発明の４Ｈ型ＳｉＣによるＭＯＳＦＥＴの一例を示す断面図。
【図７】本発明のＧａＮ系半導体レーザの他の例を示す断面図。
【図８】本発明のＧａＮ系半導体レーザの他の例を示す断面図。
【図９】本発明のＧａＮ系半導体レーザの他の例を示す断面図。
【図１０】本発明の発光ダイオードの他の例を示す断面図。
【図１１】本発明の半導体レーザの他の例を示す断面図。
【符号の説明】
１００…半導体レーザ
１０１…ｐ型ＳｉＣ基板
１０２…ＧａＮバッファ層
１０３…ｐ型ＧａＮ層
１０４…ｐ型ＡｌＧａＮ層
１０５…ＩｎＧａＮ活性層
１０６…ｎ型ＡｌＧａＮ層
１０７…ｎ型ＧａＮ層
１１０…SiO_2　膜
１１１…Ｔｉ／Ａｕ積層電極

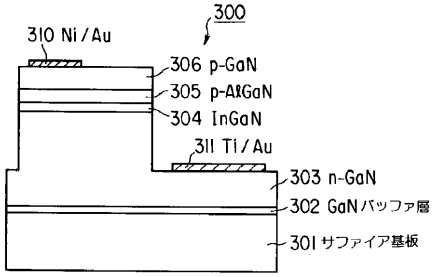
【図１】



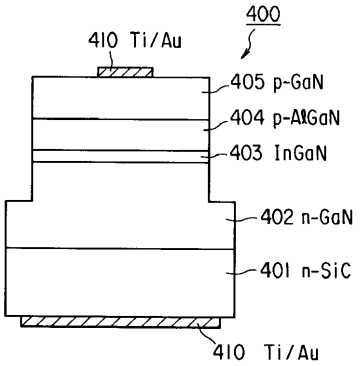
【図２】



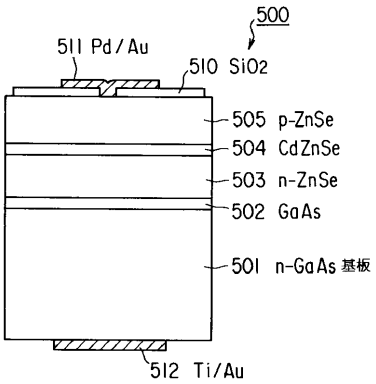
【図３】



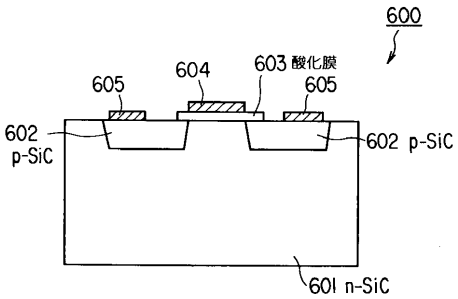
【図４】



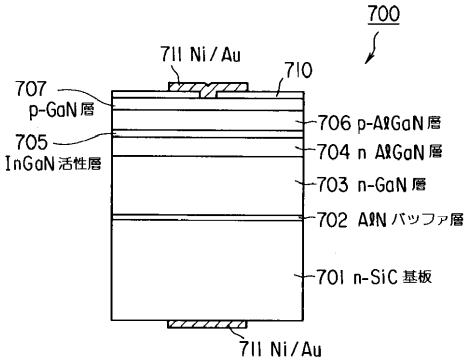
【図５】



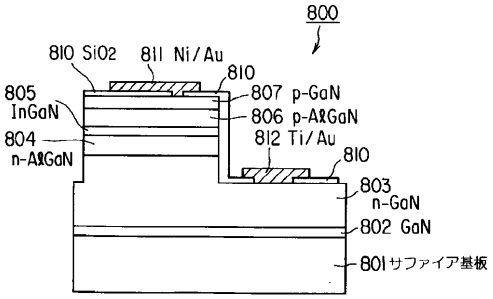
【図６】



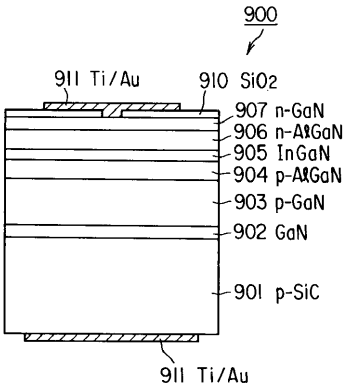
【図７】



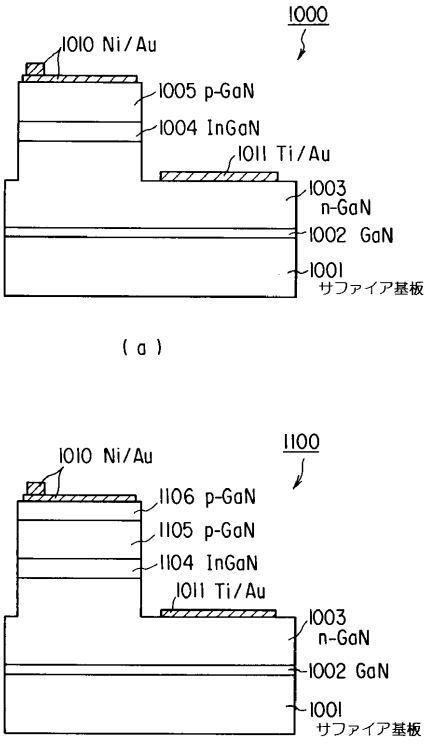
【図８】



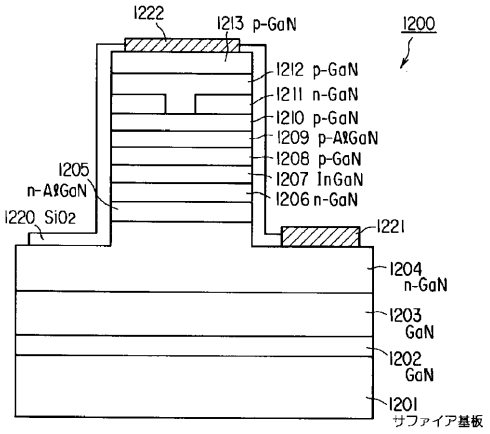
【図９】



【図１０】



【図１１】


1222
1213 p-GaN
1200
1212 p-GaN
1211 n-GaN
1210 p-GaN
1209 p-AlGaN
1208 p-GaN
1207 InGaN
1206 n-GaN
1205
n-AlGaN
1220 SiO2
1221
1204
n-GaN
1203
GaN
1202
GaN
1201
サファイア基板

フロントページの続き

(74)代理人　100070437
弁理士　河井　将次
(72)発明者　藤本　英俊
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　西尾　譲司
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

審査官　土屋　知久

(56)参考文献　特開平６－１５２０７２（ＪＰ，Ａ）
特開平６－３２６１３８（ＪＰ，Ａ）
特開平６－３３４２１４（ＪＰ，Ａ）
特開平８－１４８７１８（ＪＰ，Ａ）
特開平８－２２２７６４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
H01L 21/205
H01L 33/00
H01S　5/00　- 5/50