

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3794876号
(P3794876)

(45) 発行日 平成18年7月12日(2006.7.12)

(24) 登録日 平成18年4月21日(2006.4.21)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/324 (2006.01)	HO 1 L 21/324 P
HO 1 L 21/22 (2006.01)	HO 1 L 21/22 C
HO 1 L 33/00 (2006.01)	HO 1 L 21/22 E
	HO 1 L 33/00 C

請求項の数 13 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願平11-244257	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成11年8月31日(1999.8.31)		松下電器産業株式会社
(65) 公開番号	特開2000-216164(P2000-216164A)		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成12年8月4日(2000.8.4)	(74) 代理人	100077931
審査請求日	平成15年2月24日(2003.2.24)		弁理士 前田 弘
(31) 優先権主張番号	特願平10-254996	(74) 代理人	100094134
(32) 優先日	平成10年9月9日(1998.9.9)		弁理士 小山 廣毅
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	折田 賢児
(31) 優先権主張番号	特願平10-326352		大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内
(32) 優先日	平成10年11月17日(1998.11.17)	(72) 発明者	石田 昌宏
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板の上に、不純物を含むIII族窒化物よりなる半導体層を有機金属気相成長法により形成する第1の工程と、

前記第1の工程の後に、室温の状態のまま前記半導体層をプラズマにさらすことにより、前記半導体層の導電性をp型とする第2の工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】

前記第2の工程よりも後に、

前記半導体層の上に金属よりなるp側電極を形成する第3の工程をさらに備えていることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。 10

【請求項3】

前記第3の工程は、前記p側電極を形成した後、前記p側電極に対して温度が約400以下の熱処理を行なう工程を含むことを特徴とする請求項2に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項4】

前記第3の工程は、前記p側電極を形成した後、前記半導体層をプラズマにさらす工程を含むことを特徴とする請求項2に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項5】

前記プラズマは、RF方式、ECR方式又はホットウォール方式により生成されることを 20

特徴とする請求項 1 又は 4 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 6】

前記プラズマは窒素プラズマを含むことを特徴とする請求項 1 又は 4 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 7】

前記不純物は、マグネシウム、亜鉛、カルシウム、ストロンチウム、ベリリウム、カドミウム、水銀又はリチウムを含むことを特徴とする請求項 1 又は 4 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 8】

基板の上に、不純物を含む III 族窒化物よりなる半導体層を有機金属気相成長により形成する第 1 の工程と、

前記半導体層の上に水素吸蔵金属を含む金属よりなる p 側電極を形成する第 2 の工程と、

室温の状態のまま前記半導体層をプラズマにさらすことにより、前記半導体層の導電性を p 型とする第 3 の工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 9】

前記金属は、ニッケル、鉄、銅、クロム、タンタル、バナジウム、マンガン、アルミニウム、銀、パラジウム、イリジウム、金又は白金よりなることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】

前記金属は、水素吸蔵金属であって、チタン、マグネシウム、カルシウム、ジルコニウム、ランタン、ニオブ、バナジウム、ニッケル、鉄、マンガン、コバルト、クロム又はアルミニウムを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 11】

前記第 2 の工程は、前記 p 側電極を形成するよりも前に、前記半導体層の上に水素吸蔵金属よりなる水素吸着層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 12】

前記水素吸蔵金属は、チタン、マグネシウム、カルシウム、ジルコニウム、ランタン、ニオブ、バナジウム、ニッケル、鉄、マンガン、コバルト、クロム又はアルミニウムを含むことを特徴とする請求項 11 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 13】

前記プラズマは窒素プラズマを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、III 族窒化物半導体により構成される半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

一般式が $Al_x Ga_{1-x-y} In_y N$ (但し、 x 及び y は、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y < 1$ である。) で表わされる III 族窒化物半導体は、バンドギャップエネルギーが $1.9 eV \sim 6.2 eV$ 程度の直接遷移型のバンド構造を有し、且つ、耐熱性に優れている。現在、この III 族窒化物半導体を用いた半導体装置の研究及び開発が盛んに行なわれている。例えば、主に窒化ガリウムを含む化合物半導体により構成される半導体発光装置は、次世代の高密度光ディスク用の光源又はフルカラー LED ディスプレイ用の光源として、ますます注目を集めている。

【0003】

III 族窒化物半導体よりなる発光装置の動作特性を向上させるには、p 型導電性を有し且つ低抵抗の半導体層をどのようにして形成するかが極めて重要となる。

10

20

30

40

50

【0004】

以下、従来のp型半導体層形成方法とそれを用いた半導体装置について図面を参照しながら説明する。

【0005】

図10は従来の半導体装置の部分的な断面構成を示している。図10に示すように、サファイアよりなる基板101上には、窒化アルミニウム(A1N)又は窒化ガリウム(GaN)よりなるバッファ層102と、アンドープのGaNよりなる第1の半導体層103と、アクセプタとなるマグネシウム(Mg)がドーブされたp型のGaNよりなる第2の半導体層104とが順次形成されている。第2の半導体層104上には、ニッケル(Ni)層105a及び金(Au)層105bよりなるp側電極105が形成されている。ここで

10

【0006】

p型不純物として、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カルシウム(Ca)、ストロンチウム(Sr)又はベリリウム(Be)等が用いられるが、特に、MgとZnとが一般に用いられる。

【0007】

一般に、第2の半導体層104にp型不純物をドーブしただけでは、ドーブされたp型不純物はアクセプタとしてほとんど機能しない。従って、第2の半導体層104は、抵抗率が $1 \times 10^8 \text{ cm}$ 以上の高抵抗型、すなわち真性(i型)の結晶となる。これは、第2の半導体層104を成長させる際に、窒素源として用いられるアンモニア(NH₃)ガスの分解等により発生する水素がp型不純物であるMgやZn等と結合することにより、アクセプタとしての機能を阻害してしまうためであると考えられている。

20

【0008】

そこで、ドーブされたp型不純物をアクセプタとして機能(活性化)させるp型半導体層形成方法として、いくつかの方法が提案されている。

【0009】

第1の方法として、特公平6-9258号公報に開示されているような、p型不純物がドーブされた第2の半導体層104に電子線を照射する方法がある。

【0010】

第2の方法として、特開平8-213656号公報に開示されているような、第2の半導体層104を不活性ガス雰囲気中において温度が800程度 of 加熱処理をする方法がある。これら第1の方法における電子線照射による電子の電気エネルギー又は第2の方法における加熱処理による熱エネルギーによって、p型不純物であるMg又はZn等と結合した水素が解離し、解離した水素が第2の半導体層104から脱離することにより、p型不純物がアクセプタとして活性化すると考えられる。

30

【0011】

さらに、第3の方法として、特開平6-275868号公報には窒素雰囲気において、特開平10-163529号公報には酸素雰囲気において、第2の半導体層104に対してアニールを施すことにより、第2の半導体層104中のMgを活性化させる方法が示されている。

40

【0012】

また、第4の方法として、特開平10-144960号公報は、第2の半導体層104に対してプラズマアニールを施すことを開示している。

【0013】

これらのp型半導体層形成方法により、抵抗率が 1 cm 程度の第2の半導体層104が得られると共に、第2の半導体層104との接触抵抗率が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 程度のオーミック特性を有するp側電極105を得ることができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記従来のIII族窒化物半導体層における各p型半導体層形成方法はそれ

50

それ以下に示すような問題がある。

【0015】

前記の第1の方法は、電子線照射に用いる電子線のスポット径が精々50 μ m~60 μ m程度であるため、例えば大きさが2cm角程度の基板101を用いる場合には、第2の半導体層104の上面の全面に対して電子線を走査すると、1枚の基板101を照射し終わるのに10時間以上を要し、量産は困難である。また、複数の基板101に対して並行処理を行なうことも不可能である。

【0016】

第2又は第3の方法によると、基板温度を600以上にまで昇温しなければ第2の半導体層104がp型の導電性を示さない。一方、基板温度が600以上となるアニールを行なう場合には、基板101と、窒化ガリウムよりなる第1の半導体層103及び第2の半導体層104との間の熱膨張係数が大きく異なるため、アニール処理の前後の熱履歴により、第1の半導体層103又は第2の半導体層104に欠陥やクラックが生じる可能性がある。さらに、基板温度を600以上にまで昇温した場合は、第1の半導体層103及び第2の半導体層104から窒素が脱離したり、第2の半導体層104中のMgが第1の半導体層103に拡散する熱拡散が生じたりして、半導体層の結晶性を悪化させるため、半導体装置の特性が劣化する。

【0017】

第4の方法のプラズマアニールを用いる方法は、具体的な方法が何も示されていない。

【0018】

本発明は、前記従来の問題を解決し、III族窒化物よりなる半導体層から、該半導体層に欠陥を生じさせることなく、短時間で且つ確実に低抵抗のp型層を得られるようにすることを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る第1の半導体装置の製造方法は、基板の上に、不純物を含むIII族窒化物よりなる半導体層を形成する第1の工程と、基板の温度を約600以下に保ちながら、半導体層をプラズマにさらすことにより、半導体層の導電型をp型とする第2の工程とを備えている。

【0020】

第1の半導体装置の製造方法によると、不純物を含むIII族窒化物よりなる半導体層に対して、基板の温度を約600以下に保ちながら半導体層をプラズマにさらすことにより半導体層の導電型をp型とするため、プラズマは比較的低温であっても反応性が高く、例えば、不純物のアクセプタとしての活性化を妨げている不純物原子と水素原子との結合が効果的に解離される。このため、半導体層に熱履歴による欠陥やクラックが生じることがなく、また、得られたp型半導体層から該p型半導体層と隣接する他の半導体層中に不純物が拡散することもない。その上、プラズマを用いることにより、基板1枚当たりの処理時間が短くできると共に、複数の基板に対して並行処理が可能となるため、さらに処理効率の向上を図ることができる。

【0021】

第1の半導体装置の製造方法は、第2の工程よりも後に、半導体層の上に金属よりなるp側電極を形成する第3の工程をさらに備えていることが好ましい。このようにすると、効率良く且つ高品質のp型の導電型を得られた半導体層上にp側電極を形成するため、形成されたp側電極は得られたp型半導体層と確実にオーミック接触するので、高品質の半導体装置を効率良く製造できる。

【0022】

この場合に、第3の工程が、p側電極を形成した後、p側電極に対して温度が約400以下の熱処理を行なう工程を含むことが好ましい。このようにすると、半導体層の結晶性を損なうことなく、該半導体層とp側電極との合金化を図ることができる。

【0023】

また、この場合に、前記第3の工程が、p側電極を形成した後、半導体層をプラズマにさらす工程を含むことが好ましい。このようにすると、p側電極が形成された半導体層に残存する不純物をさらに活性化させることができる。

【0024】

第1の半導体装置の製造方法において、プラズマが、RF方式、ECR方式又はホットウォール方式により生成されることが好ましい。このようにすると、プラズマを確実に生成することができる。

【0025】

第1の半導体装置の製造方法において、プラズマが窒素プラズマを含むことが好ましい。このようにすると、窒素を含む半導体層がプラズマにさらされている間に、半導体層中の窒素が該半導体層から脱離することを防止できるので、半導体層の結晶性を高度に維持できる。

10

【0026】

第1の半導体装置の製造方法において、不純物が、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カルシウム(Ca)、ストロンチウム(Sr)、ベリリウム(Be)、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)又はリチウム(Li)を含むことが好ましい。このようにすると、半導体層を確実にp型とすることができる。

【0027】

本発明に係る第2の半導体装置の製造方法は、基板の上に、不純物を含むIII族窒化物よりなる半導体層を形成する第1の工程と、半導体層の上に金属よりなるp側電極を形成する第2の工程と、基板の温度を約600以下に保ちながら、半導体層をプラズマにさらすことにより、半導体層の導電性をp型とする第3の工程とを備えている。

20

【0028】

第2の半導体装置の製造方法によると、p側電極が形成され、不純物を含むIII族窒化物よりなる半導体層に対して、基板の温度を約600以下に保ちながら半導体層をプラズマにさらすことにより半導体層の導電性をp型とするため、例えば不純物原子と水素原子との結合が効果的に解離される。これにより、半導体層に熱履歴による欠陥やクラックが生じることがなく、また、得られたp型半導体層から該半導体層と隣接する他の半導体層中に不純物が拡散することもない。その上、得られたp型半導体層とp側電極との合金化をも同時に行なえる。

30

【0029】

第2の半導体装置の製造方法において、金属が、ニッケル(Ni)、鉄(Fe)、銅(Cu)、クロム(Cr)、タンタル(Ta)、バナジウム(V)、マンガン(Mn)、アルミニウム(Al)、銀(Ag)、パラジウム(Pd)、イリジウム(Ir)、金(Au)又は白金(Pt)よりなることが好ましい。このようにすると、p型のIII族窒化物である半導体層に確実にp側電極を形成することができる。

【0030】

第2の半導体装置の製造方法において、金属が水素吸蔵金属であって、チタン(Ti)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、ジルコニウム(Zr)、ランタン(La)、ニオブ(Nb)、バナジウム(V)、ニッケル(Ni)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)、コバルト(Co)、クロム(Cr)又はアルミニウム(Al)を含むことが好ましい。このようにすると、p側電極を形成する金属が水素吸蔵金属であるため、半導体層から脱離した水素原子が水素吸蔵金属に吸蔵されるので、脱離した水素原子が半導体層中のp型の不純物と再結合することを防止できる。その結果、得られたp型半導体層のアクセプタの活性化率を高度に維持できる。

40

【0031】

第2の半導体装置の製造方法において、第2の工程が、p側電極を形成するよりも前に、半導体層の上に水素吸蔵金属よりなる水素吸着層を形成する工程を含むことが好ましい。このようにすると、p側電極と半導体層との間に水素吸着層が形成されるため、半導体層から脱離した水素が水素吸着層に吸蔵されるので、半導体層中のp型不純物が脱離した水

50

素と再結合することを防止できる。その結果、得られた p 型半導体層のアクセプタの活性化率が高度に維持される。

【0032】

この場合に、水素吸蔵金属が、チタン (Ti)、マグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca)、ジルコニウム (Zr)、ランタン (La)、ニオブ (Nb)、バナジウム (V)、ニッケル (Ni)、鉄 (Fe)、マンガン (Mn)、コバルト (Co)、クロム (Cr) 又はアルミニウム (Al) を含むことが好ましい。

【0033】

第2の半導体装置の製造方法において、プラズマが窒素プラズマを含むことが好ましい。

【0034】

【発明の実施の形態】

本発明に係る第1の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0035】

図1(a)、(b)及び図2は本発明の第1の実施形態に係るダブルヘテロ接合を有する窒化物半導体レーザ装置の製造方法を示す工程順の断面構成を示している。

【0036】

図1(a)に示すように、例えば、有機金属気相エピタキシャル成長 (MOVPE) 法を用いて、III 族源をトリメチルアルミニウム (TMA)、トリメチルガリウム (TMG) 又はトリメチルインジウム (TMI) とし、窒素源をアンモニア (NH₃) とし、キャリアガスを水素とし、圧力を 50 Torr (1 Torr = 133.3 Pa) 程度に保ちながら、面方位が (0001) 面のサファイアよりなる基板 11 上に各エピタキシャル層を順次成長させる。

【0037】

すなわち、TMA 及び NH₃ を原料として、結晶成長温度を 500 程度に保ちながら、基板 11 上に、膜厚が約 40 nm の AlN よりなるバッファ層 12 を成長させる。続いて、成長温度を 1000 にまで昇温し、III 族源を TMA からトリメチルガリウム (TMG) に代え、n 型不純物であるシリコン (Si) を添加しながら、膜厚が約 1.0 μm の n 型 GaN よりなる n 型コンタクト層 13 を成長させる。その後、TMG に相当量の TMA を加えながら、膜厚が約 0.7 μm の n 型 AlGaIn よりなる n 型クラッド層 14 を成長させる。次に、成長温度を 800 程度に降温すると共に、TMA に代えて相当量の TMI を加えながら、InGaIn の多重量子井戸よりなり、総膜厚が約 50 nm の活性層 15 を成長させる。その後、再び、成長温度を 1000 程度に昇温し、n 型不純物の供給を止める一方 p 型不純物の Mg を含むシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg) を添加しながら、TMI に代えて相当量の TMA を加えることにより、膜厚が約 0.7 μm の AlGaIn よりなる第1の Mg ドープ層 16A を成長させる。続いて、III 族源を TMG のみとして、膜厚が約 1.0 μm の GaN よりなる第2の Mg ドープ層 17A を成長させることにより、エピタキシャル基板 20 を得る。ここでは、第2の Mg ドープ層 17A の Mg 濃度は約 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ としている。このとき、第1の Mg ドープ層 16A 及び第2の Mg ドープ層 17A にドープされた Mg には、窒素源の NH₃ が分解して生ずる水素が Mg に結合している。

【0038】

次に、第2の Mg ドープ層 17A までが形成されたエピタキシャル基板 20 をプラズマ処理装置に投入する。

【0039】

ここで、本実施形態に係るプラズマ処理装置について図面を参照しながら説明する。図3は本実施形態に係るプラズマ処理装置 50 の模式的な断面構成を示している。図3に示すように、プラズマ処理装置 50 は、互いに対向する壁面に吸気孔 52A 及び排気孔 52B が設けられた真空槽 (反応室) 51 と、該真空槽 51 内の上部及び底部に互いに対向し且つ加熱可能に設けられた上部電極 53A 及び下部電極 53B とを備えている。上部電極 53A は接地されており、下部電極 53B は、真空槽 51 の外部に整合器 54 を介して設け

10

20

30

40

50

られたRF電源55と接続されている。このように、プラズマ処理装置50は、いわゆる平行平板型のプラズマ発生装置である。

【0040】

プラズマ処理装置50の下部電極53B上に、図1(a)のように形成された1枚又は2枚以上のエピタキシャル基板20をその上部がプラズマに均一に触れるように保持する。その後、基板温度を室温のままとし、真空槽51を真空に排気する。続いて、窒素ガスの流量を約5sccmとして、真空槽51内の圧力を 2×10^{-2} Torr程度とする。

【0041】

次に、出力が150W以下で、周波数が13.56MHzのRF電力により真空槽51内にプラズマ放電を起こすことにより、真空槽51を窒素プラズマで満たし、エピタキシャル基板20をこの満たされた窒素プラズマに40分間程度さらす。

【0042】

その結果、図1(b)に示すように、第1のMgドープ層16A及び第2のMgドープ層17AにドープされたアクセプタのMgが室温程度であっても活性化するため、第1のMgドープ層16A及び第2のMgドープ層17Aから、それぞれ低抵抗で且つ結晶性に優れたp型クラッド層16B及びp型コンタクト層17Bを得ることができる。

【0043】

次に、図2に示すように、低抵抗化されたp型層を持つエピタキシャル基板20を金属蒸着装置(図示せず)に投入し、p型コンタクト層17B上に、膜厚が約100nmのNiよりなる第1の金属膜18a及びAuよりなる第2の金属膜18bをこの順に積層してp側電極18を形成する。

【0044】

次に、エピタキシャル基板20上のエピタキシャル層に対して異方性のドライエッチングを行なって、n型コンタクト層13を露出させ、このn型コンタクト層13の露出面上に膜厚が約100nmのTiよりなる第1の金属膜19a及びAlよりなる第2の金属層膜19bをこの順に積層してn側電極19を形成する。

【0045】

その後、これら電極形成用金属膜が蒸着されたエピタキシャル基板20に対して、窒素雰囲気400程度のアニールを行なうことにより、電極形成用金属膜と該電極形成用金属膜とそれぞれ接触する半導体層との合金化を図る。

【0046】

なお、p側電極18の合金化処理はn側電極19を形成するよりも前に行なってもよい。

【0047】

このように、本実施形態によると、第1のMgドープ層16A及び第2のMgドープ層17Aを窒素プラズマにさらすことにより、アクセプタとなるMgを活性化させるため、エピタキシャル層に熱履歴により生じる欠陥やクラックを著しく減少させることができる。また、アクセプタのMgが第1のMgドープ層16Aから活性層15に拡散する熱拡散も生じにくくなる。その結果、半導体レーザ装置の動作特性が向上する。さらに、複数の基板に対して同時にアクセプタの活性化処理を行なえるため、スループットが向上する。

【0048】

また、プラズマ源は窒素ガスに限られないが、窒素プラズマを用いると、第1のMgドープ層16A及び第2のMgドープ層17Aからの窒素の脱離を防止できるため、半導体レーザ装置の動作特性をさらに向上させることができる。

【0049】

図4はp側電極18とp型コンタクト層17Bとの間の接触抵抗率のプラズマ処理時間依存性を示し、図5は半導体レーザ装置の抵抗率のプラズマ処理時間依存性を示している。ここでは、接触抵抗率及び抵抗率の測定方法としてTLM(Transmission Line Model)法を用いている。

【0050】

図4に示すように、接触抵抗率が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 以下であり、p側電極18とp型コ

10

20

30

40

50

ンタクト層 17B との接触はオーミック接触であることが分かる。接触抵抗率は、プラズマにさらされる時間が開始から 30 分までは処理時間の増加に伴って減少し、処理時間が 30 分を越えると接触抵抗率が $3.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ となって、ほぼ一定の値を示す。この接触抵抗率の値は従来の半導体装置の接触抵抗率の約 3 分の 1 の値である。

【0051】

また、図 5 に示すように、半導体レーザ装置の抵抗率は、プラズマにさらされる時間が開始から 30 分までは処理時間の増加に伴って減少し、処理時間が 30 分を越えると接触抵抗率が 0.4 cm となって、ほぼ一定の値を示す。この抵抗率の値も、従来の半導体装置の抵抗率の 3 分の 1 程度の値である。

【0052】

これは、本実施形態においては、加熱処理を用いずにアクセプタを活性化させるため、p 型クラッド層 16B 及び p 型コンタクト層 17B の結晶性を損なうことなく、各 p 型層 16B、17B の結晶成長面内に均一に Mg が活性化し、その結果、ホールの移動度が大きくなるからである。本願発明者らの測定結果によると、加熱温度が 600 以上のアニール処理を用いた場合のホールの移動度は約 $10 \text{ cm}^2 / \text{V sec}$ であるのに対し、本実施形態の場合のホールの移動度は、約 $22 \text{ cm}^2 / \text{V sec}$ である。

【0053】

なお、本実施形態に係るプラズマ処理を加熱しながら行なう場合には、窒素を含む各半導体層、とりわけ活性層 15、p 型クラッド層 16B 及び p 型コンタクト層 17B の窒素原子が結晶中から脱離することを防止するため、加熱温度を 500 以下とすることが好ましい。

【0054】

以下、本実施形態に係る製造方法を用いた p 型窒化物半導体層のアクセプタが活性化している様子を他のいくつかの検証結果に基づいて説明する。

【0055】

図 6 はプラズマ処理前の第 2 の Mg ドープ層 17A とプラズマ処理後の p 型コンタクト層 17B とのフォトルミネッセンスの各測定結果を示している。図 6 において、曲線 A1 はプラズマ処理前のフォトルミネッセンス特性を表わし、曲線 B1 はプラズマ処理後のフォトルミネッセンス特性を表わしている。フォトルミネッセンス測定用の励起光源には、He-Cd レーザ光を用いている。図 6 に示すように、曲線 A1 は、Mg と H との結合による発光波長が約 680 nm の発光ピークが現われている。一方、曲線 B1 には、H が解離し、アクセプタとして活性化した Mg による発光波長が約 470 nm の発光ピークが現われている。このように、プラズマ処理により p 型不純物の Mg がアクセプタとして活性化していることが分かる。

【0056】

図 7 は従来のアニール処理を施した p 型コンタクト層と本実施形態に係るプラズマ処理を施した p 型コンタクト層 17B とのキャリア（ホール）密度のアニール温度依存性を示している。図 7 において、曲線 B2 は 40 分間のプラズマ処理によるキャリア密度を表わし、破線 A2 は従来の基板温度が 600 のアニール処理によるキャリア密度を表わしている。図 7 に示すように、ホール測定により p 型コンタクト 17B のキャリア密度を測定したところ、破線 A2 に示す従来の方法によるキャリア密度は $2.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度であり、曲線 B2 に示す本実施形態によるキャリア密度は $2.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度にまで増大している。このように、本実施形態は従来の方法と比べてキャリア密度が大きくなっていることが分かる。

【0057】

また、図示はしていないが、プラズマ処理前の第 2 の Mg ドープ層 17A 及び 40 分間のプラズマ処理後の p 型コンタクト 17B に対して、二次イオン質量分析 (SIMS) 法を用いて比較したところ、プラズマ照射を施す前の第 2 の Mg ドープ層 17A の水素濃度は $1.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であるのに対し、プラズマ処理後の p 型コンタクト層 17B の水素濃度は $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ と、第 2 の Mg ドープ層 17A と比べて水素濃度が減少して

10

20

30

40

50

いることを確認している。また、Mgの活性層15への拡散はみられなかった。

【0058】

さらに、本実施形態に係る半導体レーザ装置を電子顕微鏡により観察したところ、従来の半導体装置にみられるような熱履歴による欠陥又はクラックはほとんどみられなかった。

【0059】

このように、種々の検証結果により、本実施形態に係る半導体装置の製造方法、特にp型窒化物半導体の製造方法は従来の製造方法よりも格段に優れていることが分かる。

【0060】

従来の製造方法と比べてp型半導体層の特性が優れるのは、次の理由による。

【0061】

(1)第2のMgドープ層17Aの表面がプラズマにさらされるため、その表面に酸化膜が形成されない。

【0062】

(2)プラズマにさらされることにより、第2のMgドープ層17Aの表面に付着した汚染物が除去されるため、清浄表面を持つp型コンタクト層17Bを得ることができる。

【0063】

(3)プラズマにさらされることにより、アニール処理と比べて、第2のMgドープ層17Aの表面からの水素の脱離が効率良く行なわれるため、第2のMgドープ層17Aの表面におけるMgが従来よりも活性化される。

【0064】

なお、図2に示すp側電極18の合金化工程においても図3に示すようなプラズマ処理装置50を用いて、加熱温度が400程度で窒素雰囲気中のプラズマアニールを行なうことが好ましい。このようにすると、電極蒸着工程等の他の工程において、脱離した水素が半導体層中のp型不純物と再結合することを防止することができる。

【0065】

また、アクセプタ活性化工程におけるプラズマ処理工程を、このプラズマ処理による電極合金化工程によってその一部又は全部を兼用してもよい。

【0066】

また、p側電極18に水素吸蔵金属を用いることが好ましい。すなわち、チタン、マグネシウム、カルシウム、ジルコニウム、ランタン、ニオブ、バナジウム、ニッケル、鉄、マンガン、コバルト、クロム又はアルミニウム、又はこれらのうちの2つ以上の合金よりなり、且つ、p型コンタクト層17Bとオーミック接触可能なp側電極18を形成すればよい。このようにすると、プラズマ処理によるアクセプタ活性化工程において、p型半導体層から脱離した水素を水素吸蔵金属よりなるp側電極18が吸着するため、p型半導体層から脱離した水素が半導体層中のp型不純物と再結合することをより確実に防止できる。

【0067】

(第2の実施形態)

以下、本発明に係る第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0068】

図8(a)、(b)及び図9は本発明の第2の実施形態に係るダブルヘテロ接合を有する窒化物半導体レーザ装置の製造方法を示す工程順の断面構成を示している。図8(a)、(b)及び図9において、図1(a)、(b)及び図2に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0069】

図8(a)に示すように、例えばMOVPE法を用いて、第1の実施形態と同様に、サブファイアよりなる基板11上に、第2のMgドープ層17Aまでを成長させてエピタキシャル基板20を得る。その後、スパッタ法又は蒸着法等を用いて、第2のMgドープ層17Aの上に、膜厚が50nm~100nm程度の水素吸蔵金属又は水素吸蔵合金よりなる水素吸着膜21を形成する。

【0070】

10

20

30

40

50

次に、アクセプタ活性化工程において、水素吸着膜 2 1 が形成されたエピタキシャル基板 2 0 を図 3 に示すプラズマ処理装置 5 0 に投入し、投入されたエピタキシャル基板 2 0 を 4 0 分間程度の窒素プラズマにさらす。これにより、図 8 (b) に示すように、p 型不純物の Mg が活性化することにより、第 1 の Mg ドープ層 1 6 A から p 型クラッド層 1 6 B が得られ、第 2 の Mg ドープ層 1 7 A から p 型コンタクト層 1 7 B が得られる。このとき、第 2 の Mg ドープ層 1 7 A の上に水素吸着膜 2 1 が形成されているため、第 1 の Mg ドープ層 1 6 A 及び第 2 の Mg ドープ層 1 7 A から脱離した水素が水素吸着膜 2 1 に吸着される。このため、エピタキシャル基板 2 0 の各半導体層中の p 型不純物と脱離した水素との再結合を防止できる。

【 0 0 7 1 】

次に、図 9 に示すように、p 側電極 1 8 を所定の形状にパターニングする際に、水素吸着膜 2 1 に対しても、p 側電極 1 8 と同一形状のパターニングを施す。その後、窒素雰囲気における 4 0 0 程度のアニールを行なうことにより、p 側電極 1 8 及び水素吸着膜 2 1 と p 型コンタクト層 1 7 B との合金化処理を行なう。この合金化処理は p 側電極 1 8 のパターニングの前であってもよい。

【 0 0 7 2 】

また、この合金化工程においても、プラズマ処理装置 5 0 を用いて、加熱温度が 4 0 0 程度で窒素雰囲気でのプラズマアニールを行なうことが好ましい。このようにすると、電極蒸着工程等の他の工程において、水素が半導体層中の p 型不純物と再結合することを防止できる。

【 0 0 7 3 】

さらに、アクセプタ活性化工程におけるプラズマ処理工程を、このプラズマ処理による電極合金化工程によってその一部又は全部を兼用してもよい。

【 0 0 7 4 】

第 1 の実施形態又は第 2 の実施形態における構成部材を以下のように置き換えてもよい。

【 0 0 7 5 】

基板 1 1 にサファイアを用いたが、炭化珪素 (S i C) 、スピネル又は G a N よりなる基板を用いてもよい。

【 0 0 7 6 】

基板 1 1 と該基板上に成長する窒化物半導体との格子不整合を緩和するバッファ層 1 2 には、A l N に代えて G a N を用いてもよい。

【 0 0 7 7 】

p 型半導体層の例として、G a N 及び A l G a N を用いたが、M g を添加した $I n_z G a_{1-z} N$ (但し、 z は $0 < z < 1$ である。) でも同様に M g のアクセプタとしての活性化率を向上させることができる。

【 0 0 7 8 】

アクセプタとなる p 型不純物は M g に限らず、亜鉛 (Z n) 、カルシウム (C a) 、ストロンチウム (S r) 、ベリリウム (B e) 、カドミウム (C d) 、水銀 (H g) 又はリチウム (L i) であってもよい。

【 0 0 7 9 】

p 側電極 1 8 は、ニッケル (N i) 、鉄 (F e) 、銅 (C u) 、クロム (C r) 、タンタル (T a) 、バナジウム (V) 、マンガン (M n) 、アルミニウム (A l) 、銀 (A g) 、パラジウム (P d) 、イリジウム (I r) 、金 (A u) 及び白金 (P t) のうちの少なくとも 1 つの金属単体、2 層以上の金属単体よりなる積層体又は 2 つ以上の金属を含む合金を用いてもよい。

【 0 0 8 0 】

なお、各実施形態においては、互いに異なる組成を持つ複数の III 族窒化物半導体層を積層してなる半導体装置としてダブルヘテロ型半導体レーザ装置を例に挙げたが、これは一例に過ぎず、本発明は、p 型窒化物半導体を有する半導体装置のすべてに適用できる。

【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

50

また、プラズマ処理装置 50 のプラズマ生成方式を、RF 方式としたが、ECR 方式やホットウォール方式等、エピタキシャル基板 20 が均一なプラズマにさらされる方式であればよい。

【0082】

【発明の効果】

本発明に係る半導体装置の製造方法によると、不純物をドーピングした窒化物半導体層をプラズマにさらすことにより、p 型で且つ低抵抗の p 型半導体層を得るため、得られた p 型半導体層に熱履歴による欠陥やクラックが生じることがなく、p 型半導体層から他の半導体層中に不純物が拡散することもない。その上、基板 1 枚当たりの処理時間が短くできると共に、複数の基板に対して並行処理できるため、処理効率の向上を図ることができる。その結果、高品位で低抵抗の p 型窒化物半導体層を短時間で形成できる。

10

【0083】

また、得られた p 型半導体層と p 側電極との間に低抵抗のオーミック接触が可能となり、半導体装置の抵抗率を低減できるため、半導体装置の動作特性を改善できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】(a) 及び (b) は本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の製造方法に用いるプラズマ処理装置を示す模式的構成断面図である。

20

【図 4】本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の製造方法における p 側電極と p 型半導体層との間の接触抵抗率のプラズマ処理時間依存性を表わすグラフである。

【図 5】本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の製造方法を用いて得られた半導体装置の抵抗率のプラズマ処理時間依存性を表わすグラフである。

【図 6】本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の製造方法におけるプラズマ処理前の半導体層とプラズマ処理後の半導体層とのフォトルミネッセンス強度を表わすグラフである。

【図 7】本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の製造方法におけるプラズマ処理後の半導体層と従来のアニール処理を施した半導体層とのキャリア密度のアニール温度依存性を表わすグラフである。

30

【図 8】(a) 及び (b) は本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 10】従来の半導体装置を示す部分的な構成断面図である。

【符号の説明】

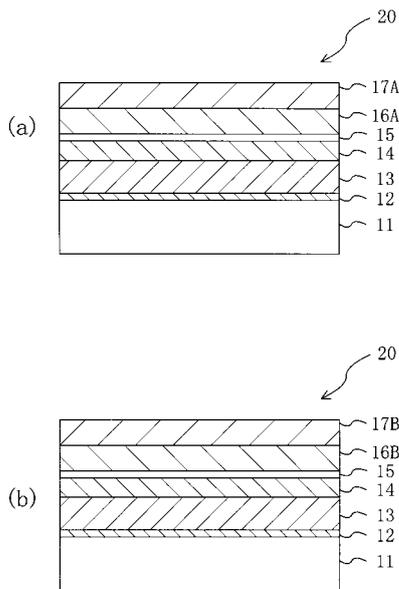
- 1 1 基板
- 1 2 バッファ層
- 1 3 n 型コンタクト層
- 1 4 n 型クラッド層
- 1 5 活性層
- 1 6 A 第 1 の Mg ドープ層
- 1 7 A 第 2 の Mg ドープ層
- 1 6 B p 型クラッド層
- 1 7 B p 型コンタクト層
- 1 8 p 側電極
- 1 8 a 第 1 の金属膜
- 1 8 b 第 2 の金属膜
- 1 9 n 側電極

40

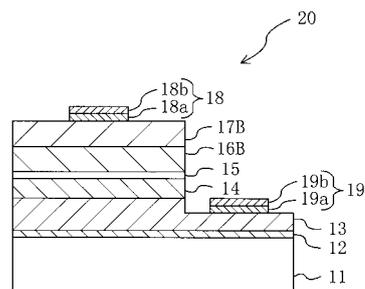
50

- 19 a 第1の金属膜
- 19 b 第2の金属膜
- 20 エピタキシャル基板
- 21 水素吸着膜
- 50 プラズマ処理装置
- 51 真空槽
- 52 A 吸気孔
- 52 B 排気孔
- 53 A 上部電極
- 53 B 下部電極
- 54 整合器
- 55 R F 電源

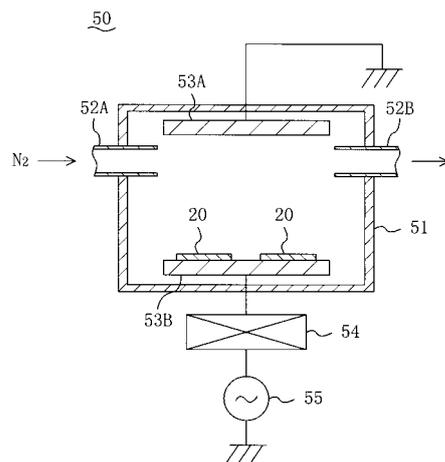
【図1】



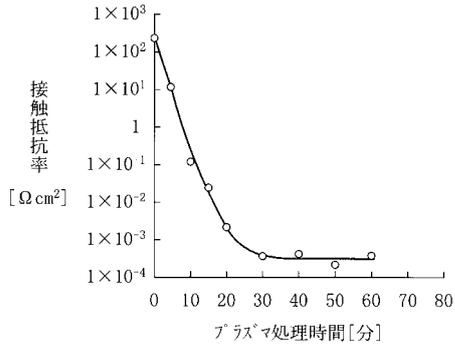
【図2】



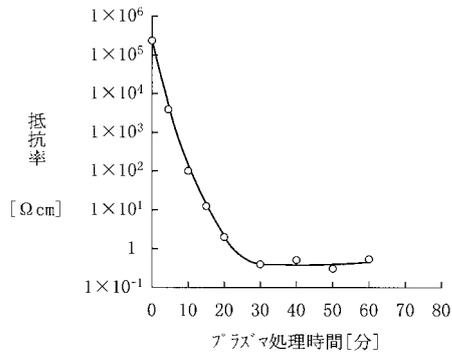
【図3】



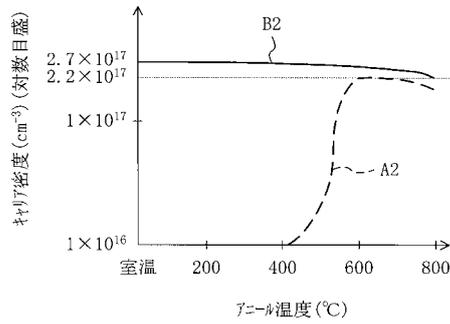
【 図 4 】



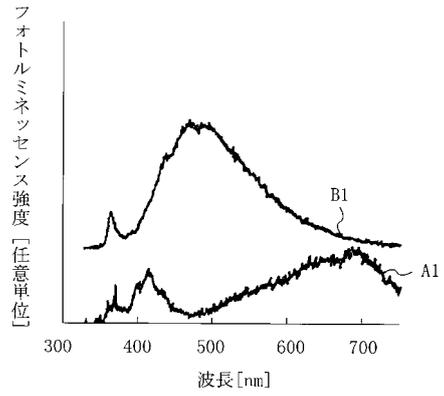
【 図 5 】



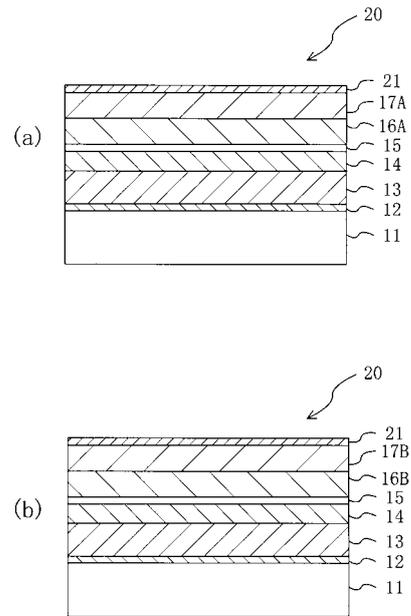
【 図 7 】



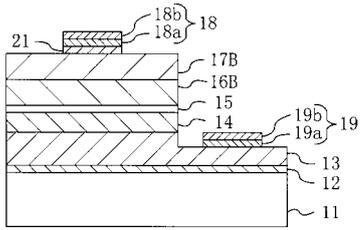
【 図 6 】



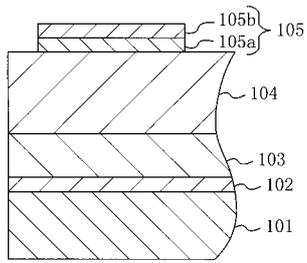
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 1 0 】



フロントページの続き

- (72)発明者 中村 真嗣
大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内
- (72)発明者 油利 正昭
大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

審査官 宮崎 園子

- (56)参考文献 特開平10-144960(JP,A)
特開平10-135575(JP,A)
特開平09-064337(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/324