

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4157857号
(P4157857)

(45) 発行日 平成20年10月1日(2008.10.1)

(24) 登録日 平成20年7月18日(2008.7.18)

(51) Int.Cl.		F I	
HO 1 L 33/00	(2006.01)	HO 1 L 33/00	C
HO 1 L 27/12	(2006.01)	HO 1 L 27/12	S

請求項の数 4 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2004-165303 (P2004-165303)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成16年6月3日(2004.6.3)		松下電器産業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-33186 (P2005-33186A)		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成17年2月3日(2005.2.3)	(74) 代理人	100077931
審査請求日	平成17年3月23日(2005.3.23)		弁理士 前田 弘
(31) 優先権主張番号	特願2003-170301 (P2003-170301)	(74) 代理人	100094134
(32) 優先日	平成15年6月16日(2003.6.16)		弁理士 小山 廣毅
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100110939
			弁理士 竹内 宏
		(74) 代理人	100110940
			弁理士 嶋田 高久
		(74) 代理人	100113262
			弁理士 竹内 祐二
		(74) 代理人	100115059
			弁理士 今江 克実

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】

基板の一面上に形成された半導体層に対して前記基板の他面側から光を照射し、それによって前記半導体層における前記基板との接触領域を部分的に熱分解させて熱分解層を形成する工程と、

前記基板と前記半導体層とが結合している状態を保ちながら前記熱分解層を除去する工程と、

前記熱分解層を除去する工程よりも後に、前記半導体層を活性層として用いた複数の半導体素子を形成する工程と、

前記複数の半導体素子を形成する工程よりも後に、前記基板を分割することによって前記複数の半導体素子を個片化する工程とを備え、

前記熱分解層を形成する工程は、前記基板の分割ラインに沿って前記半導体層に対して前記光を照射することにより、前記熱分解層をライン状に形成する工程を含み、

前記複数の半導体素子を個片化する工程は、前記熱分解層が除去されたライン状の領域に沿って前記基板を分割する工程を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 2】

前記半導体層は III 族窒化物よりな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。

【請求項 3】

前記熱分解層を形成する工程において、前記熱分解層は、前記半導体層の端部に露出す

10

20

る部分を持つように形成され、

前記熱分解層を除去する工程において、前記熱分解層は、前記露出する部分から酸性溶液によってエッチングされ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。

【請求項 4】

前記熱分解層を除去する工程よりも後に、前記熱分解層の融点以上に前記基板を加熱する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、III族窒化物を用いた電界効果トランジスタ、バイポーラトランジスタ又は発光素子等の半導体装置の製造方法に関し、特に基板を分割して半導体素子を取り出す技術に関する。

【背景技術】

【0002】

GaN、AlN、InN 又はこれらの混晶よりなる III族窒化物半導体（以下、単に窒化物半導体という）は、そのバンドギャップが広いために発光素子に应用されているのみならず、その耐圧、電子飽和速度及び電子移動度が高いために電界効果トランジスタ又はバイポーラトランジスタ等の高周波高出力電子デバイス等の開発にも利用されている。

【0003】

これらの窒化物半導体を用いた半導体装置の製造においては、単結晶ウェハの製造が難しく、その結果、これらの窒化物半導体とは格子定数や熱膨張係数が異なる材料よりなる母材基板、例えばサファイア基板や SiC 基板の上において窒化物半導体結晶層の成長が行なわれてきた。しかしながら、サファイア基板や SiC 基板の上で結晶成長させた場合、基板と窒化物半導体結晶層との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって基板が反る等の問題が生じる。それに対して、この残留歪みを除去する 1 つの方法として、光を母材基板の裏面側から照射することによって、基板と窒化物半導体結晶層との界面に、該結晶層が熱分解されてなる熱分解層を形成するという技術が開発されている（特許文献 1 及び 2 参照）。

【特許文献 1】特開 2003 - 37286 号公報

【特許文献 2】米国特許第 6071795 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、単に光を母材基板の裏面から照射し、基板と窒化物半導体結晶層との界面に熱分解層を形成する従来技術においては、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層は主に III族金属を主成分としているため、その融点が高いと共に化学反応を起こしやすい。このため、熱分解層を形成する工程よりも後に、ウェハを昇温する工程やウェハを反応性ガス雰囲気中にさらす工程等の通常の半導体製造工程を実施すると、熱分解層から III族金属が蒸発して汚染の原因となってしまうという問題、又は熱分解層自身が化学反応によって変質又は変形を起こしてウェハの均一性が損なわれるという問題が生じる。

【0005】

さらに、従来技術においては、ウェハ裏面の全領域に対して光を照射するため、前述の熱分解層が、窒化物半導体層と母材基板との界面における全領域に形成される結果、該半導体層の母材基板に対する完全な固定状態を保てなくなるので、半導体装置製造工程において該半導体層が位置ずれを起こすという問題も生じる。このような場合、後に行なわれる基板の降温過程で熱分解層を再度固化したとしても、この熱分解層は III族金属である Ga、Al 又は In 等を主成分とするために融点が高いので、基板上に半導体素子を作り込んでいく過程において室温以上に基板温度を上昇させた場合等に熱分解層が再び融解し、その結果、半導体素子の基板からの位置ずれが起こるという問題が生じる。

【 0 0 0 6 】

前記に鑑み、本発明は、半導体装置製造プロセスにおける半導体層の位置ずれ及び熱処理工程での汚染、変質又は変形等を防止しながら、半導体層を結晶成長させたウェハ面内において残留応力又は残留歪みを均一に緩和できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

前記の目的を達成するために、本発明に係る半導体装置の製造方法は、基板の一面上に形成された半導体層に対して基板の他面側から光を照射し、それによって半導体層における基板との接触領域を部分的に熱分解させて熱分解層を形成する工程と、基板と半導体層とが結合している状態を保ちながら熱分解層を除去する工程とを備えている。

10

【 0 0 0 8 】

本発明の半導体装置の製造方法によると、基板の一面（表面）上に形成された半導体層に対して基板の他面（裏面）側から光を照射して熱分解層を形成するため、熱分解層の弾力性によって基板表面内の残留歪みを緩和することができるので、基板の反り等の問題が発生することを防止できる。また、半導体層を部分的に熱分解させて熱分解層を形成するため、言い換えると、基板裏面的一部分のみに対して光照射を行なって熱分解層を形成するため、半導体層（正確には半導体層のうちの基板との接触領域）における光が照射されない部分には熱分解層が形成されない。すなわち、半導体層における熱分解層の非形成領域と基板との直接的な結合が保たれるので、半導体層の母材基板に対する完全な固定状態を保つことができ、それによって半導体層の位置ずれを防止することができる。

20

【 0 0 0 9 】

また、本発明の半導体装置の製造方法によると、熱分解層自体を除去するため、その後、熱分解層の融点以上に基板を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止しながら、熱分解層の融点以上に基板を昇温させる工程を実施することができる。

【 0 0 1 0 】

本発明の半導体装置の製造方法において、半導体層は III 族窒化物よりなる半導体層であることが好ましい。このようにすると、熱分解層の形成を確実に行なうことができる。

【 0 0 1 1 】

本発明の半導体装置の製造方法において、熱分解層を形成する工程では、熱分解層は、基板の一面上において該一面の中心に対して対称な形状に形成されることが好ましい。

30

【 0 0 1 2 】

このようにすると、半導体層の形成時に基板表面内に生じた初期残留歪みを基板表面内で均一に且つ等方的に解放することができる。

【 0 0 1 3 】

本発明の半導体装置の製造方法における熱分解層を形成する工程において、熱分解層は、基板表面の周縁部上のみ形成されてもよいし、又は、基板表面における中心部以外の他の部分の上に形成されてもよい。

【 0 0 1 4 】

本発明の半導体装置の製造方法において、熱分解層を形成する工程では、熱分解層は、基板の一面上において同心円状、放射状又はらせん状に形成されることが好ましい。

40

【 0 0 1 5 】

このようにすると、基板表面内に存在する歪を、基板表面の中心に対してほぼ対称に且つ均一に緩和することができる。

【 0 0 1 6 】

本発明の半導体装置の製造方法において、熱分解層を形成する工程では、熱分解層は、半導体層の端部に露出する部分を持つように形成され、熱分解層を除去する工程では、熱分解層は、前記露出する部分から酸性溶液によってエッチングされることが好ましい。

【 0 0 1 7 】

50

このようにすると、熱分解層全体を確実にエッチングによって除去することができる。

【0018】

本発明の半導体装置の製造方法において、熱分解層を除去する工程よりも後に、熱分解層の融点以上に基板を加熱する工程をさらに備えていてもよい。

【0019】

本発明の半導体装置の製造方法において、熱分解層を除去する工程よりも後に、半導体層を活性層として用いた複数の半導体素子を形成する工程をさらに備えていてもよい。

【0020】

この場合、複数の半導体素子を形成する工程よりも後に、基板を分割することによって複数の半導体素子を個片化する工程をさらに備え、熱分解層を形成する工程は、基板の分割ラインに沿って半導体層に対して光を照射することにより、熱分解層をライン状に形成する工程を含み、複数の半導体素子を個片化する工程は、熱分解層が除去されたライン状の領域に沿って基板を分割する工程を含むことが好ましい。このようにすると、基板表面内における残留歪みを緩和しながら各半導体素子を形成できると共に、各半導体素子をチップとして切り出すことができる。

【0021】

また、この場合、複数の半導体素子を形成する工程よりも後に、基板を分割することによって複数の半導体素子を個片化する工程をさらに備え、熱分解層を形成する工程は、基板の分割ラインに沿って光が照射されない領域がライン状に存在するように半導体層に対して光を照射する工程を含み、複数の半導体素子を個片化する工程は、ライン状に存在する光が照射されない領域に沿って基板を分割する工程を含むことが好ましい。このようにすると、基板表面内における残留歪みを緩和しながら各半導体素子を形成できると共に基板から各半導体素子を、他の基板に貼り合わせ可能な薄膜状態で切り出すことができる。

【発明の効果】

【0022】

本発明によると、半導体層を結晶成長させたウェハ面において、熱分解層の形成によって残留応力又は残留歪みを均一に緩和することができるので、基板の反り等の問題が発生することを防止できる。また、基板と半導体層とが結合している状態を保ちながら熱分解層を除去することにより、その後の半導体装置製造プロセスにおける半導体層の位置ずれ及び熱処理工程での汚染、変質又は変形等が発生する事態も阻止することができる。すなわち、残留応力又は残留歪みを緩和して基板の反り等を防止しながら、半導体装置製造プロセスで位置ずれを起さず且つ熱処理工程にも耐えうる半導体層を用いた半導体装置を製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

(第1の実施形態)

以下、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ついて、図面を参照しながら説明する。

【0024】

図1(a)及び図1(c)～(g)は、第1の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図1(b)は、第1の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【0025】

まず、図1(a)に示すように、例えばC面を主面とする厚さ400 μ m程度のサファイア基板11の該主面上に、例えば有機金属気相エピタキシャル成長法(MOVPE法)により、例えば窒化ガリウム(GaN)よりなる厚さ2～3 μ m程度の第1の半導体層12を形成する。その後、第1の半導体層12の上に、例えばアルミニウムとガリウムとを含む窒化物混晶($Al_xGa_{1-x}N$ (但し $0 < x < 1$))よりなる厚さ25nm程度の第2の半導体層13を形成する。このとき、サファイア基板11と第1の半導体層12との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって、図

10

20

30

40

50

1 (a) に示すように、サファイア基板 1 1 が反る。

【 0 0 2 6 】

続いて、主面上に半導体層 1 2 及び 1 3 が積層されたサファイア基板 1 1 の裏面（前記主面の反対面）側から、例えば N d : Y A G レーザの 3 次高調波を、例えば、照射エネルギー $0.3 \text{ J} / \text{cm}^2$ 、パルス幅 5 ns 、ビーム径 $1.00 \mu\text{m}$ の照射条件で照射する。具体的には、本実施形態においては、図 1 (b) に示すように、サファイア基板 1 1 の裏面における周縁部を光照射部 1 1 a とする。レーザ光に対してサファイア基板 1 1 は透明であるため、サファイア基板 1 1 の裏面側から照射したレーザ光は、第 1 の半導体層（G a N 層）1 2 におけるサファイア基板 1 1 との界面近傍で吸収されるので、該界面近傍の G a N 層 1 2 のみが熱分解する。その結果、図 1 (c) に示すように、光照射部 1 1 a と対応する G a N 層 1 2 の周縁部におけるサファイア基板 1 1 との界面近傍に、G a を主成分とする薄い熱分解層 1 4 が形成される。このように熱分解層 1 4 を形成することによって、サファイア基板 1 1 の周縁部に存在する歪を、基板表面の中心に対してほぼ対称に且つ一様に緩和することができる。

10

【 0 0 2 7 】

ところで、熱分解層 1 4 の融点は一般に低いため、第 1 の半導体層（G a N 層）1 2 及び第 2 の半導体層（A l G a N 層）1 3 を用いた半導体装置の製造工程において、熱分解層 1 4 が形成されたままでサファイア基板 1 1 を昇温する工程を実施すると、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層 1 4 中の G a の蒸発若しくは拡散等に起因する汚染又は該 G a の酸化により、熱分解層 1 4 の厚さにむらが生じたり、又は A l G a N 層 1 3 の表面形状が不均一になる結果、最終的に作製された半導体装置においても面内性能ばらつきが生じてしまう。

20

【 0 0 2 8 】

そこで、本実施形態においては、レーザ光の照射によって形成された熱分解層 1 4 を有するサファイア基板 1 1 を例えば塩酸に浸すことによって、図 1 (d) に示すように、熱分解層 1 4 を除去する。このとき、G a N 層 1 2 については、図 1 (d) に示すように、レーザ光の未照射部分（熱分解層 1 4 の非形成領域）でサファイア基板 1 1 と結合された状態が保たれる。

【 0 0 2 9 】

次に、図 1 (e) に示すように、G a N 層 1 2 及び A l G a N 層 1 3 におけるデバイス活性領域として用いられる領域の上に、例えば S i よりなるマスク 1 5 を堆積した後、例えば 9 0 0 程度の酸素雰囲気中で 9 時間程度アニールを実施する。これにより、A l G a N 層 1 3 におけるマスク 1 5 によって覆われていない領域が選択的に酸化され、それにより素子分離層 1 6 が形成される。ここで、9 0 0 程度という熱分解層 1 4 の融点以上の高温においてサファイア基板 1 1 を酸素雰囲気中に曝すことができるのは、図 1 (d) に示す工程で熱分解層 1 4 が既に除去されているからである。

30

【 0 0 3 0 】

次に、図 1 (f) に示すように、マスク 1 5 を除去した後、A l G a N 層 1 3 の露出部分の上に、例えば、主として T i 層と A l 層との積層構造から構成される一対のソース・ドレイン電極 1 7 を形成し、その後、例えば 6 0 0 程度の水素雰囲気中でアニールを実施することにより、各ソース・ドレイン電極 1 7 と A l G a N 層 1 3 との間においてオーミック・コンタクトを実現する。ここで、図 1 (d) に示す工程で熱分解層 1 4 が除去されているため、6 0 0 程度という熱分解層 1 4 の融点以上の高温においてサファイア基板 1 1 を処理したとしても、熱分解層 1 4 の蒸発又は化学反応等に起因する悪影響を防止することができる。

40

【 0 0 3 1 】

次に、図 1 (g) に示すように、A l G a N 層 1 3 における一対のソース・ドレイン電極 1 7 の間の領域の上に、例えばリフトオフ法によってゲート電極 1 8 を形成した後、A l G a N 層 1 3 の残りの露出部分の上に表面パッシベーション膜 1 9 を形成する。その後、図示は省略しているが、配線工程等を経て半導体装置を完成させる。

50

【 0 0 3 2 】

以上に説明したように、第 1 の実施形態によると、サファイア基板 1 1 の主面上に形成された G a N 層 1 2 に対して、サファイア基板 1 1 の裏面 (G a N 層 1 2 が形成された主面の反対面) から光を照射して熱分解層 1 4 を形成するため、熱分解層 1 4 の弾力性によって基板主面内の残留歪みを緩和することができるので、サファイア基板 1 1 の反り等の問題が発生することを防止できる。また、第 1 の実施形態においては、反り等が生じた場合に一般に変形量が大きい基板周縁部の歪を、光照射 (レーザ光照射) の仕方を調節することによって緩和することができる。

【 0 0 3 3 】

また、第 1 の実施形態によると、 G a N 層 1 2 を部分的に熱分解させて熱分解層 1 4 を形成するため、言い換えると、基板裏面の一部分のみに対して光照射を行なって熱分解層 1 4 を形成するため、 G a N 層 1 2 (正確には G a N 層 1 2 のうちのサファイア基板 1 1 との接触領域) における光が照射されない部分には熱分解層 1 4 が形成されない。すなわち、熱分解層 1 4 の除去後においても、 G a N 層 1 2 における熱分解層 1 4 の非形成領域とサファイア基板 1 1 との直接的な結合が保たれるので、母材基板であるサファイア基板 1 1 に対する G a N 層 1 2 の完全な固定状態を保つことができ、それによって G a N 層 1 2 の位置ずれを防止することができる。これにより、後のリソグラフィ工程等における精度の向上を図ることができる。

【 0 0 3 4 】

また、第 1 の実施形態によると、熱分解層 1 4 自体を除去するため、その後に、熱分解層 1 4 の融点以上にサファイア基板 1 1 を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止しながら、熱分解層 1 4 の融点以上にサファイア基板 1 1 を昇温させる工程を実施することができる。

【 0 0 3 5 】

尚、第 1 の実施形態において、基板裏面側から照射する光の種類は、第 1 の半導体層 1 2 を熱分解させることができる光であれば、特に限定されるものではない。

【 0 0 3 6 】

また、第 1 の実施形態において、第 1 の半導体層 1 2 として、 G a N 層を用いたが、これに限らず、 I I I 族窒化物層を用いることによって、熱分解層 1 4 の形成を確実にこなうことができる。但し、 I I I 族窒化物層以外の半導体層、例えば G a A s 層又は S i 層等を用いてもよいことは言うまでもない。

【 0 0 3 7 】

また、第 1 の実施形態において、サファイア基板 1 1 を用いたが、これに代えて、 S i C 基板又はガラス基板等を用いてもよい。

【 0 0 3 8 】

また、第 1 の実施形態において、熱分解層 1 4 のエッチング除去に塩酸を用いたが、これに代えて、他の酸性溶液を用いてもよい。また、熱分解層 1 4 を、酸性溶液を用いたエッチング以外の方法によって除去してもよい。

【 0 0 3 9 】

(第 2 の実施形態)

以下、本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 4 0 】

図 2 (a) 及び図 2 (c) ~ (g) は、第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図 2 (b) は、第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【 0 0 4 1 】

まず、図 2 (a) に示すように、例えば C 面を主面とする厚さ 4 0 0 μ m 程度のサファイア基板 2 1 の該主面上に、例えば M O V P E 法により、例えば G a N よりなる厚さ 2 ~

10

20

30

40

50

3 μm 程度の第1の半導体層22を形成する。その後、第1の半導体層22の上に、例えばアルミニウムとガリウムとを含む窒化物混晶 ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し $0 < x < 1$)) よりなる厚さ25 nm程度の第2の半導体層23を形成する。このとき、サファイア基板21と第1の半導体層22との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって、図2(a)に示すように、サファイア基板21が反る。

【0042】

続いて、主面上に半導体層22及び23が積層されたサファイア基板21の裏面(前記主面の反対面)側から、例えばNd:YAGレーザの3次高調波を、例えば、照射エネルギー0.3 J/cm²、パルス幅5 ns、ビーム径1.00 μm の照射条件で照射する。具体的には、本実施形態においては、図2(b)に示すように、サファイア基板21の裏面における中心近傍部を除くほぼ全域を光照射部21aとする。レーザ光に対してサファイア基板21は透明であるため、サファイア基板21の裏面側から照射したレーザ光は、第1の半導体層(GaN層)22におけるサファイア基板21との界面近傍で吸収されるので、該界面近傍のGaN層22のみが熱分解する。その結果、図2(c)に示すように、光照射部21aと対応するGaN層22のほぼ全域(中心近傍部を除く)におけるサファイア基板21との界面近傍に、Gaを主成分とする薄い熱分解層24が形成される。このように熱分解層24を形成することによって、光照射前に存在していたサファイア基板21の残留応力は、該基板の中心近傍部を除く広い範囲に亘って、該基板の中心に対してほぼ対称に且つ一様に緩和される。

【0043】

ところで、熱分解層24の融点は一般に低いため、第1の半導体層(GaN層)22及び第2の半導体層(AlGaIn 層)23を用いた半導体装置の製造工程において、熱分解層24が形成されたままでサファイア基板21を昇温する工程を実施すると、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層24中のGaの蒸発若しくは拡散等に起因する汚染又は該Gaの酸化により、熱分解層24の厚さにむらが生じたり、又は AlGaIn 層23の表面形状が不均一になる結果、最終的に作製された半導体装置においても面内性能ばらつきが生じてしまう。

【0044】

そこで、本実施形態においては、レーザ光の照射によって形成された熱分解層24を有するサファイア基板21を例えば塩酸に浸すことによって、図2(d)に示すように、熱分解層24を除去する。このとき、GaN層22については、図2(d)に示すように、レーザ光の未照射部分(熱分解層24の非形成領域)つまり中央部でサファイア基板21と結合された状態が保たれる。

【0045】

次に、図2(e)に示すように、GaN層22及び AlGaIn 層23におけるデバイス活性領域として用いられる領域の上に、例えばSiよりなるマスク25を堆積した後、例えば900 程度の酸素雰囲気中で9時間程度アニールを実施する。これにより、 AlGaIn 層23におけるマスク25によって覆われていない領域が選択的に酸化され、それにより素子分離層26が形成される。ここで、900 程度という熱分解層24の融点以上の高温においてサファイア基板21を酸素雰囲気中に長時間曝すことができるのは、図2(d)に示す工程で熱分解層24が既に除去されているからである。

【0046】

次に、図2(f)に示すように、マスク25を除去した後、 AlGaIn 層23の露出部分の上に、例えば、主としてTi層とAl層との積層構造から構成される一対のソース・ドレイン電極27を形成し、その後、例えば600 程度の水素雰囲気中でアニールを実施することにより、各ソース・ドレイン電極27と AlGaIn 層23との間においてオーミック・コンタクトを実現する。ここで、図2(d)に示す工程で熱分解層24が予め除去されているため、熱分解層24の蒸発又は化学反応等に起因する悪影響を防止しながら、600 程度という熱分解層24の融点以上の高温においてサファイア基板21を処理することが可能となった。

【 0 0 4 7 】

次に、図 2 (g) に示すように、A l G a N 層 2 3 における一対のソース・ドレイン電極 2 7 の間の領域の上に、例えばリフトオフ法によってゲート電極 2 8 を形成した後、A l G a N 層 2 3 の残りの露出部分の上に表面パッシベーション膜 2 9 を形成する。その後、図示は省略しているが、配線工程等を経て半導体装置を完成させる。

【 0 0 4 8 】

以上に説明したように、第 2 の実施形態によると、サファイア基板 2 1 の主面上に形成された G a N 層 2 2 に対して、サファイア基板 2 1 の裏面 (G a N 層 2 2 が形成された主面の反対面) から光を照射して熱分解層 2 4 を形成するため、熱分解層 2 4 の弾力性によって基板主面内の残留歪みを緩和することができるので、サファイア基板 2 1 の反り等の問題が発生することを防止できる。また、第 2 の実施形態においては、反り等が生じた場合に変形量が最も小さい基板中心部以外の全ての部分の歪を、光照射 (レーザ光照射) の仕方を調節することによって緩和することができる。

10

【 0 0 4 9 】

また、第 2 の実施形態によると、G a N 層 2 2 の中心部以外を熱分解させて熱分解層 2 4 を形成するため、言い換えると、基板裏面の中心部以外に対して光照射を行なって熱分解層 2 4 を形成するため、G a N 層 2 2 (正確には G a N 層 2 2 のうちのサファイア基板 2 1 との接触領域) における光が照射されない中心部分には熱分解層 2 4 が形成されない。このため、熱分解層 2 4 の除去後においても、G a N 層 2 2 における熱分解層 2 4 の非形成領域とサファイア基板 2 1 との直接的な結合が保たれる。言い換えると、熱分解層 2 4 の除去後においても、G a N 層 2 2 をその中心部においてサファイア基板 2 1 により支持することが可能となる。従って、母材基板であるサファイア基板 2 1 に対する G a N 層 2 2 の完全な固定状態を保つことができ、それによって G a N 層 2 2 の位置ずれを防止することができる。これにより、後のリソグラフィ工程等における精度の向上を図ることができる。

20

【 0 0 5 0 】

また、第 2 の実施形態によると、熱分解層 2 4 自体を除去するため、その後に、熱分解層 2 4 の融点以上にサファイア基板 2 1 を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止しながら、熱分解層 2 4 の融点以上にサファイア基板 2 1 を昇温させる工程を実施することができる。

30

【 0 0 5 1 】

尚、第 2 の実施形態において、基板裏面側から照射する光の種類は、第 1 の半導体層 2 2 を熱分解させることができる光であれば、特に限定されるものではない。

【 0 0 5 2 】

また、第 2 の実施形態において、第 1 の半導体層 2 2 として、G a N 層を用いたが、これに限らず、III 族窒化物層を用いることによって、熱分解層 2 4 の形成を確実に行なうことができる。但し、III 族窒化物層以外の半導体層、例えば G a A s 層又は S i 層等を用いてもよいことは言うまでもない。

40

【 0 0 5 3 】

また、第 2 の実施形態において、サファイア基板 2 1 を用いたが、これに代えて、S i C 基板又はガラス基板等を用いてもよい。

【 0 0 5 4 】

また、第 2 の実施形態において、熱分解層 2 4 のエッチング除去に塩酸を用いたが、これに代えて、他の酸性溶液を用いてもよい。また、熱分解層 2 4 を、酸性溶液を用いたエッチング以外の方法によって除去してもよい。

【 0 0 5 5 】

(第 3 の実施形態)

以下、本発明の第 3 の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

50

【0056】

図3(a)、(c)及び(d)は、第3の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図3(b)は、第3の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【0057】

まず、図3(a)に示すように、例えばC面を主面とする厚さ400 μ m程度のサファイア基板31の該主面上に、例えばMOVPE法により、例えばGaNよりなる厚さ2~3 μ m程度の第1の半導体層32を形成する。その後、第1の半導体層32の上に、例えばアルミニウムとガリウムとを含む窒化物混晶($Al_xGa_{1-x}N$ (但し $0 < x < 1$))よりなる厚さ25nm程度の第2の半導体層33を形成する。このとき、サファイア基板31と第1の半導体層32との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって、図3(a)に示すように、サファイア基板31が反る。

10

【0058】

続いて、主面上に半導体層32及び33が積層されたサファイア基板31の裏面(前記主面の反対面)側から、例えばNd:YAGレーザの3次高調波を、例えば、照射エネルギー0.3J/cm²、パルス幅5ns、ビーム径1.00 μ mの照射条件で照射する。具体的には、本実施形態においては、図3(b)に示すように、サファイア基板31の裏面において同心円状パターンを持つ光照射部35を設定する。レーザ光に対してサファイア基板31は透明であるため、サファイア基板31の裏面側から照射したレーザ光は、第1の半導体層(GaN層)32におけるサファイア基板31との界面近傍で吸収されるので、該界面近傍のGaN層32のみが熱分解する。その結果、図3(c)に示すように、GaN層32のうちの光照射部35と対応する部分(基板主面上において同心円状に存在する部分)におけるサファイア基板31との界面近傍に、Gaを主成分とする薄い熱分解層34が形成される。このようにサファイア基板31の主面上において熱分解層34を基板中心に対して対称な形状に形成することによって、光照射前に存在していたサファイア基板31の残留応力は、該基板の全面に亘って、基板中心に対してほぼ対称に且つ一様に緩和される。

20

【0059】

ところで、熱分解層34の融点は一般に低いため、第1の半導体層(GaN層)32及び第2の半導体層($AlGaN$ 層)33を用いた半導体装置の製造工程において、熱分解層34が形成されたままでサファイア基板31を昇温する工程を実施すると、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層34中のGaの蒸発若しくは拡散等に起因する汚染又は該Gaの酸化により、熱分解層34の厚さにむらが生じたり、又は $AlGaN$ 層33の表面形状が不均一になる結果、最終的に作製された半導体装置においても面内性能ばらつきが生じてしまう。

30

【0060】

そこで、本実施形態においては、レーザ光の照射によって形成された熱分解層34を有するサファイア基板31を例えば塩酸に浸すことによって、図3(d)に示すように、熱分解層34を除去する。ここで、図3(c)に示す、光照射部35と対応する同心円状パターンを持つ熱分解層34については、単にサファイア基板31を塩酸に浸すことによって、熱分解層34のうちの内側の輪帯部分までは塩酸が供給されない結果、該内側の輪帯部分がエッチングによって除去されないという問題が生じる。そこで、本実施形態においては、サファイア基板31の裏面において、同心円状パターンを持つ光照射部35と共に、光照射部35の各輪帯部分同士を接続する光照射部36を設けておく。これによって、GaN層32のうちの光照射部36と対応する部分にも熱分解層34が形成されるため、熱分解層34におけるGaN層32の端部に露出する部分(最も外側の輪帯部分)から、基板中心に向かって熱分解層34が順次除去されていく。その結果、熱分解層34における内側の輪帯部分にも塩酸が供給されるので、該全ての熱分解層34が塩酸によってエッチング除去される。

40

【0061】

50

尚、本実施形態においても、熱分解層 3 4 の除去後における G a N 層 3 2 については、図 3 (d) に示すように、レーザ光の未照射部分 (熱分解層 3 4 の非形成領域である同心円状部分) でサファイア基板 3 1 と結合された状態が保たれる。

【 0 0 6 2 】

その後、図示は省略しているが、図 1 (e) ~ (g) 又は図 2 (e) ~ (g) に示す第 1 又は第 2 の実施形態と同様の工程を行なうことによって、半導体装置を完成させることが可能となる。

【 0 0 6 3 】

以上に説明したように、第 3 の実施形態によると、サファイア基板 3 1 の主面上に形成された G a N 層 3 2 に対して、サファイア基板 3 1 の裏面 (G a N 層 3 2 が形成された主面の反対面) から光を照射して熱分解層 3 4 を形成するため、熱分解層 3 4 の弾力性によって基板主面内の残留歪みを緩和することができるので、サファイア基板 3 1 の反り等の問題が発生することを防止できる。すなわち、本実施形態で説明した光照射 (レーザ光照射) の仕方によって、基板主面において同心円状に発生する歪を緩和することが可能となる。

【 0 0 6 4 】

また、第 3 の実施形態によると、G a N 層 3 2 を部分的に熱分解させて熱分解層 3 4 を形成するため、言い換えると、基板裏面に対して部分的に光照射を行なって熱分解層 3 4 を形成するため、G a N 層 3 2 (正確には G a N 層 3 2 のうちのサファイア基板 3 1 との接触領域) における光が照射されない部分には熱分解層 3 4 が形成されない。すなわち、熱分解層 3 4 の除去後においても、G a N 層 3 2 における熱分解層 3 4 の非形成領域とサファイア基板 3 1 との直接的な結合が保たれるので、母材基板であるサファイア基板 3 1 に対する G a N 層 3 2 の完全な固定状態を保つことができ、それによって G a N 層 3 2 の位置ずれを防止することができる。これにより、後のリソグラフィ工程等における精度の向上を図ることができる。

【 0 0 6 5 】

また、第 3 の実施形態によると、熱分解層 3 4 自体を除去するため、その後に、熱分解層 3 4 の融点以上にサファイア基板 3 1 を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止しながら、熱分解層 3 4 の融点以上にサファイア基板 3 1 を昇温させる工程を実施することができる。

【 0 0 6 6 】

尚、第 3 の実施形態において、基板裏面側から照射する光の種類は、第 1 の半導体層 3 2 を熱分解させることができる光であれば、特に限定されるものではない。

【 0 0 6 7 】

また、第 3 の実施形態において、第 1 の半導体層 3 2 として、G a N 層を用いたが、これに限らず、III 族窒化物層を用いることによって、熱分解層 3 4 の形成を確実に行なうことができる。但し、III 族窒化物層以外の半導体層、例えば G a A s 層又は S i 層等を用いてもよいことは言うまでもない。

【 0 0 6 8 】

また、第 3 の実施形態において、サファイア基板 3 1 を用いたが、これに代えて、S i C 基板又はガラス基板等を用いてもよい。

【 0 0 6 9 】

また、第 3 の実施形態において、熱分解層 3 4 のエッチング除去に塩酸を用いたが、これに代えて、他の酸性溶液を用いてもよい。また、熱分解層 3 4 を、酸性溶液を用いたエッチング以外の方法によって除去してもよい。

【 0 0 7 0 】

(第 4 の実施形態)

以下、本発明の第 4 の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0071】

図4(a)、(c)及び(d)は、第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図4(b)は、第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【0072】

まず、図4(a)に示すように、例えばC面を主面とする厚さ400 μ m程度のサファイア基板41の該主面上に、例えばMOVPE法により、例えばGaNよりなる厚さ2~3 μ m程度の第1の半導体層42を形成する。その後、第1の半導体層42の上に、例えばアルミニウムとガリウムとを含む窒化物混晶($Al_xGa_{1-x}N$ (但し $0 < x < 1$))よりなる厚さ25nm程度の第2の半導体層43を形成する。このとき、サファイア基板41と第1の半導体層42との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって、図4(a)に示すように、サファイア基板41が反る。

10

【0073】

続いて、主面上に半導体層42及び43が積層されたサファイア基板41の裏面(前記主面の反対面)側から、例えばNd:YAGレーザの3次高調波を、例えば、照射エネルギー0.3J/cm²、パルス幅5ns、ビーム径1.00 μ mの照射条件で照射する。具体的には、本実施形態においては、図4(b)に示すように、サファイア基板41の裏面において放射状パターンを持つ光照射部41aを設定する。レーザ光に対してサファイア基板41は透明であるため、サファイア基板41の裏面側から照射したレーザ光は、第1の半導体層(GaN層)42におけるサファイア基板41との界面近傍で吸収されるので、該界面近傍のGaN層42のみが熱分解する。その結果、図4(c)に示すように、GaN層42のうちの光照射部41aと対応する部分(基板主面上において放射状に存在する部分)におけるサファイア基板41との界面近傍に、Gaを主成分とする薄い熱分解層44が形成される。このようにサファイア基板41の主面上において熱分解層44を基板中心に対して対称な形状に形成することによって、光照射前に存在していたサファイア基板41の残留応力は、該基板の全面に亘って、該基板の中心に対してほぼ対称に且つ一様に緩和される。尚、図4(c)は、図4(b)におけるIV-IV線の断面図である。

20

【0074】

ところで、熱分解層44の融点は一般に低いため、第1の半導体層(GaN層)42及び第2の半導体層($AlGa$ N層)43を用いた半導体装置の製造工程において、熱分解層44が形成されたままでサファイア基板41を昇温する工程を実施すると、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層44中のGaの蒸発若しくは拡散等に起因する汚染又は該Gaの酸化により、熱分解層44の厚さにむらが生じたり、又は $AlGa$ N層43の表面形状が不均一になる結果、最終的に作製された半導体装置においても面内性能ばらつきが生じてしまう。

30

【0075】

そこで、本実施形態においては、レーザ光の照射によって形成された熱分解層44を有するサファイア基板41を例えば塩酸に浸すことによって、図4(d)に示すように、熱分解層44を除去する。このとき、熱分解層44におけるGaN層42の端部に露出する部分から、基板中心に向かって熱分解層44が順次除去されていく。その結果、熱分解層44における基板中心付近に形成されている部分にも塩酸が供給されるので、全ての熱分解層44が塩酸によってエッチング除去される。

40

【0076】

尚、本実施形態においても、熱分解層44の除去後におけるGaN層42については、図4(d)に示すように、レーザ光の未照射部分(熱分解層44の非形成領域である放射状部分)でサファイア基板41と結合された状態が保たれる。

【0077】

その後、図示は省略しているが、図1(e)~(g)又は図2(e)~(g)に示す第1又は第2の実施形態と同様の工程を行なうことによって、半導体装置を完成させることが可能となる。

50

【 0 0 7 8 】

以上に説明したように、第 4 の実施形態によると、サファイア基板 4 1 の主面上に形成された G a N 層 4 2 に対して、サファイア基板 4 1 の裏面（ G a N 層 4 2 が形成された主面の反対面）から光を照射して熱分解層 4 4 を形成するため、熱分解層 4 4 の弾力性によって基板主面内の残留歪みを緩和することができるので、サファイア基板 4 1 の反り等の問題が発生することを防止できる。すなわち、本実施形態で説明した光照射（レーザ光照射）の仕方によって、基板主面に存在する歪を基板の中心に対して対称に且つ均一に緩和することが可能となる。

【 0 0 7 9 】

また、第 4 の実施形態によると、 G a N 層 4 2 を部分的に熱分解させて熱分解層 4 4 を形成するため、言い換えると、基板裏面に対して部分的に光照射を行なって熱分解層 4 4 を形成するため、 G a N 層 4 2（正確には G a N 層 4 2 のうちのサファイア基板 4 1 との接触領域）における光が照射されない部分には熱分解層 4 4 が形成されない。すなわち、熱分解層 4 4 の除去後においても、 G a N 層 4 2 における熱分解層 4 4 の非形成領域とサファイア基板 4 1 との直接的な結合が保たれるので、母材基板であるサファイア基板 4 1 に対する G a N 層 4 2 の完全な固定状態を保つことができ、それによって G a N 層 4 2 の位置ずれを防止することができる。これにより、後のリソグラフィ工程等における精度の向上を図ることができる。

【 0 0 8 0 】

また、第 4 の実施形態によると、熱分解層 4 4 自体を除去するため、その後に、熱分解層 4 4 の融点以上にサファイア基板 4 1 を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止しながら、熱分解層 4 4 の融点以上にサファイア基板 4 1 を昇温させる工程を実施することができる。

【 0 0 8 1 】

尚、第 4 の実施形態において、基板裏面側から照射する光の種類は、第 1 の半導体層 4 2 を熱分解させることができる光であれば、特に限定されるものではない。

【 0 0 8 2 】

また、第 4 の実施形態において、第 1 の半導体層 4 2 として、 G a N 層を用いたが、これに限らず、 III 族窒化物層を用いることによって、熱分解層 4 4 の形成を確実に行なうことができる。但し、 III 族窒化物層以外の半導体層、例えば G a A s 層又は S i 層等を用いてもよいことは言うまでもない。

【 0 0 8 3 】

また、第 4 の実施形態において、サファイア基板 4 1 を用いたが、これに代えて、 S i C 基板又はガラス基板等を用いてもよい。

【 0 0 8 4 】

また、第 4 の実施形態において、熱分解層 4 4 のエッチング除去に塩酸を用いたが、これに代えて、他の酸性溶液を用いてもよい。また、熱分解層 4 4 を、酸性溶液を用いたエッチング以外の方法によって除去してもよい。

【 0 0 8 5 】

（第 5 の実施形態）

以下、本発明の第 5 の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 8 6 】

図 5（ a ） 、（ c ） 及び（ d ） は、第 5 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図 5（ b ） は、第 5 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【 0 0 8 7 】

まず、図 5（ a ） に示すように、例えば C 面を主面とする厚さ 4 0 0 μ m 程度のサファイア基板 5 1 の該主面上に、例えば M O V P E 法により、例えば G a N よりなる厚さ 2 ~

10

20

30

40

50

3 μm 程度の第1の半導体層52を形成する。その後、第1の半導体層52の上に、例えばアルミニウムとガリウムとを含む窒化物混晶 ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し $0 < x < 1$)) よりなる厚さ25 nm程度の第2の半導体層53を形成する。このとき、サファイア基板51と第1の半導体層52との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって、図5(a)に示すように、サファイア基板51が反る。

【0088】

続いて、主面上に半導体層52及び53が積層されたサファイア基板51の裏面(前記主面の反対面)側から、例えばNd:YAGレーザの3次高調波を、例えば、照射エネルギー0.3 J/cm²、パルス幅5 ns、ビーム径1.00 μm の照射条件で照射する。具体的には、本実施形態においては、図5(b)に示すように、サファイア基板51の裏面において、らせん状パターンを持つ光照射部51aを設定する。レーザ光に対してサファイア基板51は透明であるため、サファイア基板51の裏面側から照射したレーザ光は、第1の半導体層(GaN層)52におけるサファイア基板51との界面近傍で吸収されるので、該界面近傍のGaN層52のみが熱分解する。その結果、図5(c)に示すように、GaN層52のうちの光照射部51aと対応する部分(基板主面上においてらせん状に存在する部分)におけるサファイア基板51との界面近傍に、Gaを主成分とする薄い熱分解層54が形成される。このようにサファイア基板51の主面上において熱分解層54を基板中心に対して対称な形状に形成することによって、光照射前に存在していたサファイア基板51の残留応力は、該基板の全面に亘って均等に緩和される。

【0089】

ところで、熱分解層54の融点は一般に低いため、第1の半導体層(GaN層)52及び第2の半導体層(AlGaIn 層)53を用いた半導体装置の製造工程において、熱分解層54が形成されたままでサファイア基板51を昇温する工程を実施すると、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層54中のGaの蒸発若しくは拡散等に起因する汚染又は該Gaの酸化により、熱分解層54の厚さにむらが生じたり、又は AlGaIn 層53の表面形状が不均一になる結果、最終的に作製された半導体装置においても面内性能ばらつきが生じてしまう。

【0090】

そこで、本実施形態においては、レーザ光の照射によって形成された熱分解層54を有するサファイア基板51を例えば塩酸に浸すことによって、図5(d)に示すように、熱分解層54を除去する。このとき、熱分解層54におけるGaN層52の端部に露出する部分から、基板中心に向かって熱分解層54が順次除去されていく。その結果、熱分解層54における基板中心付近に形成されている部分にも塩酸が供給されるので、全ての熱分解層54が塩酸によってエッチング除去される。

【0091】

尚、本実施形態においても、熱分解層54の除去後におけるGaN層52については、図5(d)に示すように、レーザ光の未照射部分(熱分解層54の非形成領域である、らせん状部分)でサファイア基板51と結合された状態が保たれる。

【0092】

その後、図示は省略しているが、図1(e)~(g)又は図2(e)~(g)に示す第1又は第2の実施形態と同様の工程を行なうことによって、半導体装置を完成させることが可能となる。

【0093】

以上に説明したように、第5の実施形態によると、サファイア基板51の主面上に形成されたGaN層52に対して、サファイア基板51の裏面(GaN層52が形成された主面の反対面)から光を照射して熱分解層54を形成するため、熱分解層54の弾力性によって基板主面内の残留歪みを緩和することができるので、サファイア基板51の反り等の問題が発生することを防止できる。すなわち、本実施形態で説明した光照射(レーザ光照射)の仕方によって、基板主面内に存在する残留応力を基板中心に対してほぼ対称に且つほぼ均一に緩和することが可能となる。

【0094】

また、第5の実施形態によると、GaN層52を部分的に熱分解させて熱分解層54を形成するため、言い換えると、基板裏面に対して部分的に光照射を行なって熱分解層54を形成するため、GaN層52（正確にはGaN層52のうちのサファイア基板51との接触領域）における光が照射されない部分には熱分解層54が形成されない。すなわち、熱分解層54の除去後においても、GaN層52における熱分解層54の非形成領域とサファイア基板51との直接的な結合が保たれるので、母材基板であるサファイア基板51に対するGaN層52の完全な固定状態を保つことができ、それによってGaN層52の位置ずれを防止することができる。これにより、後のリソグラフィ工程等における精度の向上を図ることができる。

10

【0095】

また、第5の実施形態によると、熱分解層54自体を除去するため、その後に、熱分解層54の融点以上にサファイア基板51を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止しながら、熱分解層54の融点以上にサファイア基板51を昇温させる工程を実施することができる。

【0096】

尚、第5の実施形態において、基板裏面側から照射する光の種類は、第1の半導体層52を熱分解させることができる光であれば、特に限定されるものではない。

【0097】

20

また、第5の実施形態において、第1の半導体層52として、GaN層を用いたが、これに限らず、III族窒化物層を用いることによって、熱分解層54の形成を確実に行うことができる。但し、III族窒化物層以外の半導体層、例えばGaAs層又はSi層等を用いてもよいことは言うまでもない。

【0098】

また、第5の実施形態において、サファイア基板51を用いたが、これに代えて、SiC基板又はガラス基板等を用いてもよい。

【0099】

また、第5の実施形態において、熱分解層54のエッチング除去に塩酸を用いたが、これに代えて、他の酸性溶液を用いてもよい。また、熱分解層54を、酸性溶液を用いたエッチング以外の方法によって除去してもよい。

30

【0100】

（第6の実施形態）

以下、本発明の第6の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0101】

図6(a)及び図6(c)～(e)は、第6の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図6(b)は、第6の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【0102】

40

まず、図6(a)に示すように、例えばC面を主面とする厚さ400μm程度のサファイア基板61の該主面上に、例えばMOVPE法により、例えばGaNよりなる厚さ2～3μm程度の第1の半導体層62を形成する。その後、第1の半導体層62の上に、例えばアルミニウムとガリウムとを含む窒化物混晶($Al_xGa_{1-x}N$ （但し $0 < x < 1$ ））よりなる厚さ25nm程度の第2の半導体層63を形成する。このとき、サファイア基板61と第1の半導体層62との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって、図6(a)に示すように、サファイア基板61が反る。

【0103】

続いて、主面上に半導体層62及び63が積層されたサファイア基板61の裏面（前記主面の反対面）側から、例えばNd:YAGレーザの3次高調波を、例えば、照射エネル

50

ギ- 0.3 J/cm^2 、パルス幅 5 ns 、ビ-ム径 $1.00 \mu\text{m}$ の照射条件で照射する。具体的には、本実施形態においては、図6(b)に示すように、サファイア基板61の裏面において、サファイア基板61からチップを取り出すための分割ライン(図6(d)の一点鎖線参照)に沿ったパターンを持つ光照射部65を設定する。すなわち、本実施形態においては、光照射部65によって区画された領域(つまり光非照射部)がチップ形成領域66となる。レーザ光に対してサファイア基板61は透明であるため、サファイア基板61の裏面側から照射したレーザ光は、第1の半導体層(GaN層)62におけるサファイア基板61との界面近傍で吸収されるので、該界面近傍のGaN層62のみが熱分解する。その結果、図6(c)に示すように、GaN層62のうちの光照射部65と対応する部分(基板主面上において分割ラインに沿って存在する部分)におけるサファイア基板61との界面近傍に、Gaを主成分とする薄い熱分解層64が形成される。すなわち、サファイア基板61の分割ラインに沿ってライン状の熱分解層64が形成される。尚、本実施形態の熱分解層64は、基板(ウェハ)全体のサイズに比べて十分に小さいサイズでウェハ全面に亘って形成されるので、光照射前に存在していたウェハ面内の残留応力は該面内において一様に緩和される。

10

【0104】

ところで、熱分解層64の融点は一般に低いため、第1の半導体層(GaN層)62及び第2の半導体層(AlGaN層)63を用いた半導体装置の製造工程において、熱分解層64が形成されたままでサファイア基板61を昇温する工程を実施すると、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層64中のGaの蒸発若しくは拡散等に起因する汚染又は該Gaの酸化により、熱分解層64の厚さにむらが生じたり、又はAlGaN層63の表面形状が不均一になる結果、最終的に作製された半導体装置においても面内性能ばらつきが生じてしまう。

20

【0105】

そこで、本実施形態においては、レーザ光の照射によって形成された熱分解層64を有するサファイア基板61を例えば塩酸に浸すことによって、図6(d)に示すように、熱分解層64を除去する。このとき、熱分解層64におけるGaN層62の端部に露出する部分から、基板中心に向かって熱分解層64が順次除去されていく。その結果、熱分解層64における基板中心付近に形成されている部分にも塩酸が供給されるので、全ての熱分解層64が塩酸によってエッチング除去される。

30

【0106】

尚、本実施形態においても、熱分解層64の除去後におけるGaN層62については、図6(d)に示すように、レーザ光の未照射部分(熱分解層64の非形成領域)でサファイア基板61と結合された状態が保たれる。

【0107】

その後、図示は省略しているが、図1(e)~(g)又は図2(e)~(g)に示す第1又は第2の実施形態と同様の工程を行なうことによって、各チップ形成領域66(図6(b)参照)に、GaN層62及びAlGaN層63を活性層として用いた半導体素子を形成していく。

【0108】

続いて、図6(d)に示す半導体装置の製造後、図6(e)に示すように、サファイア基板61の分割ラインに沿ってサファイア基板61に対してダイシングを行なう。すなわち、ライン状に形成された熱分解層64が除去された領域に沿ってサファイア基板61を分割する。このとき、熱分解層64が除去された領域の上側のGaN層62(以下、上部GaN層62と称する)、及びAlGaN層63は非常に薄いので、容易に切断することができる。また、チップ形成領域66のGaN層62及びAlGaN層63に何らの損傷を与えることなく、サファイア基板61を切断して、個片の半導体素子を取り出すことができる。

40

【0109】

以上に説明したように、第6の実施形態によると、サファイア基板61の主面上に形成

50

されたGaN層62に対して、サファイア基板61の裏面（GaN層62が形成された主面の反対面）から光を照射して熱分解層64を形成するため、熱分解層64の弾力性によって基板主面内の残留歪みを緩和することができるので、サファイア基板61の反り等の問題が発生することを防止できる。

【0110】

また、第6の実施形態によると、GaN層62を部分的に熱分解させて熱分解層64を形成するため、言い換えると、基板裏面に対して部分的に光照射を行なって熱分解層64を形成するため、GaN層62（正確にはGaN層62のうちのサファイア基板61との接触領域）における光が照射されない部分には熱分解層64が形成されない。すなわち、熱分解層64の除去後においても、GaN層62における熱分解層64の非形成領域とサ
10
ファイア基板61との直接的な結合が保たれるので、母材基板であるサファイア基板61に対するGaN層62の完全な固定状態を保つことができ、それによってGaN層62の位置ずれを防止することができる。これにより、後の半導体素子形成のためのリソグラフィ工程等における精度の向上を図ることができる。

【0111】

また、第6の実施形態によると、熱分解層64自体を除去するため、その後に、熱分解層64の融点以上にサファイア基板61を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、
20
変質又は変形を防止しながら、熱分解層64の融点以上にサファイア基板61を昇温させる工程を実施することができる。

【0112】

また、第6の実施形態によると、サファイア基板61の分割ラインに沿ってGaN層62に光を照射することにより、熱分解層64をライン状に形成した後、該熱分解層64を除去し、その後、分割ラインに沿って、つまり熱分解層64が除去されたライン状の領域に沿ってサファイア基板61を分割する。これにより、サファイア基板61上に形成された複数の半導体素子が個片化される。すなわち、第6の実施形態によると、熱分解層64を用いて、サファイア基板61の表面内における残留歪みを緩和しながら各半導体素子を形成できると共に、熱分解層64が除去されたライン状の領域を分割ラインとしてサファイア基板61のダイシングを行なうことにより、各半導体素子が作り込まれたチップ形成領域66に損傷を与えることなく各半導体素子をチップとして切り出すことができる。
30

【0113】

尚、第6の実施形態において、基板裏面側から照射する光の種類は、第1の半導体層62を熱分解させることができる光であれば、特に限定されるものではない。

【0114】

また、第6の実施形態において、第1の半導体層62として、GaN層を用いたが、これに限らず、III族窒化物層を用いることによって、熱分解層64の形成を確実に
40
行なうことができる。但し、III族窒化物層以外の半導体層、例えばGaAs層又はSi層等を用いてもよいことは言うまでもない。

【0115】

また、第6の実施形態において、サファイア基板61を用いたが、これに代えて、SiC基板又はガラス基板等を用いてもよい。
40

【0116】

また、第6の実施形態において、熱分解層64のエッチング除去に塩酸を用いたが、これに代えて、他の酸性溶液を用いてもよい。また、熱分解層64を、酸性溶液を用いたエッチング以外の方法によって除去してもよい。

【0117】

また、第6の実施形態において、サファイア基板61のダイシングを行なう前に、サファイア基板61の厚さを70μm程度まで薄くしてもよい。

【0118】

（第7の実施形態）

以下、本発明の第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0119】

図7(a)及び図7(c)～(e)は、第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図7(b)は、第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【0120】

まず、図7(a)に示すように、例えばC面を主面とする厚さ400 μ m程度のサファイア基板71の該主面上に、例えばMOVPE法により、例えばGaNよりなる厚さ2～3 μ m程度の第1の半導体層72を形成する。その後、第1の半導体層72の上に、例えばアルミニウムとガリウムとを含む窒化物混晶($Al_xGa_{1-x}N$ (但し $0 < x < 1$))よりなる厚さ25nm程度の第2の半導体層73を形成する。このとき、サファイア基板71と第1の半導体層72との間の格子不整合に起因する残留応力及びそれに伴う残留歪みが存在し、それによって、図7(a)に示すように、サファイア基板71が反る。

【0121】

続いて、主面上に半導体層72及び73が積層されたサファイア基板71の裏面(前記主面の反対面)側から、例えばNd:YAGレーザの3次高調波を、例えば、照射エネルギー0.3J/cm²、パルス幅5ns、ビーム径1.00 μ mの照射条件で照射する。具体的には、本実施形態においては、図7(b)に示すように、サファイア基板71の裏面において、チップ形成領域と対応するパターンを持つ光照射部76を設定する。言い換えると、本実施形態においては、光照射部76を区画する領域(つまり光非照射部)75が、サファイア基板71からチップを取り出すための分割ライン(図7(d)の一点鎖線参照)に沿って存在する。レーザ光に対してサファイア基板71は透明であるため、サファイア基板71の裏面側から照射したレーザ光は、第1の半導体層(GaN層)72におけるサファイア基板71との界面近傍で吸収されるので、該界面近傍のGaN層72のみが熱分解する。その結果、図7(c)に示すように、GaN層72のうちの光照射部76と対応する部分(基板主面上のチップ形成領域に存在する部分)におけるサファイア基板71との界面近傍に、Gaを主成分とする薄い熱分解層74が形成される。すなわち、サファイア基板71の分割ラインに囲まれるように熱分解層74が形成される。尚、本実施形態の熱分解層74は、基板(ウェハ)全体のサイズに比べて十分に小さいサイズでウェハ全面に亘って形成されるので、光照射前に存在していたウェハ面内の残留応力は該面内において一様に緩和される。

【0122】

ところで、熱分解層74の融点は一般に低いため、第1の半導体層(GaN層)72及び第2の半導体層(AlGaN層)73を用いた半導体装置の製造工程において、熱分解層74が形成されたままでサファイア基板71を昇温する工程を実施すると、次のような問題が生じる。すなわち、熱分解層74中のGaの蒸発若しくは拡散等に起因する汚染又は該Gaの酸化により、熱分解層74の厚さにむらが生じたり、又はAlGaN層73の表面形状が不均一になる結果、最終的に作製された半導体装置においても面内性能ばらつきが生じてしまう。

【0123】

そこで、本実施形態においては、レーザ光の照射によって形成された熱分解層74を有するサファイア基板71を例えば塩酸に浸すことによって、図7(d)に示すように、熱分解層74を除去する。このとき、熱分解層74におけるGaN層72の端部に露出する部分から、基板中心に向かって熱分解層74を順次除去するために、図7(c)に示す熱分解層74の形成時に、各チップ形成領域と対応する熱分解層74同士を接続し且つ熱分解層となるブリッジパターンを設けておくことが好ましい。すなわち、予め、図7(b)に示す光照射部76の設定時に、各チップ形成領域と対応する光照射部76同士を接続し且つ光照射部となるブリッジパターンを設けておくことが好ましい。このようにすると、熱分解層74における基板中心付近に形成されている部分にも塩酸が供給されるので、全

ての熱分解層 7 4 が塩酸によってエッチング除去される。

【 0 1 2 4 】

尚、本実施形態においても、熱分解層 7 4 の除去後における G a N 層 7 2 については、図 7 (d) に示すように、レーザ光の未照射部分 (熱分解層 7 4 の非形成領域) でサファイア基板 7 1 と結合された状態が保たれる。

【 0 1 2 5 】

その後、図示は省略しているが、図 1 (e) ~ (g) 又は図 2 (e) ~ (g) に示す第 1 又は第 2 の実施形態と同様の工程を行なうことによって、各チップ形成領域 (図 7 (b) の光照射部 7 6 と対応する領域) に、G a N 層 7 2 及び A l G a N 層 7 3 を活性層として用いた半導体素子を形成していく。

10

【 0 1 2 6 】

続いて、図 7 (d) に示す半導体装置の製造後、図 7 (e) に示すように、サファイア基板 7 1 の分割ラインに沿ってサファイア基板 7 1 に対してダイシングを行なう。すなわち、該分割ラインと対応するライン状の光非照射部 7 5 (図 7 (b) 参照) に沿ってサファイア基板 7 1 を分割する。このようにすると、熱分解層 7 4 が除去された領域の上側の G a N 層 7 2 (以下、上部 G a N 層 7 2 と称する) 、及び A l G a N 層 7 3 を活性層とする各半導体素子を、他の基板に貼り合わせ可能な薄膜状態でサファイア基板 7 1 から切り出すことができる。

【 0 1 2 7 】

以上に説明したように、第 7 の実施形態によると、サファイア基板 7 1 の主面上に形成された G a N 層 7 2 に対して、サファイア基板 7 1 の裏面 (G a N 層 7 2 が形成された主面の反対面) から光を照射して熱分解層 7 4 を形成するため、熱分解層 7 4 の弾力性によって基板主面内の残留歪みを緩和することができるので、サファイア基板 7 1 の反り等の問題が発生することを防止できる。

20

【 0 1 2 8 】

また、第 7 の実施形態によると、G a N 層 7 2 を部分的に熱分解させて熱分解層 7 4 を形成するため、言い換えると、基板裏面に対して部分的に光照射を行なって熱分解層 7 4 を形成するため、G a N 層 7 2 (正確には G a N 層 7 2 のうちのサファイア基板 7 1 との接触領域) における光が照射されない部分には熱分解層 7 4 が形成されない。すなわち、熱分解層 7 4 の除去後においても、G a N 層 7 2 における熱分解層 7 4 の非形成領域とサファイア基板 7 1 との直接的な結合が保たれるので、母材基板であるサファイア基板 7 1 に対する G a N 層 7 2 の完全な固定状態を保つことができ、それによって G a N 層 7 2 の位置ずれを防止することができる。これにより、後の半導体素子形成のためのリソグラフィ工程等における精度の向上を図ることができる。

30

【 0 1 2 9 】

また、第 7 の実施形態によると、熱分解層 7 4 自体を除去するため、その後に、熱分解層 7 4 の融点以上にサファイア基板 7 1 を加熱する工程を行なったとしても、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止することができる。すなわち、熱処理に起因する汚染、変質又は変形を防止しながら、熱分解層 7 4 の融点以上にサファイア基板 7 1 を昇温させる工程を実施することができる。

40

【 0 1 3 0 】

また、第 7 の実施形態によると、サファイア基板 7 1 の分割ラインに沿って光非照射部 7 5 がライン状に存在するように G a N 層 7 2 に光を照射することにより、熱分解層 7 4 を形成した後、該熱分解層 7 4 を除去し、その後、分割ラインに沿って、つまりライン状に存在する光非照射部 7 5 に沿ってサファイア基板 7 1 を分割する。これにより、サファイア基板 7 1 から複数の半導体素子を分離し且つ各半導体素子を個片化することができる。すなわち、第 7 の実施形態によると、熱分解層 7 4 を用いて、サファイア基板 7 1 の表面内における残留歪みを緩和しながら各半導体素子を形成できると共に、サファイア基板 7 1 基板から各半導体素子を、他の基板に貼り合わせ可能な薄膜状態で切り出すことができる。

50

【 0 1 3 1 】

尚、第 7 の実施形態において、基板裏面側から照射する光の種類は、第 1 の半導体層 7 2 を熱分解させることができる光であれば、特に限定されるものではない。

【 0 1 3 2 】

また、第 7 の実施形態において、第 1 の半導体層 7 2 として、G a N 層を用いたが、これに限らず、III 族窒化物層を用いることによって、熱分解層 7 4 の形成を確実にこなうことができる。但し、III 族窒化物層以外の半導体層、例えば G a A s 層又は S i 層等を用いてもよいことは言うまでもない。

【 0 1 3 3 】

また、第 7 の実施形態において、サファイア基板 7 1 を用いたが、これに代えて、S i C 基板又はガラス基板等を用いてもよい。

10

【 0 1 3 4 】

また、第 7 の実施形態において、熱分解層 7 4 のエッチング除去に塩酸を用いたが、これに代えて、他の酸性溶液を用いてもよい。また、熱分解層 7 4 を、酸性溶液を用いたエッチング以外の方法によって除去してもよい。

【 0 1 3 5 】

また、第 7 の実施形態において、サファイア基板 7 1 のダイシングを行なう前に、サファイア基板 7 1 の厚さを 7 0 μ m 程度まで薄くしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【 0 1 3 6 】

20

本発明は、半導体装置の製造方法に関し、ウェハ上における半導体層の結晶成長に適用した場合には、半導体装置製造プロセスにおける半導体層の位置ずれ及び熱処理工程での汚染、変質又は変形を防止しながら、半導体層を結晶成長させたウェハ面内において残留応力又は残留歪みを均一に緩和できるという効果が得られ、有用である。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 3 7 】

【図 1】図 1 (a) 及び図 1 (c) ~ (g) 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の各工程を示す断面図であり、図 1 (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の一工程を示す平面図である。

【図 2】図 2 (a) 及び図 2 (c) ~ (g) 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の各工程を示す断面図であり、図 2 (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の一工程を示す平面図である。

30

【図 3】図 3 (a) 、(c) 及び(d) は、本発明の第 3 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図 3 (b) は、本発明の第 3 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【図 4】図 4 (a) 、(c) 及び(d) は、本発明の第 4 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図 4 (b) は、本発明の第 4 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【図 5】図 5 (a) 、(c) 及び(d) は、本発明の第 5 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図 5 (b) は、本発明の第 5 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

40

【図 6】図 6 (a) 及び図 6 (c) ~ (e) は、本発明の第 6 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図 6 (b) は、本発明の第 6 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【図 7】図 7 (a) 及び図 7 (c) ~ (e) は、本発明の第 7 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図であり、図 7 (b) は、本発明の第 7 の実施形態に係る半導体装置の製造方法の一工程を示す平面図である。

【符号の説明】

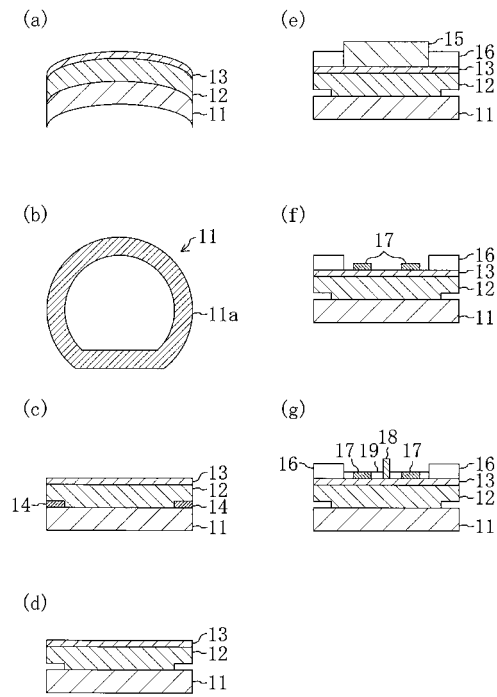
【 0 1 3 8 】

1 1 サファイア基板

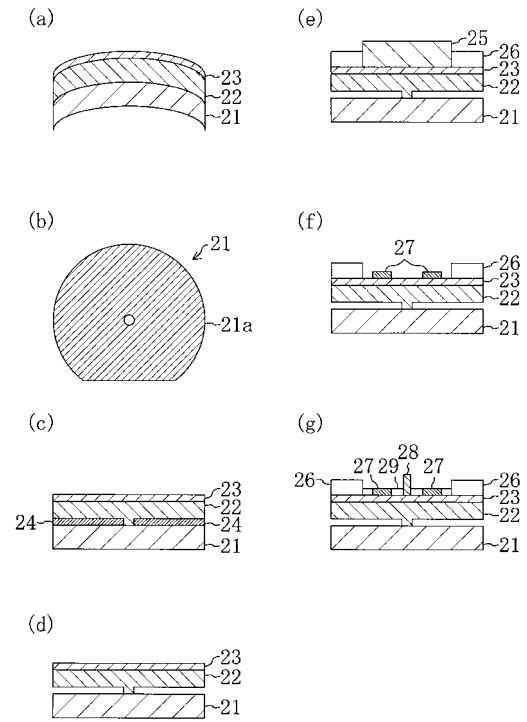
50

1 1 a	光照射部	
1 2	第 1 の半導体層	
1 3	第 2 の半導体層	
1 4	熱分解層	
1 5	マスク	
1 6	素子分離層	
1 7	ソース・ドレイン電極	
1 8	ゲート電極	
1 9	パッシベーション膜	
2 1	サファイア基板	10
2 1 a	光照射部	
2 2	第 1 の半導体層	
2 3	第 2 の半導体層	
2 4	熱分解層	
2 5	マスク	
2 6	素子分離層	
2 7	ソース・ドレイン電極	
2 8	ゲート電極	
2 9	パッシベーション膜	
3 1	サファイア基板	20
3 2	第 1 の半導体層	
3 3	第 2 の半導体層	
3 4	熱分解層	
3 5	光照射部	
3 6	光照射部	
4 1	サファイア基板	
4 1 a	光照射部	
4 2	第 1 の半導体層	
4 3	第 2 の半導体層	
4 4	熱分解層	30
5 1	サファイア基板	
5 1 a	光照射部	
5 2	第 1 の半導体層	
5 3	第 2 の半導体層	
5 4	熱分解層	
6 1	サファイア基板	
6 2	第 1 の半導体層	
6 3	第 2 の半導体層	
6 4	熱分解層	
6 5	光照射部	40
6 6	チップ形成領域	
7 1	サファイア基板	
7 2	第 1 の半導体層	
7 3	第 2 の半導体層	
7 4	熱分解層	
7 5	光非照射部	
7 6	光照射部	

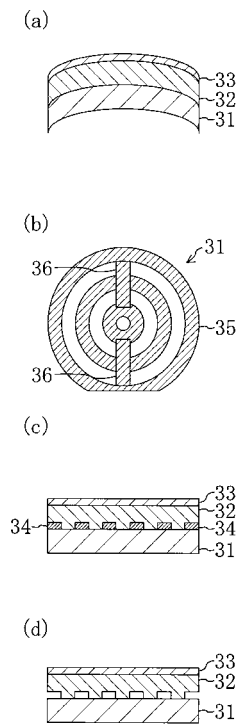
【図 1】



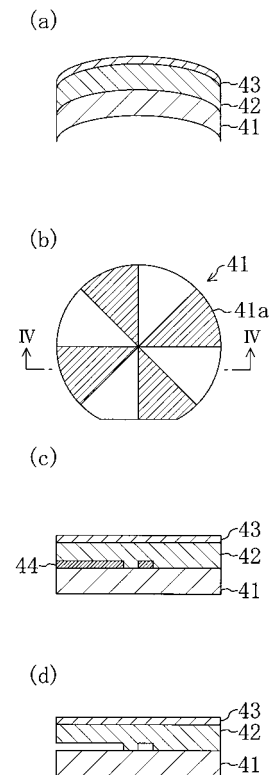
【図 2】



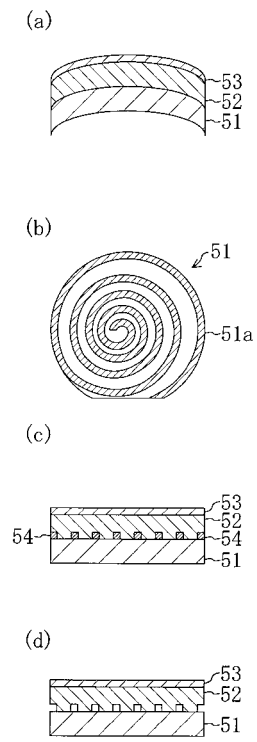
【図 3】



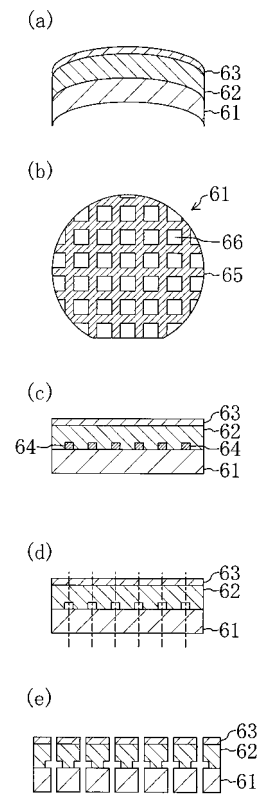
【図 4】



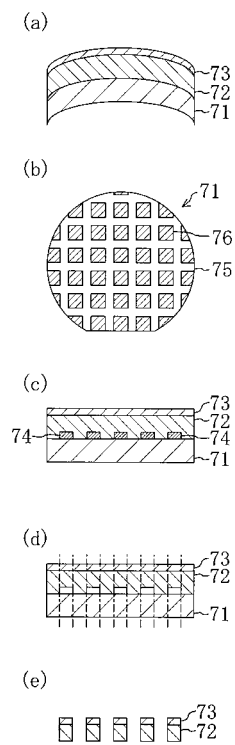
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

- (74)代理人 100115691
弁理士 藤田 篤史
- (74)代理人 100117581
弁理士 二宮 克也
- (74)代理人 100117710
弁理士 原田 智雄
- (74)代理人 100121728
弁理士 井関 勝守
- (72)発明者 廣瀬 裕
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
- (72)発明者 田中 毅
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
- (72)発明者 上田 大助
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

審査官 小林 謙仁

- (56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 0 9 1 6 3 2 (J P , A)
茜俊光 他, "パルスレーザーアブレーションによる GaN のエッチング加工", 電子情報通信学会技術研究報告, 2 0 0 0 年 6 月 1 4 日, Vol.100, No.115, pp.67-71
M.K.Kelly et al., "Optical patterning of GaN films", Appl. Phys. Lett., 1 9 9 6 年 9 月 1 6 日, Vol.69, No.12, pp.1749-1751
J.Zhang et al., "Study on high-speed deep etching of GaN film by UV laser ablation", Journal of Crystal Growth, 1 9 9 8 年, Vol.189/190, , pp.725-729

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H 0 1 L 3 3 / 0 0
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0
H 0 1 L 2 1 / 2 0 5、2 1 / 3 1
H 0 1 L 2 1 / 3 6 5、2 1 / 4 6 9、2 1 / 8 6
C 3 0 B 1 / 0 0 - 3 5 / 0 0
J S T P l u s (J D r e a m I I)