

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6425835号
(P6425835)

(45) 発行日 平成30年11月21日(2018.11.21)

(24) 登録日 平成30年11月2日(2018.11.2)

(51) Int. Cl.		F I	
C 3 O B	33/00	(2006.01)	C 3 O B 33/00
C 3 O B	29/38	(2006.01)	C 3 O B 29/38 D
C 3 O B	29/04	(2006.01)	C 3 O B 29/38 C
H O 1 L	21/02	(2006.01)	C 3 O B 29/04 A
C 2 3 C	16/27	(2006.01)	H O 1 L 21/02 B

請求項の数 15 (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2017-558437 (P2017-558437)
 (86) (22) 出願日 平成28年5月11日 (2016.5.11)
 (65) 公表番号 特表2018-514498 (P2018-514498A)
 (43) 公表日 平成30年6月7日 (2018.6.7)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2016/060493
 (87) 国際公開番号 W02016/180849
 (87) 国際公開日 平成28年11月17日 (2016.11.17)
 審査請求日 平成30年1月10日 (2018.1.10)
 (31) 優先権主張番号 62/161,636
 (32) 優先日 平成27年5月14日 (2015.5.14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 1509766.0
 (32) 優先日 平成27年6月5日 (2015.6.5)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(73) 特許権者 516286073
 アールエフエイチアイシー コーポレイション
 大韓民国 14055 キョンギード アニャンーシ ドンアンーグ プリムーロ 170ボンーギル アールエフエイチアイシービルディング41-14
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ダイヤモンドー半導体複合基板を製造する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体・オン・ダイヤモンド複合基板を製造する方法であって、当該方法は、
 (i) 化合物半導体が上に配置されたネイティブ炭化ケイ素基板を有するネイティブ半導体ウエハから出発するステップと、
 (i i) 前記化合物半導体に炭化ケイ素キャリア基板を接合するステップと、
 (i i i) 前記ネイティブ炭化ケイ素基板を除去するステップと、
 (i v) 前記化合物半導体の上に核生成層を形成するステップと、
 (v) 前記核生成層上に多結晶化学気相成長 (C V D) ダイヤモンドを成長させて、複合ダイヤモンド - 化合物半導体 - 炭化ケイ素ウエハを形成するステップと、
 (v i) 前記炭化ケイ素キャリア基板を除去して、前記核生成層を介して前記多結晶 C V D ダイヤモンドに接合された前記化合物半導体を有する層状構造を達成するステップとを有し、
 ステップ (i i) において、前記炭化ケイ素キャリア基板は、前記炭化ケイ素キャリア基板の厚さよりも短いコヒーレンス長のレーザ光を吸収するレーザ吸収材料を介して、前記化合物半導体に接合され、
 ステップ (v i) において、前記炭化ケイ素キャリア基板は、
 複合ダイヤモンド - 化合物半導体 - 炭化ケイ素ウエハを少なくとも 1 0 0 の温度まで加熱し、
 前記炭化ケイ素キャリア基板の厚さよりも短いコヒーレンス長を持つレーザ光を、前

記炭化ケイ素キャリア基板を通じて導き、該レーザ光が前記レーザ吸収材料によって吸収され、そして

前記レーザ光への曝露後に前記複合ダイヤモンド - 化合物半導体 - 炭化ケイ素ウエハを冷却して、前記化合物半導体からの前記炭化ケイ素キャリア基板の分離を生じさせる、ことによつて、前記化合物半導体から除去される、方法。

【請求項 2】

前記炭化ケイ素キャリア基板と前記化合物半導体との間に設けられる前記レーザ吸収材料はセラミック材料である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記炭化ケイ素キャリア基板と前記化合物半導体との間に設けられる前記レーザ吸収材料は多結晶シリコン又は非晶質シリコンである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記レーザ吸収材料は、前記炭化ケイ素キャリア基板を前記化合物半導体に接合するのに先立って、前記炭化ケイ素キャリア基板上にコーティングされる、請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の方法。

【請求項 5】

前記炭化ケイ素キャリア基板は、100 マイクロメートルから 2000 マイクロメートルの範囲内の厚さを有する、請求項 1 乃至 4 の何れかに記載の方法。

【請求項 6】

前記炭化ケイ素キャリア基板は、少なくとも 50 mm の直径を有する、請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の方法。

【請求項 7】

前記ネイティブ炭化ケイ素基板は、
前記ネイティブ炭化ケイ素基板の大部分を機械的にラッピング又はポリッシングすることと、
前記ネイティブ炭化ケイ素基板の残部をドライエッチングすることと、
を有する二段階プロセスを用いて除去される、請求項 1 乃至 6 の何れかに記載の方法。

【請求項 8】

前記核生成層は、ナノ結晶ダイヤモンド、炭化ケイ素、シリコン、窒化ケイ素、二酸化ケイ素、窒化アルミニウム、酸化マグネシウム、窒化ホウ素、又は酸化ベリリウムの中の 1 つ以上を有する、請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の方法。

【請求項 9】

前記多結晶 CVD ダイヤモンドは、少なくとも 50 マイクロメートルの厚さまで成長される、請求項 1 乃至 8 の何れかに記載の方法。

【請求項 10】

ステップ (v i) において、前記複合ダイヤモンド - 化合物半導体 - 炭化ケイ素ウエハは、100 から 550 の範囲内の温度まで加熱される、請求項 1 乃至 9 の何れかに記載の方法。

【請求項 11】

前記レーザ光の前記コヒーレンス長は、10 マイクロメートルから 400 マイクロメートルの範囲内である、請求項 1 乃至 10 の何れかに記載の方法。

【請求項 12】

前記レーザ光は、400 nm から 1200 nm の範囲内の波長を有する、請求項 1 乃至 11 の何れかに記載の方法。

【請求項 13】

前記レーザ光は、1 フェムト秒から 1000 フェムト秒の範囲内のパルス幅を有する、請求項 1 乃至 12 の何れかに記載の方法。

【請求項 14】

前記レーザ吸収材料によって吸収されるように前記レーザ光を前記炭化ケイ素キャリア

10

20

30

40

50

基板を通じて導くステップは、冷却に先立って前記レーザ吸収材料の層全体がレーザ光に曝されるまで前記炭化ケイ素キャリア基板の上でレーザビームを移動させることを有する、請求項 1 乃至 1 3 の何れかに記載の方法。

【請求項 1 5】

前記化合物半導体は、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化アルミニウムガリウム、及び窒化インジウムアルミニウムガリウムのうちの 1 つ以上を有する、請求項 1 乃至 1 4 の何れかに記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ダイヤモンド・半導体複合基板を製造する方法に関する。特定の実施形態は、窒化ガリウム(GaN)・オン・炭化ケイ素(SiC)基板から出発してGaN・オン・ダイヤモンド基板を製造する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

次世代半導体デバイス、そして特に、例えば窒化ガリウムなどの化合物半導体に基づくものが、例えば高電子移動度トランジスタ(HEMT)などのハイパワー及び/又は高周波のデバイス向けに提案されている。例えばGaNなどの化合物半導体の十分な恩恵の実現を可能にすることに対する 1 つの制限は、熱マネジメントのものである。この目的のため、非常に高い熱伝導率を有するものである合成ダイヤモンド熱拡散基板を、例えばGaN系半導体デバイス構造などの半導体デバイス構造に近接させて一体化することで、より高い電力密度の使用や、より高いデバイス詰め込み密度を可能にすること及び/又はそのようなデバイスの寿命を延ばすことが提案されている。

【0003】

近年、単結晶シリコン基板上に高品質の単結晶GaNを製造する方法が開発されている。これらの方法は典型的に、単結晶シリコン基板と単結晶GaN材料との間の格子不整合から生じる歪みを緩和するために、その上に単結晶GaNがエピタキシャル成長されるシリコン基板の直上に歪み制御層を設けることを含む。このように、現在、シリコン基板上の高品質の単結晶GaNが商業的に入手可能である。しかしながら、このような基板に伴う 1 つの問題は、シリコン材料の熱伝導率が比較的 low、故に、上に位置するGaNを、熱マネジメント問題を生じさせることなく、その完全なる潜在能力まで駆動することができないことである。

【0004】

上述のものに加えて、単結晶炭化ケイ素基板上に高品質の単結晶GaNを製造する方法も開発されている。炭化ケイ素(シリコンカーバイド)はシリコンよりも高い熱伝導率を有する。やはり、この方法は典型的に、単結晶炭化ケイ素基板と単結晶GaN材料との間の格子不整合から生じる歪みを緩和するために、その上に単結晶GaNがエピタキシャル成長される炭化ケイ素基板の直上に歪み制御層を設けることを含む。このように、現在、炭化ケイ素基板上の高品質の単結晶GaNが商業的に入手可能であり、特定の用途では、炭化ケイ素ベースの基板の改善された熱性能に加えて、例えば低い欠陥密度といったGaNの特定の特性に因り、このような基板ウエハが好ましい。1 つの欠点は、これらの炭化ケイ素ベースの基板がシリコンベースの選択肢よりも高価なことである。さらに、炭化ケイ素の熱伝導率はシリコンよりも高いものの、依然として、上に位置するGaNを、熱マネジメント問題を生じさせることなく、その完全なる潜在能力まで駆動することはできない。

【0005】

現在利用可能なシリコンソリューション及び炭化ケイ素ソリューションに代わる 1 つの考え得るソリューションは、他の熱マネジメント材料よりも遥かに高い熱伝導率を持つ合成ダイヤモンド基板上に、例えばGaNなどの高品質単結晶半導体層を製造する方法を開発することである。これに関して、通常、薄い単結晶シリコン又は炭化ケイ素層をダイヤ

10

20

30

40

50

モンド基板上に配設し、この薄いシリコン又は炭化ケイ素の層上にGaNをエピタキシャル成長させることで、例えばGaNなどの半導体をダイヤモンド基板上に成長させることが可能である。しかしながら、これまで、シリコン又は炭化ケイ素基板上でのGaN成長と比較して、歪み制御問題に起因して、このような基板上に同じ品質の単結晶GaN材料を達成することは可能でなかった。さらに、ダイヤモンド基板上の単結晶シリコン又は炭化ケイ素の高品質・低欠陥の薄い層は、シリコン半導体成長のための良好なエピタキシャル基板を提供するものであるとともに、上に位置する半導体層と下に位置するダイヤモンド熱拡散材料との間の熱障壁抵抗の問題を緩和するために非常に薄いもの（例えば、50nm未満の厚さ）でもあるが、このような層を設けることは困難である。

【0006】

以上に照らして、GaNがシリコン又は炭化ケイ素基板上に成長され、次いで、GaNが合成ダイヤモンド基板に転写される別のアプローチが提案されている。単結晶半導体は、通常、露出した上面に製造される半導体デバイスに対して最適化されたエピタキシャル層状構造（所謂“エピ層”構造）を有するので、殆どの場合において、単にGaNエピ層構造の露出した上面にダイヤモンド層を設けるのではなく、下に位置するシリコン又は炭化ケイ素基板を合成ダイヤモンド基板で置き換えることが望ましい。すなわち、転写プロセスは、ネイティブ（在来）の成長基板の除去と、その代わりに合成ダイヤモンド基板の配設とを含む。そのようなプロセスでは、2つのファクタが重要であり、すなわち、(i) 転写プロセスがGaNエピ層構造を過度に損傷しないこと、及び(ii) 合成ダイヤモンド基板が、活性GaNエピタキシャル構造と合成ダイヤモンド材料との間に低い熱障壁抵抗を持って、GaNエピ層構造と密に熱接触して一体化されることが重要である。

【0007】

特許文献1（US7595507）は、ネイティブシリコン基板から合成ダイヤモンドベースの基板へとGaNエピ層構造を転写する製造方法を開示している。その方法は、(i) その上に化合物半導体（例えば、GaN）が配置されるネイティブ成長基板（例えば、シリコン）を用意することと、(ii) 化合物半導体層にキャリア基板を接合することと、(iii) ネイティブ成長基板を除去することと、(iv) 化合物半導体層上に核生成層を形成することと、(v) 核生成層上に多結晶CVDダイヤモンドを成長させることと、次いで、(vi) キャリア基板を除去することで、核生成層を介して多結晶CVDダイヤモンドに接合された化合物半導体を有する層状構造を達成することとを有する。

【0008】

上述の製造方法では、通常、中間キャリア基板に関して選択される材料は、種々の応力マネジメント問題を導入することを避けるために、ネイティブ成長基板の材料と同じにされる。ネイティブ基板及び中間キャリア基板にシリコンが使用される場合、これらの基板は、原則として、例えば従来からの機械的研削（グラインディング）技術及び/又は研削とエッチングとの組み合わせによって除去され得る。しかしながら、これに関して見出されたことには、成長基板に対しては、プロセスのこの段階ではウエハが平坦であるため、従来からの研削が機能するが、ダイヤモンド成長後の中間キャリア基板の除去がよりいっそう問題となる。これは、中間キャリア基板が、ダイヤモンド成長後に反らされて、従来からの研削によってでは容易に除去され得ないためである。

【0009】

特許文献1（US7595507）は、ワイドギャップ半導体の成長に使用される典型的な基板がサファイア、炭化ケイ素及びシリコンであること、及び、基板が、その除去が困難であるサファイア又は炭化ケイ素である場合に、その基板は化学的リフトオフ又はレーザーリフトオフによって除去され得ることを示している。しかしながら、ダイヤモンド成長後に炭化ケイ素の中間キャリア基板を除去する試みは問題を有することが判明した。この炭化ケイ素は、湿式又は乾式の何れの化学プロセスによっても、容易にエッチングされることができない。更には、この炭化ケイ素は、ダイヤモンド成長後の炭化ケイ素-半導体-ダイヤモンド複合ウエハの反りがその厚さを超えるため、ラッピングでも容易に除去されることができない。より更には、レーザーリフトオフ技術を用いて炭化ケイ素キャリア

10

20

30

40

50

基板を除去する試みは、そのような技術が使用される時にダイヤモンド - 半導体ウエハが碎け散ることを引き起こした。

【 0 0 1 0 】

以上に照らして、本発明の実施形態の1つの目的は、上述の問題を解決し、炭化ケイ素 - 半導体ネイティブウエハで出発してダイヤモンド - 半導体複合基板を製造するための実行可能な製造方法を提供することである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 1 1 】

【特許文献1】米国特許第7595507号明細書

10

【発明の概要】

【 0 0 1 2 】

本発明は、半導体・オン・ダイヤモンド複合基板を製造する方法を提供し、当該方法は、

(i) 化合物半導体が上に配置されたネイティブ炭化ケイ素基板を有するネイティブ半導体ウエハから出発するステップと、

(i i) 上記化合物半導体に炭化ケイ素キャリア基板を接合するステップと、

(i i i) 上記ネイティブ炭化ケイ素基板を除去するステップと、

(i v) 上記化合物半導体の上に核生成層を形成するステップと、

(v) 上記核生成層上に多結晶化学気相成長 (C V D) ダイアモンドを成長させて、複合ダイヤモンド - 化合物半導体 - 炭化ケイ素ウエハを形成するステップと、

20

(v i) 上記炭化ケイ素キャリア基板を除去して、上記核生成層を介して上記多結晶 C V D ダイアモンドに接合された上記化合物半導体を有する層状構造を達成するステップとを有し、

ステップ (i i) において、上記炭化ケイ素キャリア基板は、上記炭化ケイ素キャリア基板の厚さよりも短いコヒーレンス長のレーザ光を吸収するレーザ吸収材料を介して、上記化合物半導体に接合され、

ステップ (v i) において、上記炭化ケイ素キャリア基板は、

複合ダイヤモンド - 化合物半導体 - 炭化ケイ素ウエハを少なくとも 1 0 0 の温度まで加熱し、

30

上記炭化ケイ素キャリア基板の厚さよりも短いコヒーレンス長を持つレーザ光を、上記炭化ケイ素キャリア基板を通じて導き、該レーザ光が上記レーザ吸収材料によって吸収され、そして

上記レーザ光への曝露後に上記複合ダイヤモンド - 化合物半導体 - 炭化ケイ素ウエハを冷却して、上記化合物半導体からの上記炭化ケイ素キャリア基板の分離を生じさせる、

ことによって、上記化合物半導体から除去される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

本発明のよりよい理解のため、及び本発明がどのように実施され得るかを示すため、ここで、添付の図面を参照して例として、本発明の実施形態を説明する。

40

【図1】図1 (i) - (v i) は、半導体・オン・炭化ケイ素ウエハで出発して半導体・オン・ダイヤモンドウエハを製造するための製造方法を例示している。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

本発明の実施形態は、炭化ケイ素 - 半導体ネイティブウエハで出発してダイヤモンド - 半導体複合基板を製造するための実行可能な手段を提供する。図1 (i) に例示する製造方法の出発点は、化合物半導体 1 2 (例えば、Ga N) が上に配置されたネイティブ炭化ケイ素成長基板 1 0 を有するネイティブ半導体ウエハである。背景技術セクションに記載したように、このようなウエハは、商業的に入手可能であり、単結晶化合物半導体が低い欠陥密度を有して非常に高品質であるように開発されている。

50

【 0 0 1 5 】

図1に例示するステップ(i i)にて、炭化ケイ素キャリア基板16が、炭化ケイ素キャリア基板16よりも長い波長のレーザー光を吸収するレーザー吸収材料14を介して、化合物半導体12に接合される。レーザー吸収材料14は、この製造プロセス内で後に、炭化ケイ素キャリア基板16を解き放つレーザーリフトオフステップにて利用される。その材料は、炭化ケイ素キャリア基板を通過するレーザー光を吸収するように選択され、セラミック材料(例えば、ポリシリコン又はアモルファスシリコン)、又はこの接合プロセスを乗り切ることができるとともに、炭化ケイ素キャリア基板が通す光を強く吸収する他の材料として得る。レーザー吸収材料は、炭化ケイ素キャリア基板を化合物半導体に接合するのに先立って、炭化ケイ素キャリア基板上にコーティングされることができる。例えば、炭化ケイ素は1マイクロメートルの波長の光を吸収しないが、ポリシリコンは吸収する。従って、1マイクロメートルの波長の光を炭化ケイ素キャリア基板を通じて導き、そして、この光をポリシリコン層によって光を吸収させることで、後述するように、炭化ケイ素キャリア基板の分離を生じさせることが可能である。

10

【 0 0 1 6 】

炭化ケイ素キャリア基板は、100マイクロメートルから2000マイクロメートルの範囲内の厚さを有し得る。炭化ケイ素キャリア基板の厚さは、この製造方法において後にリフトオフ手順で使用されるレーザー光のコヒーレンス長よりも大きくなければならない。見出されたことには、レーザー光のコヒーレンス長が炭化ケイ素キャリア基板の厚さよりも長い場合、炭化ケイ素キャリア基板の滑らかで完全なリフトオフが達成されない。これまた留意されたいことには、ここに記載される製造方法は、大口径の炭化ケイ素キャリア基板の滑らかで完全なリフトオフが可能である。例えば、炭化ケイ素キャリア基板は、少なくとも50mm、80mm、100mm、120mm、140mm、又は150mmの直径を有し得る。

20

【 0 0 1 7 】

図1に例示するステップ(i i i)にて、ネイティブ炭化ケイ素成長基板10が除去される。1つの可能性によれば、ネイティブ炭化ケイ素成長基板10は、ネイティブ炭化ケイ素成長基板10の大部分を機械的にラッピング(粗研磨)又はポリッシング(研磨)することと、ネイティブ炭化ケイ素成長基板の残部をドライエッチングすることと、を有する二段階プロセスを用いて除去される。複合ウエハはプロセスのこの段階において依然として平坦な構成にあるので、反りは重大な問題でなく、故に、ネイティブ炭化ケイ素基板は、斯くして従来からの処理ステップを用いて除去されることができる。複合基板の有意な反りが炭化ケイ素キャリア基板の除去を特に問題あるものとするのは、後に、CVDダイヤモンド成長後のみである。

30

【 0 0 1 8 】

ネイティブ炭化ケイ素成長基板10の除去後、化合物半導体エピ層構造の下面が露出される。しかしながら、露出された表面に薄いネイティブ歪み整合層が残存しており、有利にはこれらも除去される。これらの層は非常に薄いので、これらネイティブ歪み整合層及びオプションでエピ層構造内のネイティブバッファ層の一部を、化合物半導体エピ層構造の活性領域を損傷することなく除去するには、この段階で注意深い処理が必要とされる。

40

【 0 0 1 9 】

清浄で平坦で低ラフネスの、化合物半導体エピ層構造12の露出した下面が達成されると、その上に、図1(i v)に例示するように、ダイヤモンド成長に適した核生成層18が設けられる。核生成層18は、ナノ結晶ダイヤモンド、炭化ケイ素、シリコン、窒化ケイ素、二酸化ケイ素、窒化アルミニウム、酸化マグネシウム、窒化ホウ素、又は酸化ベリリウムのうちの1つ以上を有し得る。核生成層18はまた、ダイヤモンド成長に先立ってダイヤモンド粉末で種付けされ得る。核生成層は、ダイヤモンド成長中に化合物半導体を保護するように機能するとともに、ダイヤモンド成長に好適な表面を提供する。しかしながら、この層は、後続の製造ステップにおいて構造体にダイヤモンド熱拡散層を一体化することの利益を減じてしまう熱障壁をもたらすので、非常に薄く(例えば、50nm未満

50

の厚さ)にされるべきである。

【0020】

図1に例示するステップ(v)にて、核生成層18上に多結晶の化学気相成長(CVD)されたダイヤモンド20が成長されて、複合ダイヤモンド-化合物半導体-炭化ケイ素ウエハが形成される。効率的な熱拡散のために、比較的厚くて高熱伝導の多結晶CVDダイヤモンドの層が設けられ得る。例えば、多結晶CVDダイヤモンドは、少なくとも50マイクロメートル、100マイクロメートル、150マイクロメートル、200マイクロメートル、又は300マイクロメートルの厚さまで成長され得る。しかしながら、炭化ケイ素とダイヤモンド材料との間の熱膨張係数の差に起因して、得られるダイヤモンド-化合物半導体-炭化ケイ素ウエハは有意に反る。これは、後述するように最終的なダイヤモンド・オン・半導体ウエハを達成するために必要とされる炭化ケイ素キャリア基板の除去まで来た時に問題となる。

10

【0021】

ダイヤモンド成長の後、化合物半導体・オン・ダイヤモンドを自立ウエハとして残すように、炭化ケイ素基板を除去する必要がある。しかしながら、炭化ケイ素は、湿式又は乾式の何れの化学プロセスによっても容易にエッチングされることができないため、除去することが困難である。さらに、SiCウエハの反りがその厚さを超えているため、これはラッピング又はポリッシングによっても容易に除去されることができない。レーザを、炭化ケイ素と化合物半導体との間の中間層で吸収されるように、炭化ケイ素基板を介して投じることによって、炭化ケイ素キャリア基板にレーザリフトオフ技術を使用することが提案されている。しかしながら、これは問題となることを見出された。何故なら、ダイヤモンド-炭化ケイ素の系の中に築き上げられる応力(温度にわたってのCTEの差によって引き起こされる)が、レーザリフトオフプロセス中にウエハを爆発させるからである。

20

【0022】

本発明者は、今や、レーザリフトオフプロセス中のウエハの割れ及び破断を回避するレーザリフトオフプロセスの具体的な実行法を見出した。この方法においては、図1(vi)に例示するように、核生成層18を介して多結晶CVDダイヤモンド20に接合された化合物半導体12を有する層状構造を達成するように、炭化ケイ素キャリア基板16が除去される。この除去ステップは、

複合ダイヤモンド-化合物半導体-炭化ケイ素ウエハを少なくとも100の温度(例えば、少なくとも150、200、300、400、又は450)まで加熱し、

30

炭化ケイ素キャリア基板の厚さよりも短いコヒーレンス長を持つレーザ光を、炭化ケイ素キャリア基板16を通じて導き、該レーザ光がレーザ吸収材料14によって吸収され、そして

レーザ光への曝露後に複合ダイヤモンド-化合物半導体-炭化ケイ素ウエハを冷却して、化合物半導体12からの炭化ケイ素キャリア基板16の分離を生じさせる、

ことを有する。

【0023】

見出されたことには、ウエハを適度なレベルまで加熱し、そして、短コヒーレンス長のレーザを使用することにより、ダイヤモンド-半導体ウエハを破碎することなく、大面積の炭化ケイ素キャリアウエハの綺麗で完全な分離を達成することが可能である。故に、炭化ケイ素キャリア基板の厚さよりも短いコヒーレンス長を有するレーザを選択し、そして、基板を150、200、300、400、又は450よりも高い温度まで加熱することが必要とされる。

40

【0024】

より長いコヒーレンス長のレーザが利用される場合、ウエハは、分離された領域と分離されていない領域とのパターンを発現させる。そのようなプロセスの結果は、分離プロセス中に複合ウエハが割れることである。さらに、これまた見出されたことには、分離プロセスが室温で行われる場合、分離はかなりの量の内在エネルギーの放出を伴う。このエネ

50

ルギー放出は、ウエハを破碎し、半導体材料の複数領域がダイヤモンド基板ではなく炭化ケイ素キャリアに付着したままになることを生じさせる。炭化ケイ素からのダイヤモンド/半導体のゆっくりした解放を可能にするために、ダイヤモンド及び炭化ケイ素の双方がレーザーリフトオフプロセス中に例えば200よりも高い温度まで加熱され、そして、ウエハ全体がレーザーに曝された後に、ウエハ全体が冷却されることで、滑らかで一様な分離が生み出される。

【0025】

レーザーリフトオフステップにおいて、複合ダイヤモンド-化合物半導体-炭化ケイ素ウエハは、少なくとも100、150、200、300、400、又は450、且つ/或いは、650、600、又は550以下、且つ/或いは、これらの上限値及び下限値の何らかの組合せによって定められる範囲内、の温度まで加熱され得る。これをこのような低い温度で行うことができるという事実は驚くべきことである。何故なら、炭化ケイ素・オン・ダイヤモンドウエハの反り測定が指し示すのは、ダイヤモンド・オン・炭化ケイ素の反りを加熱によって200マイクロメートル未満に抑えることは、650超までウエハを加熱することを必要とするというものだからである。これに関して、200マイクロメートルという反りは、標準的なダイヤモンド・オン・シリコンウエハと同じ応力レベルに達するのに必要とされる反りであるので、意味を帯びた数字である。このように、100と650との間の穏やかな加熱のみを用いて除去ステップを行うことができるというのは驚くべきことである。

【0026】

レーザー光のコヒーレンス長は、10マイクロメートルから400マイクロメートルの範囲内とし得る。また、レーザー光は、400nmから1200nmの範囲内の波長、及び/又は1ナノ秒から1000フェムト秒の範囲内のパルス幅を有し得る。これに関して留意されたいことには、光源のコヒーレンス長 L_c は近似的に、関係：

$$L_c = \frac{2}{\Delta \lambda}$$

によって与えられる。ここで、 λ は光の波長であり、 $\Delta \lambda$ はスペクトル帯域幅である。ほぼ変形制限されたパルスでは、コヒーレンス長とパルス幅は直接的に $L_c \propto \tau$ によって関係付けられる。例えば、100fsレーザーパルスは、およそ30 μ mのコヒーレンス長を有する。

【0027】

通常は、より長いコヒーレンス長のレーザーの方が、大抵の用途にとっていっそう良好なレーザーであると考えられているので、この用途に短コヒーレンス長レーザーが必要とされるというのは驚くべきことである。この点において、より低品質のレーザーの方がこの用途には良い。このようなレーザーが、分離を実効せしめるために、冷却に先立ってレーザー吸収材料の層全体がレーザー光に曝されるまで、炭化ケイ素キャリア基板の上で走査され得る。

【0028】

本方法は、炭化ケイ素基板をダイヤモンド基板に置き換えるように、多くの異なる種類の半導体・オン・炭化ケイ素ウエハに適用され得る。例えば、化合物半導体は、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化アルミニウムガリウム、及び窒化インジウムアルミニウムガリウムのうちの1つ以上を有し得る。

【0029】

実施形態を参照して本発明を具体的に示して説明してきたが、当業者には理解されるように、形態及び詳細における様々な変更が、添付の特許請求の範囲によって定められる本発明の範囲を逸脱することなく為され得る。

【 図 1 】

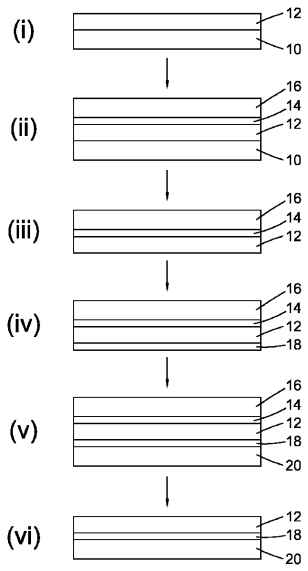


Fig. 1

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 2 3 C 16/27

(72)発明者 フランシス, ダニエル
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054, サンタ クララ, パートン ドライヴ 390
1, エLEMENT シックス テクノロジーズ ユーエス コーポレイション

審査官 高 橋 真由

(56)参考文献 米国特許出願公開第2014/0141595(US, A1)
特表2011-517085(JP, A)
中国特許出願公開第102664221(CN, A)
特開2002-338398(JP, A)
特表2013-513487(JP, A)
特開2013-118272(JP, A)
米国特許出願公開第2006/0266280(US, A1)
特開2006-306719(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C 3 0 B 1 / 0 0 - 3 5 / 0 0
H 0 1 L 2 1 / 0 2
C 2 3 C 1 6 / 2 7
J S T P l u s / J M E D P l u s / J S T 7 5 8 0 (J D r e a m I I I)