

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5383143号
(P5383143)

(45) 発行日 平成26年1月8日(2014.1.8)

(24) 登録日 平成25年10月11日(2013.10.11)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 L 21/20 (2006.01)	HO 1 L 21/20
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 1 L 29/78 627 G
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 627 D
GO 2 F 1/1368 (2006.01)	GO 2 F 1/1368
HO 1 L 51/50 (2006.01)	HO 5 B 33/14 A

請求項の数 8 (全 72 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2008-261866 (P2008-261866)	(73) 特許権者	000153878 株式会社半導体エネルギー研究所 神奈川県厚木市長谷398番地
(22) 出願日	平成20年10月8日(2008.10.8)	(72) 発明者	山崎 舜平 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社 半導体エネルギー研究所内
(65) 公開番号	特開2009-124117 (P2009-124117A)	審査官	柴山 将隆
(43) 公開日	平成21年6月4日(2009.6.4)		
審査請求日	平成23年9月5日(2011.9.5)		
(31) 優先権主張番号	特願2007-264900 (P2007-264900)		
(32) 優先日	平成19年10月10日(2007.10.10)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2007-267273 (P2007-267273)		
(32) 優先日	平成19年10月12日(2007.10.12)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2007-275831 (P2007-275831)		
(32) 優先日	平成19年10月23日(2007.10.23)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体基板の作製方法および半導体装置の作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガラス基板上に単結晶半導体層をバッファ層を介して固定し、
加熱された窒素ガスを吹きつけながら、ガラス基板の歪点以下の温度で前記単結晶半導体層を加熱し、かつ前記単結晶半導体層の一部にレーザ光を照射して、下層に単結晶半導体を残したまま、上層を溶融させることで、前記単結晶半導体層を前記下層の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体に再単結晶化させる半導体装置の作製方法であって、
前記窒素ガスは、基板の表面側及び裏面側の両方から吹きつけることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 2】

ガラス基板上に単結晶半導体層をバッファ層を介して固定し、
加熱された窒素ガスを吹きつけながら、ガラス基板の歪点以下の温度で前記単結晶半導体層を加熱し、かつ前記単結晶半導体層の一部にレーザ光を照射して、深さ方向の層全体を溶融させて前記レーザ光の照射領域と隣接する領域の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体に再単結晶化させる半導体装置の作製方法であって、
前記窒素ガスは、基板の表面側及び裏面側の両方から吹きつけることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 3】

ガラス基板上に単結晶半導体層をバッファ層を介して固定し、
加熱された窒素ガスを吹きつけながら、ガラス基板の歪点以下の温度で前記単結晶半導

10

20

体層が固定された前記ガラス基板を加熱し、かつ前記単結晶半導体層の一部に線状のレーザ光を照射して、下層の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体に再単結晶化させ、

前記線状のレーザ光の照射領域における長手方向に直交する方向に前記ガラス基板を移動させて、前記単結晶半導体層を再単結晶化させ、かつ平坦化させる半導体装置の作製方法であって、

前記窒素ガスは、基板の表面側及び裏面側の両方から吹きつけることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 4】

ガラス基板上に単結晶半導体層をバッファ層を介して固定し、

10

加熱された窒素ガスを吹きつけながら、ガラス基板の歪点以下の温度で前記単結晶半導体層が固定された前記ガラス基板を加熱し、かつ前記単結晶半導体層の一部に線状のレーザ光を照射して、深さ方向の層全体を溶融させて、前記レーザ光の照射領域と隣接する領域の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体に再単結晶化させ、

前記線状のレーザ光の照射領域における長手方向に直交する方向に前記ガラス基板を移動させて、前記単結晶半導体層を再単結晶化させ、かつ平坦化させる半導体装置の作製方法であって、

前記窒素ガスは、基板の表面側及び裏面側の両方から吹きつけることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 5】

20

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項において、

前記再単結晶化とともに前記レーザ光の照射により溶融されていた単結晶部分の欠陥を修復することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項において、

前記支持基板は、無アルカリガラス基板（商品名 A N 1 0 0 ）、無アルカリガラス基板（商品名 E A G L E 2 0 0 0 （登録商標））または無アルカリガラス基板（商品名 E A G L E X G （登録商標））であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 7】

30

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項において、

前記窒素ガスは、酸素ガスの濃度が 3 0 p p m 以下であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項において、

前記窒素ガスは、酸素ガスの濃度が 3 0 p p b 以下であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、絶縁層上に形成された半導体層を有する半導体基板の作製方法および半導体装置の作製方法に関する。

40

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

近年、バルク状のシリコンウエハに代わり、S O I (S i l i c o n O n I n s u l a t o r) 基板を使った集積回路が開発されている。絶縁層上に形成された薄い単結晶シリコン層の特長を生かすことで、集積回路中のトランジスタの半導体層を完全に分離して形成することができ、またトランジスタを完全空乏型とすることができるため、高集積、高速駆動、低消費電力など付加価値の高い半導体集積回路が実現できる。

【 0 0 0 3 】

S O I 基板として、S I M O X 基板、貼り合わせ基板が知られている。例えば S I M O

50

X基板は、単結晶シリコン基板に酸素イオンを注入し、1300以上で熱処理して埋め込み酸化膜(BOX; Buried Oxide)層を形成することにより、表面に単結晶シリコン薄膜を形成してSOI構造を得ている。

【0004】

貼り合わせ基板は、酸化膜を介して2枚の単結晶シリコン基板(ベース基板およびボンド基板)を貼り合わせ、一方の単結晶シリコン基板(ボンド基板)を裏面(貼り合わせた面ではない面)から薄膜化することにより、単結晶シリコン薄膜を形成してSOI構造を得ている。研削や研磨では均一で薄い単結晶シリコン薄膜を形成することが難しいため、スマートカット(登録商標)と呼ばれる水素イオン注入を利用する技術が提案されている(例えば、特許文献1参照)。

10

【0005】

このSOI基板の作製方法の概要を説明すると、シリコンウエハに水素イオンを注入することによって、表面から所定の深さにイオン注入層を形成する。次に、ベース基板となる別のシリコンウエハを酸化して酸化シリコン膜を形成する。その後、水素イオンを注入したシリコンウエハと、別のシリコンウエハの酸化シリコン膜とを接合させて、2枚のシリコンウエハを貼り合わせる。そして、加熱処理によって、イオン注入層を劈開面としてシリコンウエハを劈開させることで、ベース基板に薄い単結晶シリコン層が貼り付けられた基板が形成される。

【0006】

また、ガラス基板に単結晶シリコン層が貼り付けられたSOI基板を形成する方法が知られている(例えば、特許文献2参照)。特許文献2では、水素イオン注入によって形成された欠陥層や、分離面の数nm~数十nmの段差を除去するために、分離面を機械研磨している。

20

【0007】

また、特許文献3及び特許文献4にスマートカット(登録商標)を利用して耐熱性の高い基板を支持基板として用いる半導体装置の作製方法を開示し、特許文献5にスマートカット(登録商標)を利用して支持基板として透光性基板を用いた半導体装置の作製方法を開示している。

【特許文献1】特開平5-211128号公報

30

【特許文献2】特開平11-097379号公報

【特許文献3】特開平11-163363号公報

【特許文献4】特開2000-012864号公報

【特許文献5】特開2000-150905号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ガラス基板はシリコンウエハよりも大面積であり、安価であることから、ガラス基板を支持基板として用いることで、大面積で安価なSOI基板を作製することが可能になる。しかしながら、ガラス基板は、歪み点が700以下であり、耐熱性が低い。このため、ガラス基板の耐熱温度を超える温度で加熱することはできず、プロセス温度は700以下に制限されてしまう。つまり、分離面における結晶欠陥の除去、表面の平坦化の工程にも、プロセス温度の制約がある。

40

【0009】

従来、シリコンウエハに貼り付けられた半導体層の結晶欠陥の除去は、1000以上の温度で加熱することで実現できるが、歪み点が700以下のガラス基板に貼り付けられた半導体層の結晶欠陥の除去には、このような高温プロセスは用いることができない。すなわち、従来では、歪み点が700以下のガラス基板に貼り付けられた単結晶半導体層を、加工する前の単結晶半導体基板と同程度の結晶性を有する単結晶半導体層に回復させる再単結晶化方法は確立されていない。

【0010】

50

また、ガラス基板はシリコンウエハよりも撓みやすく、表面にうねりがある。特に一辺が30cmを超える大面積のガラス基板に対して機械研磨による処理を行うことは困難である。よって、加工精度や、歩留まり等の観点から、分離面の機械研磨による処理は、支持基板に貼り付けられた半導体層の平坦化処理に用いることは推奨されない。その一方で、高性能な半導体素子を作製するには、分離面における表面の凹凸を抑えることが要求されている。それは、SOI基板からトランジスタを作製する場合、半導体層上にゲート絶縁層を介してゲート電極が形成される。よって、半導体層の凹凸が大きいと、絶縁耐圧性の高いゲート絶縁層を作製することが困難である。そのため、絶縁耐圧性を高めるために厚いゲート絶縁層が必要になる。よって、半導体層の表面の凹凸が大きいと、ゲート絶縁層との界面準位密度が高くなるなどの原因により、電界効果移動度が低下する、しきい値電圧値の大きさが増加するなど、半導体素子の性能が低下する。

10

【0011】

このように、耐熱性が低く、撓みやすいガラス基板のような基板が支持基板に用いられると、シリコンウエハから分離されて支持基板上に固定された半導体層の表面凹凸を改善することが困難であるという問題が顕在化する。

【0012】

このような問題点に鑑み、本発明は、耐熱性の低い基板が支持基板に用いられたとしても、高性能な半導体素子を形成することを可能とする半導体基板の作製方法を提供することを課題の1つとする。

20

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の半導体基板の作製方法の1つは、単結晶半導体基板および支持基板を用意し、イオンドーピング法により、加速されたイオンを単結晶半導体基板に添加することで、イオンが通過した単結晶半導体基板の表面から浅い部分に対して単結晶半導体基板の表面から深い部分にイオンが添加された損傷領域を形成し、支持基板及び単結晶半導体基板とをバッファ層を介して、支持基板と単結晶半導体基板を密着させ、支持基板と単結晶半導体基板とを貼り合わせ、単結晶半導体基板の加熱によって損傷領域に亀裂を生じさせ、単結晶半導体基板の一部を単結晶半導体基板から分離して単結晶半導体基板から分離された単結晶半導体層が固定された支持基板を形成し、加熱された窒素ガスを吹きつけ、且つ、支持基板にバッファ層を介して固定された単結晶半導体層の一部にレーザ光を照射して、単結晶半導体層を溶融することで、再単結晶化させる。再単結晶化とともに溶融されていた単結晶部分の欠陥を修復する。半導体層へのレーザビームの照射は、単結晶半導体層の上面におけるレーザビームの照射領域に、加熱された窒素ガスを吹き付けながら行われる。

30

【0014】

レーザビームの照射により、単結晶半導体層のレーザビームが照射されている領域の表面から深さ方向の一部を溶融する。または、単結晶半導体層のレーザビームが照射されている領域の深さ方向の全てを溶融する。

【0015】

ここでは、単結晶とは、ある結晶軸に注目した場合、その結晶軸の方向が試料のどの部分において同じ方向を向いている結晶のことをいい、かつ結晶と結晶との間に結晶粒界が存在しない結晶である。なお、本明細書では、結晶欠陥やダンギングボンドを含んでいても、上記のように結晶軸の方向が揃っており、粒界が存在していない結晶であるものは単結晶とする。また、単結晶半導体層の再単結晶化とは、単結晶構造の半導体層が、その単結晶構造と異なる状態（例えば、液相状態）を経て、再び単結晶構造になることをいう。あるいは、単結晶半導体層の再単結晶化とは、単結晶半導体層を再結晶化して、単結晶半導体層を形成するということもできる。

40

【0016】

支持基板には歪み点が650以上690以下の基板を用いることが好ましい。支持基板にはガラス基板を用いることができる。例えば、無アルカリガラス基板を用いることができる。

50

【0017】

また、単結晶半導体基板から分離される単結晶半導体層の厚さは20nm以上200nm以下が好ましい。

【0018】

バッファ層は、1層または2層以上の膜で形成することができる。バッファ層には、支持基板側からナトリウムが拡散することを防止できるバリア層を含むことが好ましい。レーザビームを照射するときに、単結晶半導体層と共に支持基板は加熱され、かつ溶融した単結晶半導体層からの熱が伝導することでも支持基板が加熱される。支持基板にアルカリ金属、またはアルカリ土類金属などの不純物（代表的には、ナトリウム）が含まれている場合、支持基板の温度上昇によって、このような不純物が支持基板から単結晶半導体層に拡散するおそれがある。バリア層を設けることで、単結晶半導体層は不純物が拡散することを防ぐことができる。

10

【0019】

また、バッファ層は、単結晶半導体層に密着し、かつ塩素またはフッ素などのハロゲンを含む絶縁膜を有することが好ましい。

【0020】

本発明の半導体装置の作製方法において、窒素ガス雰囲気中で、レーザビームの照射領域に窒素ガスを吹き付けながら、半導体層にレーザビームを照射することが好ましい。窒素ガス雰囲気に含まれる酸素濃度は30ppm以下、好ましくは30ppb以下であることが好ましい。さらに好ましくは、窒素ガス雰囲気に含まれる水分（H₂O）濃度も30ppm以下であることが好ましい。望ましくは、窒素ガス雰囲気に含まれる酸素濃度30ppb以下、且つ、水分濃度30ppb以下とする。

20

【0021】

また、吹きつける窒素ガスも高純度の窒素ガスを用いることが好ましく、窒素ガスに含まれる酸素濃度は30ppm以下、好ましくは30ppb以下であることが好ましい。また、窒素ガスの水分（H₂O）濃度も30ppm以下であることが好ましい。望ましくは、窒素ガスに含まれる酸素濃度30ppb以下、且つ、水分濃度30ppb以下とする超高純度ガスを用いる。レーザ照射の際に、窒素雰囲気及び吹きつける窒素ガスに含まれる酸素元素を極力低減することで、単結晶半導体層表面にレーザ照射による酸化膜が形成されることを防ぐ。

30

【0022】

また、単結晶半導体層の温度を短時間に昇温させるためには、ステージに加熱手段を設けてステージ加熱と同時に加熱した窒素ガスを吹きつけることが好ましい。また、単結晶半導体層の温度を短時間に昇温させるため、基板の表面側及び裏面側の両方から加熱された窒素ガスを吹き付けながら、半導体層にレーザビームを照射することが好ましい。

【0023】

単結晶半導体層の少なくとも一部に対して加熱された窒素ガスを吹きつけながら、レーザビームを照射することにより、単結晶半導体層が溶融している時間を延長させることができる。室温でレーザビームを照射した場合、図21（B）に示すように溶融している時間は約100ナノ秒程度以下であるが、加熱された窒素ガスを吹きつけることにより、溶融している時間を延長することができる。好ましくは、溶融している時間を200ナノ秒以上1000ナノ秒以下とする。1000ナノ秒を超えると、熱が伝導して支持基板であるガラス基板が溶融するなどの基板にダメージを与える恐れがある。

40

【0024】

単結晶半導体層の少なくとも一部に対して加熱された窒素ガスを吹きつけながら、レーザビームを照射することにより、以下に示す多くの効果の少なくとも一つが得られる。

【0025】

溶融している時間を延長することにより、表面張力の作用で被照射面の平坦性が格段に向上する。また、単結晶半導体層中のダングリングボンドや、単結晶半導体層と下地膜との界面の欠陥などのミクロの欠陥を除去することができ、よりよい単結晶半導体層を得るこ

50

とができる。本明細書において、加熱された窒素ガスを吹きつけながら、レーザビームを照射した単結晶半導体層の被照射領域は、溶融し、再単結晶化させた結果、優れた特性を有する単結晶半導体層を得ることができる。

【0026】

溶融している時間を延長することにより、単結晶半導体層がレーザビームの照射によって溶融してから固化するまでに、次のレーザビームを照射できるため、ショット数を低減することができる。ショット数を低減しても十分な平坦化を得られる。また、ショット数を低減することは生産性の向上に寄与する。レーザビームの走査において、1回のショットと次のショットとを一部重ねてオーバーラップさせる割合をオーバーラップ率とも呼ぶが、溶融している時間を延長することにより、オーバーラップ率も十分の一程度にまで低減でき、さらに0%とすることもできる。

10

【0027】

加熱された窒素ガスを吹きつけることで、吹きつけられた領域の単結晶半導体層を400以上前記支持基板の歪点以下、好ましくは、450以上650以下の温度で加熱する。

【0028】

窒素ガスが吹き出す開口、例えばノズル開口の方向にもよるが、加熱された窒素ガスを吹きつけると、レーザビームの照射領域に加えて、その周辺の単結晶半導体層も加熱することができる。ブロー手段の一つであるノズルは、ノズル先端のスリットから基板に向けて窒素ガスを吹きつけるエアーナイフと呼ばれるノズルを用いることもできる。

20

【0029】

レーザビームの走査を行う前に、照射しようとしている領域に対して加熱された窒素ガスを吹きつけることにより、レーザビームの照射領域を予め加熱することができるため、単結晶半導体層の溶融に必要なレーザビームのエネルギーを低減することができる。

【0030】

必要なレーザビームのエネルギーを低減できれば、消費電力の削減に加え、レーザ発振器の寿命を延ばすことができる。レーザ発振器の寿命を延ばすことにより、部品の交換時期の間隔を長くすることができるため、生産性が向上する。

【0031】

また、レーザビームの走査を行った後に、照射した領域に対して加熱された窒素ガスを吹きつけることにより、溶融している時間を延長することに加え、溶融した単結晶半導体層の冷却速度を自然冷却に比べて低減させることができる。

30

【0032】

溶融した単結晶半導体層の冷却速度を自然冷却に比べて低減させることができれば、溶融している時間の延長により再単結晶化がスムーズに行われ、粒界のない単結晶半導体層を得ることができる。

【0033】

また、本発明の半導体装置の作製方法において、単結晶半導体層に照射するレーザビームの断面形状を線状、正方形、または長方形とすることができる。線状の照射領域を有するレーザビームを走査することにより、溶融させて再単結晶化が生じる場所を移動させることができ、溶融している時間を延長させるため、部分的に単結晶の精製が行われ、含まれる不純物も低減された単結晶半導体層を得ることができる。

40

【0034】

また、線状の照射領域を有するレーザビームの照射面積は光学系により、適宜調節が可能であり、例えば長方形形状の一辺を長くすれば、複数の半導体基板を用いて、大面積を有するガラス基板上に複数の単結晶半導体層それぞれ隣り合うように固定し、その複数の単結晶半導体層に渡ってレーザビームを照射することができる。また、加熱された窒素ガスを吹きつけることにより、単結晶半導体層の溶融に必要なレーザビームのエネルギーを低減することができるため、光学系などを調節することによって、1回のショットの照射面積も拡大することができる。1回のショットの照射面積も拡大できれば、1枚当たりのレ

50

ーザ処理にかかる時間を短縮することもできる。

【0035】

また、上述した特許文献1～5は、平坦化するためには、機械研磨を行うことを主たるプロセスとしているため、本発明の歪み点が700以下ガラス基板を用いることの課題、溶融している時間を延長する構成、及び効果に関して全く想定されておらず、大きく異なる。また、単結晶半導体層に対してレーザビームを照射し、単結晶半導体層の一部または全部を溶融させ、再単結晶化させてよりよい単結晶を得る方法に関して、従来にない革新的な技術である。アモルファスシリコン膜に対してレーザ光を照射する技術や、ポリシリコン膜に対してレーザ光を照射する技術は公知であるが、これらの技術と本発明の再単結晶化は全く異なる。また、このようなレーザビームによる再単結晶化方法は、従来の技術では全く想定されておらず、極めて新しい概念である。

【0036】

また、単結晶半導体層に接する絶縁膜にハロゲンを含ませておくことで、レーザビームの照射に、その絶縁膜も加熱されるため、絶縁膜からハロゲンが拡散し、単結晶半導体層と絶縁膜界面にハロゲンを偏析させることができる。ハロゲンを単結晶半導体層と絶縁膜との界面に偏析させることで、ハロゲンによりこの界面に存在するナトリウムなどのイオンを捕獲することができる。よって、支持基板にガラス基板を用いる場合は、ハロゲンを含んだ絶縁膜を形成し、加熱しながらのレーザビームの照射処理は、ナトリウムなどの不純物汚染を防ぐために、非常に効果的である。

【0037】

また、大面積基板を用いる場合、基板の下方に設置された窒素ガスを吹きつける手段によって基板を浮上させて基板の搬送を行う場合がある。レーザビーム照射領域に吹きつける加熱された窒素ガスによる気流を利用して、基板の搬送を補助することができる。また、搬送のための気流により冷却される恐れがあるため、レーザビーム走査の際においては、下方から吹きつける窒素ガスも加熱させて行うことが好ましい。

【0038】

なお、ここで、実験データを説明する。前述のように図21(B)に室温でレーザビームを照射した場合、溶融している時間は約100ナノ秒程度以下であることを示した。

【0039】

実験に用いた試料について説明する。図24は、実験に用いた半導体基板11の断面図である。半導体基板11は後述する図4(A)～図4(E)の工程を経て作製した試料である。単結晶シリコン層2201が膜2202～2204でなるバッファ層を介してガラス基板2200に固定されている。

【0040】

半導体基板11を作製するため、単結晶半導体基板に単結晶シリコンウエハが用いられている。単結晶シリコンウエハは、P型のウエハであり、主表面の結晶面方位(100)である。支持基板100であるガラス基板2200には、厚さ0.7mmの無アルカリガラス基板(商品名 AN100)が用られている。

【0041】

第1絶縁層として、PECVD法により、厚さ50nmまたは厚さ100nmの酸化窒化シリコン膜2202と、厚さ50nmの窒化酸化シリコン膜2203でなる2層構造の絶縁膜を形成した。酸化窒化シリコン膜2202形成のためのプロセスガスは、SiH₄、およびN₂Oであり、流量比は、SiH₄＼N₂O = 4＼800である。成膜工程の基板温度は400である。窒化酸化シリコン膜形成のためのプロセスガスは、SiH₄、NH₃、N₂O、およびH₂であり、流量比は、SiH₄＼NH₃＼N₂O＼H₂ = 10＼100＼20＼400である。成膜工程時の基板温度は350である。

【0042】

第2絶縁層として、PECVD法により、酸化シリコン膜2204が形成されている。酸化シリコン膜2204形成のためのプロセスガスには、TEOS、およびO₂を用い、その流量比は、TEOS＼O₂ = 15＼750である。成膜工程の基板温度は300である。

10

20

30

40

50

ある。

【0043】

単結晶シリコンウエハに損傷領域を形成するために、イオンドーピング装置を用い、水素イオンを単結晶シリコンウエハにドープしている。ソースガスには100%水素ガスを用い、水素ガスを励起して生成されたプラズマ中のイオンを質量分離せずに、電界で加速して単結晶シリコンウエハ基板に照射して、損傷領域を形成した。このドーピングの条件は、電源出力100W、加速電圧40kV、ドーズ量は 2.2×10^{16} ions/cm²としている。

【0044】

イオンドーピング装置において、水素ガスを励起することで、H⁺、H₂⁺、及びH₃⁺という3種類のイオン種が生成され、この全てのイオン種を加速し、単結晶シリコンウエハに照射する。水素ガスから発生されたイオン種のうち、80%程度がH₃⁺である。

【0045】

ガラス基板2200、および積層2202～2204が形成された単結晶シリコンウエハを純水中で超音波洗浄した後、オゾンを含む純水で洗浄した後、接合工程を行い、損傷領域で分離を生じさせるため、拡散炉において、600に加熱することで、単結晶シリコン層2201を単結晶シリコンウエハから分離している。

【0046】

半導体基板11のバッファ層の厚さは、以下の通りである。酸化窒化シリコン膜2202の厚さは、50nmとし、窒化酸化シリコン膜2203の厚さは50nmとし、酸化シリコン膜2204の厚さは、50nmとする。ガラス基板2200の厚さは0.7mmである。

【0047】

まず、図22を用いて、測定に用いられたレーザ照射装置の構成を説明する。図22は、測定に用いられたレーザ照射装置の構成を説明するための図面である。被処理物1302をレーザ照射処理するためレーザビーム1320を発振するレーザ発振器1321と、プローブ光1350を発振するレーザ発振器1351と、被処理物1302を配置するステージ1323が設けられているチャンバー1324を有する。

【0048】

ステージ1323はチャンバー1324内部で移動可能に設けられている。矢印1325は、ステージ1323の移動方向を示す矢印である。チャンバー1324の壁には、石英でなる窓1326～1328が設けられている。窓1326はレーザビーム1320をチャンバー1324内部に導くための窓である。窓1327はプローブ光1350をチャンバー1324内部に導くための窓であり、窓1328は、被処理物1302により反射されたプローブ光1350をチャンバー1324の外へ導くための窓である。図22において、被処理物1302により反射されたプローブ光1350に1330'の参照符号を付すことにする。

【0049】

チャンバー1324の内部の雰囲気を制御するため、気体供給装置に接続される気体供給口1329、および排気装置に連結された排気口1330が、それぞれ、チャンバー1324に設けられている。

【0050】

レーザ発振器1321から射出したレーザビーム1320は、ハーフミラー1332で反射され、レンズ1333により集光され、窓1326を通過し、ステージ1323上の被処理物1302に照射される。ハーフミラー1332の透過側には、フォトディタクタ1334が配置されている。フォトディタクタ1334により、レーザ発振器1321から射出されたレーザビーム1320の強度変化が検出される。

【0051】

レーザ発振器1351から射出したプローブ光1350は、ミラー1352で反射され、窓1327を通り、被処理物1302に照射される。レーザビーム1320が照射され

10

20

30

40

50

ている領域にプローブ光 1350 は照射される。被処理物 1302 で反射されたプローブ光 1350' は窓 1328 を通り、光ファイバー 1353 を通り、コリメータレンズを有するコリメータ 1354 により平行光とされ、フォトディタクタ 1355 に入射する。フォトディタクタ 1355 により、プローブ光 1350' の強度変化が検出される。

【0052】

フォトディタクタ 1334 および 1355 の出力は、オシロスコープ 1356 に接続されている。オシロスコープ 1356 に入力されるフォトディタクタ 1334 および 1355 の出力信号の電圧値（信号の強度）が、それぞれ、レーザビーム 1320 の強度、およびプローブ光 1350' の強度に対応する。測定結果を示すオシロスコープ 1356 の信号波形の写真である。図 21 (A)、及び図 21 (B) の写真には、下の信号波形は、フォトディタクタ 1334 の出力信号波形であり、レーザビーム 1320 の強度変化を示す。上の信号波形は、フォトディテクタ 1355 の出力信号波形であり、単結晶シリコン層で反射されたプローブ光 1350' の強度変化を示している。図 21 (A)、及び図 21 (B) の横軸は時間を表し、目盛の間隔が 100 ナノ秒である。なお、図 21 (A) は、ステージを 500 に加熱し、ガラス基板を約 420 に加熱した場合の信号波形である。また、図 21 (B) は、ガラス基板を加熱しない、室温の場合の信号波形である。

【0053】

測定に用いたレーザ発振器 1321 は、波長 308 nm のビームを発振する XeCl 工キシマレーザを用いた。そのパルス幅 25 nsec であり、繰り返し周波数 30 Hz である。他方、プローブ光用のレーザ発振器 1351 には、Nd:YVO₄ レーザを用い、そのレーザ発振器の第 2 高調波である 532 nm のビームをプローブ光 1350 として用いた。また、気体供給口 1329 から窒素ガスを供給して、チャンバー 1324 の雰囲気を窒素雰囲気とした。また、単結晶シリコン層が固定されたガラス基板の加熱は、ステージ 1323 に設けられている加熱装置で行っている。図 21 (A)、図 21 (B) の測定を行ったときのレーザビーム 1320 のエネルギー密度は、539 mJ/cm² であり、レーザビーム 1320 を 1 ショット単結晶シリコン層に照射している。なお、図 21 (A) および図 21 (B) において、レーザビーム 1320 に対応するフォトディテクタ 1334 の出力信号には 2 つのピークが現れているが、これは測定に用いたレーザ発振器の仕様によるものであり、照射したレーザビーム 1320 は 1 ショットである。

【0054】

図 21 (A)、図 21 (B) に示すように、レーザビーム 1320 が照射されると、プローブ光 1350' の強度が立ち上がり、急激に増大する。つまり、レーザビーム 1320 の照射によって、単結晶シリコン層が溶融されている、即ち少なくとも一部がシリコンの融点 1410 を超えていることが確認できる。プローブ光 1350' の強度は、単結晶シリコン層の溶融領域の深さが最大になるまで上昇し、強度が高い状態がしばらく維持される。レーザビーム 1320 の強度が立ち下がると、やがて、プローブ光 1350' の強度が減少し始める。

【0055】

つまり、図 21 (A)、および図 21 (B) からは、レーザビーム 1320 を照射することで、単結晶シリコンウエハを溶融させること、レーザビーム 1320 の照射後も溶融状態がしばらく保持され、やがて、単結晶シリコンウエハが凝固し始め、完全に固相状態に戻ることを示している。

【0056】

図 21 (C) を用いてプローブ光 1350' の強度変化および単結晶シリコン層の相変化を説明する。図 21 (C) は、図 21 (A)、および図 21 (B) の写真で示されているフォトディテクタ 1355 の出力信号波形を模式的に表したグラフである。時間 t₁において信号強度は急激に増大しており、時間 t₁ が単結晶シリコン層の溶融が開始した時間である。時間 t₁ 以後、時間 t₂ から時間 t₃ までの期間は、ほぼ一定になっており、溶融状態が保持されている期間である。また、時間 t₁ から時間 t₂ は単結晶シリコン層の溶融部分の深さが深くなる期間であり、融解期間である。信号強度が減少を開始する時

10

20

30

40

50

間 t_3 は溶融部分が凝固を開始した凝固開始時間である。

【0057】

時間 t_3 以後、信号強度は徐々に減少し、時間 t_4 以後ほぼ一定となる。時間 t_4 では、プローブ光 $1350'$ が反射される表面が完全に凝固しているが、その内部に溶融部分が残っている状態である。また、時間 t_4 以後の信号強度 I_b は、時間 t_1 以前の信号強度 I_a よりも高いことから、時間 t_4 以後もレーザビーム 1320 が照射された領域は、徐々に冷却されながら転位など結晶欠陥の修復が進行していると考えられる。

【0058】

図21(A)、および図21(B)の信号波形を比べると、加熱することで溶融状態が保持されている溶融時間を長くすることができる事が分かる。ステージの加熱温度が500の場合は、溶融時間は250ナノ秒程度であり、加熱しない場合(室温)の溶融時間は100ナノ秒程度である。

10

【0059】

図23(A)は、単結晶シリコン層表面に照射されるレーザビーム 1320 とプローブ光 1350 の形状を上面図であり、図23(B)は、図23(A)の切断線 $x-x'$ による断面図であり、レーザビーム 1320 が照射される領域と、プローブ光 1350 が照射される領域との関係を示す断面図である。

【0060】

図23(B)において、 1210 はレーザビーム 1320 が照射される範囲を示しており、レーザビーム 1320 の幅方向(短軸方向)の照射範囲である。以下、この範囲をレーザビーム照射範囲 1210 という。 1211 はプローブ光 1350 が照射される範囲を示す。以下この範囲をプローブ光照射範囲 1211 という。 1212 は、レーザビーム 1320 の幅方向(短軸方向)のビームプロファイルを示す。以下、このプロファイルをレーザビームプロファイル 1212 という。

20

【0061】

なお、時間 t_2 から時間 t_3 の間では、信号強度が高い状態であるが、図21(A)、図21(B)の信号波形は、この期間で2段階で減衰しているように見える。この原因は明らかではないが、1つは、図23(A)に示すように、レーザビーム 1320 の照射範囲よりもよりも、広い範囲をプローブ光 1350 で照射しているため、レーザビーム 1320 の照射によって、相変化が異なる複数の領域で反射されたプローブ光 $1350'$ を検知しているからだと考えられる。

30

【0062】

このことを図23(B)を用いて説明する。プローブ光照射範囲 1211 は、レーザビーム 1320 の照射されるエネルギーが異なる3つの領域を有する。1つは、レーザビーム照射範囲 1210 の外部であり、レーザビームが照射されていない領域である。以下、この領域を領域 $1211a$ という。2つめは、レーザビーム照射範囲 1210 の内部にあるが、ビームプロファイル 1212 の裾の部分のレーザビーム 1320 が照射される領域である。以下、この領域を領域 $1211b$ という。3つめは、ビームプロファイル 1212 のトップフラット部分が照射されている領域である。以下、この領域を $1211c$ という。

40

【0063】

よって、フォトディテクタ 1355 では、領域 $1211a$ 、領域 $1211b$ 、領域 $1211c$ で反射されたプローブ光 $1350'$ が光を受光している。

【0064】

領域 $1211a$ は、レーザビーム 1320 が照射されないので相変化が生じず、プローブ光 1350 の反射率も変化しないと考えられ、フォトディテクタ 1355 の検出信号のバックグラウンドとなるため、検出信号の強度に影響が少ない。

【0065】

これに対して、領域 $1211b$ には、領域 $1211c$ よりも照射されるレーザビーム 1320 のエネルギー密度が低く、また、エネルギー密度の分布が均一ではない。よって、

50

領域 1211b の温度上昇は、領域 1211c よりも低くなり、領域 1211b の溶融時間は領域 1211c よりも短くなると考えられる。したがって、領域 1211b が溶融した後、凝固を開始する時間は、領域 1211c の領域が凝固する時間よりも早くなる。このように、領域 1211c が液相状態である期間（図 21 (C) の時間 t_2 から t_3 ）に、領域 1211b が凝固し始めたために、この期間に、プローブ光 1350 の反射率の低下し、これがフォトディテクタ 1355 の検出信号の強度変化として検出されたと推測される。

【0066】

次に、レーザビーム 122 を照射して、単結晶半導体層 117 を溶融させることで、再单結晶化されていることを説明する。

10

【0067】

図 25 (A) ~ 図 25 (D) は、単結晶シリコン層 2201 表面の電子後方散乱回折像 (EBSP; Electron Back Scatter Diffraction Pattern) の測定データから得られた逆極点図 (IPF, inverse pole figure) マップである。図 25 の IPF マップは、それぞれ、(A) レーザビームが照射されていない単結晶シリコン層 2201 のデータ、(B) 窒素雰囲気中で 500 でステージを加熱しながらレーザビームを照射した後の単結晶シリコン層 2201 のデータ、(C) 窒素雰囲気中でステージを 250 で加熱しながらレーザビームを照射した後の単結晶シリコン層 2201 のデータ、(D) 加熱を行わないでレーザビームを照射した後の単結晶シリコン層 2201 のデータである。

20

【0068】

図 25 (E) は、結晶の各面方位をカラーコード化し、IPF マップの配色と結晶方位の関係を示すカラーコードマップである図である。

【0069】

図 25 (A) ~ 図 25 (D) の IPF マップによると、レーザビームの照射前と照射後で単結晶シリコン層 2201 の結晶方位が乱れることなく、単結晶シリコン層 2201 表面の面方位は使用した単結晶シリコンウエハと同じ (100) 面方位を維持している。また、レーザビームの照射前と照射後で単結晶シリコン層 2201 に結晶粒界が存在していないことが分かる。

【0070】

30

なぜなら、図 25 (E) のカラーコードマップの (100) 方位を示す色（カラー図面では赤色）で、図 25 (A) ~ 図 25 (D) の IPF マップがこの (100) 方位を表す色でなる一色の四角の像であることから、結晶方位が (100) 満っており、かつ結晶粒界がないと判断できる。

【0071】

なお、図 25 (A) ~ 図 25 (D) の IPF マップに現れている点は、CI 値の低い部分を表している。CI 値とは、結晶方位を決定するデータの信頼性、確度を示す指標値である。結晶粒界、結晶欠陥などで CI 値が低くなる。つまり、CI 値が低い部分が少ないほど、結晶性が良いといえる。図 25 (A) のレーザ照射前の IPF マップよりも、図 25 (B) ~ 図 25 (D) のレーザビーム照射後の IPF マップのほうが、CI 値の低い部分が減少している。よって、レーザビームを照射することで、単結晶シリコン層 2201 の結晶欠陥、ダンギングボンドなどのミクロの欠陥が修復されていると考えられる。

40

【0072】

なお、図 25 (B) ~ 図 25 (D) の単結晶シリコン層 2201 のレーザ照射処理には、波長 308 nm のビームを発振する XeCl エキシマレーザを用いた。そのパルス幅 25 nsec であり、繰り返し周波数 30 Hz である。光学系によりレーザビームを線状に加工し、幅を 350 μm、長さ 126 mm とし、走査速度（基板の移動速度）1.0 mm / 秒としている。単結晶シリコン層 2201 の同じ領域に照射されるレーザビームのショット数はビーム幅とスキャン速度から計算して 10.5 ショットとなる。また、レーザビ

50

ームのエネルギー密度は、ステージを 500 で加熱温度したときは 513 mJ/cm^2 であり、250 で加熱した場合は 567 mJ/cm^2 であり、加熱を行わない場合は、 648 mJ/cm^2 である。

【0073】

次に、レーザ照射処理によって、単結晶シリコン層 2201 の結晶性の向上および、平坦性が向上することを説明する。単結晶シリコン層 2201 の結晶性をラマン分光測定を用いて評価し、その表面の平坦性は、原子間力顯微鏡 (AFM; A t o m i c F o r c e M i c r o s c o p e) によるダイナミックフォースモード (DFM: d y n a m i c f o r c e m o d e) での観察像 (以下、DFM像という。)、DFM像から得られる表面粗さを示す測定値で評価した。

10

【0074】

図 26 に、半導体基板 11 の断面写真を示す。断面写真は、走査透過電子顯微鏡 (Scanning Transmission Electron Microscope; STEM) により撮影された STEM像である。図 26 の各 STEM像には、(A) レーザビームが照射されていない単結晶シリコン層 2201 の像、(B) 室素雰囲気中でステージを 500 で加熱しながらレーザビームを照射した後の単結晶シリコン層 2201 の像、(C) 加熱を行わないでレーザビームを照射した後の単結晶シリコン層 2201 像が撮影されている。図 26 (A) ~ 図 26 (C) において、単結晶シリコン層 2201 の厚さは 120 nm である。

【0075】

20

図 26 (A) に示すように、レーザビーム照射前には、単結晶シリコン層 2210 に粒界は観察されていない。また、図 26 (B) および図 26 (C) に示すようにレーザビームを照射した後にも、単結晶シリコン層 2201 に粒界が存在していないことが分かる。

【0076】

なお、図 26 (B) および図 26 (C) の単結晶シリコン層 2201 のレーザ照射処理の次の通りである。レーザ照射雰囲気を室素雰囲気とした。図 26 (B) では、レーザ照射装置のチャンバー内に窒素ガスを供給することで、窒素雰囲気を実現している。また、図 26 (C) では、レーザビームの照射を大気中で行い、レーザビームの照射領域に窒素を吹き付けることで、窒素雰囲気を実現している。

【0077】

30

レーザ発振器には、波長 308 nm のビームを発振する XeCl エキシマレーザを用いた。レーザビームの断面形状は $350 \mu\text{m} \times 126 \text{ mm}$ であり、走査速度は、1.0 mm/秒である。また、レーザビームのエネルギー密度は、図 26 (B) のステージを 500 で加熱温度したときは 513 mJ/cm^2 であり、図 26 (C) の加熱を行わない場合は、 602 mJ/cm^2 である。

【0078】

次に、レーザビームが照射された単結晶シリコン層 2201 のラマン分光測定結果について説明する。図 27 は、レーザビームのエネルギー密度に対するラマンシフトの変化を示すグラフである。図 28 は、レーザビームのエネルギー密度に対するラマンスペクトルの半値全幅 (FWHM; full width at half maximum) の変化を示すグラフである。図 27 および図 28 には、レーザ照射処理のときの単結晶シリコン層 2201 を、500、250 に加熱した場合、および基板の加熱を行っていない場合のデータを示している。

40

【0079】

図 27 に示すラマンシフトのピーク波数は、結晶の格子間距離とその間のばね定数で決定される値であり、結晶の種類によって固有の値となる。内部応力のない単結晶シリコンのラマンシフトは 520.6 cm^{-1} である。このラマンシフトがこの波数に近いほど、結晶構造が単結晶に近く、結晶性が良いことの指標とすることができます。ただし、単結晶に圧縮応力が加わっていると、格子間距離が縮まるため、圧縮応力の大きさに比例して、ピーク波数が高波数側にシフトする。逆に、引っ張り応力が加わると、その応力に比例し

50

て、ピーク波数は低波数側にシフトする。

【0080】

従って、シリコン層が単結晶であるかどうかをラマンシフトのピーク位置が 520.6 cm^{-1} であることだけで確認することは、十分ではない。単結晶とは、ある結晶軸に注目した場合、その結晶軸の方向が試料のどの部分において同じ方向を向いている結晶のことをいい、かつ結晶と結晶との間に結晶粒界が存在しない結晶である。よって、単結晶構造であるかどうかは、結晶軸の方向、および結晶粒界の有無を測定することが必要となる。例えば、このような測定には、電子後方散乱回折像 (EBSP) の測定が有り、EBSP像からIPFマップを得ることで、結晶軸 (結晶方位) が揃っていること、結晶粒界が存在しないことを確認することができる。

10

【0081】

また、図28に示すFWHMが小さいほど、結晶状態に揺らぎが少なく、均一であることを示している。市販の単結晶シリコンウエハのFWHMは、 $2.5\text{ cm}^{-1} \sim 3.0\text{ cm}^{-1}$ 程度であり、この値に近いほど結晶性が単結晶シリコンウエハのように優れた結晶性を有していることの指標とすることができます。

【0082】

したがって図25のEBSPデータからレーザ処理によって再単結晶化され、かつ結晶性が向上されていること、また、図27および図28から、レーザ照射処理することで、加工する前の単結晶シリコンウエハと同程度の結晶性に回復させることができることが分かる。なお、基板を加熱しない場合も、レーザ照射処理によって、ラマンシフトの波数 520.6 cm^{-1} と同程度に向上させ、かつFWHMを低下させ、 $2.5\text{ cm}^{-1} \sim 3.0\text{ cm}^{-1}$ 程度にできることが確認されている。そのためには、レーザビームの密度を 600 mJ/cm^2 以上にする必要がある。

20

【0083】

また、図27および図28のデータから、単結晶半導体層117を加熱しながらレーザビーム122を照射することで、単結晶半導体層117の結晶性の回復に必要なレーザビームのエネルギー密度を低下させることができることが分かる。

【0084】

単結晶半導体層117を加熱することで、単結晶半導体層117の結晶性の回復に必要なレーザビーム122のエネルギー密度が低下されることの理由1つは、図21(A)、図21(B)に示すように、加熱により単結晶半導体層117の溶融時間が長くなるからであると考えられる。また、単結晶半導体層117が溶融部分(液相部分)を有している状態から、冷却され、完全に固相状態に戻るまでの時間が長くなるからであると考えられる。

30

【0085】

そこで、溶融時間が、200ナノ秒以上1000ナノ秒以下になるように加熱することが好ましい。1000ナノ秒以上溶融状態が保持されていると、支持基板100が歪み点以上の温度に上昇して、溶融するおそれがあるからである。

【0086】

また、基板ステージを加熱することに加え、さらに単結晶半導体層の少なくとも一部に対して加熱された窒素ガスを吹きつけながら、レーザビームを照射することで、室温でレーザビームを照射する場合に比べて、溶融している時間を延長でき、上述した様々な効果のすくなくとも一つを得ることができる。

40

【0087】

例えば、レーザビームを照射することで溶融された再単結晶化された単結晶シリコン層の表面は平坦化される。平坦化処理には、化学機械研磨 (Chemical Mechanical Polishing、略称: CMP) が知られているが、ガラス基板は撓みやすく、うねりがありため、支持基板100にガラス基板を使用した場合、CMPで単結晶半導体層117の平坦化処理を行うことは困難である。本発明では、この平坦化処理をレーザビーム122の照射処理で行うため、支持基板100を破損する力を加えることなく

50

、かつ歪み点を超える温度で支持基板 100 を加熱することなく、単結晶半導体層 117 の平坦化を可能にする。したがって、支持基板 100 にガラス基板を使用することが可能になる。すなわち、本発明は、半導体基板の作製方法において、レーザビームの照射処理の革新的な使用方法を開示するものである。

【発明の効果】

【0088】

本発明の半導体基板の作製方法は、プロセス温度 700 以下で、単結晶半導体基板から分離された単結晶半導体層の再単結晶化を行うことが可能である。また、プロセス温度 700 以下で、単結晶半導体基板から分離された単結晶半導体層の平坦化することが可能である。したがって、耐熱性の低い基板が支持基板に用いられたとしても、半導体基板を用いて高性能な半導体素子を形成することが可能になる。また、支持基板に大面積を有する透光性ガラス基板を用いて、高性能な表示装置を作製することが可能になる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0089】

以下に、本発明を説明する。本発明は多くの異なる態様で実施することが可能であり、本発明の趣旨およびその範囲から逸脱することなく、その形態および詳細を様々に変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は実施形態および実施例の記載内容に限定して解釈されるものではない。また、異なる図面間で同じ参照符号が付されている要素は同じ要素を表しており、材料、形状、作製方法などについて繰り返しになる説明は省略している。

20

【0090】

(実施形態 1)

本実施形態では、バッファ層を介して単結晶半導体層が支持基板に固定されている半導体基板およびその作製方法について説明する。

【0091】

図 1 は、半導体基板の構成例を示す斜視図である。半導体基板 10 は、支持基板 100 に単結晶半導体層 116 が貼り付けられている。単結晶半導体層 116 はバッファ層 101 を介して支持基板 100 に設けられており、半導体基板 10 はいわゆる SOI 構造の基板であり、絶縁層上に単結晶半導体層が形成されている基板である。

30

【0092】

バッファ層 101 は、単層構造でも膜を 2 層以上積層した多層でもよい。本実施形態ではバッファ層 101 は 3 層構造であり、支持基板 100 側から、接合層 114、絶縁膜 112b、絶縁膜 112a が積層されている。接合層 114 は絶縁膜で形成されている。また、絶縁膜 112a は、バリア層として機能する絶縁膜である。バリア層は、半導体基板を作製時、およびこの半導体基板を用いた半導体装置の作製時に、アルカリ金属若しくはアルカリ土類金属などの半導体装置の信頼性を低下させる不純物（代表的には、ナトリウム）が、支持基板 100 側から単結晶半導体層 116 に侵入することを防ぐ膜である。バリア層を形成することで、半導体装置が不純物で汚染されることを防止できるため、その信頼性を向上させることができる。

【0093】

40

単結晶半導体層 116 は、単結晶半導体基板を薄膜化することで形成される層である。単結晶半導体基板には、市販の半導体基板を用いることができ、例えば、単結晶シリコン基板、単結晶ゲルマニウム基板、単結晶シリコンゲルマニウム基板など、第 4 族元素である単結晶半導体基板を用いることができる。また、ガリウムヒ素やインジウムリン等の化合物半導体基板も用いることができる。もちろん、単結晶半導体基板は、円形のウエハに限定されるものではなく、様々な形状の単結晶半導体基板を用いることができる。例えば、円形、長方形、五角形、六角形などの多角形の基板を用いることができる。もちろん、市販の円形状の単結晶半導体ウエハを単結晶半導体基板に用いることも可能である。円形状の単結晶半導体ウエハには、シリコンやゲルマニウムなどの半導体ウエハ、ガリウムヒ素やインジウムリンなどの化合物半導体ウエハなどがある。単結晶半導体ウエハの代表例

50

は、単結晶シリコンウエハであり、直径 5 インチ (125 mm)、直径 6 インチ (150 mm)、直径 8 インチ (200 mm)、直径 12 インチ (300 mm) サイズ、直径 400 mm、直径 450 mm の円形のウエハを用いることができる。また、長方形の単結晶半導体基板は、市販の円形状の単結晶半導体ウエハを切断することで形成することができる。基板の切断には、ダイサー或いはワイヤソー等の切断装置、レーザ切断、プラズマ切断、電子ビーム切断、その他任意の切断手段を用いることができる。また、基板として薄片化する前の半導体基板製造用のインゴットを、その断面が長方形になるように直方体状に加工し、この直方体状のインゴットを薄片化することでも、長方形の単結晶半導体基板を製造することができる。また、単結晶半導体基板の厚さは特に限定されないが、単結晶半導体基板を再利用することを考慮すれば、厚い方が 1 枚の原料ウエハからより多くの単結晶半導体層を形成することができるため、好ましい。市場に流通している単結晶シリコンウエハの厚さは、そのサイズは SEMI 規格に準じてあり、例えば直径 6 インチのウエハは膜厚 625 μm、直径 8 インチのウエハは膜厚 725 μm、直径 12 インチのウエハは 775 μm とされている。なお、SEMI 規格のウエハの厚さは公差 $\pm 25 \mu m$ を含んでいる。もちろん、原料となる単結晶半導体基板の厚さは SEMI 規格に限定されず、インゴットをスライスするときに、その厚さを適宜調節することができる。もちろん、再利用された単結晶半導体基板 110 を用いるときには、その厚さは、SEMI 規格よりも薄くなる。

【0094】

支持基板 100 は、絶縁表面を有する基板を用いる。具体的には、アルミニノシリケートガラス、アルミニノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラスのような電子工業用に使われる各種ガラス基板、石英基板、セラミック基板、サファイア基板が挙げられる。好ましくは支持基板 100 としてガラス基板を用いるのがよい。ガラス基板には、熱膨張係数が 25×10^{-7} / 以上 50×10^{-7} / 以下 (好ましくは、 30×10^{-7} / 以上 40×10^{-7} / 以下) であり、歪み点が 580 以上 700 以下、好ましくは、650 以上 690 以下である基板を用いることが好ましい。また、半導体装置の汚染を抑えるため、ガラス基板は無アルカリガラス基板が好ましい。無アルカリガラス基板の材料には、例えば、アルミニノシリケートガラス、アルミニノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラスなどのガラス材料などがある。例えば、支持基板 100 として、無アルカリガラス基板 (商品名 AN100)、無アルカリガラス基板 (商品名 EAGLE2000 (登録商標)) または無アルカリガラス基板 (商品名 EAGLE XG (登録商標)) を用いることが好ましい。

【0095】

また、支持基板 100 には、ガラス基板の他、セラミック基板、石英基板やサファイア基板などの絶縁体でなる絶縁性基板、金属やステンレスなどの導電体でなる導電性基板、シリコンやガリウムヒ素など半導体でなる半導体基板などを用いることができる。また、支持基板には、ガラス基板、石英基板などの透光性の基板が好ましい。透光性の基板を用いることで、透過型または半透過型の表示装置の製造に適した半導体基板 10 を作製することができる。

【0096】

以下、図 3 ~ 図 5 を参照して、図 1 に示す半導体基板 10 の作製方法を説明する。

【0097】

まず、単結晶半導体基板 110 を準備する。単結晶半導体基板 110 は、所望の大きさ、形状に加工されている。図 3 は、単結晶半導体基板 110 の構成の一例を示す外観図である。支持基板 100 に貼り合わせること、および縮小投影型露光装置などの露光装置の露光領域が矩形であること等を考慮すると、図 3 に示すように単結晶半導体基板 110 の形状は矩形であることが好ましい。もちろん、単結晶半導体基板 110 には、図 3 の形状の基板に限定されるものではなく、様々な形状の単結晶半導体基板を用いることができる。例えば、矩形の他、三角形、五角形、六角形などの多角形の基板を用いることができる。市販の円盤状の半導体ウエハを単結晶半導体基板 110 に用いることも可能である。

【0098】

矩形の単結晶半導体基板110は、市販の円形状のバルク単結晶半導体基板を切断することで形成することができる。基板の切断には、ダイサー或いはワイヤソー等の切断装置、レーザ切断、プラズマ切断、電子ビーム切断、その他任意の切断手段を用いることができる。また、基板として薄片化する前の半導体基板製造用のインゴットを、その断面が矩形になるように直方体状に加工し、この直方体状のインゴットを薄片化することでも、矩形状の単結晶半導体基板110を製造することができる。

【0099】

なお、単結晶半導体基板110に、単結晶シリコン基板のような結晶構造がダイヤモンド構造の第4族元素でなる基板を用いる場合は、その主表面の面方位は、(100)であっても良いし、(110)面であってもよいし、(111)であってもよい。(100)の単結晶半導体基板110を用いることで、単結晶半導体層116とその表面に形成される絶縁層との界面準位密度を小さくすることができるため、電界効果型トランジスタの作製に好適である。

【0100】

主表面が(110)の単結晶半導体基板110を用いることで、接合層114と単結晶半導体層116との接合面において、接合層114を構成する元素と単結晶半導体層116を構成する第4族元素(例えばシリコン元素)との結合が密に形成されるため、接合層114と単結晶半導体層116との結合力が向上する。

【0101】

主表面が(110)面の単結晶半導体基板110を用いることで、その主表面には、他の面方位に比べて原子が密に配列しているため、単結晶半導体層116の平坦性が向上する。したがって、主表面が(110)面の単結晶半導体層116を用いて作製したトランジスタは、小さいS値、高電界効果移動度などの、優れた電気的特性を有する。なお、主表面が(110)面の単結晶半導体基板は、(100)面の単結晶半導体基板よりも比較してヤング率が大きく、劈開しやすいという長所がある。

【0102】

次に、図4(A)に示すように、単結晶半導体基板110上に絶縁層112を形成する。絶縁層112は単層構造、2層以上の多層構造とすることができます。その厚さは5nm以上400nm以下とすることができます。絶縁層112を構成する膜には、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、酸化ゲルマニウム膜、窒化ゲルマニウム膜、酸化窒化ゲルマニウム膜、窒化酸化ゲルマニウム膜などのシリコンまたはゲルマニウムを組成に含む絶縁膜を用いることができる。また、酸化アルミニウム、酸化タンタル、酸化ハフニウムなどの金属の酸化物でなる絶縁膜、窒化アルミニウムなどの金属の窒化物でなる絶縁膜、酸化窒化アルミニウム膜などの金属の酸化窒化物でなる絶縁膜、窒化酸化アルミニウム膜などの金属の窒化酸化物でなる絶縁膜を用いることもできる。

【0103】

なお、本明細書において、酸化窒化物とは、その組成として、窒素原子よりも酸素原子の数が多い物質とし、また、窒化酸化物とは、その組成として、酸素原子よりも窒素原子の数が多い物質とする。例えば、酸化窒化シリコン膜とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多いものであって、ラザフォード後方散乱法(RBS: Rutherford Backscattering Spectrometry)及び水素前方散乱法(HFS: Hydrogen Forward Scattering)を用いて測定した場合に、濃度範囲として酸素が50~70原子%、窒素が0.5~1.5原子%、Siが2.5~3.5原子%、水素が0.1~1.0原子%の範囲で含まれるものという。また、窒化酸化シリコン膜とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多いものであって、RBS及びHFSを用いて測定した場合に、濃度範囲として酸素が5~30原子%、窒素が2.0~5.5原子%、Siが2.5~3.5原子%、水素が1.0~3.0原子%の範囲で含まれるものという。但し、酸化窒化シリコンまたは窒化酸化シリコンを構成する原子の合計を1.0

10

20

30

40

50

0 原子%としたとき、窒素、酸素、Si 及び水素の含有比率が上記の範囲内に含まれるものとする。

【0104】

絶縁層112を構成する絶縁膜は、CVD法、スパッタ法、単結晶半導体基板110を酸化するまたは窒化するなどの方法により形成することができる。

【0105】

支持基板100にアルカリ金属若しくはアルカリ土類金属などの半導体装置の信頼性を低下させる不純物を含むような基板を用いた場合、このような不純物が支持基板100から、SOI基板の半導体層に拡散することを防止できるような膜を少なくとも1層以上、絶縁層112に設けることが好ましい。このような膜には、窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などがある。このような膜を含ませることで、絶縁層112をバリア層として機能させることができる。10

【0106】

例えば、絶縁層112を単層構造のバリア層として形成する場合、厚さ5nm以上200nm以下の窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜で形成することができる。

【0107】

絶縁層112には、ナトリウムが単結晶半導体層116に侵入することを防ぐためのバリア層を含むことが好ましい。バリア層は1層でも2層以上でもよい。例えば、支持基板100にアルカリ金属若しくはアルカリ土類金属などの半導体装置の信頼性を低下させる不純物を含むような基板を用いた場合、支持基板100が加熱されたりすると、このような不純物が支持基板100から単結晶半導体層116に拡散するおそれがある。よって、バリア層を形成することで、このようなアルカリ金属若しくはアルカリ土類金属などの半導体装置の信頼性を低下させる不純物が単結晶半導体層116に移動することを防止することができる。バリア層として機能する膜には、窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などがある。このような膜を含ませることで、絶縁層112をバリア層として機能させることができる。20

【0108】

例えば、絶縁層112を単層構造とする場合は、バリア層として機能する膜で絶縁層112を形成することが好ましい。この場合、厚さ5nm以上200nm以下の窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜で、単層構造の絶縁層112を形成することができる。30

【0109】

絶縁層112を、バリア層を1層含む2層構造の膜とする場合は、上層は、ナトリウムなどの不純物をブロッキングするためのバリア層で構成する。上層は、厚さ5nm～200nmの窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜で形成することができる。バリア層として機能するこれらの膜は、不純物の拡散を防止するブロッキング効果が高いが、内部応力が高い。そのため、単結晶半導体基板110と接する下層の絶縁膜には、上層の絶縁膜の応力を緩和する効果のある膜を選択することが好ましい。このような絶縁膜には、酸化シリコン膜および酸化シリコン膜、および単結晶半導体基板110を熱酸化して形成した熱酸化膜などがある。下層の絶縁膜の厚さは5nm以上300nm以下とすることができる。40

【0110】

本実施形態では、絶縁層112を絶縁膜112aと絶縁膜112bでなる2層構造とする。絶縁層112をブロッキング膜として機能させる絶縁膜112aと絶縁膜112bの組み合わせは、例えば、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜と窒化シリコン膜、酸化シリコン膜と窒化酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜と窒化酸化シリコン膜などがある。

【0111】

例えば、下層の絶縁膜112aは、プロセスガスにSiH₄およびN₂Oを用いてプラ50

ズマ励起CVD法（以下、「PECVD法」という。）で形成した酸化窒化シリコン膜で形成することができる。また、絶縁膜112aとして、プロセスガスに有機シランガスと酸素を用いて、PECVD法で酸化シリコン膜を形成することもできる。また、単結晶半導体基板110を酸化した、酸化膜で絶縁膜112aを形成することもできる。

【0112】

有機シランとは、珪酸エチル（TEOS：化学式 $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ）、テトラメチルシラン（TMS：化学式 $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ ）、テトラメチルシクロテトラシロキサン（TMCTS）、オクタメチルシクロテトラシロキサン（OMCTS）、ヘキサメチルジシラザン（HMDS）、トリエトキシシラン（ $\text{SiH}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ ）、またはトリスジメチルアミノシラン（ $\text{SiH}(\text{N}(\text{CH}_3)_2)_3$ ）などの化合物である。

10

【0113】

上層の絶縁膜112bは、プロセスガスに SiH_4 、 N_2O 、 NH_3 および H_2 を用いてPECVD法で形成した窒化酸化シリコン膜で、または、プロセスガスに SiH_4 、 N_2 、 NH_3 および H_2 を用いてPECVD法で形成した窒化シリコン膜で形成することができる。

【0114】

例えば、PECVD法で、酸化窒化シリコンでなる絶縁膜112a、窒化酸化シリコンでなる絶縁膜112bを形成する場合、単結晶半導体基板110をPECVD装置の処理室に搬入する。そして、絶縁膜112a形成のためのプロセスガスとして SiH_4 および N_2O を処理室に供給し、このプロセスガスのプラズマを生成し、窒化酸化シリコン膜を単結晶半導体基板110上に形成する。次に、処理室に導入するガスを絶縁膜112b形成用のプロセスガスに変更する。ここでは、 SiH_4 、 N_2O 、 NH_3 および H_2 および N_2O を用いる。これらの混合ガスのプラズマを生成して、酸化窒化シリコン膜上に窒化酸化シリコン膜を連続して形成する。また、複数の処理室を有するPECVD装置を用いる場合は、酸化窒化シリコン膜と窒化酸化シリコン膜と異なる処理室で形成することもできる。もちろん、処理室に導入するガスを変更することで、下層に酸化シリコン膜を形成することもできるし、上層に窒化シリコン膜を形成することもできる。

20

【0115】

上記のように絶縁膜112aおよび絶縁膜112bを形成することで、スループット良く、複数の単結晶半導体基板110に絶縁層112を形成することができる。また、大気に触れさせることなく絶縁膜112a、絶縁膜112bを形成できるので、絶縁膜112aと絶縁膜112bの界面が大気によって汚染されることを防止することができる。

30

【0116】

また、絶縁膜112aとして、単結晶半導体基板110を酸化処理して酸化膜を形成することができる。この酸化膜を形成するための、熱酸化処理には、ドライ酸化でも良いが、酸化雰囲気中にハロゲンを含むガスを添加することが好ましい。ハロゲンを含んだ酸化膜を絶縁膜112aとして形成することができる。ハロゲンを含むガスとして、 HC1 、 HF 、 NF_3 、 HBr 、 Cl 、 ClF 、 BCl_3 、 F 、 Br_2 などから選ばれた一種類又は複数種類のガスを用いることができる。

【0117】

40

例えば、酸素に対し HC1 を0.5～1.0体積%（好ましくは3体積%）の割合で含む雰囲気中で、700以上の中温で熱処理を行う。950以上1100以下の加熱温度で熱酸化を行うとよい。処理時間は0.1～6時間、好ましくは0.5～1時間とすればよい。形成される酸化膜の膜厚は、10nm～1000nm（好ましくは50nm～200nm）、例えば100nmの厚さとすることができる。

【0118】

このような温度範囲で酸化処理を行うことで、ハロゲン元素によるゲッタリング効果を得ることができる。ゲッタリングとしては、特に、金属不純物を除去する効果がある。すなわち、ハロゲンの作用により、金属などの不純物が揮発性の金属塩化物となって気相中へ離脱して、単結晶半導体基板110から除去される。また、酸化処理に含まれるハロゲ

50

ン元素により、単結晶半導体基板 110 の表面の未結合手が終端されるため、酸化膜と単結晶半導体基板 110 との界面の局在準位密度が低減できる。

【0119】

このハロゲンを含む雰囲気での熱酸化処理により、酸化膜にハロゲンを含ませることができる。ハロゲン元素を 1×10^{17} atoms/cm³ ~ 5×10^{20} atoms/cm³ の濃度で含ませることにより、半導体基板 10 において、金属などの不純物を捕獲して単結晶半導体層 116 の汚染を防止する保護膜としての機能させることができる。

【0120】

また、絶縁膜 112a にハロゲンを含ませるには、フッ化物ガスまたはフッ素ガスを含む P E C V D 装置のチャンバーで、絶縁膜 112a を形成することでも実現できる。このようなチャンバーに絶縁膜 112a 形成用プロセスガスを導入し、このプロセスガスを励起してプラズマを生成し、当該プラズマに含まれる活性種の化学反応により、単結晶半導体基板 110 上に絶縁膜 112a を形成する。

【0121】

P E C V D 装置のチャンバーにフッ素化合物ガスを含ませるには、フッ化物ガスを用いたプラズマガスエッチングによってチャンバーをクリーニングすることで実現できる。P E C V D 装置で膜を形成すると、基板表面だけでなく、チャンバーの内壁、電極、基板ホルダーなどにも原料が反応した生成物が堆積する。この堆積物はパーティクルやダストの原因となる。そこで、このような堆積物を除去するクリーニング工程が定期的に行われる。チャンバーのクリーニング方法の代表的な 1 つとして、プラズマガスエッチングによる方法がある。チャンバーに N F₃ などのフッ化物ガスを導入して、フッ化物ガスを励起してプラズマ化することで、フッ素ラジカルを生成し、堆積物をエッチングして除去する方法である。フッ素ラジカルと反応して生成されたフッ化物は蒸気圧が高いため、排気系によって反応容器から除去される。

【0122】

プラズマガスエッチングによるクリーニングを行うことで、クリーニングガスとして用いてフッ化物ガスが、チャンバーの内壁や、チャンバーに設けられている電極、各種の治具に吸着する。つまり、チャンバーにフッ化物ガスを含ませることができる。なお、フッ化物ガスチャンバーに含ませる方法には、チャンバーをフッ化物ガスによりクリーニングして、チャンバーにフッ化物ガスを残留させる方法の他に、単結晶半導体基板をチャンバーに設置した後に、チャンバーにフッ化物ガス導入する方法を用いることができる。

【0123】

例えば、SiH₄ および N₂O から、P E C V D 法で酸化窒化シリコン膜を絶縁膜 112a する場合、チャンバーに SiH₄ および N₂O を供給し、これらのガスを励起しプラズマを生成することで、チャンバーに残存しているフッ化物ガスも励起し、フッ素ラジカルが生成される。よって、酸化窒化シリコン膜にフッ素を含ませることができる。また、チャンバーに残存しているフッ化物は微量であり、酸化窒化シリコン膜の形成中に供給されないため、酸化窒化シリコン膜の形成の初期の段階にフッ素が取り込まれることとなる。よって、絶縁膜 112a において、単結晶半導体基板 110 と絶縁膜 112a (絶縁層 112) の界面、またはその近傍のフッ素濃度を高くすることができる。つまり、図 1 の半導体基板 10 の絶縁層 112 においては、単結晶半導体層 116 との界面、またはその界面の近傍のフッ素濃度を高くすることができる。

【0124】

このような領域にフッ素を含ませることにより、単結晶半導体層 116 との界面における半導体の未結合手がフッ素で終端することができるため、単結晶半導体層 116 と絶縁層 112 との界面準位密度を低減できる。また、支持基板 100 からナトリウムなどの不純物が絶縁層 112 に拡散した場合でも、フッ素が存在することで、フッ素により金属を捕獲することができるため、単結晶半導体層 116 の金属汚染を防止することができる。

【0125】

フッ化物ガスの代わりにフッ素 (F₂) ガスをチャンバーに含ませることもできる。フ

10

20

30

40

50

フッ化物とは、組成にフッ素(F)を含む化合物である。フッ化物ガスには、 OF_2 、 ClF_3 、 NF_3 、 FNO 、 F_3NO 、 SF_6 、 SF_5NO 、 SOF_2 などから選ばれたガスを用いることができる。

【0126】

次に、図4(B)に示すように、絶縁層112を介して、電界で加速されたイオンであるイオンビーム121を単結晶半導体基板110に照射して、単結晶半導体基板110の表面から所定の深さの領域に、損傷領域113を形成する。イオンビーム121は、ソースガスを励起して、ソースガスのプラズマを生成し、プラズマから電界の作用により、プラズマに含まれるイオンを引き出すことで生成される。

【0127】

損傷領域113が形成される領域の深さは、イオンビーム121の加速エネルギーとイオンビーム121の入射角によって調節することができる。加速エネルギーは加速電圧、ドーズ量などにより調節できる。イオンの平均侵入深さとほぼ同じ深さの領域に損傷領域113が形成される。イオンを添加する深さで、単結晶半導体基板110から分離される単結晶半導体層の厚さが決定される。この単結晶半導体層の厚さが20nm以上500nm以下、好ましくは20nm以上200nm以下になるように、損傷領域113が形成される深さを調節する。

【0128】

単結晶半導体基板110へのイオン添加方法には、 H_3^+ イオンを照射するため、質量分離を伴なわないイオンドーピング法を用いる。質量分離を伴わないイオンドーピング法は、質量分離を伴うイオン注入法に比べて単結晶半導体基板110に損傷領域113を形成するタクトタイムを短縮できる点で好ましい。イオンドーピング装置の照射方法は点順次スキャンで走査する方法のイオン注入装置とは異なり、広い照射面に照射することができる。

【0129】

単結晶半導体基板110を、イオンドーピング装置の処理室に搬入する。イオンドーピング装置の主要な構成は、被処理物を配置するチャンバー、所望のイオンを発生させるイオン源、およびイオンを加速し、照射するための加速機構である。イオン源は、所望のイオン種を生成するためのソースガスを供給するガス供給装置、ソースガスを励起して、プラズマを生成させるための電極などで構成される。プラズマを形成するための電極として、フィラメント型の電極や容量結合高周波放電用の電極などが用いられる。加速機構は、引出電極、加速電極、減速電極、接地電極等の電極など、およびこれらの電極に電力を供給するための電源などで構成される。加速機構を構成する電極には複数の開口やスリットが設けられており、イオン源で生成されたイオンは電極に設けられた開口やスリットを通過して加速される。なお、イオンドーピング装置の構成は上述したものに限定されず、必要に応じた機構が設けられる。イオンドーピング装置の処理室でソースガスを励起してプラズマを生成する。このプラズマ中からイオン種を引き出し、加速してイオンビーム121を生成し、そのイオンビーム121を、複数の単結晶半導体基板110に照射することで、所定の深さにイオンが高濃度に添加され、損傷領域113が形成される。

【0130】

ソースガスに水素(H_2)を用いる場合、水素ガスを励起して H^+ 、 H_2^+ 、 H_3^+ を含むプラズマを生成することができる。ソースガスから生成されるイオン種の割合は、プラズマの励起方法、プラズマを発生させる雰囲気の圧力、ソースガスの供給量などを調節することで、変化させることができる。プラズマ中にイオン種 H^+ イオン、 H_2^+ イオン、 H_3^+ イオンの総量に対して H_3^+ イオンが50%以上含まれることが好ましい。より好ましくは、イオン種である H^+ イオン、 H_2^+ イオン、及び H_3^+ イオンの総量に対して、プラズマ中の H_3^+ イオンの割合を80%以上とする。そのため、プロセスガスをプラズマ励起して生成された全てのイオン種をチャンバー内に配置された被処理体に照射する非質量分離型の装置であるイオンドーピング装置を用いる。例えば、 H_2 ガスを供給する。プラズマソースガスとして H_2 ガスが供給されたイオンドーピング装置では、 H_2 が

10

20

30

40

50

励起され、水素イオンである H^+ イオンや、 H_2^+ イオンが生成される。また、イオンドーピング装置では、プラズマが生成される領域中に、分子状水素 (H_2) を多く存在させることで、プラズマ中に H_3^+ を生成させることができることが容易にできる。 H_3^+ の生成には、生成反応 ($H_2 + H^+ \rightarrow H_3^+$ で示される反応) が生じることが重要である。よって、生成反応をプラズマ中で発生させる確率を高めることで、プラズマ中に存在する H_3^+ の割合を高くすることができます。イオンドーピング装置では、プラズマ中に分子状水素 (H_2) を多く存在させることができると、生成反応をプラズマ中で起こる確率が高くなり、 H_3^+ の割合が高いプラズマを生成することができる。一方、質量分離を伴うイオン注入法では、 H_3^+ が 50% 以上、さらに 80% 以上とすることは困難である。イオン注入法を用いるイオン注入装置は、プラズマ中のイオン種を質量分離し、ある特定の質量のイオン種を被処理体に照射する装置であり、イオンドーピング装置とは非質量分離型の装置であり、大きく異なっている。イオン注入装置では、プラズマが生成される領域の圧力が小さく、水素ガスが励起されて H^+ イオン、および H_2^+ イオンが生成されると、これらのイオン種はプラズマの生成領域から直ちに引き抜かれるため、プラズマ中で生成反応が起こりにくく、水素ガスから生成される H_3^+ イオンの割合が極端に低い。

【0131】

H_3^+ は他の水素イオン種 (H^+ 、 H_2^+) よりも、水素原子の数が多く、その結果質量が大きいため、同じエネルギーで加速される場合、 H^+ 、 H_2^+ よりも単結晶半導体基板 110 のより浅い領域に添加されることとなる。実際には高い電圧によって加速された H_3^+ イオンは、照射表面で分離されて 3 つの H^+ イオンとなり、単結晶半導体基板に照射されるそれぞれの H^+ イオンは深く侵入することはできない。よって、イオンビーム 121 に含まれる H_3^+ の割合を高くすることにより、水素イオンの平均侵入深さのばらつきが小さくなるので、単結晶半導体基板 110 において、水素の深さ方向の濃度プロファイルはより急峻になり、そのプロファイルのピーク位置を浅くすることができる。また、同じ深さに水素原子を 1 つ添加する場合、 H_3^+ イオンの加速電圧は、 H^+ イオンの加速電圧の 3 倍にすることも可能と考えられる。イオンの加速電圧を大きくできれば、イオンの照射工程のタクトタイムを短縮することが可能となり、生産性やスループットの向上を図ることができる。

【0132】

水素ガスを用いて、イオンドーピング法で添加を行う場合、加速電圧 10 kV 以上 200 kV 以下、ドーズ量 $1 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以上 $6 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以下とすることができます。この条件で水素イオンを添加することで、イオンビーム 121 に含まれるイオン種および、その割合にもよるが、損傷領域 113 を単結晶半導体基板 110 の深さ 50 nm 以上 500 nm 以下の部分に形成することができる。

【0133】

例えば、単結晶半導体基板 110 が単結晶シリコン基板であり、絶縁膜 112a が厚さ 50 nm の酸化窒化シリコン膜であり、絶縁膜 112b が厚さ 50 nm の窒化酸化シリコン膜の場合、ソースガスが水素であり、加速電圧 40 kV、ドーズ量 $2.2 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ の条件では、単結晶半導体基板 110 から厚さ 120 nm 程度の単結晶半導体層を分離することができる。また、絶縁膜 112a を厚さ 100 nm の酸化窒化シリコン膜とし、他は同じ条件で水素イオンをドープすると、単結晶半導体基板 110 から厚さ 70 nm 程度の半導体層を分離することができる。

【0134】

イオンビーム 121 のソースガスにヘリウム (He) を用いることもできる。ヘリウムを励起して生成されるイオン種が He^+ が殆どであるため、質量分離を伴わないイオンドーピング法でも、 He^+ を主なイオンとして単結晶半導体基板 110 に添加することができる。よって、イオンドーピング法で、効率良く、微小な空孔を損傷領域 113 に形成することができる。ヘリウムを用いて、イオンドーピング法で添加を行う場合、加速電圧 10 kV 以上 200 kV 以下、ドーズ量 $1 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以上 $6 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以下とすることができます。

10

20

30

40

50

【0135】

ソースガスに塩素ガス(Cl_2 ガス)、フッ素ガス(F_2 ガス)などのハロゲンガスを用いることもできる。

【0136】

損傷領域113を形成した後、図4(C)に示すように、絶縁層112の上面に接合層114を形成する。接合層114を形成する工程では、単結晶半導体基板110の加熱温度は、損傷領域113に添加した元素または分子が析出しない温度とし、その加熱温度は350以下が好ましい。言い換えると、この加熱温度は損傷領域113からガスが抜けない温度である。なお、接合層114は、イオン添加工程を行う前に形成することもできる。この場合は、接合層114を形成するときのプロセス温度は、350以上にすることができる。

10

【0137】

接合層114は、平滑で親水性の接合面を単結晶半導体基板110の表面に形成するため層である。そのため、接合層114の平均粗さ R_a が0.7nm以下、より好ましくは、0.4nm以下が好ましい。また、接合層114の厚さは10nm以上200nm以下とすることができる。好ましい厚さは5nm以上500nm以下であり、より好ましくは10nm以上200nm以下である。

【0138】

接合層114には、化学的気相反応により形成される絶縁膜が好ましい。例えば、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化シリコン膜などを、接合層114として形成することができる。接合層114として、PECVD法で酸化シリコン膜を形成する場合には、ソースガスに有機シランガスおよび酸素(O_2)ガスを用いることが好ましい。ソースガスに有機シランを用いることで、プロセス温度が350以下で、平滑な表面を有する酸化シリコン膜を形成することができる。また、熱CVD法で、加熱温度が500以下200以上で形成されるLTO(低温酸化物、low temperature oxide)で形成することができる。LTOの形成には、シリコンソースガスにモノシラン(SiH_4)またはジシラン(Si_2H_6)などを用い、酸素ソースガスに一酸化二窒素(N_2O)などを用いることができる。

20

【0139】

例えば、ソースガスにTEOSと O_2 を用いて、酸化シリコン膜でなる接合層114を形成するための条件例としては、処理室内に流量15sccmでTEOSを導入し、流量750scmで O_2 を導入する。成膜圧力は100Pa、成膜温度300、RF出力300W、電源周波数13.56MHzが挙げられる。

30

【0140】

また、図4(B)の工程と図4(C)の工程の順序を逆にすることもできる。すなわち、単結晶半導体基板110に、絶縁層112および接合層114を形成した後、損傷領域113を形成することもできる。この場合、絶縁層112と接合層114と同じ成膜装置で形成できる場合は、絶縁層112と接合層114の形成を連続して行うことが好ましい。

40

【0141】

また、図4(C)の工程を行った後、図4(A)の工程と図4(B)の工程を行うこともできる。すなわち、単結晶半導体基板110にイオンをドープして損傷領域113を形成した後、絶縁層112および接合層114を形成した後、損傷領域113を形成することもできる。この場合、絶縁層112と接合層114と同じ成膜装置で形成できる場合は、絶縁層112と接合層114の形成を連続して行うことが好ましい。また、損傷領域113を形成する前に、単結晶半導体基板110の表面を保護するために、単結晶半導体基板110を酸化処理して、表面に酸化膜を形成し、酸化膜を介してイオン種を単結晶半導体基板110にドープすることもできる。損傷領域113を形成した後はこの酸化膜を除去する。また、酸化膜を残した状態で、絶縁層112を形成することもできる。

【0142】

50

次に、絶縁層 112、損傷領域 113 および接合層 114 が形成された単結晶半導体基板 110 と支持基板 100 を洗浄する。この洗浄工程は、純水による超音波洗浄で行うことができる。超音波洗浄はメガヘルツ超音波洗浄（メガソニック洗浄）が好ましい。超音波洗浄の後、単結晶半導体基板 110 および支持基板 100 の一方または両方をオゾン水で洗浄することは好ましい。オゾン水で洗浄することで、有機物の除去と、接合層 114 表面および支持基板 100 の親水性を向上させる表面活性化処理を行うことができる。

【0143】

また、接合層 114 の表面、および支持基板 100 の活性化処理には、オゾン水による洗浄の他原子ビーム若しくはイオンビームの照射処理、プラズマ処理、若しくはラジカル処理で行うことができる。原子ビーム若しくはイオンビームを利用する場合には、アルゴン等の希ガス中性原子ビーム若しくは希ガスイオンビームを用いることができる。10

【0144】

図 4 (D) は接合工程を説明する断面図である。接合層 114 を介して、支持基板 100 と単結晶半導体基板 110 を密接させる。支持基板 100 と単結晶半導体基板 110 とを重ねて合わせ、少なくとも一箇所を外部から軽く押しつけると、局所的に接合面同士の距離が縮まる事によって、ファン・デル・ワールス力が強まり、さらに水素結合も寄与し、お互いに引きつけ合い、支持基板 100 と単結晶半導体基板 110 とが接着する。更に、隣接した領域でも対向する基板間の距離が縮まるので、ファン・デル・ワールス力が強く作用する領域や水素結合が関与する領域が広がる事によって、ボンディングが進行し接合面全域に接合が広がる。この接合工程は、加熱処理を伴わず、常温で行うことができるため、支持基板 100 に、ガラス基板のように耐熱温度が 700 以下 の低耐熱性の基板を用いることが可能である。20

【0145】

支持基板 100 に単結晶半導体基板 110 を貼り合わせた後、支持基板 100 と接合層 114 との接合界面での結合力を増加させるための加熱処理を行ってもよい。この処理温度は、損傷領域 113 に亀裂を発生させない温度とし、200 以上 450 以下の温度範囲で処理することができる。また、この温度範囲で加熱しながら、支持基板 100 に単結晶半導体基板 110 を貼り合わせることで、支持基板 100 と接合層 114 との接合界面での結合力を強固にすることができる。なお、後の分離を生じさせる加熱処理でも接合界面での結合力を強固にすることができるため、200 以上 450 以下の熱処理は省略してもよい。30

【0146】

次いで、加熱処理を行い、損傷領域 113 で分離を生じさせて、単結晶半導体基板 110 から単結晶半導体層 115 を分離する。図 4 (E) は、単結晶半導体基板 110 から単結晶半導体層 115 を分離する分離工程を説明する図である。117 を付した要素は単結晶半導体層 115 が分離された単結晶半導体基板 110 を示している。

【0147】

加熱処理を行うことで、温度上昇によって損傷領域 113 に形成されている微小な孔には、イオンドーピングで添加した元素が析出し、内部の圧力が上昇する。圧力の上昇により、損傷領域 113 の微小な孔に体積変化が起こり、損傷領域 113 に亀裂が生じるので、損傷領域 113 の層内または界面に沿って単結晶半導体基板 110 が分離される。接合層 114 は支持基板 100 に接合しているので、支持基板 100 上には単結晶半導体基板 110 から分離された単結晶半導体層 115 が固定される。単結晶半導体層 115 を単結晶半導体基板 110 から分離するための加熱処理の温度は、支持基板 100 の歪み点を越えない温度とする。40

【0148】

この加熱処理には、RTA (Rapid Thermal Anneal) 装置、抵抗加熱炉、マイクロ波加熱装置を用いることができる。RTA 装置には、GRTA (Gas Rapid Thermal Anneal) 装置、LRTA (Lamp Rapid Thermal Anneal) 装置を用いることができる。この加熱処理で、単結晶

10

20

30

40

50

半導体層 115 が貼り付けられた支持基板 100 の温度が 550 以上 650 以下の範囲に上昇させることが好ましい。

【0149】

G R T A 装置を用いる場合は、加熱温度 550 以上 650 以下の範囲に上昇させることができる。抵抗加熱炉を用いる場合は、加熱温度を 200 以上 650 以下の範囲に上昇させることができる。マイクロ波加熱装置を用いる場合は、例えば、周波数 2.45 GHz のマイクロ波を照射し、処理時間を 10 分以上 20 分以内とすることができる。

【0150】

抵抗加熱を有する縦型炉を用いた加熱処理の具体的な処理方法を説明する。単結晶半導体基板 110 が貼り付けられた支持基板 100 を縦型炉のポートに載置する。ポートを縦型炉のチャンバーに搬入する。単結晶半導体基板 110 が酸化を抑制するため、まずチャンバー内を排気して真空状態とする。真空度は、 5×10^{-3} Pa 程度とする。真空状態にした後、窒素をチャンバー内に供給して、チャンバー内を大気圧の窒素雰囲気にする。この間、温度を 200 に上昇させる。

【0151】

チャンバー内を大気圧の窒素雰囲気にした後、温度 200 で 2 時間加熱する。その後、1 時間かけて 400 に温度上昇させる。加熱温度 400 の状態が安定したら、1 時間かけて 600 に温度上昇させる。加熱温度 600 の状態が安定したら、600 で 2 時間加熱処理する。その後、1 時間かけて、加熱温度 400 まで下げ、10 分～30 分間後に、チャンバー内からポートを搬出する。大気雰囲気下で、ポート上の単結晶半導体基板 117、および単結晶半導体層 115 が貼り付けられた支持基板 100 を冷却する。

【0152】

上記の抵抗加熱炉を用いた加熱処理は、接合層 114 と支持基板 100 との結合力を強化するための加熱処理と、損傷領域 113 に分離を生じさせる加熱処理が連続して行われる。この 2 つの加熱処理を異なる装置で行う場合は、例えば、抵抗加熱炉において、処理温度 200、処理時間 2 時間の加熱処理を行った後、貼り合わされた支持基板 100 と単結晶半導体基板 110 を炉から搬出する。次いで、R T A 装置で、処理温度を 600 以上 700 以下の範囲に上昇させ、処理時間を 1 分以上 30 分以下の加熱処理を行い、単結晶半導体基板 110 を損傷領域 113 で分割させる。

【0153】

700 以下の低温処理で、接合層 114 と支持基板 100 を強固に接合させるためには、接合層 114 の表面、および支持基板の表面に OH 基、水分子 (H₂O) が存在することが好ましい。これは、接合層 114 と支持基板 100 との接合が、OH 基や水分子が共有結合 (酸素分子と水素分子の共有結合) や水素結合を形成することで開始するからである。

【0154】

したがって、接合層 114、支持基板 100 の表面を活性化して親水性とすることは好ましい。また、酸素または水素を含ませるような方法で、接合層 114 を形成することが好ましい。例えば、処理温度 400 以下の P E C V D 法により、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、または窒化酸化シリコン膜、窒化シリコン膜などを形成することで水素を膜に含ませることができる。酸化シリコン膜または酸化窒化シリコン膜を形成するには、例えば、プロセスガスに SiH₄ および N₂O を用いる。窒化酸化シリコン膜を形成するには、例えば SiH₄、NH₃ および N₂O を用いる。窒化シリコン膜を形成するには、例えば SiH₄、および NH₃ を用いる。また、P E C V D 法で形成するときの原料に、TEOS (化学式 Si(OCH₃)₄) のような OH 基を有する化合物を用いることが好ましい。

【0155】

なお、プロセス温度が 700 以下の範囲に上昇させることを低温処理というのは、プロセス温度が

10

20

30

40

50

ガラス基板の歪み点以下の温度になるからである。対照的に、スマートカット（登録商標）で形成されるS O I 基板では単結晶シリコン層と単結晶シリコンウエハを貼り付けるために800以上 加熱処理を行っており、ガラス基板の歪み点を超える温度での加熱処理を必要とするからである。

【0156】

なお、図4(E)に示すように、単結晶半導体基板110の周辺部が支持基板100に接合しない場合が多い。これは、単結晶半導体基板110の周辺部が面取りされているため、または、単結晶半導体基板110を移動した際に接合層114の周辺部を傷つけたり汚れたりしたため、支持基板100と接合層114とが密着しない単結晶半導体基板110の周辺部では損傷領域113が分離しにくいなどの理由によるものと考えられる。そのため、支持基板100には、単結晶半導体基板110よりもサイズが小さい単結晶半導体層115が貼り付けられ、また、単結晶半導体基板117の周囲には凸部が形成され、その凸部上に、支持基板100に貼り付けられなかった絶縁膜112b、絶縁膜112aおよび接合層114が残っている。

【0157】

単結晶半導体層115が分離された単結晶半導体基板117は再生処理して、単結晶半導体基板110として再利用することができる。以下、再生処理方法について説明する。

【0158】

図4(E)に示すように、単結晶半導体基板117の周囲には、支持基板100に貼り付けられなかった部分が残っている。この部分に、支持基板100に貼り付けられなかった、絶縁膜112b、絶縁膜112aおよび接合層114が残っている。

【0159】

まず、絶縁膜112b、絶縁膜112aおよび接合層114を除去するエッティング処理を行う。例えば、これらの膜が、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、または窒化酸化シリコンなどで形成されている場合、フッ酸を用いたウエットエッティング処理で、絶縁膜112b、絶縁膜112aおよび接合層114を除去することができる。

【0160】

次に、単結晶半導体基板117をエッティング処理して、その周囲の凸部および単結晶半導体層115の分離面を除去する。単結晶半導体基板117のエッティング処理はウエットエッティング処理が好ましく、エッティング液には、水酸化テトラメチルアンモニウム(tetramethylammonium hydroxide、略称; TMAH)溶液を用いることができる。

【0161】

単結晶半導体基板117をエッティング処理した後、その表面を研磨し、表面を平坦化する。研磨処理には、化学機械研磨(Chemical Mechanical Polishing、略称: CMP)、機械研磨を用いることができる。単結晶半導体基板の表面を平滑にするため、1μm~10μm程度研磨する。研磨後は、単結晶半導体基板表面に研磨粒子などが残るため、フッ酸洗浄やRCA洗浄を行う。

【0162】

以上の工程を経ることにより単結晶半導体基板117を図3に示す単結晶半導体基板110として再利用することができる。単結晶半導体基板117を再利用することで、半導体基板10の材料コストを削減することができる。

【0163】

支持基板100に密着された単結晶半導体層115は、損傷領域113の分離、および損傷領域113の形成によって、結晶欠陥が形成されている。また、その表面は平坦性が損なわれている。単結晶半導体層115を再単結晶化させ、またその表面の平坦性を向上するために、図5(A)に示すように、単結晶半導体層115にレーザビーム122を照射し、加熱された窒素ガスを吹きつけて照射領域を加熱する。

【0164】

矢印123に示すように、ステージを移動させて支持基板100を移動し、レーザビー

10

20

30

40

50

ム 122 を単結晶半導体層 115 に対して走査しながら、レーザビーム 122 を単結晶半導体層 115 の分離面に照射する。加熱された窒素ガス及びレーザビーム 122 の照射によって、単結晶半導体層 115 の一部または深さ方向の層全体を溶融させる。溶融させることで表面張力の作用により、平坦性が向上する。図 5 (A) では模式的に一部が溶融した様子を示しており、点線で囲まれた部分の少なくとも一部はシリコンの融点 1410 を超えて液相となっていることを示している。

【0165】

さらに、加熱された窒素ガスを吹きつけることで溶融している時間、及び完全に凝固するまでにかかる時間を延長する。本実施の形態では、加熱された窒素ガスがレーザビームの照射領域を中心に広がるように気流が形成される。従って、レーザ照射前後において単結晶半導体層 115 を 400 以上前記支持基板の歪点以下、好ましくは、450 以上 650 以下の温度で加熱することができる。

10

【0166】

溶融した後、単結晶半導体層 115 が自然冷却よりもゆっくりと冷却、固化させることで、図 5 (B) に示すように、その上面のさらに一段と平坦性が向上され、かつ再単結晶化された単結晶半導体層 116 が形成される。また、レーザビームを照射することで、単結晶半導体層 116 の歪みを低下させることができる。図 5 (B) の外観図が図 1 である。なお、レーザビーム 122 による単結晶半導体層 116 の結晶性の向上は、ラマン分光スペクトルから得られるラマンシフトや半値全幅などにより確認することができる。また、単結晶半導体層 116 の平坦性の向上は、原子間力顕微鏡観察などにより確認することができる。

20

【0167】

レーザビーム 122 の照射によって、単結晶半導体層 115 のレーザビーム 122 が照射されている領域を、部分溶融または完全溶融させる。なお、単結晶半導体層 115 が完全溶融状態であるとは、膜の表面から下までの層全体が溶融されていることをいう。図 5 (A) の積層構造では、完全溶融状態とは、単結晶半導体層 115 の上面から絶縁層 112 との界面まで溶融され、液体状態になっていることをいう。他方、単結晶半導体層 115 を部分溶融状態させると、単結晶半導体層 115 の溶融されている深さが接合層 114 の界面 (単結晶半導体層 115 の厚さ) よりも浅くすることである。つまり、単結晶半導体層 115 において部分溶融状態とは、支持基板 100 が上層は溶融して液相となり、下層は溶けずに、固相の単結晶半導体のままである状態をいう。

30

【0168】

レーザビーム 122 の照射により、部分溶融させることで、単結晶半導体層 115 では、溶融された部分が凝固するときに、下層の溶融されていない固相部分である単結晶半導体から結晶成長し、いわゆる縦成長が起こる。下層の固相部分は単結晶であり、結晶方位がそろっているため、結晶粒界が形成されず、レーザ照射処理後の単結晶半導体層 116 は、結晶粒界の無い単結晶半導体層とすることができます。また、溶融された上層は、凝固することで再単結晶化するが、下層の固相部分の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体が形成される。よって、主表面の面方位が (100) の単結晶シリコンウエハを単結晶半導体基板 110 を用いた場合、単結晶半導体層 115 の主表面の面方位は、(100) であり、レーザ照射処理によって部分溶融し、再単結晶化された単結晶半導体層 116 の主表面の面方位は (100) になる。

40

【0169】

他方、レーザビーム 122 の照射により完全溶融させながら、レーザビーム 122 を走査することで、溶融された領域は、溶融された領域と隣接している単結晶半導体から結晶成長させることができ、横成長が起こる。溶融されていない部分は、単結晶であり、結晶方位がそろっているため、結晶粒界が形成されず、レーザ照射処理後の単結晶半導体層 116 は、結晶粒界の無い単結晶半導体層とすることができます。また、完全溶融された領域は、凝固することで再単結晶化するが、隣接している溶融していない部分の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体が形成される。よって、主表面の面方位が (100) の

50

単結晶シリコンウエハを単結晶半導体基板110を用いた場合、単結晶半導体層115の主表面の面方位は、(100)であり、レーザ照射処理によって完全溶融し、再単結晶化された単結晶半導体層116の主表面の面方位は(100)になる。

【0170】

レーザビーム122の照射によって、単結晶半導体層115を部分溶融または完全溶融させることで、表面が平坦な単結晶半導体層116を形成することができる。これは、単結晶半導体層115の溶融された部分は液体であるため、表面張力の作用によって、その表面積が最小になるように変形する。つまり、液体部分は凹部、および凸部が無くなるような変形し、この液体部分が凝固し、再単結晶化するため、表面が平坦化された単結晶半導体層116を形成することができる。

10

【0171】

単結晶半導体層116の表面を平坦化することで、単結晶半導体層116上に形成されるゲート絶縁膜の膜厚を5nm乃至50nm程度まで薄くすることが可能である。よって、ゲート電圧を抑えつつ、高いオン電流のトランジスタを形成することができる。

【0172】

このように、本実施形態では、単結晶半導体層に対してレーザビームを照射し、単結晶半導体層の一部または全部を溶融させ、再単結晶化させてよりよい単結晶を得る方法に関して、従来にない革新的な技術を開示するものである。このようなレーザビームの利用方法は、従来の技術では全く想定されておらず、極めて新しい概念である。

20

【0173】

単結晶半導体層116を再単結晶化させることで、半導体基板10から、高いオン電流、高い電界効果移動度のトランジスタを形成することができる。単結晶半導体層の再単結晶化の処理をレーザビーム122の照射処理で行うため、支持基板100を破損する力を加えることなく、かつ耐熱温度を超える温度で支持基板100を加熱することなく、単結晶半導体層115の再単結晶化させて単結晶の形成を可能にする。

【0174】

レーザビーム122照射された単結晶半導体層116の表面は平坦化され、その表面の凹凸形状の算術平均粗さを1nm以上7nm以下とすることができます。また、その凹凸形状の二乗平均平方根粗さを1nm以上10nm以下とすることができます。また、その凹凸形状の最大高低差が5nm以上250nm以下とすることができます。すなわち、レーザビーム122の照射処理は、単結晶半導体層115の平坦化処理ということができる。

30

【0175】

このように単結晶半導体層116の表面を平坦化することで、単結晶半導体層116上に形成されるゲート絶縁膜の膜厚を5nm乃至50nm程度まで薄くすることが可能である。よって、高いゲート耐圧を有する信頼性の高いトランジスタを形成することができる。

【0176】

平坦化処理には、化学機械研磨(Chemical Mechanical Polishing、略称: CMP)が知られているが、マザーガラス基板は大面積でうねりがありため、支持基板100にマザーガラス基板を使用した場合、CMPで単結晶半導体層115の平坦化処理を行うことは困難である。本実施形態では、この平坦化処理をレーザビーム122の照射処理で行うため、支持基板100を破損することなく、かつ耐熱温度を超える温度で支持基板100を加熱することなく、単結晶半導体層115の平坦化を可能にする。

40

【0177】

レーザビーム122を照射する際に、加熱されたガスを吹きつけ、支持基板100に固定された単結晶半導体層115を加熱し、単結晶半導体層115の温度を上昇させる。支持基板100の加熱温度は250以上支持基板の歪み点以下とすることができます。加熱温度は400以上が好ましく、450以上がより好ましい。具体的には、加熱温度は400以上670以下が好ましく、450以上650以下がより好ましい。

50

【0178】

単結晶半導体層を加熱することで、単結晶半導体層中のダングリングボンドや、単結晶半導体層と下地膜との界面の欠陥などのミクロの欠陥を除去することができ、よりよい単結晶半導体層を得ることができる。転位などの結晶欠陥や、ダングリングボンドなどのミクロの結晶欠陥が少ない単結晶半導体層116が固定された半導体基板10を用いて、高いオン電流、高い電界効果移動度のトランジスタを形成することができる。

【0179】

また、支持基板100にガラス基板を用いた場合、単結晶半導体層が固定された支持基板を400以上、好ましくは450以上に加熱することで、支持基板をシュリンクさせることができる。よって、単結晶半導体層が固定されたガラス基板を用いてトランジスタを作製する場合、予め単結晶半導体基板の作製工程でシュリンクさせておくことで、トランジスタの作製工程でのシュリンク量を抑えることができるため、露光工程でのマスクずれを抑えることができる。

10

【0180】

また、単結晶半導体層115に接する絶縁膜112aにハロゲンを含ませておくことで、レーザビームの照射に、その絶縁膜も加熱されるため、絶縁膜からハロゲンが拡散し、再単結晶化された単結晶半導体層116と絶縁膜112a界面にハロゲンを偏析させることができる。ハロゲンを単結晶半導体層116と絶縁膜112aとの界面に偏析させることで、ハロゲンによりこの界面に存在するナトリウムなどのイオンを捕獲することができる。よって、支持基板100にガラス基板を用いる場合は、ハロゲンを含んだ絶縁膜112aを形成し、加熱されたガスを吹きつけ、加熱しながらのレーザビームの照射処理は、単結晶半導体層116のナトリウムなどの不純物汚染を防ぐために、非常に効果的である。

20

【0181】

また、単結晶半導体層115に接して、ハロゲンを含む絶縁膜112aを形成し、絶縁膜112aに接して、不純物のプロッキング効果の高いバリア層として絶縁膜112bを形成することは、単結晶半導体層116と絶縁膜112aの界面に偏析されるハロゲンの濃度を高めることに効果的である。それは、バリア層である絶縁膜112b中にはハロゲンが拡散しにくいため、より多くのハロゲンが単結晶半導体層116側に拡散するためである。このような絶縁膜112bとしては、窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜を用いることができる。

30

【0182】

このような絶縁膜112aおよび絶縁膜112bを形成するには、例えば、NF₃によるプラズマクリーニングした後のPECVD装置のチャンバーで、酸化窒化シリコンまたは酸化シリコンでなる絶縁膜112aと、窒化酸化シリコンまたは窒化シリコンでなる絶縁膜112bを連続して形成する方法がある。絶縁膜112aと絶縁膜112bを連続して形成するには、チャンバー内に供給する膜形成用のプロセスガスを変更することで実現できる。

【0183】

レーザビーム122の照射によって単結晶半導体層115を溶融させることで、単結晶半導体層116を再単結晶化させてよりよい単結晶半導体層を形成し、かつその表面を平坦化することができる。レーザビーム122の照射によって単結晶半導体層を部分溶融させることができが好ましい。完全溶融させると、液相となつた単結晶半導体層115で無秩序に結晶成長核が発生し、これらの核から単結晶半導体層115が再単結晶化することとなり、単結晶半導体層116の結晶性が低下する。部分溶融させることで、無秩序な核生成が抑えられる。なお、単結晶半導体層115が完全溶融状態であるとは、図5(A)の積層構造では、単結晶半導体層115が接合層114との界面まで溶融され、液体状態になつていていることをいう。他方、単結晶半導体層115が部分溶融状態であるとは、レーザビーム122が入射する側の一部が溶融して液相になるが、一部は溶けずに、固相のままである状態をいう。

40

50

【0184】

平坦化処理には、化学機械研磨 (Chemical Mechanical Polishing、略称: CMP) が知られているが、ガラス基板は撓みやすく、うねりがありため、支持基板 100 にガラス基板を使用した場合、CMP で単結晶半導体層 115 の平坦化処理を行うことは困難である。本実施形態では、この平坦化処理をレーザビーム 122 の照射処理で行うため、支持基板 100 を破損する力を加えることなく、かつ歪み点を超える温度で支持基板 100 を加熱することなく、単結晶半導体層 115 の平坦化を可能にする。したがって、支持基板 100 にガラス基板を使用することが可能になる。すなわち、本実施形態は、半導体基板の作製方法において、レーザビームの照射処理の革新的な使用方法を開示するものである。

10

【0185】

レーザビーム 122 を発振するレーザ発振器は、その発振波長が、紫外光域乃至可視光域にあるものが選択される。レーザビームの 122 の波長は、単結晶半導体層 115 に吸収される波長とする。その波長は、レーザ光の表皮深さ (skin depth) などを考慮して決定することができる。例えば、波長は 250 nm 以上 700 nm 以下の範囲とすることができます。

【0186】

このレーザ発振器には、連続発振レーザ、疑似連続発振レーザおよびパルス発振レーザを用いることができる。部分溶融させるためパルス発振レーザが好ましい。パルス発振レーザの場合は、繰り返し周波数 1 MHz 以下、パルス幅 10 ns 以上 500 ns 以下とすることができる。代表的なパルス発振レーザは、400 nm 以下の波長のビームを発振するエキシマレーザである。レーザとして、例えば、繰り返し周波数 10 Hz ~ 300 Hz 、パルス幅 25 ns 、波長 308 nm の XeCl エキシマレーザを用いることができる。

20

【0187】

レーザビーム 122 のエネルギーは、レーザビーム 122 の波長、レーザビーム 122 の表皮深さ、単結晶半導体基板 110 の膜厚などを考慮して決定することができる。レーザビーム 122 のエネルギーは、例えば、300 mJ / cm² 以上 800 mJ / cm² 以下の範囲とすることができます。例えば、単結晶半導体層 115 の厚さが 120 nm 程度であり、レーザ発振器にパルス発振レーザを用い、レーザビーム 122 の波長が 308 nm の場合は、レーザビーム 122 のエネルギー密度は 600 mJ / cm² ~ 700 mJ / cm² とすることができます。

30

【0188】

レーザビーム 122 の照射の雰囲気は、雰囲気を制御しない大気雰囲気でも、酸素が少ない窒素ガス雰囲気のいずれでも、単結晶半導体層 115 の平坦化の効果があることが、確認されている。また、大気雰囲気よりも窒素ガス雰囲気が好ましいことが確認されている。窒素雰囲気や真空状態のほうが、大気雰囲気よりも単結晶半導体層 116 の平坦性を向上させる効果が高く、また、これらの雰囲気のほうが大気雰囲気よりもクラックの発生を抑える効果が高くなるため、レーザビーム 122 の使用可能なエネルギー範囲が広くなる。

40

【0189】

特に高純度の窒素ガスを用いることが好ましく、窒素ガスに含まれる酸素濃度は 30 ppm 以下、好ましくは 30 ppb 以下であることが好ましい。また、窒素ガスの水分 (H₂O) 濃度も 30 ppm 以下であることが好ましい。望ましくは、窒素ガスに含まれる酸素濃度 30 ppb 以下、且つ、水分濃度 30 ppb 以下とする超高純度ガスを用いる。例えば、酸素濃度が 30 ppm よりも多く含む窒素ガスを用いる場合、レーザ照射領域近傍の雰囲気は加熱されているため、酸素との反応性が大きくなり、レーザ照射の際に表面に薄い酸化膜が形成される恐れがある。この薄い酸化膜は除去することが好ましいため、除去工程が増加してしまう。窒素ガスに含まれる酸素濃度 30 ppb 以下、且つ、水分濃度 30 ppb 以下とする超高純度ガスを用いることで、レーザ照射時の酸化膜の形成を防止する。

50

【0190】

窒素ガス雰囲気でレーザビーム122を単結晶半導体層115の分離面に照射するには、図5(A)に示すように、単結晶半導体層115において、レーザビーム122の被照射面に窒素ガス124を吹き付けながら、レーザビーム122を照射すればよい。つまり、単結晶半導体層115において、窒素ガス124が吹き付けられている領域に対して、レーザビーム122を照射しているため、窒素ガス雰囲気でのレーザビーム122の照射を実現することができる。

【0191】

窒素ガス124は加熱されていることが好ましい。窒素ガス124を加熱し、加熱された窒素ガスを吹き付けたことで単結晶半導体層115の表面温度が下がることを抑制することができる。窒素ガス124を50以上に加熱することで、単結晶半導体層115表面の温度低下を抑えることができる。窒素ガス124の加熱温度は250以上670以下が好ましい。窒素ガス124を250以上とすることで、単結晶半導体層115が加熱できる。その結果、レーザビーム122のエネルギー不足を補うことができ、レーザビーム122の使用可能なエネルギー範囲を広げることができる。加熱温度は450以上625以下がより好ましい。

10

【0192】

また、レーザビーム122を光学系を通過させて、レーザビーム122のエネルギー分布を均一にすることが好ましい。さらに、レーザビーム122の断面形状を線状にすることが好ましい。このことにより、スループット良く、かつレーザビーム122の照射を均一に行うことができる。

20

【0193】

レーザビーム122を単結晶半導体層115に照射する前に、単結晶半導体層115の表面に形成されている自然酸化膜などの酸化膜を除去する処理を行うことが好ましい。それは、単結晶半導体層115表面に酸化膜が残存した状態で、レーザビーム122を照射しても、平坦化の効果が十分に得られないからである。酸化膜の除去処理は、フッ酸で単結晶半導体層115を処理することで行うことができる。フッ酸による処理は、単結晶半導体層115の表面が撥水性を示すまで行う。撥水性があることで、単結晶半導体層115から酸化膜が除去されたことが確認できる。

【0194】

30

図5(A)のレーザビーム122の照射工程は、次のように行うことができる。まず、単結晶半導体層115を1/100に希釈されたフッ酸で110秒間処理して、表面の酸化膜を除去する。レーザビーム122のレーザ発振器として、XeClエキシマレーザ(波長: 308 nm、パルス幅: 25 ns、繰り返し周波数 60 Hz)を用いる。光学系により、レーザビーム122の断面を300 mm × 0.34 mmの線状に整形する。レーザビーム122の走査速度を2.0 mm/秒とし、スキャンピッチを33 μm、ビームショット数を約10ショットで、レーザビーム122を単結晶半導体層115に照射する。また、単結晶半導体層115の照射面に、300に加熱された窒素ガスを吹き付けながら、レーザビーム122を走査する。

【0195】

40

単結晶半導体層115にレーザビーム122を照射する前に、単結晶半導体層115をエッティングすることができる。このエッティングにより、単結晶半導体層115の分離面に残っている損傷領域113を除去することが好ましい。損傷領域113を除去することで、レーザビーム122の照射による、表面の平坦化の効果、および再単結晶化の効果を高めることができる。

【0196】

50

このエッティングには、ドライエッティング法、またはウエットエッティング法を用いることができる。ドライエッティング法では、エッティングガスに、塩化硼素、塩化珪素または四塩化炭素などの塩化物ガス、塩素ガス、弗化硫黄、弗化窒素などの弗化物ガス、酸素ガスなどを用いることができる。ウエットエッティング法では、エッティング液には、水酸化テトラ

メチルアンモニウム (tetramethylammonium hydroxide、略称；TM AH) 溶液を用いることができる。

【0197】

単結晶半導体層 115 にレーザビーム 122 を照射した後、単結晶半導体層 116 をエッチングして、薄膜化してもよい。単結晶半導体層 116 の厚さは、単結晶半導体層 116 から形成される素子の特性に合わせて決めることができる。支持基板 100 に貼り付けられた単結晶半導体層 116 の表面に、薄いゲート絶縁層を段差被覆性良く形成するには、単結晶半導体層 116 厚さは 50 nm 以下とすることが望ましく、その厚さは 50 nm 以下 5 nm 以上とすればよい。

【0198】

単結晶半導体層 116 を薄膜化するためのエッティングには、ドライエッティング法、またはウエットエッティング法を用いることができる。ドライエッティング法では、エッティングガスに、塩化硼素、塩化珪素または四塩化炭素などの塩化物ガス、塩素ガス、弗化硫黄、弗化窒素などの弗化物ガス、酸素ガスなどを用いることができる。ウエットエッティング法では、エッティング液に、エッティング液には、水酸化テトラメチルアンモニウム (tetramethylammonium hydroxide、略称；TM AH) 溶液を用いることができる。

【0199】

図 4 (A) から図 5 (B) までの工程を 700 以下の温度で行うことができるため、支持基板 100 に耐熱温度が 700 以下のガラス基板を用いることが可能である。よって、安価なガラス基板を使用できるため、半導体基板 10 の材料コストを低減することができる。

【0200】

なお、支持基板 100 に接合層を形成することもできる。また、支持基板 100 の表面に密接して絶縁層を形成することもできる。図 6 は、支持基板 100 の断面図であり、支持基板 100 表面に接して絶縁層 102 が形成され、絶縁層 102 上に接合層 104 が形成されている。もちろん、支持基板 100 には、絶縁層 102 と接合層 114 の一方を形成することもできる。絶縁層 102 は、例えば、絶縁層 112 と同様に、PECVD 法で形成できる単層の絶縁膜、または 2 層以上の絶縁膜である。接合層 104 は、接合層 114 と同様に形成することができる。図 6 において、バッファ層 105 は、絶縁層 102 と接合層 104 の積層構造である。

【0201】

なお、本実施形態の方法を用いて、1 枚の支持基板 100 に複数の単結晶半導体層 116 を貼り付けることもできる。支持基板 100 に図 4 (C) の構造の単結晶半導体基板 110 を複数枚貼り付ける。そして、図 4 (E) ~ 図 5 (B) の工程を行うことで、図 2 に示すように、複数の単結晶半導体層 116 が貼り付けられた支持基板 100 でなる半導体基板 20 を作製することができる。

【0202】

半導体基板 20 を作製するためには、支持基板 100 に 300 mm × 300 mm 以上のガラス基板を用いることが好ましい。大面積ガラス基板として、液晶パネルの製造用に開発されたマザーガラス基板が好適である。マザーガラス基板としては、例えば、第 3 世代 (550 mm × 650 mm)、第 3.5 世代 (600 mm × 720 mm)、第 4 世代 (680 mm × 880 mm、または 730 mm × 920 mm)、第 5 世代 (1100 mm × 1300 mm)、第 6 世代 (1500 mm × 1850 mm)、第 7 世代 (1870 mm × 2200 mm)、第 8 世代 (2200 mm × 2400 mm) などのサイズの基板が知られている。

【0203】

マザーガラス基板のような大面積な基板を支持基板 100 として用いることで、SOI 基板の大面積化が実現できる。SOI 基板の大面積化が実現すれば、1 枚の SOI 基板から複数の IC、LSI 等のチップを製造することができ、1 枚の基板から製造されるチッ

10

20

30

40

50

数が増加するので、生産性を飛躍的に向上させることができる。

【0204】

(実施形態2)

本実施形態では、図5(A)のレーザビーム122の照射工程に用いることのできるレーザ照射装置について説明する。

【0205】

本実施形態のレーザ照射装置は、レーザ発振器と、レーザ発振器で生成されたレーザビームが通過する光学系と、被処理物を配置するステージと、光学系とステージの間に配置され、窒素ガスが噴出する気体噴出部と、気体噴出部に気体を供給する気体供給装置と、気体供給装置から供給される窒素ガスを加熱する気体加熱装置とを有する。

10

【0206】

気体噴出部は、窒素ガスが吹き出す開口、レーザビームが通過する窓、および気体加熱手段を通過した窒素ガスが供給される空洞が形成された枠を有する。気体加熱手段は、セラミックからなる発熱体を有する。

【0207】

ステージ上の被処理物に照射されるレーザビームは、光学系を通過し、気体照射部に入射し、気体噴出部の窓、空洞および開口を通過したレーザビームである。このように、気体噴出部を配置することで、図5(A)に示すように、窒素ガス124が吹き付けられた領域にレーザビーム122を照射することを可能にしている。

20

【0208】

以下、図面を参照して、本実施形態のレーザ照射装置を説明する。図7は、レーザ照射装置の構成の一例を説明する図面である。

【0209】

レーザ照射装置は、レーザビーム300を発振するレーザ発振器301と、被処理物302を配置するステージ303を有する。レーザ発振器301にはコントローラ304が接続されている。コントローラ304の制御により、レーザ発振器301から発振するレーザビーム300のエネルギー、繰り返し周波数などを変化させることができる。ステージ303には、抵抗加熱装置など加熱装置が設けられており、被処理物302を加熱できるようになっている。

30

【0210】

レーザ発振器301とステージ303の間には、レンズやミラーなどを含む光学系305が配置されている。レーザ発振器301から射出されたレーザビーム300は、光学系305により、そのエネルギー分布が均一化され、かつその断面形状が線状に成形される。光学系305を通過したレーザビーム300は、気体噴出部306を通過し、ステージ303上に固定された被処理物302に照射される。

【0211】

気体噴出部306は、被処理物302に窒素ガス307を吹き付けるための箱状の部材である。別言すると、気体噴出部306は、内部に空洞を有する板状の部材である。

【0212】

レーザ照射装置は、ポンベなどの窒素ガス307を貯蔵するための気体貯蔵装置308、窒素ガス307を気体貯蔵装置308から気体噴出部306に供給するための気体供給装置309、および窒素ガス307を加熱するための気体加熱装置310を有する。気体貯蔵装置308はチューブ321によって気体供給装置309に連結されている。気体加熱装置310は、上流側にチューブ322により気体供給装置309が連結され、下流側にチューブ323により気体噴出部306が連結されている。

40

【0213】

気体貯蔵装置308に貯蔵されている窒素ガス307は、気体供給装置309によって、気体加熱装置310に供給される。窒素ガス307は気体加熱装置310を通過することで、加熱され、加熱された窒素ガス307が気体噴出部306に供給され、被処理物302に吹き付けられる。

50

【0214】

図8は、気体噴出部306の構成の一例を示す図面であり、その外観が図示されている。図9は、図8の気体噴出部306の内部構造を説明するための断面図である。

【0215】

気体噴出部306は、板状の部材であり、上面にレーザビーム300が通過する窓331が取り付けられ、その窓331に対向する面に開口部332が形成された枠333である。枠333に窒素ガス307が通るチューブ323が連結されている。枠333、および窓で囲まれた空洞334に気体加熱装置310を通過した窒素ガス307が供給される。この窒素ガス307は開口部332から噴出し、被処理物に吹き付けられる。窒素ガス307を噴出することにより、気体噴出部306を被処理物上面から浮上させる(図7参照)。図9においては、被処理物として、無アルカリガラス基板395上にバッファ層396と、単結晶半導体層397を図示している。

10

【0216】

気体噴出部306の開口部332は、窒素ガス307の吹き出し口の機能だけでなく、レーザビーム300が通過するスリットの機能を持つ。このような構造により、被処理物302において、レーザビーム300が照射される領域は、窒素ガス307が吹き付けられている領域となる。

【0217】

窓331はレーザビーム300を通過できればよく、使用するレーザ光の強度に耐えうる耐熱性が高い材料、例えば石英板で形成することができる。枠333は、例えば、セラミックなどで形成することができる。

20

【0218】

次に、気体加熱装置310の構成を説明する。例えば、窒素ガス307が通過するチューブ323を加熱するヒータと、ヒータを制御するコントローラ、コントローラの制御によって、ヒータを発熱させ、チューブ323を加熱する。加熱されたチューブ323を窒素ガス307が通過することで、窒素ガス307が加熱される。また、窒素ガス307と発熱体を接触させることで、窒素ガス307を加熱することもできる。発熱体には、窒素ガスを吹きつけて単結晶半導体層を400以上無アルカリガラス基板の歪点(760)以下、好ましくは、450以上650以下の温度になるように十分な高温に加熱されたガスを用いるため、そのガスに接触しても耐えることのできる材料、例えばセラミックなどを用いることができる。

30

【0219】

また、窒素ガス307の過剰な加熱を防ぐために、正の抵抗温度係数(Positive Temperature Coefficient、PTC)を有するセラミックを含むサーミスタを、気体加熱装置310に設けることが好ましい。その理由は、PTCを有することで、キュリー温度以上の温度にセラミックが発熱すると、セラミックの抵抗が急激に増加するため、過剰な加熱を防止できるという特長を有するからである。図10に、セラミックサーミスタの構成の一例を示す。図10のセラミックヒータ340は、PTC特性を有するセラミックでなる発熱体341、および発熱体341の端部に設けられた一対の電極342、343を有する。発熱体341は、複数の孔344を有するハニカム構造となっている。なお、図10では、発熱体341の孔344の形状を六角形としたが、孔344の形状は六角形に限定されるものではなく、円、四角形、不定形など任意の形状にすることができる。

40

【0220】

加熱された窒素ガス307をセラミックサーミスタの孔344を流れるように、セラミックサーミスタが配置される。加熱された窒素ガス307により、発熱体341が加熱される。電極342、343間の電圧を監視する。電極342、電極343間の電圧値から発熱体の抵抗値の変化が検出され、その抵抗値から発熱体341の温度が分かる。したがって、セラミックサーミスタで窒素ガス307の温度を監視することができる。例えば、セラミックサーミスタにより、発熱体341の温度が所定の温度以上になったことが検出

50

されると、窒素ガス307を加熱するためのヒータを制御し、その動作を停止する、またはその出力を抑えることで窒素ガス307が過熱されることを防ぐ。

【0221】

図11に光学系305の構成の一例を示す。図11に示す光学系305はレーザビーム300の断面形状を線状に加工し、かつそのエネルギー分布を均一にするための光学系である。

【0222】

光学系305には、レーザ発振器301側から、シリンドリカルレンズアレイ351、シリンドリカルレンズアレイ352、シリンドリカルレンズアレイ353、シリンドリカルレンズ354、シリンドリカルレンズ355、ミラー356、ダブレットシリンドリカルレンズ357が配置されている。なお、一点鎖線で囲った図面は光学系305の部分的な図面であり、光路を中心に、シリンドリカルレンズアレイ351からシリンドリカルレンズ355までの各光学素子を90度回転した平面図を示している。

10

【0223】

光学系305に入射したレーザビーム300は、シリンドリカルレンズアレイ351、シリンドリカルレンズアレイ352、シリンドリカルレンズアレイ353を通過することで、レーザビーム300の幅方向のエネルギープロファイルがガウシアン分布から長方形状に変化する。シリンドリカルレンズ354、355を通過することで、線状ビームの長さ方向のビーム長が長くされ、幅方向に集光される。レーザビーム300はミラー356で反射される。ダブレットシリンドリカルレンズ357により、レーザビーム300はビームの幅方向に集光される。その結果、線状のレーザビームが気体噴出部306に入射される。

20

【0224】

なお、レーザを照射する半導体膜まわりの雰囲気と、光学系305の雰囲気とを分断するため光学系305を敷居で囲い、レーザ光を透過させる石英窓320設けてもよい。例えば、本実施の形態では、光学系305を窒素バージすることで光学系の劣化を抑えることができる。

【0225】

次に、図7のレーザ照射装置によって、図5(A)の単結晶半導体層115にレーザビーム122を照射する方法を説明する。ここでは、窒素ガス124として高純度の窒素ガスを吹き付けることにする。図5(A)は図7の一部拡大図に相当しており、例えば単結晶半導体層115が貼り付けられた支持基板100と被処理物302が対応している。

30

【0226】

まず、図5(A)の単結晶半導体層115が貼り付けられた支持基板100をステージ303に配置する。気体貯蔵装置308に貯蔵されている窒素ガスが気体供給装置309により気体噴出部306に供給される。気体供給装置309では、窒素ガスの流量、圧力が調節され、気体噴出部306が浮上するように、窒素ガスを供給する。窒素ガスは、気体加熱装置310を通過することで、加熱されて気体噴出部306に供給される。

【0227】

レーザ発振器301から射出したレーザビーム300は、光学系305により断面が線状の線状ビームにされる。図7では、紙面に垂直な方向が線状のレーザビーム300の長さ方向である。

40

【0228】

線状に加工されたレーザビーム300は、気体噴出部306を通過し、単結晶半導体層115の分離面に照射される。図7の矢印311に沿って、ステージ303を移動しながら、かつ加熱された窒素ガスを単結晶半導体層115に吹き付けながら、レーザビーム300を照射する。矢印311の方向は、線状のレーザビーム300の幅方向である。

【0229】

本実施形態により、耐熱性の低い基板が支持基板に用いられたとしても、半導体基板から分離された半導体層の表面の平坦化に用いることが可能なレーザ照射装置を提供するこ

50

とを可能にする。

【0230】

本実施形態のレーザ照射装置は、ステージ303を大気雰囲気から隔離するためのチャンバーを用いずに、レーザ照射の雰囲気を制御することができる。よって、レーザ照射装置を小型化、安価にすることことができ、また装置の維持管理の費用を抑えることができる。

【0231】

(実施形態3)

図12～図14を用いて、本実施形態では、半導体基板10を用いた半導体装置の作製方法の一例として、薄膜トランジスタ(TFT)を作製する方法を説明する。複数の薄膜トランジスタを組み合わせることで、各種の半導体装置が形成される。以下、図12～図14の断面図を用いて、TFTの作製方法を説明する。なお、本実施形態では、nチャネル型のTFTとpチャネル型のTFTを同時に作製する方法を説明する。

10

【0232】

図12(A)に示すように、支持基板100上の単結晶半導体層116をエッティングにより所望の形状に加工する(パターニングする)ことで、半導体膜603と半導体膜604とを形成する。半導体膜603からp型トランジスタが形成され、半導体膜604からn型トランジスタが形成される。

【0233】

半導体膜603と半導体膜604には、閾値電圧を制御するために、硼素、アルミニウム、ガリウムなどのp型不純物、若しくはリン、砒素などのn型不純物元素を添加してもよい。例えば、p型を付与する不純物元素としてボロンを添加する場合、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度で添加すればよい。閾値電圧を制御するための不純物の添加は、単結晶半導体層116に対して行ってもよいし、半導体膜603と半導体膜604に対して行ってもよい。また、閾値電圧を制御するための不純物の添加を、単結晶半導体基板110に対して行ってもよい。若しくは、不純物の添加を、閾値電圧を大まかに調整するために単結晶半導体基板110に対して行ってもよい。閾値電圧を微調整するために、単結晶半導体層116に対して、または半導体膜603および半導体膜604に対して行うようにしてもよい。

20

【0234】

例えば、単結晶半導体基板110に弱いp型の単結晶シリコン基板を用いた場合を例に、この不純物元素の添加方法の一例を説明する。まず、単結晶半導体層116をエッティングする前に、単結晶半導体層116全体にボロンを添加する。このボロンの添加は、p型トランジスタの閾値電圧を調節することを目的とする。ドーパントガスにB₂H₆を用い、 $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{17} \text{ / cm}^3$ の濃度でボロンを添加する。ボロンの濃度は、活性化率などを考慮して決定される。たとえば、ボロンの濃度は $6 \times 10^{16} \text{ / cm}^3$ とするとことができる。次に、単結晶半導体層116をエッティングして、半導体膜603、604を形成する。そして、半導体膜604のみにボロンを添加する。この2回目のボロンの添加は、n型トランジスタの閾値電圧を調節することを目的とする。ドーパントガスにB₂H₆を用い、 $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{17} \text{ / cm}^3$ の濃度でボロンを添加する。たとえば、ボロンの濃度は $6 \times 10^{16} \text{ / cm}^3$ とするとができる。

30

【0235】

なお、単結晶半導体基板110に、p型トランジスタ又はn型トランジスタの一方の閾値電圧に適した導電型および抵抗を有する基板が用いることができる場合は、閾値制御をするための不純物添加の工程を1回にすることができ、半導体膜603または半導体膜604の一方に閾値電圧の制御のための不純物元素を添加すればよい。

40

【0236】

次に図12(B)に示すように、半導体膜603と半導体膜604を覆うように、ゲート絶縁膜606を形成する。PECVD法またはスパッタリング法などを用い、酸化珪素、窒化酸化珪素、窒化珪素、酸化ハフニウム、酸化アルミニウムまたは酸化タンタルを含む膜を、単層で、または積層させることで、ゲート絶縁膜606を形成する。本実施の形態

50

では、ゲート絶縁膜 606 は、PECVD 法を行うことにより半導体膜 603 と半導体膜 604 の表面を覆って薄い膜厚、例えば 20 nm の膜厚で形成することができる。また、高密度プラズマ処理により半導体膜 603 と半導体膜 604 の表面を酸化または窒化することで形成してもよい。高密度プラズマ処理は、例えば He、Ar、Kr、Xe などの希ガスと酸素、酸化窒素、アンモニア、窒素、水素などの混合ガスとを用いて行う。この場合プラズマの励起をマイクロ波により行うことで、低電子温度で高密度のプラズマを生成することができる。このような高密度のプラズマで生成された酸素ラジカル (OH ラジカルを含む場合もある) や窒素ラジカル (NH ラジカルを含む場合もある) によって、半導体膜の表面を酸化または窒化することにより、1 ~ 50 nm、望ましくは 5 ~ 30 nm の絶縁膜が半導体膜に接するように形成される。加熱を行いながら、レーザ照射を行うことで単結晶半導体層の表面が十分に平坦化されるため、厚さ 20 nm の絶縁膜をゲート絶縁膜 606 として用いても、十分なゲート耐圧を得ることができる。
10

【0237】

或いは、半導体膜 603 と半導体膜 604 を熱酸化させることで、ゲート絶縁膜 606 を形成するようにしてもよい。

【0238】

或いは、水素を含んだゲート絶縁膜 606 を形成した後、350 以上 450 以下の温度による加熱処理を行うことで、ゲート絶縁膜 606 中に含まれる水素を半導体膜 603 および半導体膜 604 中に拡散させることにしてもよい。この場合、ゲート絶縁膜 606 は、プロセス温度を 350 以下で、PECVD 法で窒化シリコン又は窒化酸化シリコンを堆積することで形成することができる。半導体膜 603 および半導体膜 604 に水素を供給することで、半導体膜 603 および半導体膜 604 中、およびゲート絶縁膜 606 と半導体膜 603 および半導体膜 604 の界面での、電荷捕獲中心となるような結晶欠陥を効果的に低減することができる。
20

【0239】

次に図 12 (C) に示すように、ゲート絶縁膜 606 上に導電膜を形成した後、該導電膜を所定の形状に加工 (パターニング) することで、半導体膜 603 と半導体膜 604 の上方に電極 607 を形成する。導電膜の形成には CVD 法、スパッタリング法等を用いることができる。導電膜は、タンタル (Ta)、タンゲステン (W)、チタン (Ti)、モリブデン (Mo)、アルミニウム (Al)、銅 (Cu)、クロム (Cr)、ニオブ (Nb) 等を用いることができる。また上記金属を主成分とする合金を用いても良いし、上記金属を含む化合物を用いてもよい。または、半導体膜に導電性を付与するリン等の不純物元素をドーピングした、多結晶珪素などの半導体を用いて形成してもよい。
30

【0240】

2 つの導電膜の組み合わせとして、1 層目に窒化タンタルまたはタンタル (Ta) を、2 層目にタンゲステン (W) を用いることができる。上記例の他に、窒化タンゲステンとタンゲステン、窒化モリブデンとモリブデン、アルミニウムとタンタル、アルミニウムとチタン等が挙げられる。タンゲステンや窒化タンタルは、耐熱性が高いため、2 層の導電膜を形成した後の工程において、熱活性化を目的とした加熱処理を行うことができる。また、2 層目の導電膜の組み合わせとして、例えば、n 型を付与する不純物がドーピングされた珪素とニッケルシリサイド、n 型を付与する不純物がドーピングされた Si と WSi_x 等も用いることができる。
40

【0241】

また、本実施形態では電極 607 を単層の導電膜で形成しているが、本実施形態はこの構成に限定されない。電極 607 は積層された複数の導電膜で形成されていてもよい。3 つ以上の導電膜を積層する 3 層構造の場合は、モリブデン膜とアルミニウム膜とモリブデン膜の積層構造を採用するとよい。

【0242】

なお電極 607 を形成する際に用いるマスクとして、レジストの代わりに酸化珪素、窒化酸化珪素等をマスクとして用いてもよい。この場合、酸化珪素、窒化酸化珪素等をエッ
50

チングする工程が加わるが、エッチング時におけるマスクの膜減りがレジストよりも少ないため、所望の幅を有する電極 607 を形成することができる。またマスクを用いずに、液滴吐出法を用いて選択的に電極 607 を形成してもよい。

【 0 2 4 3 】

なお液滴吐出法とは、所定の組成物を含む液滴を細孔から吐出または噴出することで所定のパターンを形成する方法を意味し、インクジェット法などがその範疇に含まれる。

【 0 2 4 4 】

また電極 607 は、導電膜を形成後、I C P (I n d u c t i v e l y C o u p l e d P l a s m a : 誘導結合型プラズマ) エッチング法を用いる。エッチング条件 (コイル型の電極層に印加される電力量、基板側の電極層に印加される電力量、基板側の電極温度等) を適宜調節することにより、所望のテーパー形状を有するようにエッチングすることができる。また、テーパー形状は、マスクの形状によっても角度等を制御することができる。なお、エッチング用ガスとしては、塩素、塩化硼素、塩化珪素もしくは四塩化炭素などの塩素系ガス、四弗化炭素、弗化硫黄もしくは弗化窒素などのフッ素系ガス又は酸素を適宜用いることができる。

【 0 2 4 5 】

次に図 12 (D) に示すように、電極 607 をマスクとして一導電型を付与する不純物元素を半導体膜 603 、半導体膜 604 に添加する。本実施形態では、半導体膜 603 に p 型を付与する不純物元素 (例えはボロン) を添加し、半導体膜 604 に n 型を付与する不純物元素 (例えはリンまたはヒ素) を添加する。この工程は、半導体膜 603 にソース領域、またはドレイン領域となる不純物領域を形成し、半導体膜 604 には、高抵抗領域として機能する不純物領域を形成するための工程である。

【 0 2 4 6 】

なお、 p 型を付与する不純物元素を半導体膜 603 に添加するときには、 p 型を付与する不純物元素の添加が添加されないように、半導体膜 604 はマスク等で覆う。他方、 n 型を付与する不純物元素を半導体膜 604 に添加するときには、 n 型を付与する不純物元素が添加されないように、半導体膜 603 はマスク等で覆う。或いは、先に半導体膜 603 および半導体膜 604 に p 型もしくは n 型のいずれか一方を付与する不純物元素を添加した後、一方の半導体膜のみに選択的により高い濃度で p 型もしくは n 型のうちの他方を付与する不純物元素のいずれか一方を添加するようにしてもよい。この不純物の添加工程により、半導体膜 603 に p 型の高濃度不純物領域 608 が形成され、半導体膜 604 には、 n 型の低濃度不純物領域 609 が形成される。また、半導体膜 603 、 604 において、それぞれ、電極 607 と重なる領域はチャネル形成領域 610 、 611 となる。

【 0 2 4 7 】

次に、図 13 (A) に示すように、電極 607 の側面にサイドウォール 612 を形成する。サイドウォール 612 は、例えは、ゲート絶縁膜 606 および電極 607 を覆うように新たに絶縁膜を形成し、垂直方向を主体とした異方性エッチングにより、新たに形成された該絶縁膜を部分的にエッチングすることで形成することができる。この異方性エッチングにより、新たに形成された絶縁膜が部分的にエッチングされて、電極 607 の側面にサイドウォール 612 が形成される。なおこの異方性エッチングにより、ゲート絶縁膜 606 も部分的にエッチングされる。サイドウォール 612 を形成するための絶縁膜は、 P E C V D 法やスパッタリング法等により、シリコン膜、酸化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜や、有機樹脂などの有機材料を含む膜を、 1 層または 2 層以上積層して形成することができる。本実施形態では、膜厚 100 nm の酸化シリコン膜を P E C V D 法によって形成する。酸化シリコン膜のエッチングガスには、 C H F₃ とヘリウムの混合ガスを用いることができる。なお、サイドウォール 612 を形成する工程は、これらに限定されるものではない。

【 0 2 4 8 】

次に図 13 (B) に示すように、電極 607 およびサイドウォール 612 をマスクとして半導体膜 604 に n 導電型を付与する不純物元素を添加する。この工程は、半導体膜 6

10

20

30

40

50

04にソース領域またはドレイン領域として機能する不純物領域を形成するための工程である。この工程では、半導体膜603はマスク等で覆い、半導体膜604にn型を付与する不純物元素を添加する。

【0249】

上記不純物元素の添加により、電極607、サイドウォール612がマスクとなり、半導体膜604に一対のn型の高濃度不純物領域614が自己整合的に形成される。次に、半導体膜603を覆うマスクを除去した後、加熱処理を行い、半導体膜603に添加したp型を付与する不純物元素、および半導体膜604に添加したn型を付与する不純物元素を活性化する。図12(A)～図13(B)に示す一連の工程により、pチャネル型トランジスタ617、およびnチャネル型トランジスタ618が形成される。

10

【0250】

なお、ソースおよびドレインの抵抗を下げるために、半導体膜603の高濃度不純物領域608、半導体膜604の高濃度不純物領域614をシリサイド化して、シリサイド層を形成してもよい。シリサイド化は、半導体膜603、604に金属を接触させ、加熱処理によって、半導体膜中のシリコンと金属とを反応させてシリサイド化合物を生成する。この金属にはコバルトまたはニッケルが好ましく、チタン(Ti)、タンゲステン(W)、モリブデン(Mo)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、バナジウム(V)、ネオジム(Nb)、クロム(Cr)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)等を用いることができる。半導体膜603、半導体膜604の厚さが薄い場合には、この領域の半導体膜603、半導体膜604の底部までシリサイド反応を進めてよい。シリサイド化のための加熱処理には、抵抗加熱炉、RTA装置、マイクロ波加熱装置、またはレーザ照射装置を用いることができる。

20

【0251】

次に図13(C)に示すように、トランジスタ617、トランジスタ618を覆うように絶縁膜619を形成する。絶縁膜619として、水素を含む絶縁膜を形成する。本実施形態では、モノシリラン、アンモニア、N₂Oを含むソースガスを用いて、PECVD法で形成した膜厚600nm程度の窒化酸化シリコン膜を形成する。これは、水素を絶縁膜619に含ませることで、絶縁膜619から水素を拡散させて、半導体膜603、半導体膜604の未結合手を終端させることができるからである。また、絶縁膜619を形成することで、アルカリ金属やアルカリ土類金属などの不純物がトランジスタ617、トランジスタ618へ侵入するのを防ぐことができる。具体的に絶縁膜619として、窒化珪素、窒化酸化珪素、窒化アルミニウム、酸化アルミニウム、酸化珪素などを用いる。

30

【0252】

次に、トランジスタ617、トランジスタ618を覆うように、絶縁膜619上に絶縁膜620を形成する。絶縁膜620は、ポリイミド、アクリル、ベンゾシクロブテン、ポリアミド、エポキシ等の、耐熱性を有する有機材料を用いることができる。また上記有機材料の他に、低誘電率材料(LOW-k材料)、シロキサン系樹脂、酸化珪素、窒化珪素、窒化酸化珪素、PSG(リンガラス)、BPSG(リンボロンガラス)、アルミナ等を用いることができる。シロキサン系樹脂は、置換基に水素の他、フッ素、アルキル基、またはアリール基のうち少なくとも1種を有していてもよい。なお、これらの材料で形成される絶縁膜を複数積層することで、絶縁膜620を形成してもよい。

40

【0253】

なおシロキサン系樹脂とは、シロキサン系材料を出発材料として形成されたSi-O-Si結合を含む樹脂に相当する。シロキサン系樹脂は、置換基に水素の他、フッ素、アルキル基、または芳香族炭化水素のうち、少なくとも1種を有していてもよい。

【0254】

絶縁膜620の形成には、その材料に応じて、CVD法、スパッタ法、SOG法、スピニコート、ディップ、スプレー塗布、液滴吐出法(インクジェット法、スクリーン印刷、オフセット印刷等)、ドクターナイフ、ロールコーティング、カーテンコーティング、ナイフコーティング等を用いることができる。

50

【0255】

次に、窒素雰囲気中で、400～450程度（例えば、410）の加熱処理を1時間程度行い、絶縁膜619から水素を拡散させ、半導体膜603および半導体膜604の未結合手を水素で終端する。なお、単結晶半導体層116は、非晶質シリコン膜を結晶化した多結晶シリコン膜とくらべて非常に欠陥密度が小さいため、この水素による終端処理を短時間にすることができる。

【0256】

次に、図14に示すように、半導体膜603と半導体膜604がそれぞれ一部露出するように絶縁膜619および絶縁膜620にコンタクトホールを形成する。コンタクトホールの形成は、CHF₃とHeの混合ガスを用いたドライエッティング法で行うことができるが、これに限定されるものではない。そして、該コンタクトホールを介して半導体膜603と半導体膜604に接する導電膜621、622を形成する。導電膜621はpチャネル型トランジスタ617の高濃度不純物領域608に接続されている。導電膜622はnチャネル型トランジスタ618の高濃度不純物領域614に接続されている。

10

【0257】

導電膜621、622は、CVD法やスパッタリング法等により形成することができる。具体的に導電膜621、622として、アルミニウム(A1)、タングステン(W)、チタン(Ti)、タンタル(Ta)、モリブデン(Mo)、ニッケル(Ni)、白金(Plt)、銅(Cu)、金(Au)、銀(Ag)、マンガン(Mn)、ネオジム(Nd)、炭素(C)、珪素(Si)等を用いることができる。また上記金属を主成分とする合金を用いても良いし、上記金属を含む化合物を用いてもよい。導電膜621、622は、上記金属が用いられた膜を単層または複数積層させて形成することができる。

20

【0258】

アルミニウムを主成分とする合金の例として、アルミニウムを主成分としニッケルを含むものが挙げられる。また、アルミニウムを主成分とし、ニッケルと、炭素または珪素の一方または両方とを含むものも例として挙げることができる。アルミニウムやアルミニウムシリコンは抵抗値が低く、安価であるため、導電膜621、622を形成する材料として最適である。特にアルミニウムシリコン(A1-Si)膜の形状をエッティングで加工する場合は、エッティング用のマスクを形成する際のレジストベークにおけるヒロックの発生をアルミニウム膜に比べて防止することができる。また、珪素(Si)の代わりに、アルミニウム膜に0.5%程度のCuを混入させてもよい。

30

【0259】

導電膜621、622は、例えば、バリア膜とアルミニウムシリコン(A1-Si)膜とバリア膜の積層構造、バリア膜とアルミニウムシリコン(A1-Si)膜と窒化チタン膜とバリア膜の積層構造を採用するとよい。なお、バリア膜とは、チタン、チタンの窒化物、モリブデンまたはモリブデンの窒化物を用いて形成された膜である。アルミニウムシリコン(A1-Si)膜を間に挟むようにバリア膜を形成すると、アルミニウムやアルミニウムシリコンのヒロックの発生をより防止することができる。また、還元性の高い元素であるチタンを用いてバリア膜を形成すると、半導体膜603と半導体膜604上に薄い酸化膜ができていたとしても、バリア膜に含まれるチタンがこの酸化膜を還元し、導電膜621、622と、半導体膜603および半導体膜604とがそれぞれ良好なコンタクトをとることができる。またバリア膜を複数積層するようにして用いてもよい。その場合、例えば、導電膜621、622を下層からTi、窒化チタン、A1-Si、Ti、窒化チタンの5層構造とすることができる。

40

【0260】

また導電膜621、622として、WF₆ガスとSiH₄ガスから化学気相成長法で形成したタングステンシリサイドを用いてもよい。また、WF₆を水素還元して形成したタングステンを、導電膜621、622として用いてもよい。

【0261】

図14には、pチャネル型トランジスタ617およびnチャネル型トランジスタ618

50

の上面図と、この上面図の切断線 A - A' に沿った断面図が共に示されている。なお、図 14 の上面図では導電膜 621、622、絶縁膜 619、絶縁膜 620 を省略した図を示している。

【0262】

本実施形態では、p チャネル型トランジスタ 617 と n チャネル型トランジスタ 618 が、それぞれゲートとして機能する電極 607 を 1 つずつ有する場合を例示しているが、本発明はこの構成に限定されない。本発明で作製されるトランジスタは、ゲートとして機能する電極を複数有し、なおかつ該複数の電極が電気的に接続されているマルチゲート構造のトランジスタとすることができます。また、このトランジスタは、ゲートプレナー構造のトランジスタとすることができます。

10

【0263】

なお、本発明の半導体基板が有する半導体層は、単結晶半導体基板を薄片化した層であるため、配向のばらつきがない。そのため、半導体基板を用いて作製される複数のトランジスタの閾値電圧や移動度などの電気的特性のばらつきを小さくすることができる。また、結晶粒界が殆どないため、結晶粒界に起因するリーク電流を抑え、また、半導体装置の省電力化を実現することができる。したがって、信頼性の高い半導体装置を作製することができます。

【0264】

レーザ結晶化により得られる多結晶の半導体膜からトランジスタを作製する場合、高い移動度を得るために、レーザ光の走査方向を考慮して、トランジスタの半導体膜のレイアウトを決める必要があったが、本発明の半導体膜付き基板は必要がないため、半導体装置の設計における制約が少ない。

20

【0265】

(実施形態 4)

実施形態 3 では、半導体装置の作製方法の一例として、TFT の作製方法を説明したが、半導体膜付き基板に、TFT と共に容量、抵抗など各種の半導体素子を形成することで、高付加価値の半導体装置を作製することができる。本実施形態では、図面を参照しながら半導体装置の具体的な態様を説明する。

【0266】

まず、半導体装置の一例として、マイクロプロセッサについて説明する。図 15 はマイクロプロセッサ 200 の構成例を示すブロック図である。

30

【0267】

マイクロプロセッサ 200 は、演算回路 201 (Arithmetic logic unit。ALUともいう。)、演算回路制御部 202 (ALU Controller)、命令解析部 203 (Instruction Decoder)、割り込み制御部 204 (Interrupt Controller)、タイミング制御部 205 (Timing Controller)、レジスタ 206 (Register)、レジスタ制御部 207 (Register Controller)、バスインターフェース 208 (Bus I/F)、読み出し専用メモリ 209、およびメモリインターフェース 210 を有している。

40

【0268】

バスインターフェース 208 を介してマイクロプロセッサ 200 に入力された命令は、命令解析部 203 に入力され、デコードされた後、演算回路制御部 202、割り込み制御部 204、レジスタ制御部 207、タイミング制御部 205 に入力される。演算回路制御部 202、割り込み制御部 204、レジスタ制御部 207、タイミング制御部 205 は、デコードされた命令に基づき、様々な制御を行う。

【0269】

演算回路制御部 202 は、演算回路 201 の動作を制御するための信号を生成する。また、割り込み制御部 204 は、マイクロプロセッサ 200 のプログラム実行中に、外部の入出力装置や周辺回路からの割り込み要求を処理する回路であり、割り込み制御部 204

50

は、割り込み要求の優先度やマスク状態を判断して、割り込み要求を処理する。レジスタ制御部207は、レジスタ206のアドレスを生成し、マイクロプロセッサ200の状態に応じてレジスタ206の読み出しや書き込みを行う。タイミング制御部205は、演算回路201、演算回路制御部202、命令解析部203、割り込み制御部204、およびレジスタ制御部207の動作のタイミングを制御する信号を生成する。例えば、タイミング制御部205は、基準クロック信号CLK1を元に、内部クロック信号CLK2を生成する内部クロック生成部を備えている。図15に示すように、内部クロック信号CLK2は他の回路に入力される。

【0270】

次に、非接触でデータの送受信を行う機能、および演算機能を備えた半導体装置の一例を説明する。図16は、このような半導体装置の構成例を示すブロック図である。図16に示す半導体装置211は、無線通信により外部装置と信号の送受信を行って動作する演算処理装置として機能する。

【0271】

図16に示すように、半導体装置211は、アナログ回路部212とデジタル回路部213を有している。アナログ回路部212として、共振容量を有する共振回路214、整流回路215、定電圧回路216、リセット回路217、発振回路218、復調回路219と、変調回路220と、電源管理回路230を有している。デジタル回路部213は、RFインターフェース221、制御レジスタ222、クロックコントローラ223、インターフェース224、中央処理ユニット225、ランダムアクセスメモリ226、読み出し専用メモリ227を有している。

【0272】

半導体装置211の動作の概要は以下の通りである。アンテナ228が受信した信号は共振回路214により誘導起電力を生じる。誘導起電力は、整流回路215を経て容量部229に充電される。この容量部229はセラミックコンデンサーや電気二重層コンデンサーなどのキャパシタで形成されていることが好ましい。容量部229は、半導体装置211を構成する基板に集積されている必要はなく、他の部品として半導体装置211に組み込むこともできる。

【0273】

リセット回路217は、デジタル回路部213をリセットし初期化する信号を生成する。例えば、電源電圧の上昇に遅延して立ち上がる信号をリセット信号として生成する。発振回路218は、定電圧回路216により生成される制御信号に応じて、クロック信号の周波数とデューティー比を変更する。復調回路219は、受信信号を復調する回路であり、変調回路220は、送信するデータを変調する回路である。

【0274】

例えば、復調回路219はローパスフィルタで形成され、振幅変調(ASK)方式の受信信号を、その振幅の変動をもとに、二値化する。また、送信データを振幅変調(ASK)方式の送信信号の振幅を変動させて送信するため、変調回路220は、共振回路214の共振点を変化させることで通信信号の振幅を変化させている。

【0275】

クロックコントローラ223は、電源電圧または中央処理ユニット225における消費電流に応じてクロック信号の周波数とデューティー比を変更するための制御信号を生成している。電源電圧の監視は電源管理回路230が行っている。

【0276】

アンテナ228から半導体装置211に入力された信号は復調回路219で復調された後、RFインターフェース221で制御コマンドやデータなどに分解される。制御コマンドは制御レジスタ222に格納される。制御コマンドには、読み出し専用メモリ227に記憶されているデータの読み出し、ランダムアクセスメモリ226へのデータの書き込み、中央処理ユニット225への演算命令などが含まれている。

【0277】

10

20

30

40

50

中央処理ユニット 225 は、インターフェース 224 を介して読み出し専用メモリ 227、ランダムアクセスメモリ 226、制御レジスタ 222 にアクセスする。インターフェース 224 は、中央処理ユニット 225 が要求するアドレスより、読み出し専用メモリ 227、ランダムアクセスメモリ 226、制御レジスタ 222 のいずれかに対するアクセス信号を生成する機能を有している。

【0278】

中央処理ユニット 225 の演算方式は、読み出し専用メモリ 227 に OS (オペレーティングシステム) を記憶させておき、起動とともにプログラムを読み出し実行する方式を採用することができる。また、専用回路で演算回路を構成して、演算処理をハードウェア的に処理する方式を採用することもできる。ハードウェアとソフトウェアを併用する方式では、専用の演算回路で一部の演算処理を行い、プログラムを使って、残りの演算を中央処理ユニット 225 が処理する方式を適用できる。

10

【0279】

次に、図 17 および図 18 を用いて、半導体装置の構成例として表示装置について説明する。

【0280】

図 17 は、液晶表示装置の構成例を示す図面である。図 17 (A) は液晶表示装置の画素の平面図であり、図 17 (B) は J - K 切断線による図 17 (A) の断面図である。図 17 (A) において、半導体層 511 は、単結晶半導体層 116 から形成された層であり、画素の TFT 525 を構成する。画素は、半導体層 511、半導体層 511 と交差している走査線 522、走査線 522 と交差している信号線 523、画素電極 524、画素電極 524 と半導体層 511 を電気的に接続する電極 528 を有する。半導体層 511 は、SOI 基板に貼り合わせられた半導体層 511 から形成された層であり、画素の TFT 525 を構成する。

20

【0281】

図 17 (B) に示すように、基板 510 上に、接合層 114、絶縁膜 112b と絶縁膜 112a でなる絶縁層 112、半導体層 511 が積層されている。基板 510 は分割された支持基板 100 である。半導体層 511 は、単結晶半導体層 116 をエッチングによる素子分離により形成された層である。半導体層 511 には、チャネル形成領域 512、n 型の不純物領域 513 が形成されている。TFT 525 のゲート電極は走査線 522 に含まれ、ソース電極またはドレイン電極の一方は信号線 523 に含まれている。

30

【0282】

層間絶縁膜 527 上には、信号線 523、画素電極 524 および電極 528 が設けられている。層間絶縁膜 527 上には、柱状スペーサ 529 が形成され、信号線 523、画素電極 524、電極 528 および柱状スペーサ 529 を覆って配向膜 530 が形成されている。対向基板 532 には、対向電極 533、対向電極 533 を覆う配向膜 534 が形成されている。柱状スペーサ 529 は、基板 510 と対向基板 532 の隙間を維持するために形成される。柱状スペーサ 529 によって形成される隙間に液晶層 535 が形成されている。信号線 523 および電極 528 と不純物領域 513 との接続部は、コンタクトホールの形成によって層間絶縁膜 527 に段差が生じるので、この接続部では液晶層 535 の液晶の配向が乱れやすい。そのため、この段差部に柱状スペーサ 529 を形成して、液晶の配向の乱れを防ぐ。

40

【0283】

次に、エレクトロルミネセンス表示装置 (以下、EL 表示装置という。) について、説明する。図 18 は実施形態 2 の方法で作製された EL 表示装置を説明するための図面である。図 18 (A) は EL 表示装置の画素の平面図であり、図 18 (B) は画素の断面図である。図 18 (A) に示すように、画素は、TFT でなる選択用トランジスタ 401、表示制御用トランジスタ 402、走査線 405、信号線 406、および電流供給線 407、画素電極 408 を含む。エレクトロルミネセンス材料を含んで形成される層 (EL 層) が一对の電極間に挟んだ構造の発光素子が各画素に設けられている。発光素子の一方の電極

50

が画素電極 408 である。

【0284】

選択用トランジスタ 401 は、単結晶半導体層 116 からなる半導体層 403 を有する。選択用トランジスタ 401 において、ゲート電極は走査線 405 に含まれ、ソース電極またはドレイン電極の一方は信号線 406 に含まれ、他方は電極 411 として形成されている。表示制御用トランジスタ 402 は、ゲート電極 412 が電極 411 と電気的に接続され、ソース電極またはドレイン電極の一方は、画素電極 408 に電気的に接続される電極 413 として形成され、他方は、電流供給線 407 に含まれている。

【0285】

表示制御用トランジスタ 402 は p チャネル型の TFT であり、単結晶半導体層 116 からなる半導体層 404 を有する。図 18 (B) に示すように、半導体層 404 には、チャネル形成領域 451、p 型の不純物領域 452 が形成されている。表示制御用トランジスタ 402 のゲート電極 412 を覆って、層間絶縁膜 427 が形成されている。層間絶縁膜 427 上に、信号線 406、電流供給線 407、電極 411、413 などが形成されている。また、層間絶縁膜 427 上には、電極 413 に電気的に接続されている画素電極 408 が形成されている。画素電極 408 は周辺部が絶縁性の隔壁層 428 で囲まれている。画素電極 408 上には EL 層 429 が形成され、EL 層 429 上には対向電極 430 が形成されている。補強板として対向基板 431 が設けられており、対向基板 431 は樹脂層 432 により基板 400 に固定されている。基板 400 は支持基板 100 を分割した基板である。

10

20

【0286】

半導体基板 10 を用いて様々な電気機器を作製することができる。電気機器としては、ビデオカメラ、デジタルカメラ、ナビゲーションシステム、音響再生装置（カーオーディオ、オーディオコンポなど）、コンピュータ、ゲーム機器、携帯情報端末（モバイルコンピュータ、携帯電話、携帯型ゲーム機または電子書籍など）、記録媒体を備えた画像再生装置（具体的には DVD (d i g i t a l v e r s a t i l e d i s c) などの画像データを表示する表示装置を備えた装置などが含まれる。

【0287】

図 19 を用いて、電気機器の具体的な態様を説明する。図 19 (A) は携帯電話機 901 の一例を示す外観図である。この携帯電話機 901 は、表示部 902、操作スイッチ 903 などを含んで構成されている。表示部 902 に、図 17 で説明した液晶表示装置または図 18 で説明した EL 表示装置を適用することで、表示むらが少なく画質の優れた表示部 902 とすることができる。

30

【0288】

また、図 19 (B) は、デジタルプレーヤー 911 の構成例を示す外観図である。デジタルプレーヤー 911 は、表示部 912、操作部 913、イヤホン 914 などを含んでいる。イヤホン 914 の代わりにヘッドホンや無線式イヤホンを用いることができる。表示部 912 に、図 17 で説明した液晶表示装置または図 18 で説明した EL 表示装置を適用することで、画面サイズが 0.3 インチから 2 インチ程度の場合であっても。高精細な画像および多量の文字情報を表示することができる。

40

【0289】

また、図 19 (C) は、電子ブック 921 の外観図である。この電子ブック 921 は、表示部 922、操作スイッチ 923 を含んでいる。電子ブック 921 にはモデムを内蔵していてもよいし、図 16 の半導体装置 211 を内蔵させて、無線で情報を送受信できる構成としてもよい。表示部 922 には、図 17 で説明した液晶表示装置、または図 18 で説明した EL 表示装置を適用することで、高画質の表示を行うことができる。

【0290】

図 20 は図 19 (A) に示した携帯電話とは異なる例を示す。図 20 は本発明を適用したスマートフォン携帯電話の構成の一例であり、図 20 (A) が正面図、図 20 (B) が背面図、図 20 (C) が展開図である。筐体 1001 及び 1002 二つの筐体で構成されて

50

いる。スマートフォン携帯電話 1000 は、携帯電話と携帯情報端末の双方の機能を備えており、コンピュータを内蔵し、音声通話以外にも様々なデータ処理が可能な所謂スマートフォンである。

【0291】

スマートフォン携帯電話 1000 は、筐体 1001 及び 1002 二つの筐体で構成されている。筐体 1001 においては、表示部 1101、スピーカー 1102、マイクロフォン 1103、操作キー 1104、ポインティングデバイス 1105、表面カメラ用レンズ 1106、外部接続端子 1107、イヤホン端子 1108 等を備え、筐体 1002 においては、キーボード 1201、外部メモリスロット 1202、裏面カメラ用レンズ 1203、ライト 1204 等を備えているなどにより構成されている。また、アンテナは筐体 1001 内部に内蔵されている。10

【0292】

また、上記構成に加えて、非接触 IC チップ、小型記録装置等を内蔵していてもよい。

【0293】

重なり合った筐体 1001 と筐体 1002 (図 20 (A)) は、スライドし図 20 (C) のように展開する。表示部 1101 には、上記実施の形態に示される表示装置を組み込むことが可能であり、使用形態に応じて表示の方向が適宜変化する。表示部 1101 と同一面上に及び表面カメラ用レンズ 1106 を同一の面に備えているため、テレビ電話が可能である。また、表示部 1101 をファインダーとし裏面カメラ用レンズ 1203 及びライト 1204 で静止画及び動画の撮影が可能である。スピーカー 1102 及びマイクロフォン 1103 は音声通話に限らず、テレビ電話、録音、再生等の用途に使用できるが可能である。操作キー 1104 では、電話の発着信、電子メール等の簡単な情報入力、画面のスクロール、カーソル移動等が可能である。書類の作成、携帯情報端末としての使用等、取り扱う情報が多い場合はキーボード 1201 を用いると便利である。更に、重なり合った筐体 1001 と筐体 1002 (図 20 (A)) は、スライドし図 20 (C) のように展開し、携帯情報端末としての使用する場合は。この場合、キーボード 1201、ポインティングデバイス 1105 を用い円滑な操作が可能である。外部接続端子 1107 は A C アダプタ及び U S B ケーブル等の各種ケーブルと接続可能であり、充電及びパーソナルコンピュータ等とのデータ通信が可能である。また、外部メモリスロット 1202 に記録媒体を挿入しより大量のデータ保存及び移動に対応できる。筐体 1002 の裏面 (図 20 (B)) には、裏面カメラ用レンズ 1203 及びライト 1204 を備えており、表示部 1101 をファインダーとし静止画及び動画の撮影が可能である。2030

【0294】

また、上記機能構成に加えて、赤外線通信機能、U S B ポート、テレビ受信機能等を備えたものであってもよい。

【0295】

(実施形態 5)

実施形態 1 では、バッファ層を 3 層とする例を示したが、本実施の形態は、バッファ層を 2 層とする例を示す。本実施形態では、無アルカリガラス基板 (商品名 A N 1 0 0) を用いて複数のシリコン基板を固定した後、複数の単結晶シリコン層を形成する例を図 29 (A) に示す。40

【0296】

まず、無アルカリガラス基板 800 上にバッファ層の一層であるバリア層 801 を P E C V D 法により形成する。無アルカリガラス基板 (商品名 A N 1 0 0) は次の物性値を有する無アルカリガラス基板である。比重 2 . 5 1 g / c m ³ 、ポワソン比 0 . 2 2 、ヤング率 7 7 G P a 、二軸弾性係数 9 8 . 7 G P a 、熱膨張率 3 8 × 1 0 ⁻⁷ / 。

【0297】

バリア層 801 は、半導体基板を作製時、およびこの半導体基板を用いた半導体装置の作製時に、アルカリ金属若しくはアルカリ土類金属などの半導体装置の信頼性を低下させる不純物 (代表的には、ナトリウム) が、支持基板側から単結晶半導体層に侵入することを50

防ぐ膜である。バリア層を形成することで、半導体装置が不純物で汚染されることを防止できるため、その信頼性を向上させることができる。バリア層 801 は、厚さ 5 nm 以上 200 nm 以下の窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜を用いる。

【0298】

次いで、バリア層 801 上にPECVD法により、厚さ 50 nm 酸化シリコン膜でなる接合層 802 を形成する。接合層 802 はバッファ層の一層を構成する層である。酸化シリコン膜のプロセスガスには、TEOS、およびO₂ を用いる。

【0299】

また、円形の単結晶シリコンウェハを用意し、イオンドーピング装置を用い、水素イオンを単結晶シリコンウェハにドープして、損傷領域を形成したソースガスには 100% 水素ガスを用い、イオン化された水素を質量分離せずに、電界で加速して単結晶シリコンウェハ基板に添加して、損傷領域を形成する。また、単結晶シリコンウェハから分離される単結晶シリコン層の厚さが 120 nm になるように、損傷領域が形成される深さを調節する。

【0300】

次いで、単結晶シリコンウェハ表面を純水中で超音波洗浄した後、オゾンを含む純水で洗浄する。オゾンを含む純水で洗浄すると、単結晶シリコンウェハ表面に薄い酸化物膜が形成される。

【0301】

そして、無アルカリガラス基板 800 上の接合層 802 と単結晶シリコンウェハを密接させ、接合させた後、損傷領域で単結晶シリコンウェハを分離し、単結晶シリコン層 803 が貼り付けられた無アルカリガラス基板 800 が形成される。

【0302】

同じ手順で、2枚目の円形の単結晶シリコンウェハを用意し、無アルカリガラス基板 800 上の接合層 802 と2枚目の単結晶シリコンウェハを密接させ、接合させた後、損傷領域で単結晶シリコンウェハを分離し、単結晶シリコン層 803 が貼り付けられた無アルカリガラス基板 800 が形成される。

【0303】

次いで、図 7 に示す装置を用いて、加熱された窒素ガスを吹きつけ、且つ、支持基板にバッファ層を介して固定された単結晶シリコン層 803 の一部にレーザ光を照射して、単結晶シリコン層 803 を溶融することで、再単結晶化させる。ここでは、加熱された窒素ガスを吹きつけて単結晶シリコン層を無アルカリガラス基板（商品名 AN100）の歪点以下の温度である 600 度まで加熱する。加熱された窒素ガスを吹きつけ、400 以上、好ましくは 450 以上に加熱することで、支持基板をシュリンクさせることができる。よって、後に単結晶半導体層が固定されたガラス基板を用いてトランジスタを作製する場合、予め単結晶半導体基板の作製工程でシュリンクさせておくことで、トランジスタの作製工程でのシュリンク量を抑えることができるため、露光工程でのマスクずれを抑えることができる。

【0304】

この段階を終えた断面図が図 29 (A) に相当する。以降の工程は、上述した実施形態の半導体装置の作製工程に従って半導体装置を作製すればよい。

【0305】

本実施の形態のように 3 層よりも 2 層として工程数を低減することもできる。また、2 層としても、再単結晶化させるため、単結晶シリコン層 803 の表面を十分な平坦性とすることができる。

【0306】

また、本実施形態では、2枚の円形の単結晶シリコンウェハを用いる例を示したが、勿論1枚のガラス基板に対して、重ならないように 2 枚以上の単結晶シリコンウェハを用いることができるることは言うまでもない。

10

20

30

40

50

【0307】

また、本実施形態は、実施形態1乃至4のいずれか一と自由に組み合わせることができる。

【0308】

(実施形態6)

また、無アルカリガラス基板(商品名EAGLE 2000(登録商標))を用いて複数のシリコン基板を固定した後、それぞれの単結晶半導体層の間を狭くする例を図29(B)に示す。

【0309】

まず、無アルカリガラス基板810上にバリア層811をPECVD法により形成する。
なお、無アルカリガラス基板(商品名EAGLE 2000(登録商標))は次の物性値を有する無アルカリガラス基板である。比重2.37g/cm³、ポワソン比0.23、ヤング率70.9GPa、二軸弾性係数92.07GPa、熱膨張率31.8×10⁻⁷/°C。

【0310】

バリア層811は、半導体基板を作製時、およびこの半導体基板を用いた半導体装置の作製時に、アルカリ金属若しくはアルカリ土類金属などの半導体装置の信頼性を低下させる不純物(代表的には、ナトリウム)が、支持基板側から単結晶半導体層に侵入することを防ぐ膜である。バリア層を形成することで、半導体装置が不純物で汚染されることを防止できるため、その信頼性を向上させることができる。バリア層811は、厚さ5nm以上200nm以下の窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜を用いる。

【0311】

次いで、バリア層811上にPECVD法により、厚さ50nmの酸化シリコン膜である接合層812を形成する。接合層812はバッファ層の一層を構成する層である。酸化シリコン膜のプロセスガスには、TEOS、およびO₂を用いる。

【0312】

また、矩形の単結晶シリコンウェハを用意し、イオンドーピング装置を用い、水素イオンを単結晶シリコンウェハにドープして、損傷領域を形成したソースガスには100%水素ガスを用い、イオン化された水素を質量分離せずに、電界で加速して単結晶シリコンウェハ基板に添加して、損傷領域を形成する。また、単結晶シリコンウェハから分離される単結晶シリコン層の厚さが120nmになるように、損傷領域が形成される深さを調節する。

【0313】

次いで、矩形の単結晶シリコンウェハ表面を純水中で超音波洗浄した後、オゾンを含む純水で洗浄する。オゾンを含む純水で洗浄すると、単結晶シリコンウェハ表面に薄い酸化物膜が形成される。

【0314】

そして、無アルカリガラス基板810上の接合層812と単結晶シリコンウェハを密接させ、接合させた後、損傷領域で単結晶シリコンウェハを分離し、単結晶シリコン層813が貼り付けられた無アルカリガラス基板810が形成される。

【0315】

同じ手順で、2枚目の矩形の単結晶シリコンウェハを用意し、無アルカリガラス基板810上の接合層812と2枚目の単結晶シリコンウェハを密接させ、接合させる。接合させる際には隣り合う単結晶半導体層の隙間が狭くなるようにする。そして、損傷領域で単結晶シリコンウェハを分離し、単結晶シリコン層813が貼り付けられた無アルカリガラス基板810が形成される。

【0316】

そして、3枚目の矩形の単結晶シリコンウェハを用意し、同様の作業を行う。

【0317】

10

20

30

40

50

矩形の単結晶シリコンウェハを用いることで、隙間を狭くして長方形形状のガラス基板に対して固定することができる。単結晶シリコン層の隙間を狭くして固定し、図7に示す装置を用いて、加熱された窒素ガスを吹きつけ、且つ、支持基板にバッファ層を介して固定された単結晶シリコン層813の一部にレーザ光を照射して、単結晶シリコン層813を溶融することで、再単結晶化させる。

【0318】

ここでは、線状のレーザを照射する際、加熱された窒素ガスを吹きつけて単結晶シリコン層を無アルカリガラス基板（商品名EAGLE 2000（登録商標））の歪点以下の温度である500程度まで加熱する。加熱された窒素ガスを吹きつけ、400以上、好ましくは450以上に加熱することで、支持基板をシュリンクさせることができる。よって、後に単結晶半導体層が固定されたガラス基板を用いてトランジスタを作製する場合、予め単結晶半導体基板の作製工程でシュリンクさせておくことで、トランジスタの作製工程でのシュリンク量を抑えることができるため、露光工程でのマスクずれを抑えることができる。

【0319】

この段階を終えた断面図が図29（B）に相当する。以降の工程は、上述した実施形態の半導体装置の作製工程に従って半導体装置を作製すればよい。

【0320】

本実施の形態のように隙間を狭くすることで、線状のレーザを照射する場合、長手方向の長さにもよるが、矩形のシリコンウェハの一辺よりも大幅に長ければ、3つの単結晶シリコン層813に対して2回のレーザ光の走査で処理を終えることができる。基板を移動させる方向は、線状のレーザの長手方向と直交する方向とする。また、2層としても、再単結晶化させるため、単結晶シリコン層813の表面を十分な平坦性とすることができる。

【0321】

また、本実施形態では、3枚の単結晶シリコンウェハを用いる例を示したが、勿論1枚のガラス基板に対して、重ならないように3枚以上の単結晶シリコンウェハを用いることができることは言うまでもない。

【0322】

また、本実施形態は、実施形態1乃至4のいずれか一と自由に組み合わせることができる。

【0323】

（実施形態7）

図7に示したレーザ照射装置の構成の一例とは異なる例を図30に示す。

【0324】

一方向にガスを吹きつける装置の一部の拡大断面図が図30である。

【0325】

大型の透光性基板820上にバッファ層821を介して単結晶シリコン層822を固定している。バッファ層821は多層構造であり、バリア層826が設けられ、その上に接合層が設けられている。この段階まで得る方法は、上述した実施形態1または実施形態6を参照すればよい。

【0326】

プロー手段825から加熱されたガスを基板に吹きつけ実線で示す矢印の気流方向824に気流を形成する。加熱されたガスは、ここでは図示しないが、プロー手段825に窒素ガスを供給する気体供給装置と、気体供給装置から供給される窒素ガスを加熱する気体加熱装置とを有する。

【0327】

また、レーザ光823を単結晶シリコン層822に照射する。ステージを移動させることによって基板を基板の移動方向827に移動させる。

【0328】

また、線状のレーザを照射する際、加熱された窒素ガスを吹きつけて単結晶シリコン層を

10

20

30

40

50

無アルカリガラス基板の歪点以下の温度である 500 度まで加熱する。

【0329】

ブロー手段 825 の開口は、そのレーザ光 823 の照射領域よりも幅が広いことが好ましい。

【0330】

ブロー手段 825 が設けられており、ガスを基板に吹きつけることによって点線で示す矢印の気流方向 824 に気流を形成する。気流の方向 824 とステージの移動方向 827 を同じにすることが好ましい。また、ステージの移動方向 827 は、線状のレーザ光 823 の照射領域の長手方向と直交する方向とする。

【0331】

なお、簡略化のため、光学系やレーザ発振器などを省略して図示している。光学系やレーザ発振器は、図 11 に示した構成を用いることができる。レーザ発振器は、コンピュータに接続され、制御を行う。ブロー手段 825 もコンピュータに接続し、ブロー手段 825 もコンピュータにより制御する。

【0332】

一方向に加熱したガスを吹きつける場合、ブロー手段 825 はレーザ光 823 と距離をとることができるために、直接照射されることを防ぐことができる。従って、ブロー手段 825 として加熱されたガスに耐えることができるのであれば、レーザ光に弱い材料を用いることもできる。

【0333】

図 30 に示す装置を用いて、加熱された窒素ガスを吹きつけ、且つ、支持基板にバッファ層を介して固定された単結晶シリコン層 822 の一部にレーザ光 823 を照射して、単結晶シリコン層 822 を溶融することで、再単結晶化させる。再単結晶化により平坦な表面を得ることができる。レーザ光 823 の照射によって、単結晶半導体層 822 のレーザ光 823 が照射されている領域を、部分溶融または完全溶融させる。

【0334】

レーザ光 823 の照射により、部分溶融させる場合、単結晶半導体層 822 では、溶融された部分が凝固するときに、下層の溶融されていない固相部分である単結晶半導体から結晶成長し、いわゆる縦成長が起こる。下層の固相部分は単結晶であり、結晶方位がそろっているため、結晶粒界が形成されず、レーザ照射処理後の単結晶半導体層 822 は、結晶粒界の無い単結晶半導体層とすることができます。また、溶融された表面近傍または上層は、凝固することで再単結晶化するが、下層の固相部分の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体が形成される。よって、主表面の面方位が (100) の単結晶シリコンウエハを単結晶半導体基板を用いた場合、単結晶半導体層 822 の主表面の面方位は、(100) であり、レーザ照射処理によって部分溶融し、再単結晶化された単結晶半導体層 822 の主表面の面方位は (100) になる。

【0335】

また、レーザ光 823 の照射により、完全溶融させる場合、溶融された領域は、溶融された領域と隣接している単結晶半導体から結晶成長させることができ、横成長が起こる。溶融されていない部分は、単結晶であり、結晶方位がそろっているため、結晶粒界が形成されず、レーザ照射処理後の単結晶半導体層 822 は、結晶粒界の無い単結晶半導体層とすることができます。また、完全溶融された領域は、凝固することで再単結晶化するが、隣接している溶融していない部分の単結晶半導体と結晶方位が揃った単結晶半導体が形成される。よって、主表面の面方位が (100) の単結晶シリコンウエハを単結晶半導体基板を用いた場合、単結晶半導体層 822 の主表面の面方位は、(100) であり、レーザ照射処理によって完全溶融し、再単結晶化された単結晶半導体層 822 の主表面の面方位は (100) になる。

【0336】

よって、部分溶融させる場合であっても、完全溶融させる場合であっても、一つの単結晶半導体層 822 内の結晶方位はそろっているため、後に単結晶シリコン層 822 とほぼ同

10

20

30

40

50

じサイズの表示装置を作製した場合、表示特性の優れた表示装置を得ることができる。

【0337】

また、本実施形態は、実施形態1乃至6のいずれか一と自由に組み合わせることができる。

【0338】

(実施形態8)

本実施の形態では、基板の表面側及び裏面側の両方に加熱した窒素ガスを吹きつけてレーザ照射ができ、且つ、大面積基板を処理できる製造装置の断面図の一例を図31(A)に示す。

【0339】

レーザ光照射の処理時間を短縮するため、一度に照射できるレーザ光の照射領域の長さLを長くし、大面積基板を一方向に移動させることでレーザ光の照射を完了させる製造装置とする。

【0340】

レーザビームの走査を行う前に、照射しようとしている領域に対して加熱された気体を吹きつけることにより、レーザビームの照射領域を予め加熱することができるため、単結晶半導体層の溶融に必要なレーザビームのエネルギーを低減することができる。光学系などを調節することによって、1回のショットの照射面積も拡大することができる。1回のショットの照射面積も拡大できれば、1枚当たりのレーザ光照射処理にかかる時間を短縮することもできる。ここでは、レーザ発振器の出力できるエネルギーを最大限に利用してレーザ光の照射領域の長さLを長くする。

【0341】

また、レーザ照射の際、大面積基板1405とレーザ光の照射領域1411と単結晶半導体層1406との位置関係を示した上面図を図31(B)に示す。図31(B)に示すように、レーザ光の照射領域の長さLは、6個並べて配置した単結晶半導体層1406の合計よりも長い。また、大面積基板1405の幅はWで示している。また、大面積基板の幅Wと直交する方向におけるレーザ光の照射領域をレーザ光の幅と呼ぶ。ここでは大面積基板1405のサイズを600mm×720mmとし、1枚の基板に24個の単結晶半導体層1406を配置している例である。単結晶半導体層1406は、それぞれシリコンウェハから分離した層である。

【0342】

図31(A)は、製造装置の一部を示す断面図であり、この製造装置は、チャンバー内に複数のステージを有し、ステージに設けられた流出穴から加熱された窒素ガスを吹きつけて基板を浮上させて搬送する手段を有する。なお、図31ではチャンバーを図示しない。

【0343】

また、チャンバー内の酸素濃度、水分濃度はともに30ppm以下、好ましくは30ppb以下とする。そのため、チャンバー(反応容器)内の酸素やH₂Oなどのガスの残留を極力低減するため、到達最低圧力を $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-10}$ Torr(約 1×10^{-5} Pa以上 1×10^{-8} Pa)の超高真空(UHV)領域とした後、極低酸素分圧N₂ガス発生装置を用いて高い純度の窒素ガスを流し、チャンバー内を窒素雰囲気とする。また、高い純度の窒素ガスをチャンバー外に排気した後、再度チャンバー内に循環する機構を設けてもよい。循環させることで、さらに含有酸素濃度や水分濃度を下げるこども可能である。また、加熱されたガスの温度を保ったまま循環させることができるのであれば、再度吹きつける場合に加熱のためのエネルギーを抑えることができる。また、再利用することとなるため、高価である高純度ガスの消費を抑えることができる。

【0344】

チャンバー内の真空度を 10^{-5} Paよりもさらに超高真空排気を行う場合、クライオポンプを併用し、ターボ分子ポンプによる排気を行い、さらにクライオポンプを使って真空排気することが好ましい。

【0345】

10

20

30

40

50

チャンバーの内壁を鏡面加工し、内壁からのガス放出を低減するためにベーキング用のヒータを設けても良い。チャンバーをベーキング(200 ~ 300)してチャンバー内に存在する水分を主成分とする残留ガスを取り除くことが好ましい。

【0346】

気体貯蔵装置1430に貯蔵されている窒素ガスがチューブ1429に設けられたバルブを介して極低酸素分圧N₂ガス発生装置1428に供給する。そして、極低酸素分圧N₂ガス発生装置1428からチューブ1427と気体加熱装置1426とチューブ1425を通過させてステージ1401の複数の流出穴1412に供給される。極低酸素分圧N₂ガス発生装置1428では、窒素ガスの流量、圧力が調節され、大面積基板1405が浮上するように、窒素ガスを供給する。

10

【0347】

また、レーザ照射領域と重ならないように2つのステージ1401及び1402の間隔が空けられており、レーザ光が照射されてステージが加熱されないように設置されている。また、ステージ1402にも同様に、複数の流出穴1412が設けられている。また、気体貯蔵装置1420に貯蔵されている窒素ガスがチューブ1419に設けられたバルブを介して極低酸素分圧N₂ガス発生装置1418に供給する。そして、極低酸素分圧N₂ガス発生装置1418からチューブ1417と気体加熱装置1416とチューブ1415を通過させてステージ1402の複数の流出穴1412に供給される。

【0348】

チャンバー内の酸素濃度、水分濃度はともに30 ppm以下、好ましくは30 ppb以下とするため、複数の流出穴1412から流出させる窒素ガスも高純度のガスを用いることが好ましい。なお、図31(A)ではステージの下方に気体加熱装置や気体貯蔵装置などを図示しているが、説明のための一例であって、特に限定されず、各チューブを延長することで他の場所に設置することができることは言うまでもない。

20

【0349】

2つのステージ1401及び1402に設けられた複数の流出穴1412により基板を浮上させ、両サイドに配置される搬送ローラ(図示しない)により搬送方向に力を加えられ、矢印311で示した方向に大面積基板1405を搬送できる。

【0350】

なお、レーザ照射装置に関しては図7と同じ構成であるため、ここでは説明を省略する。

30

【0351】

また、加熱した窒素ガスを大面積基板1405に吹きつけるブロー手段についても図7と同じ構成であるため、ここでは説明を省略する。勿論、チャンバー内の酸素濃度、水分濃度はともに30 ppm以下、好ましくは30 ppb以下とするため、ブロー手段から流出させる窒素ガスも高純度のガスを用いることが好ましい。

【0352】

また、図32に斜視図の一例を示す。図32に示すようにステージ1402には、排気穴1404が設けられ、排気穴1404から排気する流量を調節する流量調節器(図示しない)が設けられている。また、流出穴はステージの中央部よりも端部に多く設けることでの基板の撓みを防いでいる。

40

【0353】

また、加熱した窒素ガスを大面積基板1405に吹きつけるブロー手段を用いて、さらに微調節を行うことができ、基板の撓みを防ぐことができる。

【0354】

また、固定軸1421によってチャンバー底部に固定されている気体噴出部306を有するブロー手段には石英窓1410が設けられておりレーザ光が通過するように設置されている。また、気体噴出部306にはチューブ323が設けられており、気体加熱装置310から加熱された窒素ガスが供給される。

【0355】

図32中に示すレーザ照射手段は、レーザ発振器301、ホモジナイザが組み込まれてい

50

る光学装置 1407、落射ミラー 1408、ダブルレットレンズ 1409a、1409b を有している。なお、一般的にレーザビームのエネルギー分布を均一化させることをホモジナイズといい、ホモジナイズする光学系をホモジナイザという。レーザ発振器 301 から射出されたレーザビームは、球面レンズにより拡大される。なお、球面レンズは、レーザ発振器 301 から出るビームスポットが十分に大きい場合には必要ない。次いで、シリンドリカルレンズアレイにより、スポットが線状の長辺（長軸）方向に分割される。その後、シリンドリカルレンズアレイの後方に置かれたシリンドリカルレンズによって、レーザビームは大面積基板 1405 において 1 つに合成された線状ビームが照射される。また、これにより、大面積基板 1405 面において線状ビームのビームスポットの長辺方向のエネルギー分布の均一化（長軸ホモジナイズ）がなされ、長辺方向の長さが決定される。

10

【0356】

また、プローブ手段をスリットが形成されたマスクとして用いてもよい。

【0357】

また、基板の表面側及び裏面側の両方から加熱された窒素ガスを吹き付けながら、半導体層にレーザビームを照射することにより、単結晶半導体層の温度を短時間に昇温させることができる。また、図 31 (A) (B) 及び図 32 に示す製造装置を用いることにより、短時間でレーザ照射処理を行うことができる。

【0358】

また、本実施形態は、実施形態 1 乃至 7 のいずれか一と自由に組み合わせることができる。

20

【0359】

(実施形態 9)

図 33 を用いて、本実施形態では、半導体基板 10 を用いた半導体装置の作製方法の一例としてトランジスタを作製する方法を説明する。複数の薄膜トランジスタを組み合わせることで、各種の半導体装置が形成される。なお、本実施形態では、n チャネル型のトランジスタと p チャネル型のトランジスタを同時に作製する方法を説明する。

【0360】

図 33 (A) に示すように、支持基板 100 上に、バッファ層 101、単結晶半導体層 116 が形成された半導体基板を用意する。バッファ層 101 は 3 層構造であり、バリア層となる絶縁膜 112b を含んでいる。なお、図 1 に示す構成の半導体基板 10 を適用する例を示すが、本明細書で示すその他の構成の半導体基板も適用できる。

30

【0361】

単結晶半導体層 116 には、n チャネル型電界効果トランジスタ及び p チャネル型電界効果トランジスタの形成領域に合わせて、硼素、アルミニウム、ガリウムなどの p 型不純物元素、若しくはリン、砒素などの n 型不純物元素を添加された不純物領域（チャネルドープ領域）を有している。

【0362】

保護層 1804 をマスクとしてエッチングを行い、露呈している単結晶半導体層 116 及びその下方のバッファ層 101 の一部を除去する。次いで、有機シランを用いて酸化シリコン膜を PECVD 法で堆積する。この酸化シリコン膜は、単結晶半導体層 116 が埋め込まれるように厚く堆積する。次いで、単結晶半導体層 116 上に重なる酸化シリコン膜を研磨により除去した後、保護層 1804 を除去して、素子分離絶縁層 1803 を残存させる。素子分離絶縁層 1803 により単結晶半導体層 116 は、素子領域 1805 及び素子領域 1806 に分離される（図 33 (B) 参照。）。

40

【0363】

次いで、第 1 の絶縁膜を形成し、第 1 の絶縁膜上にゲート電極層 1808a、1808b を形成し、ゲート電極層 1808a、1808b をマスクとして第 1 の絶縁膜をエッチングしてゲート絶縁層 1807a、1807b を形成する。

【0364】

ゲート絶縁層 1807a、1807b は酸化シリコン膜、若しくは酸化シリコン膜と窒化

50

シリコン膜の積層構造で形成すればよい。ゲート絶縁層として酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜なども用いることができる。ゲート絶縁層 1807a、1807b は、プラズマ CVD 法や減圧 CVD 法により絶縁膜を堆積することで形成しても良いし、プラズマ処理による固相酸化若しくは固相窒化で形成すると良い。半導体層を、プラズマ処理により酸化又は窒化することにより形成するゲート絶縁層は、緻密で絶縁耐圧が高く信頼性に優れているためである。例えば、亜酸化窒素 (N_2O) を Ar で 1 ~ 3 倍 (流量比) に希釈して、10 ~ 30 Pa の圧力において 3 ~ 5 kW のマイクロ波 (2.45 GHz) 電力を印加して単結晶半導体層 116 (素子領域 1805、1806) の表面を酸化若しくは窒化させる。この処理により 1 nm ~ 10 nm (好ましくは 2 nm ~ 6 nm) の絶縁膜を形成する。さらに亜酸化窒素 (N_2O) とシラン (SiH_4) を導入し、10 ~ 30 Pa の圧力において 3 ~ 5 kW のマイクロ波 (2.45 GHz) 電力を印加して PECVD 法により酸化窒化シリコン膜を形成してゲート絶縁層を形成する。固相反応と気相成長法による反応を組み合わせることにより界面準位密度が低く絶縁耐圧の優れたゲート絶縁層を形成することができる。10

【0365】

また、ゲート絶縁層 1807a、1807b として、二酸化ジルコニウム、酸化ハフニウム、二酸化チタン、五酸化タンタルなどの高誘電率材料を用いても良い。ゲート絶縁層 1807a、1807b に高誘電率材料を用いることにより、ゲートリーク電流を低減することができる。20

【0366】

ゲート電極層 1808a、1808b は、スパッタリング法、蒸着法、CVD 法等の手法により形成することができる。ゲート電極層 1808a、1808b はタンタル (Ta)、タンゲステン (W)、チタン (Ti)、モリブデン (Mo)、アルミニウム (Al)、銅 (Cu)、クロム (Cr)、ネオジム (Nd) から選ばれた元素、又は前記元素を主成分とする合金材料もしくは化合物材料で形成すればよい。また、ゲート電極層 1808a、1808b としてリン等の不純物元素をドーピングした多結晶シリコン膜に代表される半導体膜や、Ag-Pd-Cu 合金を用いてもよい。20

【0367】

次いで、ゲート電極層 1808a、1808b を覆う第 2 の絶縁膜 1810 を形成し、さらにサイドウォール構造の側壁絶縁層 1816a、1816b、1817a、1817b を形成する。p チャネル型電界効果トランジスタ (pFET) となる領域の側壁絶縁層 1816a、1816b は、n チャネル型電界効果トランジスタ (nFET) となる領域の側壁絶縁層 1817a、1817b よりも幅を広くする。次いで、n チャネル型電界効果トランジスタとなる領域にヒ素 (As) などを添加して浅い接合深さの第 1 の不純物領域 1820a、1820b を形成し、p チャネル型電界効果トランジスタとなる領域にボロン (B) などを添加して浅い接合深さの第 2 の不純物領域 1815a、1815b を形成する (図 33 (C) 参照。)。30

【0368】

次いで、第 2 の絶縁膜 1810 を部分的にエッチングしてゲート電極層 1808a、1808b の上面と、第 1 の不純物領域 1820a、1820b 及び第 2 の不純物領域 1815a、1815b とを露出させる。次いで、n チャネル型電界効果トランジスタとなる領域に As などをドーピングして深い接合深さの第 3 の不純物領域 1819a、1819b を形成し、p チャネル型電界効果トランジスタとなる領域に B などをドーピングして深い接合深さの第 4 の不純物領域 1824a、1824b を形成する。次いで、活性化のための熱処理を行う。次いで、シリサイドを形成するための金属膜としてコバルト膜を成膜する。次いで R T A などの熱処理 (500、1 分) を行い、コバルト膜に接する部分のシリコンをシリサイド化させ、結果としてゲート電極上にシリサイド部分 1818a、1818b、1822a、1822b、1823a、1823b を形成する。その後、コバルト膜を選択的に除去する。次いで、シリサイド化の熱処理よりも高い温度で熱処理を行い、シリサイド部分 1818a、1818b、1822a、1822b、1823a、1823b、1840

23bの低抵抗化を図る(図33(D)参照。)。素子領域1806にはチャネル形成領域1826が、素子領域1805にはチャネル形成領域1821が形成される。

【0369】

次いで、層間絶縁層1827を形成し、レジストからなるマスクを用いて層間絶縁層1827に深い接合深さの第3の不純物領域1819a、1819bや深い接合深さの第4の不純物領域1824a、1824bにシリサイド部分1822a、1822b、1823a、1823bを介してそれぞれ電気的に接続させるためのコンタクトホール(開口)を形成する。エッティングは、用いる材料の選択比によって、一回で行っても複数回行っても良い。

【0370】

エッティング方法及び条件は、コンタクトホールを形成する層間絶縁層1827の材料によって適宜設定すればよい。ウェットエッティング、ドライエッティング、またはその両方を適宜用いることができる。本実施の形態ではドライエッティングを用いる。エッティング用ガスとしては、Cl₂、BCl₃、SiCl₄もしくはCCl₄などを代表とする塩素系ガス、CF₄、SF₆もしくはNF₃などを代表とするフッ素系ガス又はO₂を適宜用いることができる。また用いるエッティング用ガスに希ガスを添加してもよい。添加する希ガスとしては、He、Ne、Ar、Kr、Xeから選ばれた一種または複数種の元素を用いることができる。ウェットエッティングのエッチャントは、フッ素水素アンモニウム及びフッ化アンモニウムを含む混合溶液のようなフッ酸系の溶液を用いるとよい。

【0371】

コンタクトホールを覆うように導電膜を形成し、導電膜をエッティングして各ソース領域又はドレイン領域の一部とそれぞれ電気的に接続するソース電極層又はドレイン電極層としても機能する配線層1842a、1842b、1842cを形成する。配線層は、PVD法、CVD法、蒸着法等により導電膜を成膜した後、所望の形状にエッティングして形成することができる。また、液滴吐出法、印刷法、電解メッキ法等により、所定の場所に選択的に導電膜を形成することができる。更にはリフロー法、ダマシン法を用いても良い。配線層の材料は、Ag、Au、Cu、Ni、Pt、Pd、Ir、Rh、W、Al、Ta、Mo、Cd、Zn、Fe、Ti、Zr、Ba等の金属、及びSi、Ge、又はその合金、若しくはその窒化物を用いて形成する。また、これらの積層構造としても良い。

【0372】

本実施の形態では、層間絶縁層1827に形成されたコンタクトホールを埋めるように埋込配線層として配線層1840a、1840b、1840c、1840dを形成する。埋込型の配線層1840a、1840b、1840c、1840dは、コンタクトホールを埋め込む十分な膜厚の導電膜を形成し、コンタクトホール部だけに導電膜を残し、不要な導電膜部分を除去して形成する。

【0373】

埋込型の配線層1840a、1840b、1840c、1840d上に絶縁層1828及び引き回し配線層として配線層1841a、1841b、1841cを形成する。

【0374】

以上の工程で支持基板100に接合された単結晶半導体層116の素子領域1806を用いてnチャネル型電界効果トランジスタ1832を、素子領域1805を用いてpチャネル型電界効果トランジスタ1831が作製できる(図33(E)参照。)。なお、本実施の形態において、nチャネル型電界効果トランジスタ1832及びpチャネル型電界効果トランジスタ1831は配線層1842bによって電気的に接続されている。

【0375】

このようにnチャネル型電界効果トランジスタ1832とpチャネル型電界効果トランジスタ1831を相補的に組み合わせることによってCMOS構造を構成する。

【0376】

このCMOS構造上に、さらに配線や素子などを積層することでマイクロプロセッサなどの半導体装置を作製することができる。なお、マイクロプロセッサは、演算回路(Ari

10

20

30

40

50

thmetic logic unit。ALUともいう。)、演算回路制御部(ALU Controller)、命令解析部(Instruction Decoder)、割り込み制御部(Interrupt Controller)、タイミング制御部(Timing Controller)、レジスタ(Register)、レジスタ制御部(Register Controller)、バスインターフェース(Bus I/F)、読み出し専用メモリ、及びメモリインターフェース(ROM I/F)を有している。

【0377】

マイクロプロセッサは、CMOS構造を含む集積回路が形成されているので、処理速度の高速化のみならず低消費電力化を図ることができる。

10

【0378】

トランジスタの構造は本実施形態に限定されず、その構造はチャネル形成領域が一つ形成されるシングルゲート構造でも、二つ形成されるダブルゲート構造もしくは三つ形成されるトリプルゲート構造であっても良い。

【0379】

また、本実施形態は、実施形態1乃至8のいずれか一と自由に組み合わせることができる。

【0380】

(実施形態10)

本実施形態では、本発明に係る半導体基板を用いた半導体装置、およびその作製方法について説明する。本実施形態では、本発明に係る半導体基板を用いた半導体装置の一例として、トランジスタについて説明する。複数のトランジスタを組み合わせることで、各種の半導体装置が形成される。以下、図34～図36の断面図を用いて、トランジスタの作製方法を説明する。なお、本実施形態では、nチャネル型のトランジスタとpチャネル型のトランジスタを同時に作製する方法を説明する。

20

【0381】

まず、図34(A)に示すように、半導体基板を準備する。本実施形態では、図1の半導体基板10を用いる。つまり、絶縁表面を有する支持基板100上に、バッファ層101を介して単結晶半導体層116が固定された半導体基板を用いる。なお、トランジスタを作製する半導体基板は、図34の構成に限定されるものではなく、本発明に係る半導体基板を用いることができる。

30

【0382】

なお、単結晶半導体層116には、nチャネル型電界効果トランジスタ及びpチャネル型電界効果トランジスタの形成領域に合わせて、硼素、アルミニウム、ガリウムなどのp型不純物元素、若しくはリン、砒素などのn型不純物元素を添加することが好ましい。すなわち、nチャネル型電界効果トランジスタの形成領域に対応してp型不純物元素を添加し、pチャネル型電界効果トランジスタの形成領域に対応してn型不純物元素を添加して、所謂ウェル領域を形成する。不純物イオンのドーズ量は 1×10^{12} ions/cm²乃至 1×10^{14} ions/cm²程度で行えばよい。さらに、電界効果トランジスタのしきい値電圧を制御する場合には、これらのウェル領域にp型若しくはn型不純物元素を添加すればよい。

40

【0383】

次に、図34(B)に示すように、単結晶半導体層116をエッティングして、半導体素子の配置に合わせて島状に分離した単結晶半導体層651、単結晶半導体層652を形成する。本実施形態では、単結晶半導体層651からnチャネル型のトランジスタを作製し、単結晶半導体層652からpチャネル型のトランジスタを作製する。

【0384】

次に、図34(C)に示すように、単結晶半導体層651、単結晶半導体層652上に、ゲート絶縁層653、ゲート電極を形成する導電層654、及び導電層655を順に形成する。

50

【0385】

ゲート絶縁層653は、CVD法、スパッタリング法、又はALE法等により、酸化シリコン層、酸化窒化シリコン層、窒化シリコン層、又は窒化酸化シリコン層等の絶縁層を用いて、単層構造又は積層構造で形成する。

【0386】

また、ゲート絶縁層653は、単結晶半導体層651、単結晶半導体層652に対してプラズマ処理を行うことにより、表面を酸化又は窒化することで形成してもよい。この場合のプラズマ処理はマイクロ波（代表的な周波数は2.45GHz）を用いて励起したプラズマによるプラズマ処理も含むものとする。例えばマイクロ波で励起され、電子密度が $1 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以下、且つ電子温度が0.5eV以上1.5eV以下のプラズマを用いた処理も含むものとする。このようなプラズマ処理を適用して半導体層表面の酸化処理又は窒化処理を行うことにより、薄くて緻密な膜を形成することが可能である。また、半導体層表面を直接酸化するため、界面特性の良好な膜を得ることができる。また、ゲート絶縁層653は、CVD法、スパッタリング法、又はALE法により形成した膜に対してマイクロ波を用いたプラズマ処理を行うことで形成してもよい。

10

【0387】

なお、ゲート絶縁層653は半導体層との界面を形成するため、酸化シリコン層、酸化窒化シリコン層が界面となるように形成することが好ましい。これは、窒化シリコン層又は窒化酸化シリコン層のように酸素よりも窒素の含有量が多い膜を形成すると、トラップ準位が形成され界面特性が問題となる恐れがあるからである。

20

【0388】

ゲート電極を形成する導電層は、タンタル、窒化タンタル、タンゲステン、チタン、モリブデン、アルミニウム、銅、クロム、又はニオブ等から選択された元素、またはこれらの元素を主成分とする合金材料若しくは化合物材料、リン等の不純物元素をドーピングした多結晶シリコンに代表される半導体材料を用いて、CVD法やスパッタリング法により、単層膜又は積層膜で形成する。積層膜とする場合は、異なる導電材料を用いて形成することもできるし、同一の導電材料を用いて形成することもできる。本形態では、ゲート電極を形成する導電層を、導電層654及び導電層655の2層構造で形成する例を示す。

30

【0389】

ゲート電極を形成する導電層を、導電層654及び導電層655の2層の積層構造とする場合は、例えば、窒化タンタル層とタンゲステン層、窒化タンゲステン層とタンゲステン層、窒化モリブデン層とモリブデン層の積層膜を形成することができる。なお、窒化タンタル層とタンゲステン層との積層膜とすると、両者のエッチングの選択比が取れやすく好ましい。なお、例示した2層の積層膜において、先に記載した膜がゲート絶縁層653上に形成される膜とすることが好ましい。ここでは、導電層654は、20nm乃至100nmの厚さで形成する。導電層655は、100nm乃至400nmの厚さで形成する。なお、ゲート電極は3層以上の積層構造とすることもでき、その場合は、モリブデン層とアルミニウム層とモリブデン層の積層構造を採用するとよい。

40

【0390】

次に、導電層655上にレジストマスク656、レジストマスク657を選択的に形成する。そして、レジストマスク656、レジストマスク657を用いて第1のエッチング処理及び第2のエッチング処理を行う。

【0391】

まず、レジストマスク656、レジストマスク657を用いた第1のエッチング処理により導電層654及び導電層655を選択的にエッチングして、単結晶半導体層651上に、導電層658および導電層659を形成し、単結晶半導体層652上に導電層660及び導電層661を形成する（図34（D）参照）。

【0392】

次に、レジストマスク656、レジストマスク657を用いた第2のエッチング処理に

50

より導電層 659 及び導電層 661 の端部をエッティングして、導電層 662 及び導電層 663 を形成する（図 34（E）参照）。なお、導電層 662 及び導電層 663 は導電層 658 及び導電層 660 よりも幅（キャリアがチャネル形成領域を流れる方向（ソース領域とドレイン領域を結ぶ方向）に平行な方向の長さ）が小さくなるように形成する。このようにして、導電層 658 及び導電層 662 からなる 2 層構造のゲート電極 665、並びに導電層 660 及び導電層 663 からなる 2 層構造のゲート電極 666 を形成する。

【0393】

第 1 のエッティング処理及び第 2 のエッティング処理に適用するエッティング法は適宜選択すればよいが、エッティング速度を向上するには ECR (Electron Cyclotron Resonance) 方式や ICP (Inductively Coupled Plasma : 誘導結合プラズマ) 方式などの高密度プラズマ源を用いたドライエッティング装置を用いる。第 1 のエッティング処理および第 2 のエッティング処理のエッティング条件を適宜調節することで、導電層 658、660、及び導電層 662、663 の側面を所望のテーパー形状とすることができます。所望のゲート電極 665、666 を形成した後、レジストマスク 656、657 は除去すればよい。

【0394】

次に、ゲート電極 665、ゲート電極 666 をマスクとして、単結晶半導体層 651 及び単結晶半導体層 652 に不純物元素 668 を添加する。単結晶半導体層 651 には、導電層 658 及び導電層 662 をマスクとして自己整合的に一対の不純物領域 669 が形成される。また、単結晶半導体層 652 には、導電層 660 及び導電層 663 をマスクとして自己整合的に一対の領域 670 が形成される（図 35（A）参照）。

【0395】

不純物元素 668 としては、硼素、アルミニウム、ガリウムなどの p 型不純物元素、若しくはリン、砒素などの n 型不純物元素を添加する。ここでは、n チャネル型トランジスタの高抵抗領域を形成するため、不純物元素 668 として n 型不純物元素であるリンを添加する。また、不純物領域 669 に、 1×10^{17} atoms/cm³ 乃至 5×10^{18} atoms/cm³ 程度の濃度でリンが含まれるように、リンを添加することとする。

【0396】

次に、n チャネル型トランジスタのソース領域、およびドレイン領域となる不純物領域を形成するため、単結晶半導体層 651 を部分的に覆うようにレジストマスク 671 を形成し、単結晶半導体層 652 を覆うようにレジストマスク 672 を選択的に形成する。そして、レジストマスク 671 をマスクとして、単結晶半導体層 651 に不純物元素 673 を添加して、単結晶半導体層 651 に一対の不純物領域 675 を形成する（図 35（B）参照）。

【0397】

不純物元素 673 としては、n 型不純物元素であるリンを単結晶半導体層 651 に添加し、添加される濃度を 5×10^{19} atoms/cm³ 乃至 5×10^{20} atoms/cm³ ようにすることとする。不純物領域 675 はソース領域又はドレイン領域として機能する。不純物領域 675 は導電層 658 及び導電層 662 と重ならない領域に形成される。

【0398】

また、単結晶半導体層 651 において、不純物領域 676 は、不純物元素 673 が添加されなかった、不純物領域 669 である。不純物領域 676 は、不純物領域 675 よりも不純物濃度が高く、高抵抗領域または LDD 領域として機能する。単結晶半導体層 651 において、導電層 658 および導電層 662 と重なる領域にチャネル形成領域 677 が形成される。

【0399】

なお、LDD 領域とは、チャネル形成領域と、高濃度に不純物元素を添加して形成するソース領域またはドレイン領域との間に形成する低濃度に不純物元素を添加した領域のことである。LDD 領域を設けると、ドレイン領域近傍の電界を緩和してホットキャリア注

10

20

30

40

50

入による劣化を防ぐという効果がある。また、ホットキャリアによるオン電流値の劣化を防ぐため、ゲート絶縁層を介して LDD 領域をゲート電極と重ねて配置させた構造（「GOLD (Gate-drain Overlapped LDD) 構造」とも呼ぶ）としてもよい。

【0400】

次に、レジストマスク 671 及びレジストマスク 672 を除去した後、p チャネル型トランジスタのソース領域およびドレイン領域を形成するため、単結晶半導体層 651 を覆うようにレジストマスク 679 を形成する。そして、レジストマスク 679、導電層 660 及び導電層 663 をマスクとして不純物元素 680 を添加して、単結晶半導体層 652 に一対の不純物領域 681 と、一対の不純物領域 682 と、チャネル形成不純物領域 683 を形成する（図 35 (C) 参照）。

10

【0401】

不純物元素 680 は、硼素、アルミニウム、ガリウムなどの p 型不純物元素が用いられる。ここでは p 型不純物元素である硼素を 1×10^{20} atoms / cm³ 乃至 5×10^{21} atoms / cm³ 程度含まれるように添加するものとする。

【0402】

単結晶半導体層 652 において、不純物領域 681 は導電層 660 及び導電層 663 と重ならない領域に形成され、ソース領域又はドレイン領域として機能する。不純物領域 681 に、ここでは p 型不純物元素である硼素を 1×10^{20} atoms / cm³ 乃至 5×10^{21} atoms / cm³ 程度含まれるように添加する。

20

【0403】

不純物領域 682 は、導電層 660 と重なり、導電層 663 と重ならない領域に形成されており、不純物元素 680 が導電層 660 を貫通して、不純物領域 670 に添加された領域である。不純物領域 670 は n 型の導電性を示すため、不純物領域 682 が p 型の導電性を有するように、不純物元素 673 を添加する。不純物領域 682 に含まれる不純物元素 673 の濃度を調節することで、不純物領域 682 をソース領域又はドレイン領域として機能させることができる。または、LDD 領域として機能させることもできる。

【0404】

単結晶半導体層 652 において、導電層 660 および導電層 663 と重なる領域にチャネル形成領域 683 が形成される。

30

【0405】

次に、層間絶縁層を形成する。層間絶縁層は、単層構造又は積層構造で形成することができるが、ここでは絶縁層 684 及び絶縁層 685 の 2 層の積層構造で形成する（図 36 (A) 参照）。

【0406】

層間絶縁層としては、CVD 法やスパッタリング法により、酸化シリコン層、酸化窒化シリコン層、窒化シリコン層、又は窒化酸化シリコン層等を形成することができる。また、ポリイミド、ポリアミド、ポリビニルフェノール、ベンゾシクロブテン、アクリル若しくはエポキシ等の有機材料、シロキサン樹脂等のシロキサン材料、又はオキサゾール樹脂などを用いて、スピンドル法などの塗布法により形成することができる。なお、シロキサン材料とは、Si-O-Si 結合を含む材料に相当する。シロキサンは、シリコン (Si) と酸素 (O) との結合で骨格構造が構成される。置換基として、少なくとも水素を含む有機基（例えばアルキル基、芳香族炭化水素）が用いられる。置換基として、フルオロ基を用いることができる。または置換基として、少なくとも水素を含む有機基と、フルオロ基とを用いてもよい。

40

【0407】

例えば、絶縁層 684 として窒化酸化シリコン層を膜厚 100 nm で形成し、絶縁層 685 として酸化窒化シリコン層を膜厚 900 nm で形成する。また、絶縁層 684 及び絶縁層 685 を、プラズマ CVD 法を適用して連続成膜する。なお、層間絶縁層は 3 層以上の積層構造とすることもできる。また、酸化シリコン層、酸化窒化シリコン層又は窒化シ

50

リコン層と、ポリイミド、ポリアミド、ポリビニルフェノール、ベンゾシクロブテン、アクリル、エポキシ等の有機材料、シロキサン樹脂等のシロキサン材料、又はオキサゾール樹脂を用いて形成した絶縁層との積層構造とすることもできる。

【0408】

次に、層間絶縁層（本形態では絶縁層684及び絶縁層685）にコンタクトホールを形成し、該コンタクトホールにソース電極又はドレイン電極として機能する導電層686を形成する（図36（B）参照）。

【0409】

コンタクトホールは、単結晶半導体層651に形成された不純物領域675、単結晶半導体層652に形成された不純物領域681に達するように、絶縁層684及び絶縁層685に選択的に形成する。

10

【0410】

導電層686は、アルミニウム、タンゲステン、チタン、タンタル、モリブデン、ニッケル、ネオジムから選ばれた一種の元素または当該元素を複数含む合金からなる単層膜または積層膜を用いることができる。例えば、当該元素を複数含む合金からなる導電層として、チタンを含有したアルミニウム合金、ネオジムを含有したアルミニウム合金などを形成することができる。また、積層膜とする場合、例えば、アルミニウム層若しくは上述したようなアルミニウム合金層を、チタン層で挟持する構成とすることができる。

【0411】

図36（B）に示すように、半導体基板10を用いて、nチャネル型トランジスタおよびpチャネル型トランジスタを作製することができる。

20

【0412】

また、本実施形態は、実施形態1乃至8のいずれか一と自由に組み合わせることができる。

【図面の簡単な説明】

【0413】

【図1】半導体基板の構成の一例を示す外観図。

【図2】単結晶半導体基板の構成の一例を示す外観図。

【図3】半導体基板の作製方法を示す断面図。

30

【図4】半導体基板の作製方法を示す断面図。

【図5】半導体基板の作製方法を示す断面図であり、支持基板の断面図である。

【図6】半導体基板の作製方法を示す断面図。

【図7】レーザ照射装置の構成の一例を示す図。

【図8】気体噴出部の構成の一例を示す外観図。

【図9】気体噴出部の構成の一例を示す断面図。

【図10】セラミックヒータの構成の一例を示す外観図。

【図11】レーザ照射装置の光学系の構成の一例を示す図。

【図12】半導体装置の作製方法を説明する断面図。

【図13】半導体装置の作製方法を説明する断面図。

【図14】半導体装置の作製方法を説明する断面図。

40

【図15】マイクロプロセッサの構成の一例を示すブロック図。

【図16】R F C P Uの構成の一例を示すブロック図。

【図17】（A）液晶表示装置の画素の平面図。（B）J-K切断線による図17（A）の断面図。

【図18】（A）エレクトロルミネセンス表示装置の画素の平面図。（B）J-K切断線による図18（A）の断面図。

【図19】（A）携帯電話の外観図。（B）デジタルプレーヤーの外観図。（C）電子ブックの外観図。

【図20】携帯電話の外観図。

【図21】（A）及び（B）は、オシロスコープの写真図であり、（C）は模式図を示す

50

。

【図22】測定に用いたレーザ照射装置の断面図を示す図。

【図23】(A)は、レーザビームとプローブ光の形状を上面図であり、(B)は、レーザビームが照射される領域と、プローブ光が照射される領域との関係を示す断面図。

【図24】実験に用いた試料の断面図を示す図。

【図25】E B S P データを示す図。

【図26】S T E M 写真である。

【図27】レーザビームのエネルギー密度に対するラマンシフトの変化を示すグラフ

【図28】レーザビームのエネルギー密度に対するラマンスペクトルの半値全幅の変化を示すグラフ

10

【図29】ガラス基板上に接合した単結晶半導体層の一例を示す断面図。

【図30】加熱したガスの吹きつけ方法の一例を示す断面図。

【図31】(A)は製造装置の断面図であり、(B)は基板の上面図を示す。

【図32】製造装置の斜視図の一例を示す図である。

【図33】半導体装置の作製工程を示す断面図。

【図34】半導体装置の作製工程を示す断面図。

【図35】半導体装置の作製工程を示す断面図。

【図36】半導体装置の作製工程を示す断面図。

【符号の説明】

【0414】

20

1 0	半導体基板
2 0	半導体基板
1 0 0	支持基板
1 0 1	バッファ層
1 0 2	絶縁層
1 0 4	接合層
1 1 0	単結晶半導体基板
1 1 2	絶縁層
1 1 2 a	絶縁膜
1 1 2 b	絶縁膜
1 1 3	損傷領域
1 1 4	接合層
1 1 5	単結晶半導体層
1 1 6	単結晶半導体層
1 1 7	単結晶半導体基板
1 2 1	イオンビーム
1 2 2	レーザビーム
1 2 3	矢印
1 2 4	窒素ガス
2 0 0	マイクロプロセッサ
2 0 1	演算回路
2 0 2	演算回路制御部
2 0 3	命令解析部
2 0 4	制御部
2 0 5	タイミング制御部
2 0 6	レジスタ
2 0 7	レジスタ制御部
2 0 8	バスインターフェース
2 0 9	専用メモリ
2 1 0	メモリインターフェース

30

40

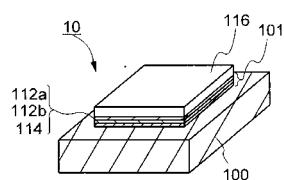
50

2 1 1	半導体装置	
2 1 2	アナログ回路部	
2 1 3	デジタル回路部	
2 1 4	共振回路	
2 1 5	整流回路	
2 1 6	定電圧回路	
2 1 7	リセット回路	
2 1 8	発振回路	
2 1 9	復調回路	
2 2 0	変調回路	10
2 2 1	R F インターフェース	
2 2 2	制御レジスタ	
2 2 3	クロックコントローラ	
2 2 4	インターフェース	
2 2 5	中央処理ユニット	
2 2 6	ランダムアクセスメモリ	
2 2 7	専用メモリ	
2 2 8	アンテナ	
2 2 9	容量部	
2 3 0	電源管理回路	20
3 0 0	レーザビーム	
3 0 1	レーザ発振器	
3 0 2	被処理物	
3 0 3	ステージ	
3 0 4	コントローラ	
3 0 5	光学系	
3 0 6	気体噴出部	
3 0 7	窒素ガス	
3 0 8	気体貯蔵装置	
3 0 9	気体供給装置	30
3 1 0	気体加熱装置	
3 1 1	矢印	
3 2 0	石英窓	
3 2 1	チューブ	
3 2 2	チューブ	
3 2 3	チューブ	
3 3 1	窓	
3 3 2	開口部	
3 3 3	枠	
3 3 4	空洞	40
3 4 0	セラミックヒータ	
3 4 1	発熱体	
3 4 2	電極	
3 4 3	電極	
3 4 4	孔	
3 5 1	シリンドリカルレンズアレイ	
3 5 2	シリンドリカルレンズアレイ	
3 5 3	シリンドリカルレンズアレイ	
3 5 4	シリンドリカルレンズ	
3 5 5	シリンドリカルレンズ	50

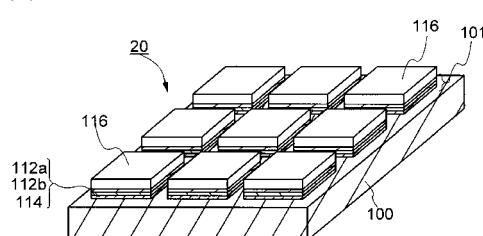
3 5 6	ミラー	
3 5 7	ダブルエットシリンドリカルレンズ	
4 0 0	基板	
4 0 1	選択用トランジスタ	
4 0 2	表示制御用トランジスタ	
4 0 3	半導体層	
4 0 4	半導体層	
4 0 5	走査線	
4 0 6	信号線	
4 0 7	電流供給線	10
4 0 8	画素電極	
4 1 1	電極	
4 1 2	ゲート電極	
4 1 3	電極	
4 2 7	層間絶縁膜	
4 2 8	隔壁層	
4 2 9	E L 層	
4 3 0	対向電極	
4 3 1	対向基板	
4 3 2	樹脂層	20
4 5 1	チャネル形成領域	
4 5 2	不純物領域	
5 1 0	基板	
5 1 1	半導体層	
5 1 2	チャネル形成領域	
5 1 3	不純物領域	
5 2 2	走査線	
5 2 3	信号線	
5 2 4	画素電極	
5 2 5	TFT	30
5 2 7	層間絶縁膜	
5 2 8	電極	
5 2 9	柱状スペーサ	
5 3 0	配向膜	
5 3 2	対向基板	
5 3 3	対向電極	
5 3 4	配向膜	
5 3 5	液晶層	
5 5 0	加熱温度	
6 0 3	半導体膜	40
6 0 4	半導体膜	
6 0 6	ゲート絶縁膜	
6 0 7	電極	
6 0 8	高濃度不純物領域	
6 0 9	低濃度不純物領域	
6 1 0	チャネル形成領域	
6 1 2	サイドウォール	
6 1 4	高濃度不純物領域	
6 1 7	pチャネル型トランジスタ	
6 1 8	nチャネル型トランジスタ	50

6 1 9	絶縁膜	
6 2 0	絶縁膜	
6 2 1	導電膜	
6 2 2	導電膜	
9 0 1	携帯電話機	
9 0 2	表示部	
9 0 3	操作スイッチ	
9 1 1	デジタルプレーヤー	
9 1 2	表示部	10
9 1 3	操作部	
9 1 4	イヤホン	
9 2 1	電子ブック	
9 2 2	表示部	
9 2 3	操作スイッチ	

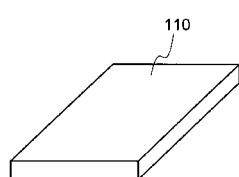
【図 1】



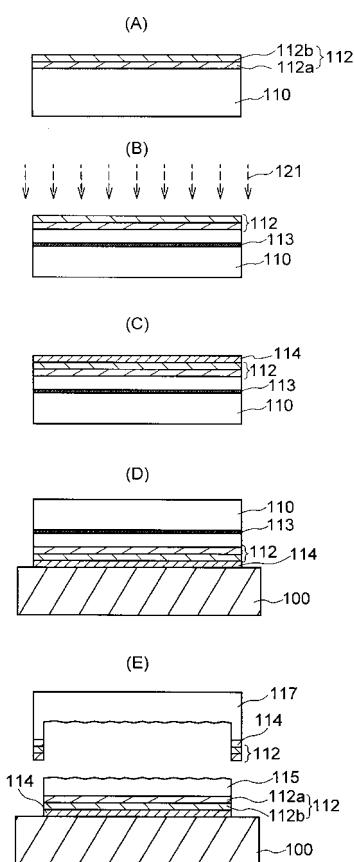
【図 2】



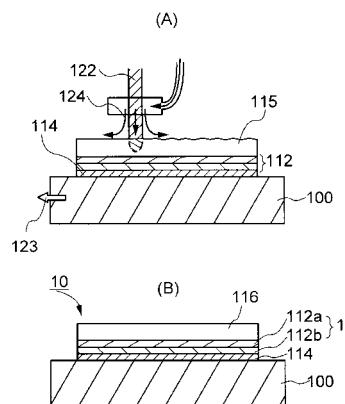
【図 3】



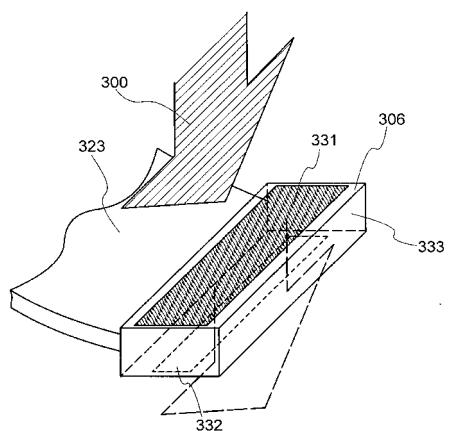
【図 4】



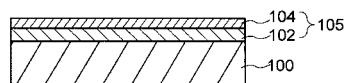
【図5】



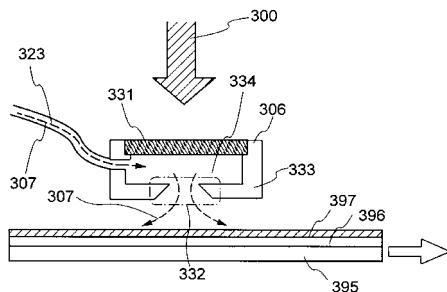
【図8】



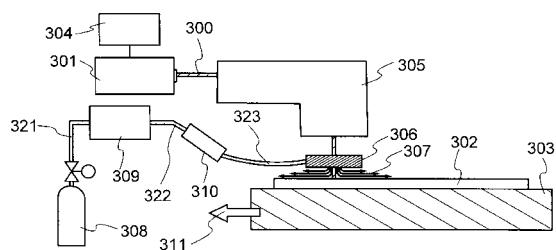
【図6】



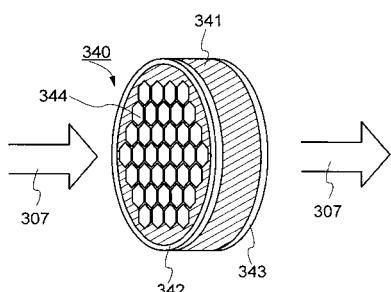
【図9】



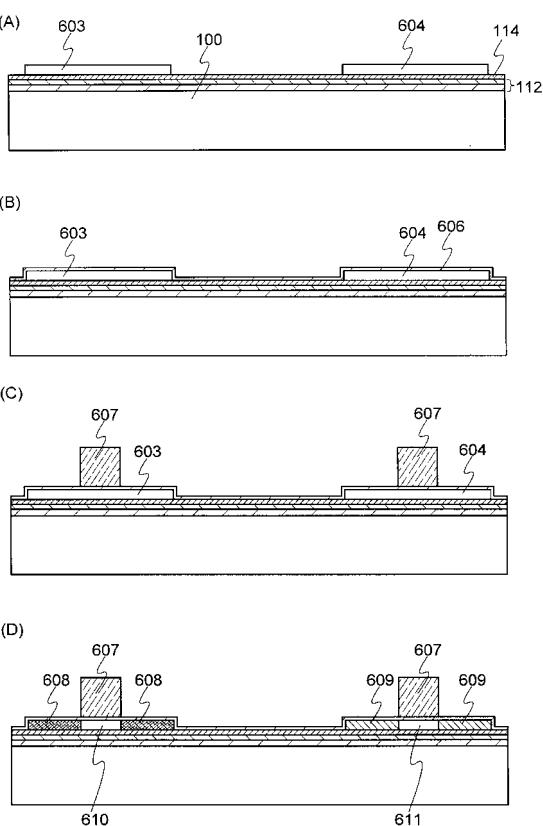
【図7】



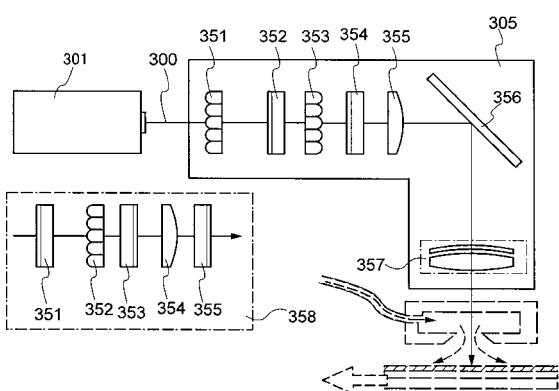
【図10】



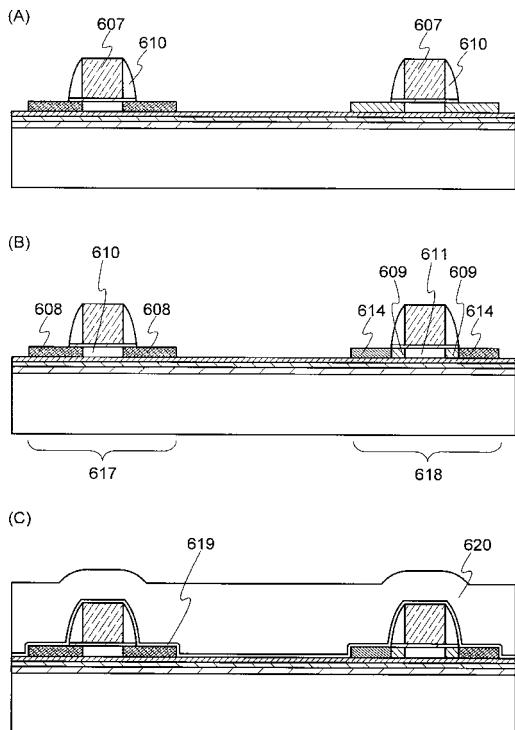
【図12】



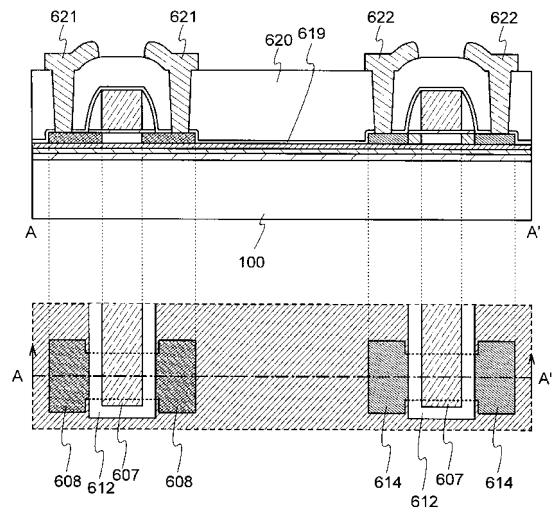
【図11】



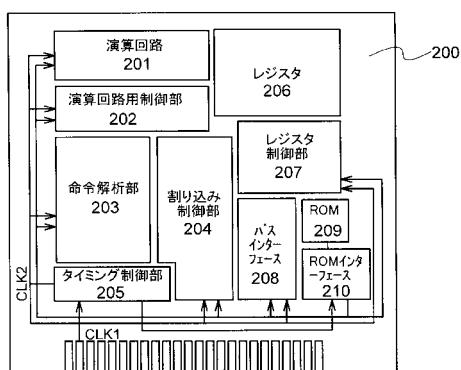
【図13】



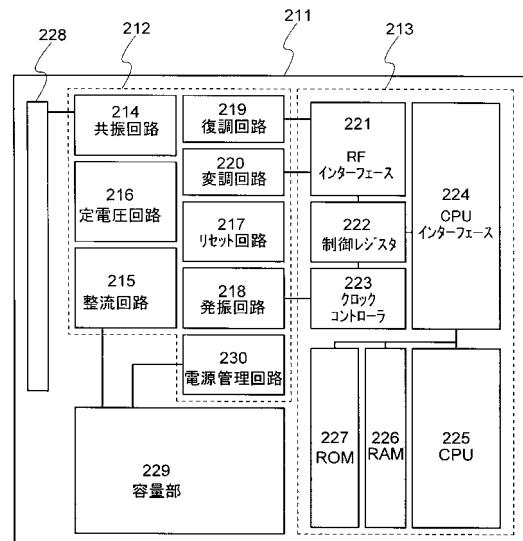
【 図 1 4 】



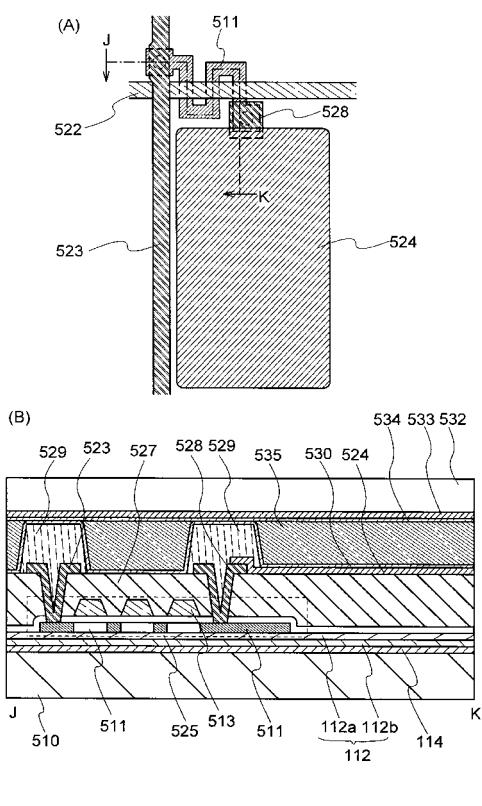
【図15】



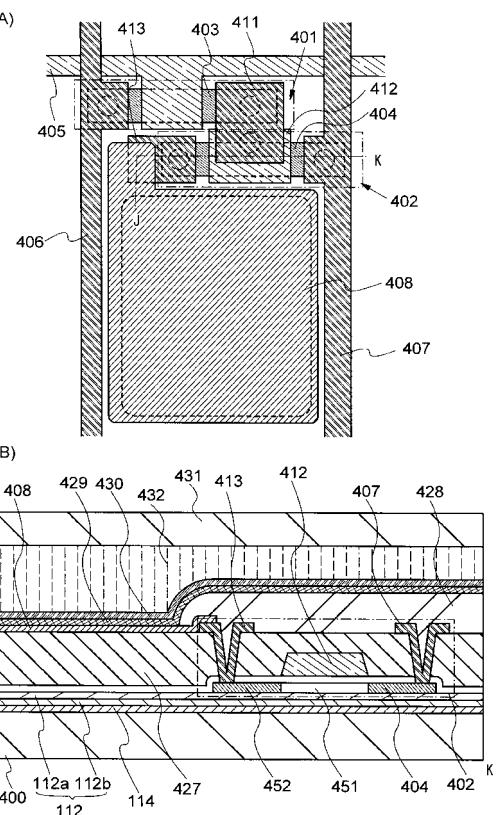
【 図 1 6 】



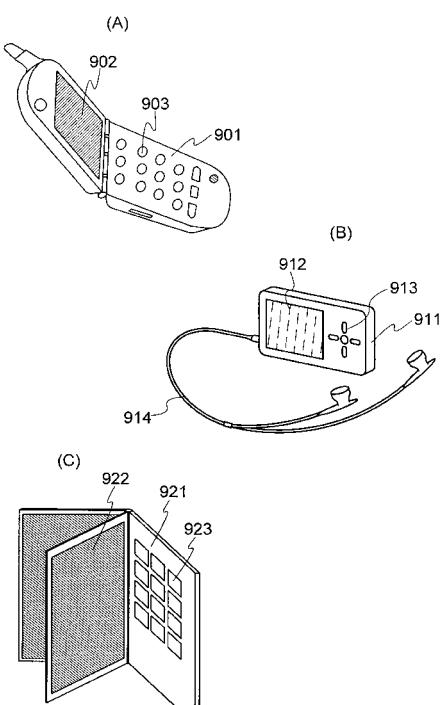
【図 17】



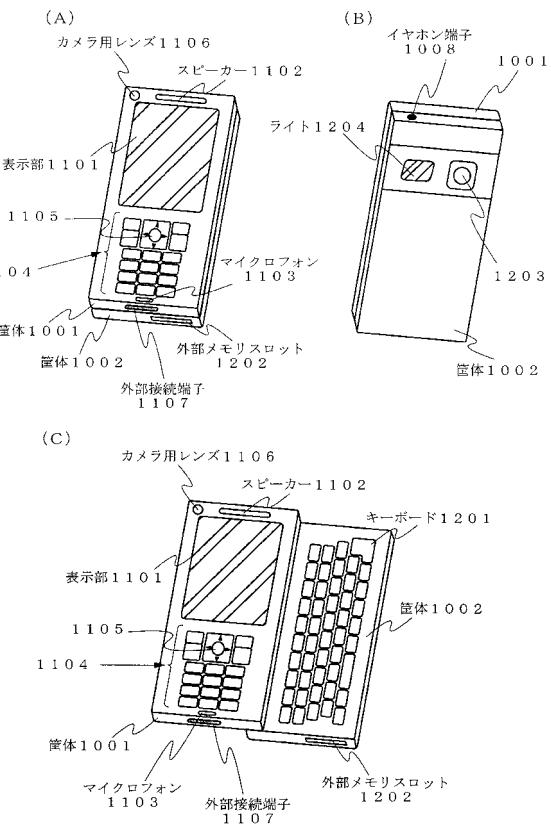
【図18】



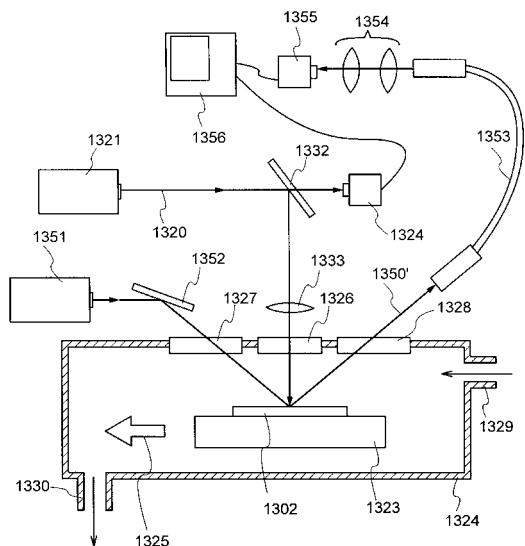
【 図 1 9 】



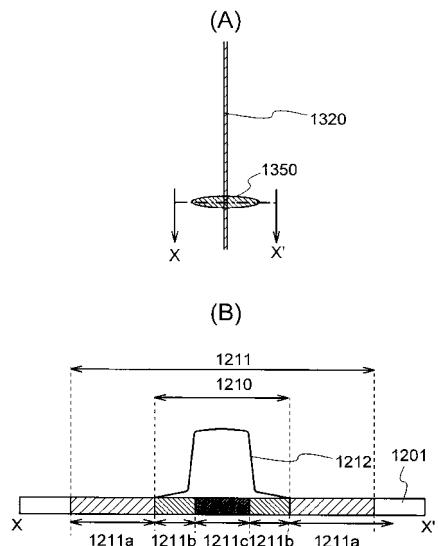
【 囮 2 0 】



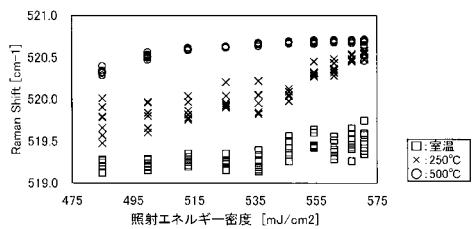
【図22】



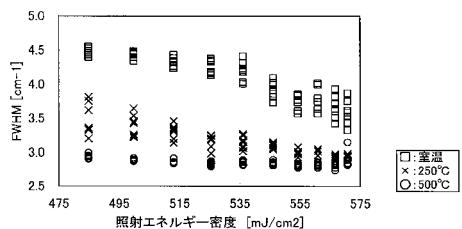
【図23】



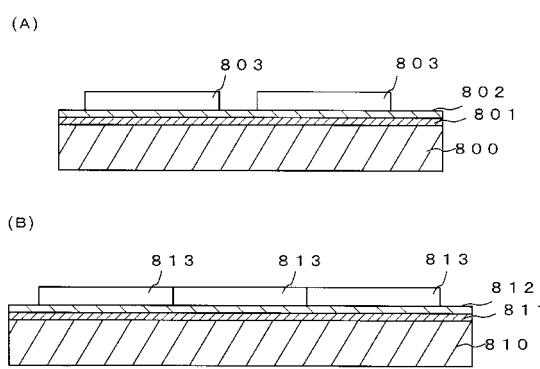
【図27】



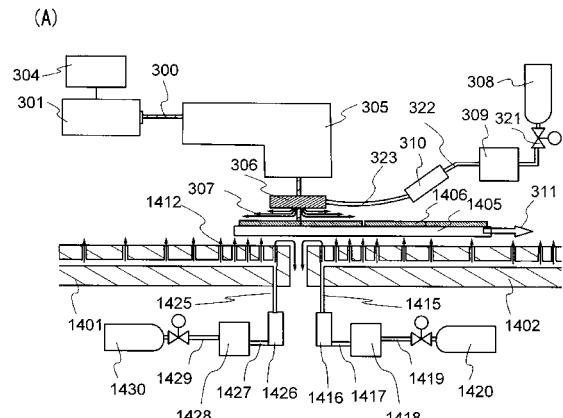
【図28】



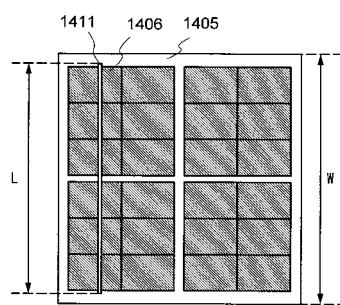
【 29 】



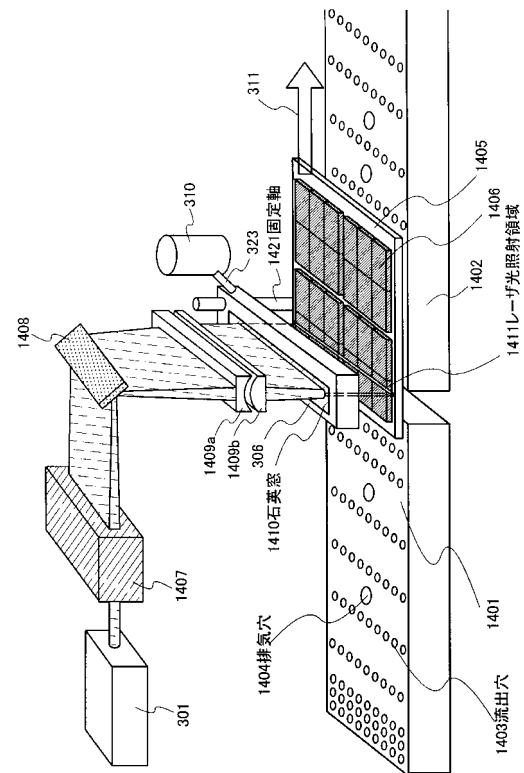
【図31】



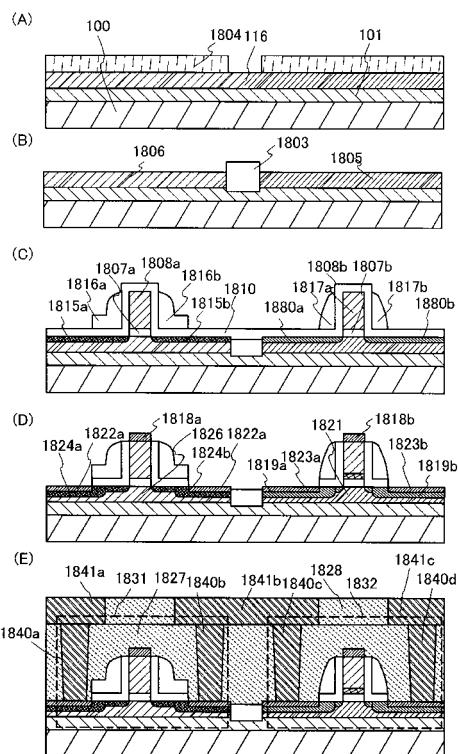
(B)



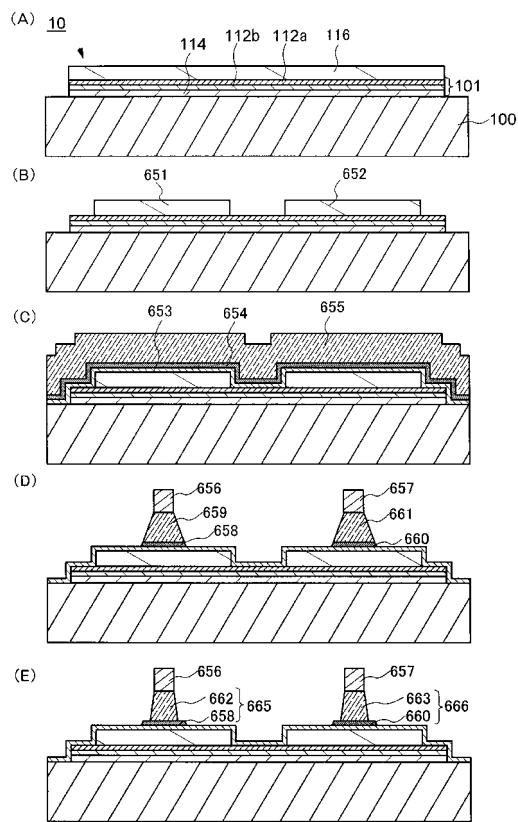
【図32】



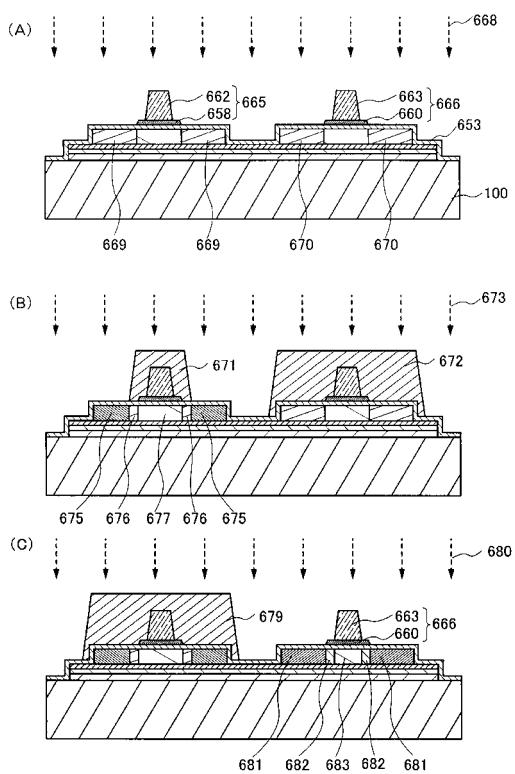
【図3-3】



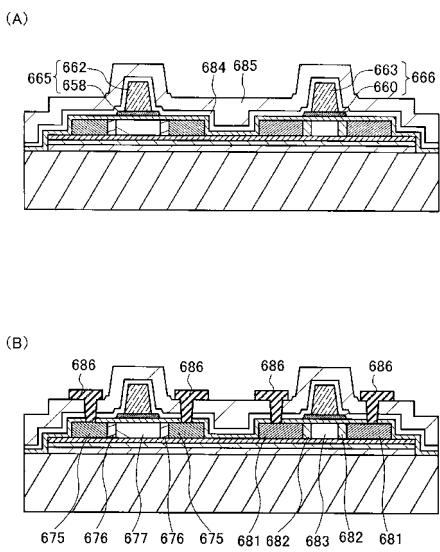
【図3-4】



【図35】

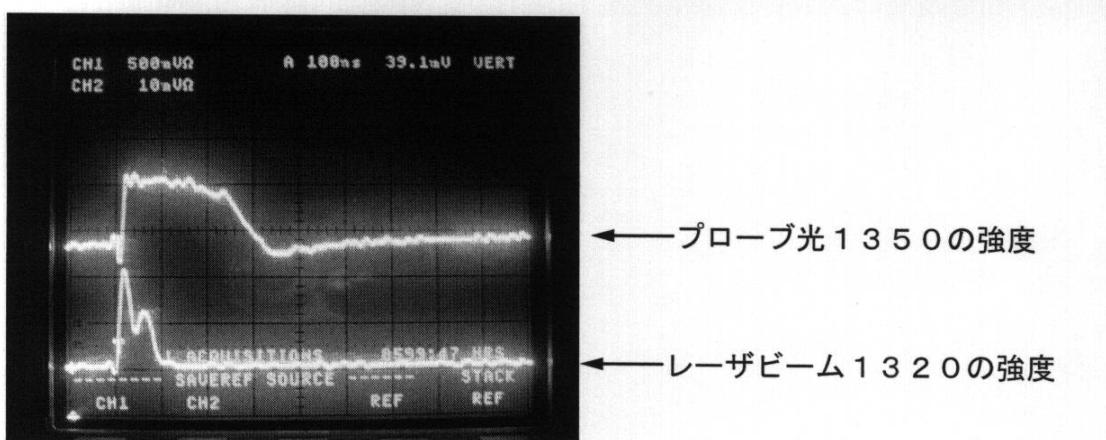


【図36】

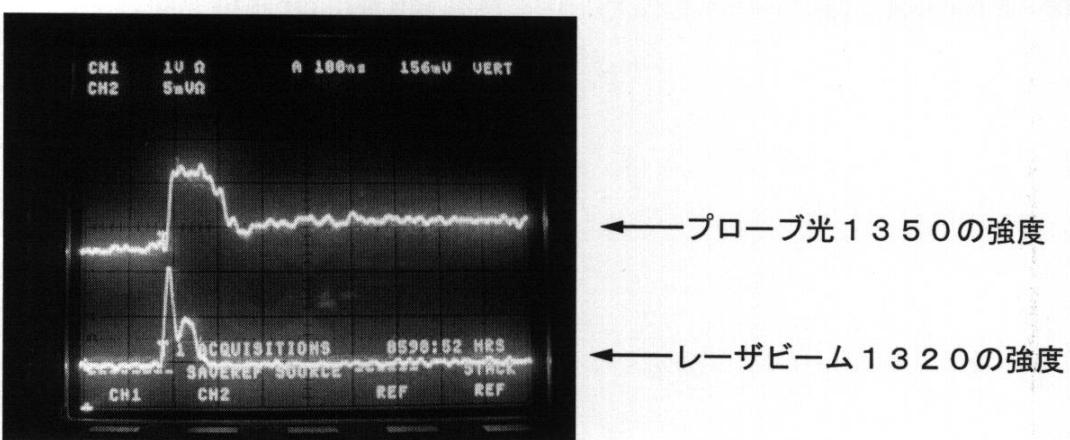


【図 21】

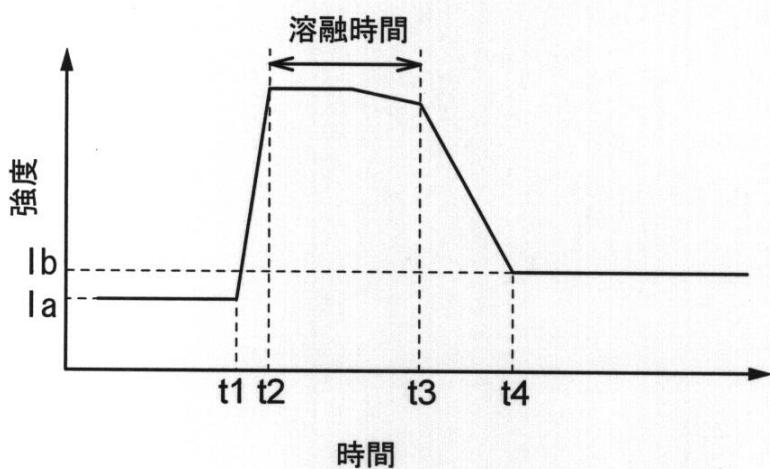
(A)



(B)

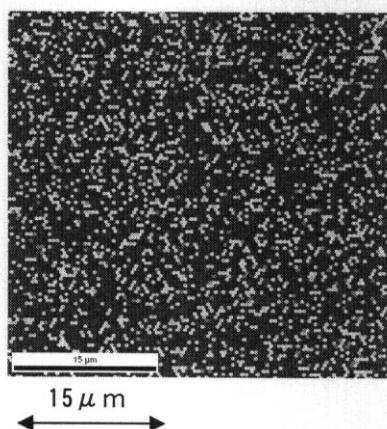


(C)



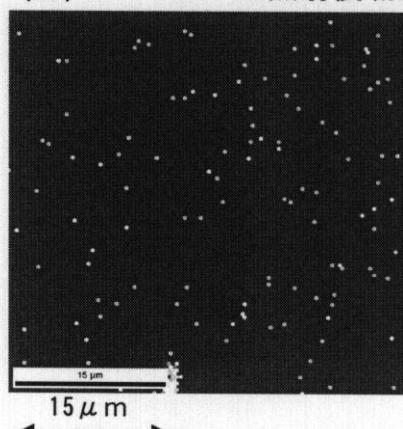
【図25】

(A) レーザビーム照射前



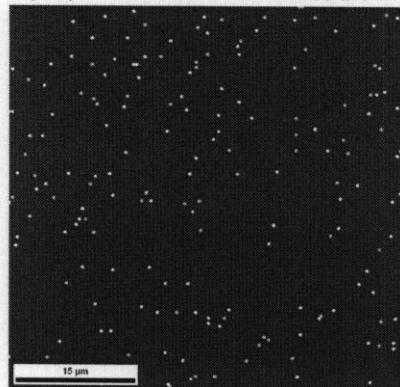
15 μ m

(B) レーザビーム照射後(加熱温度500°C)



15 μ m

(C) レーザビーム照射後(加熱温度250°C)



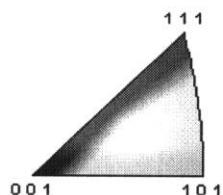
15 μ m

(E)

Gray Scale Map Type: <none>

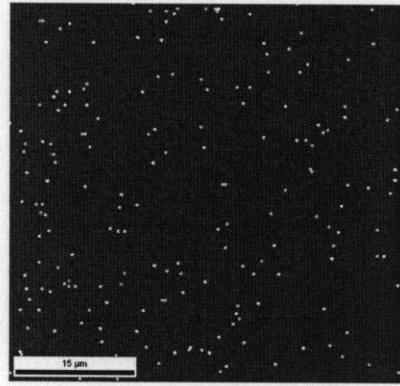
Color Coded Map Type: Inverse Pole Figure [001]

Silicon



Boundaries: <none>

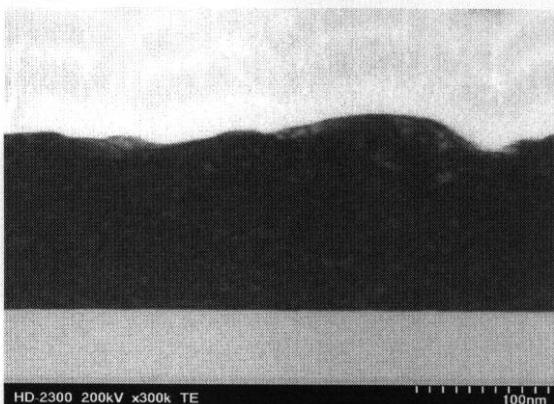
(D) レーザビーム照射後(加熱処理なし)



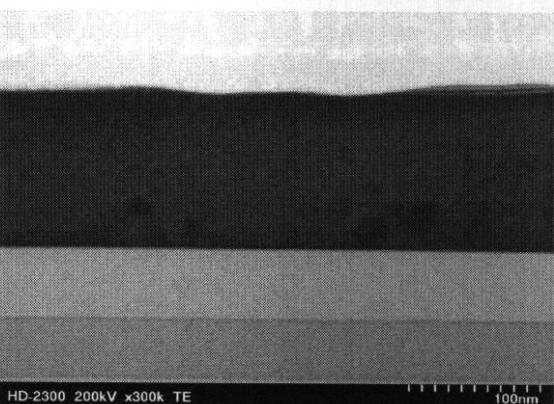
15 μ m

【図26】

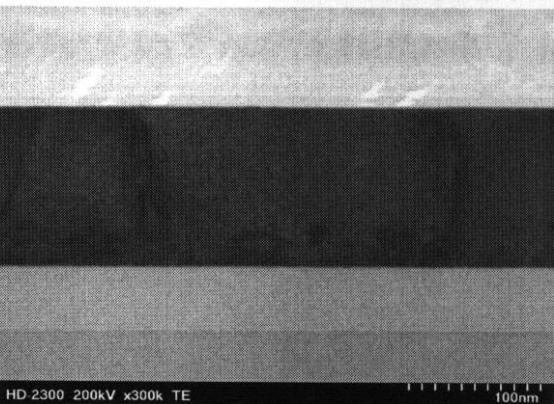
(A) レーザビーム照射前



(B) レーザビーム照射後(加熱温度500°C)



(C) レーザビーム照射後(加熱処理なし)



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 05 B 33/02 (2006.01) H 05 B 33/02
H 05 B 33/10 (2006.01) H 05 B 33/10

(56)参考文献 特開2003-017411 (JP, A)
特開平08-069967 (JP, A)
特開2003-037064 (JP, A)
特開2005-203596 (JP, A)
特開2005-252244 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 L 21/20
G 02 F 1/1368
H 01 L 21/336
H 01 L 29/786
H 01 L 51/50
H 05 B 33/02
H 05 B 33/10