

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5552276号
(P5552276)

(45) 発行日 平成26年7月16日(2014.7.16)

(24) 登録日 平成26年5月30日(2014.5.30)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 L 27/12	(2006.01)
HO 1 L 21/02	(2006.01)
HO 1 L 21/268	(2006.01)
HO 1 L 21/322	(2006.01)
HO 1 L 21/20	(2006.01)

HO 1 L 29/78 627D

請求項の数 9 (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2009-177815 (P2009-177815)
(22) 出願日	平成21年7月30日 (2009.7.30)
(65) 公開番号	特開2010-56543 (P2010-56543A)
(43) 公開日	平成22年3月11日 (2010.3.11)
審査請求日	平成24年4月26日 (2012.4.26)
(31) 優先権主張番号	特願2008-200001 (P2008-200001)
(32) 優先日	平成20年8月1日 (2008.8.1)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)
(31) 優先権主張番号	特願2008-200016 (P2008-200016)
(32) 優先日	平成20年8月1日 (2008.8.1)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)

(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
(72) 発明者	下村 明久 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
(72) 発明者	大沼 英人 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
(72) 発明者	桃 純平 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
(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 SOI 基板の作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

絶縁層を介して单結晶半導体基板とベース基板とを貼り合わせ、前記单結晶半導体基板は、還元性雰囲気下において1000以上1250以下で熱処理され、且つ前記单結晶半導体基板中に脆化領域が形成されたものであり、前記脆化領域において前記单結晶半導体基板を分離して、前記ベース基板上に前記絶縁層を介して单結晶半導体層を形成し、

還元性雰囲気または不活性雰囲気のチャンバー内において、前記单結晶半導体層の表面にレーザー光を照射して、前記单結晶半導体層の少なくとも表層部を溶融させることにより、前記单結晶半導体層を再单結晶化させ、

前記レーザ光の照射の前に、前記チャンバーに対して脱酸素処理を行うことを特徴とするSOI基板の作製方法。

【請求項 2】

請求項1において、前記脱酸素処理として、前記チャンバーにシランガスまたは水素ガスを所定の時間流すことを特徴とするSOI基板の作製方法。

【請求項 3】

請求項1または請求項2において、前記チャンバーとして、二重チャンバーを用いることを特徴とするSOI基板の作製方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 請求項 3 のいずれか一項において、

前記チャンバーに対するフッ素ラジカル処理後に、前記脱酸素処理を行うことを特徴とする S O I 基板の作製方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 請求項 4 のいずれか一項において、

前記レーザー光を照射する前に、前記単結晶半導体層の表面に水素ガス雰囲気下でプラズマ処理を行うことを特徴とする S O I 基板の作製方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 請求項 5 のいずれか一項において、

前記チャンバーは、前記チャンバーの内壁の温度を制御することができるシュラウドで覆われており、前記レーザー光の照射時に、前記シュラウドに冷却した流体を流すことを特徴とする S O I 基板の作製方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 請求項 6 のいずれか一項において、

前記不活性雰囲気中の酸素濃度を 1 0 0 p p t 未満とすることを特徴とする S O I 基板の作製方法。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 請求項 7 のいずれか一項において、

前記レーザー光を照射した後の前記単結晶半導体層に含まれる酸素濃度は、前記レーザー光を照射する前の前記単結晶半導体層に含まれる酸素濃度と同等または低減することを特徴とする S O I 基板の作製方法。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 請求項 8 のいずれか一項において、

前記レーザー光を照射した後の前記単結晶半導体層に含まれる酸素濃度は、 1×10^8 atoms / cm³ 未満であることを特徴とする S O I 基板の作製方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、絶縁層を介して半導体層が設けられた基板の作製方法に関し、特に S O I (Silicon on Insulator) 基板の作製方法に関する。また、絶縁層を介して半導体層が設けられた基板を用いた半導体装置の作製方法に関する。

【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、絶縁表面に薄い単結晶半導体層が存在する S O I 基板を使った集積回路が開発されている。 S O I 基板を使うことで、トランジスタのドレインと基板間における寄生容量が低減されるため、 S O I 基板は半導体集積回路の性能を向上させるものとして注目されている。

【0 0 0 3】

S O I 基板を製造する方法の 1 つに、スマートカット（登録商標）法が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。スマートカット法による S O I 基板の作製方法の概要を以下に説明する。まず、シリコンウエハにイオン注入法を用いて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微小気泡層を形成する。次に、酸化シリコン膜を介して、水素イオンを注入したシリコンウエハを別のシリコンウエハに接合させる。その後、熱処理を行うことにより、微小気泡層が劈開面となり、水素イオンが注入されたシリコンウエハの一部が微小気泡層を境に薄膜状に分離し、接合させた別のシリコンウエハ上に単結晶シリコン膜を形成することができる。ここで、スマートカット法は水素イオン注入剥離法と呼ぶこともある。

【0 0 0 4】

また、このようなスマートカット法を用いて単結晶シリコン層をガラスからなるベース基

10

20

30

40

50

板上に形成する方法が提案されている（例えば、特許文献2参照）。ガラス基板はシリコンウエハよりも大面積化が容易であり、且つ、安価であるため、主に、液晶表示装置等の製造の際に用いられている。このようなガラス基板をベース基板として用いることにより、大面積で安価なSOI基板を作製することが可能となる。

【0005】

また、特許文献2では、単結晶シリコン層の結晶品質を改善するために、単結晶シリコン層にレーザー光を照射する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

10

【特許文献1】特開平05-211128号公報

【特許文献2】特開2005-252244号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献2に示されるように、単結晶半導体層にレーザー光を照射することで、耐熱性が低いガラス基板等を用いる場合であっても、単結晶半導体層を溶融させて結晶性を向上させることができる。しかしながら、レーザー光の照射の際に何ら手当をしない場合には、雰囲気中の酸素が半導体層に取り込まれて、当該単結晶半導体層を用いた素子特性に悪影響を及ぼす可能性がある。

20

【0008】

例えば、産業用に広く使用されているシリコンはチョクラルスキー(CZ)法により製造されており、あらかじめ一定の酸素を含有している。シリコン中に多くの酸素が含まれる場合には、トランジスタ等の素子の特性に悪影響を及ぼすおそれがあるため、素子特性に悪影響を及ぼさない程度にまでシリコン中の酸素濃度を低減させてから用いられる場合もある。このようなシリコンを用いる場合、僅かな酸素濃度の増加であっても素子特性に及ぼす影響は大きく、作製プロセス中の酸素濃度の増加は極めて深刻な問題である。

【0009】

また、シリコン中の酸素は熱処理により酸化シリコンの析出物となり、さらに二次的な欠陥を成長させてしまう。このため、シリコン中の酸素濃度が低いほど後の欠陥が低減されて素子特性は良好なものになるから、作製プロセスにおいてシリコン中の酸素濃度を低減させることができればより好ましい。

30

【0010】

上記問題に鑑み、開示する発明の一態様は、レーザー光を照射することにより単結晶半導体層の結晶性を回復させる場合であっても、レーザー光の照射時に酸素が取り込まれるのを抑制し、レーザー光の照射前後において、単結晶半導体層に含まれる酸素濃度を同等または低減することを目的のーとする。または、開示する発明の一態様は、ベース基板上に設けられた単結晶半導体層の酸素濃度を低減することを目的のーとする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

40

開示する発明の一態様は、貼り合わせによりベース基板上に設けられた単結晶半導体層にレーザー光を照射して当該単結晶半導体層の結晶性を回復(再単結晶化)させる工程を有し、レーザー光の照射を還元性雰囲気下または不活性雰囲気下で行う。

【0012】

開示する発明の一態様は、単結晶半導体基板に加速されたイオンを照射することにより、前記単結晶半導体基板中に脆化領域を形成し、絶縁層を介して前記単結晶半導体基板とベース基板とを貼り合わせ、前記脆化領域において前記単結晶半導体基板を分離して、前記ベース基板上に前記絶縁層を介して単結晶半導体層を形成し、還元性雰囲気下で前記単結晶半導体層の表面にレーザー光を照射して前記単結晶半導体層の少なくとも表層部を溶融させ、前記単結晶半導体層を再単結晶化させる。

50

【0013】

開示する発明の一態様は、単結晶半導体基板に加速されたイオンを照射することにより、前記単結晶半導体基板中に脆化領域を形成し、絶縁層を介して前記単結晶半導体基板とベース基板とを貼り合わせ、前記脆化領域において前記単結晶半導体基板を分離して、前記ベース基板上に前記絶縁層を介して単結晶半導体層を形成し、脱酸素処理を施した後に還元性雰囲気としたチャンバー内において、前記単結晶半導体層の表面にレーザー光を照射して前記単結晶半導体層の少なくとも表層部を溶融させ、前記単結晶半導体層を再単結晶化させる。

【0014】

開示する発明の一態様は、単結晶半導体基板に加速されたイオンを照射することにより、前記単結晶半導体基板中に脆化領域を形成し、絶縁層を介して前記単結晶半導体基板とベース基板とを貼り合わせ、前記脆化領域において前記単結晶半導体基板を分離して、前記ベース基板上に前記絶縁層を介して単結晶半導体層を形成し、脱酸素処理を施して高純度不活性雰囲気としたチャンバー内において、前記単結晶半導体層の表面にレーザー光を照射して前記単結晶半導体層の少なくとも表層部を溶融させ、前記半導体層を再単結晶化させる。

10

【0015】

開示する発明の一態様において、前記還元性雰囲気としては、水素雰囲気、水素と希ガスとの混合雰囲気、水素と窒素との混合雰囲気、または水素と希ガスと窒素との混合雰囲気などを適用することができる。不活性雰囲気としては、窒素雰囲気やアルゴン雰囲気などを適用することができる。この際、ガス精製器を用いてガス中の不純物を除去するとより好ましい。なお、チャンバー内の雰囲気は、減圧雰囲気としても良い。また、脱酸素処理として、チャンバーにシランガスを用いた処理、または水素ガスを用いた処理を施すことが好ましい。

20

【0016】

開示する発明の一態様において、レーザー光の照射による単結晶半導体層の溶融は、部分溶融とすることが好ましい。なお、レーザー光の照射前後において、単結晶半導体層中の酸素濃度を増加させないことが重要である。

【0017】

開示する発明の一態様において、レーザー光の照射後における単結晶半導体層中の酸素濃度が、 $1 \times 10^{-8} / \text{cm}^3$ 未満となることが好ましい。このためには、例えば、高純度不活性雰囲気中の酸素濃度は、 100 ppt 未満とすれば良い。

30

【0018】

開示する発明の一態様において、チャンバーとして二重チャンバーを用いることができる。また、あらかじめ還元性雰囲気下において 1000 以上 1250 以下で熱処理された単結晶シリコン基板を用いることで、単結晶半導体層中の酸素濃度をより低減することも可能である。

【0019】

本明細書において単結晶とは、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

【0020】

また、本明細書中において半導体装置とは、半導体特性を利用して機能しうる装置全般を指し、電気光学装置、半導体回路及び電子機器は全て半導体装置に含まれる。

【0021】

50

また、本明細書中において表示装置とは、発光装置や液晶表示装置を含む。発光装置は発光素子を含み、液晶表示装置は液晶素子を含む。発光素子は、電流または電圧によって輝度が制御される素子をその範疇に含んでおり、具体的には無機EL(Electro Luminescence)素子、有機EL素子等が含まれる。

【発明の効果】

【0022】

開示する発明の一態様によれば、還元性雰囲気下または不活性雰囲気下でレーザー光の照射をすることにより、レーザー照射工程において単結晶半導体層に酸素がとりこまれることを抑制し、レーザー光の照射前後において単結晶半導体層に含まれる酸素濃度の増加を抑制することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】SOI基板の作製方法の一例を示す図。

【図2】SOI基板の作製方法の一例を示す図。

【図3】SOI基板の作製方法に適用するレーザー照射装置の一例を示す図。

【図4】SOI基板を用いた半導体装置の作製方法の一例を示す図。

【図5】SOI基板を用いた半導体装置の作製方法の一例を示す図。

【図6】SOI基板を用いた半導体装置の一例を示す図。

【図7】SOI基板を用いた半導体装置の一例を示す図。

【図8】SOI基板を用いた表示装置の一例を示す図。

20

【図9】SOI基板を用いた表示装置の一例を示す図。

【図10】SOI基板を用いた電子機器を示す図。

【図11】SOI基板の作製方法に適用するレーザー照射装置の一例を示す図。

【図12】SOI基板の作製方法に適用するレーザー照射装置の一例を示す図。

【図13】SOI基板の作製方法に適用するレーザー照射装置の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下に、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。但し、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、本発明の趣旨及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、本実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一部分または同様な機能を有する部分には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

30

【0025】

(実施の形態1)

本実施の形態では、SOI基板の作製方法の一例について図面を参照して説明する。具体的には、スマートカット法を用いてベース基板上に絶縁層を介して単結晶半導体層を形成し、当該単結晶半導体層の結晶性を回復する工程について説明する。

【0026】

まず、単結晶半導体基板100とベース基板120とを準備する(図1(A)、(B)参照)。

40

【0027】

単結晶半導体基板100として、例えば、単結晶シリコン基板、単結晶ゲルマニウム基板、単結晶シリコングルマニウム基板など、第14族元素でな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。市販のシリコン基板としては、直径5インチ(125mm)、直径6インチ(150mm)、直径8インチ(200mm)、直径12インチ(300mm)、直径16インチ(400mm)サイズの円形のものが代表的である。なお、単結晶半導体基板100の形状は円形に限られず、例えば、矩形状等に加工して用いることも可能である。また、単結晶半導体基板100は、CZ法やFZ(フローティングゾーン)法を用いて作製す

50

ることができる。以下の説明では、単結晶半導体基板 100 として、CZ 法を用いて作製された単結晶シリコン基板を用いる場合について示す。

【0028】

ベース基板 120 として、絶縁体である基板を用いることができる。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。他にも、ベース基板 120 として単結晶半導体基板（例えば、単結晶シリコン基板等）を用いてもよい。本実施の形態では、ガラス基板を用いる場合について説明する。ベース基板 120 として大面積化が可能で安価なガラス基板を用いることにより、低コスト化を図ることができる。

10

【0029】

次に、単結晶半導体基板 100 の表面から所定の深さに結晶構造が損傷された脆化領域 104 を形成し、その後、絶縁層 102 を介して単結晶半導体基板 100 とベース基板 120 とを貼り合わせる（図 1（C）参照）。

【0030】

脆化領域 104 は、運動エネルギーを有する水素等のイオンを単結晶半導体基板 100 に照射することにより形成することができる。

【0031】

絶縁層 102 は、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜等の絶縁層を単層、または積層させて形成することができる。これらの膜は、熱酸化法、CVD 法またはスパッタリング法等を用いて形成することができる。

20

【0032】

本明細書中において、酸化窒化シリコンとは、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、好ましくは、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%、シリコンが 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、好ましくは、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 20 ~ 55 原子%、シリコンが 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。ただし、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 100 原子%としたとき、窒素、酸素、シリコン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。

30

【0033】

次に、熱処理を行い脆化領域 104 にて分離（劈開）することにより、ベース基板 120 上に、絶縁層 102 を介して単結晶半導体層 124 を設ける（図 1（D）参照）。

【0034】

加熱処理を行うことで、温度上昇によって脆化領域 104 に形成されている微小な孔には、添加された元素が析出し、内部の圧力が上昇する。圧力の上昇により、脆化領域 104 の微小な孔に体積変化が起こり、脆化領域 104 に亀裂が生じるので、脆化領域 104 に沿って単結晶半導体基板 100 が劈開する。絶縁層 102 はベース基板 120 に接合しているので、ベース基板 120 上には単結晶半導体基板 100 から分離された単結晶半導体層 124 が形成される。

40

【0035】

次に、ベース基板 120 上に形成された単結晶半導体層 124 の表面に還元性雰囲気下または不活性雰囲気下でレーザー光 130 を照射することによって、単結晶半導体層 124 の結晶性を回復（再単結晶化）する（図 1（E）参照）。

【0036】

一般的に、劈開後におけるベース基板 120 上に形成された単結晶半導体層 124 の表層

50

部には、脆化領域 104 の形成及び脆化領域 104 での劈開等により結晶欠陥等が形成され結晶性が損なわれている。従って、図 1 (E) に示すように単結晶半導体層 124 の表面にレーザー光 130 を照射して、少なくとも単結晶半導体層 124 の表層部を溶融させることにより結晶性を回復することができる。なお、単結晶半導体層 124 の結晶性は、光学顕微鏡による観察、およびラマン分光スペクトルから得られるラマンシフト、半値全幅などにより評価することができる。

【0037】

また、本実施の形態では、剥離により露出した単結晶半導体層 124 の表面側からレーザー光 130 を照射することにより、当該単結晶半導体層 124 を完全に溶融させるのではなく、部分的に溶融（部分溶融）させることができが好ましい。部分溶融とは、レーザー光 130 の照射により単結晶半導体層 124 の溶融されている深さが絶縁層 102 の界面（単結晶半導体層 124 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 124 の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。

【0038】

単結晶半導体層 124 を部分溶融させることにより、レーザー光 130 の照射により溶融した部分の結晶成長は、溶融していない単結晶半導体層の面方位に基づいて行われるため、完全に溶融させる場合と比較して面方位をそろえて再結晶化を行うことができる。また、単結晶半導体層 124 を部分的に溶融することによって、絶縁層 102 から酸素や窒素等が取り込まれることを抑制することができる。

【0039】

また、本実施の形態では、レーザー光 130 の照射を還元性雰囲気下または不活性雰囲気下で行う。還元性雰囲気下または不活性雰囲気下で行うことによって、レーザー光 130 を照射して単結晶半導体層 124 を溶融させる場合であっても、雰囲気中の酸素が単結晶半導体層 124 中に取り込まれることを抑制することができる。その結果、レーザー光 130 の照射工程の前後において単結晶半導体層 124 に含まれる酸素濃度の増加を抑制することができる。また、還元性雰囲気とした場合には、酸素濃度を低減することも可能である。

【0040】

還元性雰囲気としては、水素雰囲気、水素ガスと希ガスとの混合雰囲気、水素ガスと窒素ガスとの混合雰囲気、または水素ガスと希ガスと窒素ガスとの混雰囲気とする。希ガスは、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンの少なくとも 1 つを用いることができる。還元性雰囲気とするために、これらのガスを適宜選択してレーザー照射工程を行うチャンバー内に導入する。

【0041】

不活性雰囲気としては、窒素雰囲気、希ガス雰囲気、窒素ガスと希ガスの混合雰囲気などを適用することができる。希ガスは、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンの少なくとも 1 つを用いることができる。不活性雰囲気とするために、これらのガスを適宜選択してレーザー照射工程を行うチャンバー内に導入する。また、不活性ガス雰囲気においてチャンバー内の酸素分圧を極めて小さく（好ましくは酸素分圧を 1×10^{-20} atm 未満）することにより、還元作用を得ることができる。

【0042】

また、これらのガスを導入する場合に、ガス精製器（純化装置）を用いて上記ガス中の不純物を除去することにより、雰囲気中の酸素濃度をより一層低減することができる。

【0043】

また、上記チャンバー内の雰囲気を減圧雰囲気として、レーザー光 130 の照射を行ってもよい。減圧雰囲気とすることで、雰囲気中の酸素濃度をより一層低減することができる。

【0044】

また、本実施の形態では、レーザー光 130 の照射工程の前後において単結晶半導体層 1

10

20

30

40

50

24へ酸素が取り込まれるのを抑制するため、チャンバー内の酸素濃度を1ppb未満、好ましくは100ppt未満、より好ましくは1ppt未満とすることが好ましい。還元性雰囲気または不活性雰囲気における酸素濃度を極力低減することにより、レーザー照射工程において単結晶半導体層124へ酸素が取り込まれるのを抑制し、単結晶半導体層124に含有される酸素濃度の増加を抑制することができる。また、還元性雰囲気とした場合には、酸素濃度を低減することも可能である。

【0045】

本明細書においては、不活性雰囲気の中でも特に、酸素濃度を1ppb未満のように十分に低減した上述のような雰囲気を、高純度不活性雰囲気と呼ぶこととする。

【0046】

また、本実施の形態では、レーザー光130の照射工程後において少なくとも溶融された部分の単結晶半導体層124に含まれる酸素濃度を 1×10^{-8} atoms/cm³未満、好ましくは 5×10^{-7} atoms/cm³未満とすることが望ましい。

【0047】

なお、チャンバー内の酸素濃度は、排気されたガスを、酸素濃度を測定できるセンサで測定することができる。例えば、エスティーラボ社製の酸素センサ(SiOS-200P)を用いて酸素分圧を測定することにより求めることができる。また、単結晶半導体層124の酸素濃度は、SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy)により測定することができる。

【0048】

なお、レーザー光130の照射後に単結晶半導体層124に含まれる酸素濃度を低減する(例えば、上述した値とする)ためには、貼り合わせに用いる単結晶半導体基板100にあらかじめ脱酸素処理を行ってもよい(図1(A)参照)。特に、CZ法を用いて作製された単結晶シリコンは、一定濃度の酸素を含有しているため(5×10^{-7} atoms/cm³~ 3×10^{-9} atoms/cm³)、脱酸素処理を行うことが好ましい。脱酸素処理としては、例えば、単結晶半導体基板100を、水素を含む還元性雰囲気下で高温(例えば、1000以上1250以下)で加熱することにより行うことができる。また、貼り合わせに用いる単結晶半導体基板100に含まれる酸素濃度を 1×10^{-8} atoms/cm³未満、好ましくは 1×10^{-7} atoms/cm³未満としておくことが望ましい。もちろん、あらかじめ脱酸素化処理された基板を単結晶半導体基板100として用いてもよい。

【0049】

本実施の形態で適用可能なレーザー発振器は、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。レーザー光130の波長は、単結晶半導体層124に吸収される波長とする。その波長は、レーザー光の表皮深さ(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250nm以上700nm以下の範囲とすることができます。

【0050】

レーザー発振器として、パルス発振レーザーまたは連続発振レーザー(CWレーザー)を用いることができる。例えば、パルス発振レーザーは、繰り返し周波数10MHz未満、パルス幅10n秒以上500n秒以下とすることが好ましい。代表的なパルス発振レーザーは、400nm以下の波長のレーザー光を発振するエキシマレーザーである。上記エキシマレーザーとして、例えば、繰り返し周波数10Hz~300Hz、パルス幅25n秒、波長308nmのXeClエキシマレーザーを用いることができる。また、パルス発振レーザー光の走査において、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てもよい。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てレーザー光を照射することにより、部分的に単結晶の精製が繰り返し行われ、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。

【0051】

また、単結晶半導体層124を部分溶融させるためのレーザー光のエネルギー密度の取り

10

20

30

40

50

うる範囲は、レーザー光の波長、レーザー光の表皮深さ、単結晶半導体層124の膜厚などを考慮して、単結晶半導体層124が完全に溶融しない程度のエネルギー密度とする。例えば、単結晶半導体層124の膜厚が大きい場合には、単結晶半導体層124を完全に溶融するまでのエネルギーも大きいため、レーザー光のエネルギー密度の範囲を大きくとることができる。また、単結晶半導体層124の膜厚が小さい場合には、単結晶半導体層124を完全に溶融するまでのエネルギーも小さくなるため、レーザー光のエネルギー密度を小さくすることが望ましい。なお、単結晶半導体層124を加熱状態でレーザー光を照射する場合には、部分溶融に必要なエネルギー密度の範囲の上限の値を小さくすることが、単結晶半導体層124が完全に溶融してしまうことを防ぐためにも好ましい。また、加熱状態でレーザー光を照射することで、単結晶半導体層に付着している水分などを除去することも可能である。

【0052】

また、レーザー光130の照射工程において単結晶半導体層124に酸素が取り込まれるのを抑制するため、レーザー光の照射前にチャンバーのクリーニング処理（脱酸素処理）を行うことが好ましい。クリーニング処理の一例としては、シランガスを用いた処理、水素ガスを用いた処理などが挙げられる。ここで、シランガスを用いた処理、水素ガスを用いた処理はそれぞれ、シランフラッシュ、水素フラッシュなどとも呼ばれ（総称としてフラッシング処理と呼ぶこともある）、反応性のガスを所定の時間、所定の流量で流すことにより行われる。

【0053】

上記のクリーニング処理により、チャンバー内の残留酸素濃度を十分に低減することができる。これは、導入されたガスがチャンバー内に残留する酸素と反応し、反応後の生成物が上記のガスと共にチャンバー外に排出されるためである。例えば、モノシラン（SiH₄）を、8SLM（Standard Liter per Minute）以上10SLM以下とのガス流量で、チャンバー内に5分以上20分以下、好ましくは10分以上15分以下程度の時間、導入し続けることで、チャンバー内の酸素を効果的に除去することができる。ここで、1SLMは、0.06m³/hである。

【0054】

なお、上記のクリーニング処理は、例えば、フッ素ラジカルを用いたクリーニング処理の後に行うとより効果的である。フッ素ラジカルは、チャンバー外部などに設けられたプラズマ発生器に、フッ素などを導入して解離させることで生成することができる。

【0055】

本実施の形態で示した方法を用いることによって、ベース基板上に形成された単結晶半導体層にレーザー光を照射して溶融させることにより結晶性を回復する場合であっても、レーザー光の照射工程において単結晶半導体層に酸素が取り込まれるのを抑制することができる。また、同様に、炭素等の他の不純物が単結晶半導体層にとりこまれることを抑制することもできる。

【0056】

また、レーザー光の照射前に単結晶半導体層124の表面を水素ガス雰囲気下でプラズマ処理を行い、単結晶半導体層124の表面に付着した不純物（炭素、窒素、酸素等から構成される不純物）を除去してもよい。

【0057】

単結晶半導体層124に含まれる酸素濃度が高い場合には、当該単結晶半導体層124内に酸化珪素が凝集して存在する確率が高くなり、凝集した酸化珪素がトランジスタのチャネル領域等に形成される場合には、トランジスタの特性（S値、オフ電流、しきい値、移動度等）がばらつく要因となる。そのため、単結晶半導体層124内に含まれる酸素濃度を低くすることによって、当該単結晶半導体層124を用いるトランジスタ等の素子の特性に及ぼす影響を低減することができる。特に、単結晶半導体層124において、レーザー光の照射により結晶性が回復された部分をトランジスタのチャネル領域等に用いることが多いため、上述したように、レーザー光の照射工程において単結晶半導体層124に酸

10

20

30

40

50

素がとりこまれるのを抑制することは重要となる。

【0058】

なお、本実施の形態で示した構成は、本明細書の他の実施の形態で示す構成と適宜組み合わせて行うことができる。

【0059】

(実施の形態2)

本実施の形態では、ベース基板上に設けられた単結晶半導体層にレーザー光を照射する装置(レーザー照射装置)に関して図面を参照して説明する。具体的には、レーザー光の照射の際の雰囲気制御方法の一例として、二重チャンバーを用いる場合について、図3を参考して説明する。

10

【0060】

本実施の形態で示すレーザー照射装置は、レーザー光600を発振するレーザー発振器602と、処理基板604を配置するステージ606とを有している(図3参照)。レーザー発振器602にはコントローラ608が接続されている。コントローラ608の制御により、レーザー発振器602から発振するレーザー光600のエネルギーや、繰り返し周波数などを変化させることができる。また、ステージ606には、抵抗加熱装置などの加熱手段610が設けられており、処理基板604を加熱できる構成となっている。

【0061】

ステージ606は内側チャンバー612の内部に設けられている。また、内側チャンバー612は外側チャンバー614の内部に設けられている。ステージ606は上記チャンバーの内部で移動できるように設けられている。

20

【0062】

内側チャンバー612及び外側チャンバー614の壁の一部には、レーザー光600を処理基板604に導くための窓616及び窓618が設けられている。窓616及び窓618は、石英などレーザー光600に対する透過率の高い材料を用いて形成される。レーザー光600の透過率をできるだけ高めるために、窓616及び窓618を薄くすることが好ましい。

【0063】

内側チャンバー612内部の雰囲気を制御するため、内側チャンバー612には気体供給口620及び排気口622が設けられている。また、外側チャンバー614の雰囲気を制御するため、外側チャンバー614には気体供給口624及び排気口626が設けられている。

30

【0064】

本実施の形態では、少なくとも内側チャンバー612を還元性雰囲気または不活性雰囲気とする。また、外側チャンバー614は、還元性雰囲気または不活性雰囲気とすることが好ましい。このように二重チャンバーとすることにより、外部から酸素が入り込んだ場合であっても、外側チャンバー614で緩和されるため、内側チャンバー内における酸素濃度を効果的に低減することができる。その結果、レーザー照射工程において単結晶半導体層に酸素がとりこまれることを抑制することができる。

【0065】

40

気体供給口620及び気体供給口624にはそれぞれ、バルブを介して気体供給装置628及び気体供給装置630が設けられている。ここでは、気体供給装置628及び気体供給装置630をそれぞれ設ける構成としているが、同じガスを供給する場合など、一の気体供給装置のみで足りる場合には、気体供給装置を共用することも可能である。

【0066】

排気口622及び排気口626には、それぞれ独立した排気系が設けられている。具体的には、排気口622には、バルブを介してターボポンプ632とドライポンプ634が設けられており、排気口626には、バルブを介してターボポンプ636とドライポンプ638が設けられている。また、バルブを介して排気口622とドライポンプ634(排気口626とドライポンプ638)が接続されており、ドライポンプによる粗引きが可能と

50

なっている。

【0067】

また、排気ラインに、窒素やアルゴン等の不活性ガスを流量を制御して流すことが好ましい。排気ラインに流量が制御された不活性ガスを流すことによって、排気ラインから処理室内への汚染物質の逆拡散を抑制することができる。

【0068】

レーザー発振器602とステージ606の間には、レンズやミラーなどを含む光学系640が配置されている。光学系640は外側チャンバー614の外部に設けられている。レーザー発振器602からのレーザー光600は、光学系640により、そのエネルギー分布が均一化され、かつその断面が線状、矩形状などの形状となるように成形される。光学系640を通過したレーザー光600は、窓618及び窓616を通り内側チャンバー612内部に入射し、ステージ606上の処理基板604に照射される。その際、ステージ606を移動させることにより、処理基板604の全面にレーザー光600を照射することができる。10

【0069】

また、レーザー発振器602や光学系640を移動させててもよい。また、処理基板604と、レーザー発振器602または光学系640の双方を移動させててもよい。双方移動させる場合には、処理基板604と、レーザー発振器602または光学系640とを異なる方向に移動させる（例えば、一方をX軸方向に移動させ、他方をX軸と90°異なるY軸方向に移動させる）ことにより効率的にレーザー光を照射することができる。20

【0070】

処理基板604にレーザー光600を照射する際に、ステージ606の加熱手段610により処理基板604を加熱してもよい。加熱しながらレーザー光を照射することにより、単結晶半導体層に水分がとりこまれるのを抑制できる。また、気体供給口620及び気体供給口624から水素ガス、窒素ガス、希ガス等を適宜選択して供給することで、還元性雰囲気下でレーザー光600の照射を行うことができる。

【0071】

ここで、レーザー照射の際の雰囲気における酸素濃度を十分に低減させるためには、少なくとも内側チャンバー612内に外部からの酸素が侵入しない構成とすることが求められる。これを実現するためには、例えば、チャンバー外部の圧力をP_o、外側チャンバー614内部の圧力をP_i、内側チャンバー612内部の圧力をP_iとして、P_o < P_iの関係が成り立てばよい。または、P_o < P_iとしても良い。チャンバー外部及びチャンバー内部の圧力の関係をこのようにすることで、チャンバー外部の気体が、内側チャンバー612内部に侵入することを十分に抑えることができる。30

【0072】

本実施の形態においては、二重チャンバー構造のレーザー照射装置を用いて、レーザー照射雰囲気における酸素濃度を十分に低減させる方法について説明した。本実施の形態に示すような構成を採用することで、例えば、レーザー照射雰囲気の酸素濃度を1ppb未満、好ましくは100ppt未満、より好ましくは1ppt未満とすることが可能となる。これにより、十分に酸素濃度を低減した雰囲気でレーザー照射処理を行うことができる。また、本実施の形態で示すレーザー照射装置を適用することにより、炭素等の他の不純物が単結晶半導体層にとりこまれることを抑制することができる。40

【0073】

なお、本実施の形態では、二重チャンバーとして内側チャンバー612と外側チャンバー614の供給口と排気口とを独立する構成としたがこれに限られない。二重チャンバーとしては、内側チャンバーと外側チャンバーにより構成され、内側チャンバーと外側チャンバーとをシャッターを介して開け閉めできる構造であればよく、内側チャンバーと外側チャンバーの排気口を共通して設けた構造としてもよい。

【0074】

なお、本実施の形態で示した構成は、本明細書の他の実施の形態で示す構成と適宜組み合50

わせて行うことができる。

【0075】

(実施の形態3)

本実施の形態では、レーザー照射装置の具体的な構成について図面を参照してより詳細に説明する。

【0076】

本形態は、レーザー光の照射によって単結晶半導体層が汚染されることを防止し、より積極的には単結晶半導体層の酸素濃度を低減（脱酸素化）に適したレーザー照射装置の一例を示す。このため本形態に係るレーザー照射装置は、レーザー光の照射において試料が保持される処理室内の酸素濃度を極力低減できるように構成されている。

10

【0077】

レーザー光の照射は、単結晶半導体層を一時的（瞬間的）に溶融させる処理を伴うので、処理雰囲気が清浄でない場合には、単結晶半導体層不純物を取り込むこととなってしまう。高純度の半導体基板を用いて単結晶半導体層を形成しても、レーザー光の照射で不純物を取り込んでしまうとトランジスタ等、半導体素子の高性能化を実現することができない。単結晶半導体層のような単結晶半導体は不純物に対して敏感に影響されるので、レーザー光の照射における雰囲気制御は工程管理の上でも重要な要素となる。

【0078】

ここで、レーザー光の照射における汚染の原因を検討すると、（1）処理室内（チャンバー内）の内壁から離脱してくる不純物、（2）プロセスガスまたはプロセスガスをガス配管に流すことによって処理室内に導入される不純物、（3）レーザー光の照射時に活性化されたプロセスガス（ラジカル）が処理室で反応して取り込まれる不純物（例えば、当該ラジカルが処理室の内壁に付着した不純物と反応し、それが処理室内に遊離したもの）が考えられる。単結晶半導体層に悪影響を及ぼす不純物の代表例として、水分、酸素、窒素、二酸化炭素、炭化水素等が考えられる。これらの不純物が単結晶半導体層に含まれることにより酸化、窒化または炭化して、トランジスタ等の電気的特性を劣化させる。

20

【0079】

本形態に係るレーザー照射装置はこのような汚染源に対して、処理室内の残留ガスの低減、プロセスガスの精製を効果的に行うようにレーザー照射装置を構成している。以下にその内容について図面を参照して説明する。

30

【0080】

図11に本形態に係るレーザー照射装置の構成を示す。このレーザー照射装置は、ロード室801にセットされた基板が、表面処理室804を経て処理室810に搬送され、レーザー光の照射後にアンロード室826から取り出されるまで、大気中に晒されることなく処理を進めることができる構成となっている。特に、処理室では、基板上に設けられた単結晶半導体層の平坦化と再単結晶化に加え、単結晶半導体層の酸素濃度を低減することができるよう、酸素等の混入を防ぐための対策が施されている。以下、詳細に説明する。

【0081】

表面処理室804は、単結晶半導体層の表面に付着した汚染物質及び単結晶半導体層の表面に形成された酸化膜を除去するための処理を行う。この処理は、単結晶半導体層の表面にある汚染物質や酸化膜が、レーザー光の照射によって単結晶半導体層の中に取り込まれないようにするために有効である。単結晶半導体層の表面処理に必要な薬剤（例えば、希フッ酸、オゾン水等）は、処理剤供給部805から供給される。表面処理は常圧（大気圧）で行うことが可能であり、単結晶半導体層が設けられた基板は搬送アーム803によって、ロード室801から基板搬送室802を経て表面処理室804に搬送される。

40

【0082】

待機室806は表面処理室804で処理が終わった基板を保持する場所である。表面処理室804から待機室806への基板の輸送も、基板搬送室802の搬送アーム803によって行われる。待機室806では清浄化された単結晶半導体層の表面が汚染されないように、ヘリウム、アルゴンなどの希ガス、または窒素ガスなどで待機室806内をバージで

50

きるようバージガスライン 807 が設けられている。また、待機室 806 にはターボ分子ポンプ 819 とドライポンプ 820 が接続され、真空排気できるように構成されている。これは、処理室 810 が減圧状態に保持されているため、それに対応して基板の搬送を容易にするためである。さらに待機室 806 で基板を真空中で保存できるため単結晶半導体層の表面に自然酸化膜ができるのを防ぐ効果もある。

【0083】

待機室 806 と処理室 810 は、基板搬送室 808 によって連結されている。待機室 806 に保持されている基板は、搬送アーム 809 によって処理室 810 に搬送される。基板搬送室 808 もターボ分子ポンプ 819 とドライポンプ 820 が接続されており、搬送中に基板が汚染されないように構成されている。ターボ分子ポンプ 819 とドライポンプ 820 によるオイルフリーの真空排気系は、待機室 806 や基板搬送室 808 の清浄度を高めるために有効である。10

【0084】

処理室 810 にもターボ分子ポンプ 819、クライオポンプ 821 及びドライポンプ 820 によるオイルフリーの真空排気系が接続されている。ターボ分子ポンプ 819 とドライポンプ 820 の間に接続されるバージガスライン 816 は、不活性ガスを導入するためのものである。不活性ガスを導入してターボ分子ポンプ 819 の排気側とドライポンプ 820 の間を粘性流領域とすることで、ターボ分子ポンプ 819 で排気されたガス分子はそのまま粘性流によって移動してドライポンプ 820 で排気されるため、処理室側へ排気ガスが逆拡散するのを防ぐことができる。20

【0085】

また、排気ラインに、窒素やアルゴン等の不活性ガスを流量を制御して流すことが好ましい。排気ラインに流量が制御された不活性ガスを流すことによって、排気ラインから処理室内への汚染物質の逆拡散を抑制することができる。

【0086】

レーザー光の照射工程で必要なレーザー光はレーザー光導入窓 815 から導入され、搬送アーム 812 によって処理室 810 の中で基板が移動することにより、基板全面にレーザー光の照射をできるように構成されている。

【0087】

処理室 810 は、内側のほぼ全域を中空構造を持つ壁（シュラウド 817）で覆われている。シュラウド 817 にはシリコーンオイルなどの流体が流し込まれ、該流体はシュラウド温度制御部 818 で温度が制御される。すなわち、シュラウド 817 によって処理室 810 の内壁の温度制御が可能となっている。30

【0088】

処理室 810 に導入されるガスは、シリンド 822 から供給される。ガスは流量制御部 823 によって流量が制御され、ガス精製器 824 がガスラインに接続されている。ガス精製器 824 は処理室 810 のガス供給口の近くに設けるのが好ましい。ガス精製器 824 は、化学・物理吸着剤を充填した反応管とフィルターおよびバルブなどで構成され、ガス中の不純物を除去することで供給するガスの高純度化を図っている。バージガスライン 825 はガス配管を不活性ガスでバージするものであり、シリンド 822 の交換時にガス配管内をバージするために用いる。40

【0089】

レーザー光の照射工程の終わった基板は、基板搬送室 808 を経て、搬送アーム 827 によりアンロード室 826 に回収される。本形態のように、各処理室を搬送室を介して連結することで、レーザー光の照射に必要な工程を大気中に晒されることなく処理を進めることができる。

【0090】

なお、図 11 はレーザー照射装置の一例であり、表面処理室、搬入室などの構成は適宜変更することが可能である。以下に、本形態に係る処理室の詳細を示す。

【0091】

10

20

30

40

50

図12は処理室810等の詳細を示す図である。処理室810はゲートバルブ811を介して基板搬送室808と連結している。処理室810と基板搬送室808の真空排気系は、共にターボ分子ポンプ819とドライポンプ820で構成されており、ゲートバルブ811を開けることによって処理室810が汚染されることを防いでいる。処理室810の真空排気系にはクライオポンプ821も併設されている。クライオポンプは、物理吸着を利用して処理室810の気体分子を凝縮または吸着させて捕捉し、オイルフリーでクリーンな真空が得られる特徴がある。特に 10^{-5} Paよりも低い圧力の超高真空を得るには有効である。

【0092】

単結晶半導体層が設けられた基板は基板ステージ813に保持される。単結晶半導体層に照射するレーザー光は、レーザー光導入窓815を通して基板ステージ813上の基板に照射される。基板全面にレーザー光を照射するために、基板ステージ813が搬送アーム812によって、少なくとも一軸方向に移動可能に構成されている。付随的な要素として基板ステージ813には基板を加熱するヒーター814が設けられていても良い。ヒーター814による基板の加熱は、レーザー光の照射工程の効果を高める上で有益である。

【0093】

シリンドラ822からは、もともと高純度のプロセスガスが供給されるが、ガス精製器824は、ガス配管中の微量残留気体によって当該プロセスガスの純度が低下するのを防ぐことができる。ガス精製の効果を高めるためにガス精製器824は、処理室810のガス供給口の近くに設けられていることが好ましい。ガス精製器824として、例えばモレキュラーシーブを用いることで、プロセスガス中の水分の他に塩化水素、二酸化炭素、二酸化硫黄、塩素ガスなどを取り除くことができる。また、プロセスガス中の不純物としての酸素は、金属溶媒を用いて除去することができる。プロセスガスとして水素を高純度化するにはパラジウム合金を用いた水素分離方式のガス精製器を用いることができる。ガス精製器824としては、精製機能の異なる複数の精製器を組み合わせることで、精製能力を高めることができる。

【0094】

処理室810の内側にはシュラウド817が設けられている。シュラウド817にはシリコーンオイルなどの流体が流されている。当該流体はシュラウド温度制御部818によって250程度まで加熱され、また-30まで冷却される。シュラウド817に加熱した流体を流することで、処理室810の内壁に吸着したガスを脱離させることができる。すなわち処理室810のベーキングを行うことができ、クライオポンプ821を使用することで、単結晶半導体層の汚染物質となる水分を効果的に除去することができる。シュラウド817は処理室810の内側のほぼ全域に設けることができるので、均一なベーキングを行うことができる。

【0095】

一方、レーザー光の照射時においては、シュラウド817に冷却した流体を流すことにより、内壁からガスが離脱することを防ぐことができ、-30まで冷却すると水分などをトラップする効果を得ることができる。それにより、処理室810内の残留不純物ガスの量を低減することができる。また、還元雰囲気中でレーザー光の照射を行っても、プロセスガスと内壁とが反応するのを防ぐことができるので、単結晶半導体層の高純度化若しくは脱酸素化を図る上で有利な効果を得ることができる。

【0096】

図13のレーザー照射装置は、図12のレーザー照射装置の構成に加え、処理室810の外側に、外側処理室828を設けた構成を有している。外側処理室828は、処理室810とは独立して真空排気ができる構成となっている。このように真空室を二重にする(二重チャンバーとする)ことで、リークして処理室810に混入する空気を減らすことができ、処理室810の不純物ガスの量をより低減することができる。また、外側処理室828を真空排氣することにより断熱されるので、シュラウド817を加熱または冷却の効果をより高めることができ、消費電力も削減することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 7 】

このように図12及び図13で示すレーザー照射装置によれば、単結晶半導体層が設けられた基板を大気に触れさせることなくレーザー光の照射を行うことができる。さらに処理室内の残留不純物を低減することができるので酸素の取り込みによる単結晶半導体層の酸化を防ぐことのみでなく、より積極的には、単結晶半導体層の脱酸素処理を実現することができる。また、本実施の形態で示すレーザー照射装置を適用することにより、炭素等の他の不純物が単結晶半導体層にとりこまれることを抑制することができる。

【 0 0 9 8 】

なお、本実施の形態で示した構成は、本明細書の他の実施の形態で示す構成と適宜組み合わせて行うことができる。

10

【 0 0 9 9 】**(実施の形態 4)**

本実施の形態では、単結晶半導体基板100とベース基板120との貼り合わせに関して図面を参照して詳細に説明する。

【 0 1 0 0 】

まず、単結晶半導体基板100を準備する(図2(A-1)参照)。単結晶半導体基板100の表面は、あらかじめ硫酸過水(SPM)、アンモニア過水(APM)、塩酸過水(HPM)、希フッ酸(DHF)などを用いて適宜洗浄することが汚染除去の点から好ましい。また、希フッ酸とオゾン水を交互に吐出して洗浄してもよい。

【 0 1 0 1 】

次に、単結晶半導体基板100の表面に酸化膜132を形成する(図2(A-2)参照)

20

。

【 0 1 0 2 】

酸化膜132は、例えば、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜等の単層、またはこれらを積層させた膜を用いることができる。これらの膜は、熱酸化法、CVD法またはスパッタリング法等を用いて形成することができる。また、CVD法を用いて酸化膜132を形成する場合には、テトラエトキシシラン(略称;TEOS:化学式Si(OCH₃)₄)等の有機シランを用いて作製される酸化シリコン膜を酸化膜132に用いることが生産性の点から好ましい。

【 0 1 0 3 】

30

本実施の形態では、単結晶半導体基板100に熱酸化処理を行うことにより酸化膜132(ここでは、SiO_x膜)を形成する(図2(A-2)参照)。熱酸化処理は、酸化性雰囲気中にハロゲンを添加して行うことが好ましい。

【 0 1 0 4 】

例えば、塩素(Cl)が添加された酸化性雰囲気中で単結晶半導体基板100に熱酸化処理を行うことにより、塩素酸化された酸化膜132を形成する。この場合、酸化膜132は、塩素原子を含有した膜となる。

【 0 1 0 5 】

酸化膜132中に含有された塩素原子は、歪みを形成する。その結果、酸化膜132の水分に対する吸収割合が向上し、拡散速度が増大する。つまり、酸化膜132表面に水分が存在する場合に、当該表面に存在する水分を酸化膜132中に素早く吸収し、拡散させることができる。

40

【 0 1 0 6 】

熱酸化処理の一例としては、酸素に対し塩化水素(HCl)を0.5~1.0体積%(好ましくは2体積%)の割合で含む酸化性雰囲気中で、900~1150の温度(代表的には1000)で行うことができる。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としては、10nm~1000nm(好ましくは50nm~300nm)、例えば100nmの厚さとする。

【 0 1 0 7 】

本実施の形態では、酸化膜132に含まれる塩素原子の濃度を 1×10^{17} atoms/

50

$\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ となるように制御する。酸化膜 132 に塩素原子を含有させることによって、外因性不純物である重金属（例えば、Fe、Cr、Ni、Mo 等）を捕集して単結晶半導体基板 100 が汚染されることを防止する効果を奏する。

【0108】

酸化膜 132 として、HCl 酸化などによって膜中に塩素等のハロゲンを含ませることにより、単結晶半導体基板に悪影響を与える不純物（例えば、Na 等の可動イオン）をゲッタリングすることができる。つまり、酸化膜 132 を形成した後に行われる熱処理により、単結晶半導体基板に含まれる不純物が酸化膜 132 に析出し、ハロゲン（例えば塩素）と反応して捕獲されることとなる。それにより酸化膜 132 中に捕集した当該不純物を固定して単結晶半導体基板 100 の汚染を防ぐことができる。また、酸化膜 132 はガラス基板と貼り合わせた場合に、ガラスに含まれる Na 等の不純物を固定する膜として機能しうる。10

【0109】

特に、酸化膜 132 として、HCl 酸化などによって膜中に塩素等のハロゲンを含ませることは、半導体基板の洗浄が不十分である場合や、繰り返し再利用して用いられる半導体基板の汚染除去に有効となる。

【0110】

また、酸化膜 132 に含有させるハロゲン原子としては塩素原子に限られない。酸化膜 132 にフッ素原子を含有させてもよい。単結晶半導体基板 100 表面をフッ素酸化するには、単結晶半導体基板 100 表面に HF 溶液に浸漬した後に酸化性雰囲気中で熱酸化処理を行うことや、NF₃ を酸化性雰囲気に添加して熱酸化処理を行えばよい。20

【0111】

次に、運動エネルギーを有するイオンを単結晶半導体基板 100 に照射することで、単結晶半導体基板 100 の所定の深さに結晶構造が損傷された脆化領域 104 を形成する（図 2 (A - 3) 参照）。図 2 (A - 3) に示すように、酸化膜 132 を介して、加速されたイオン 103 を単結晶半導体基板 100 に照射することで、単結晶半導体基板 100 の表面から所定の深さの領域にイオン 103 が添加され、脆化領域 104 を形成することができる。イオン 103 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、このプラズマに含まれるイオンを、電界の作用によりプラズマから引き出して、加速したイオンである。30

【0112】

脆化領域 104 が形成される領域の深さは、イオン 103 の運動エネルギー、質量と電荷、イオン 103 の入射角によって調節することができる。運動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 103 の平均侵入深さとほぼ同じ深さの領域に脆化領域 104 が形成される。そのため、イオン 103 を添加する深さで、単結晶半導体基板 100 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 110 nm 以上 500 nm 以下、好ましくは 50 nm 以上 200 nm 以下になるように、脆化領域 104 が形成される深さを調節する。

【0113】

脆化領域 104 の形成は、イオンドーピング処理で行うことができる。イオンドーピング処理には、イオンドーピング装置を用いて行うことができる。イオンドーピング装置の代表的な装置は、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。非質量分離型の装置であるのは、プラズマ中のイオン種を質量分離しないで、全てのイオン種を被処理体に照射しているからである。これに対して、イオン注入装置は質量分離型の装置である。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る。40

【0114】

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50

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。

【0115】

本実施形態では、イオンドーピング装置で、水素を単結晶半導体基板100に添加する。
10
プラズマソースガスとして水素を含むガスを供給する。例えば、 H_2 を供給する。水素ガスを励起してプラズマを生成し、質量分離せずに、プラズマ中に含まれるイオンを加速し、加速されたイオンを単結晶半導体基板100に照射する。

【0116】

イオンドーピング装置において、水素ガスから生成されるイオン種(H^+ 、 H_2^+ 、 H_3^+)の総量に対して H_3^+ の割合が50%以上とする。より好ましくは、その H_3^+ の割合を80%以上とする。イオンドーピング装置は質量分離を行わないため、プラズマ中に生成される複数のイオン種のうち、1つ(H_3^+)を50%以上とすることが好ましく、80%以上とすることが好ましい。同じ質量のイオンを照射することで、単結晶半導体基板100の同じ深さに集中させてイオンを添加することができる。
20

【0117】

脆化領域104を浅い領域に形成するためには、イオン103の加速電圧を低くする必要があるが、プラズマ中の H_3^+ イオンの割合を高くすることで、原子状水素(H)を効率よく、単結晶半導体基板100に添加できる。 H_3^+ イオンは H^+ イオンの3倍の質量を持つことから、同じ深さに水素原子を添加する場合、 H_3^+ イオンの加速電圧は、 H^+ イオンの加速電圧の3倍にすることが可能となる。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。

【0118】

イオンドーピング装置は廉価で、大面積処理に優れているため、このようなイオンドーピング装置を用いて H_3^+ を照射することで、半導体特性の向上、大面積化、低コスト化、生産性向上などの顕著な効果を得ることができる。また、イオンドーピング装置を用いた場合、重金属も同時に導入されるおそれがあるが、塩素原子を含有する酸化膜132を介してイオンの照射を行うことによって、上述したようにこれらの重金属による単結晶半導体基板100の汚染を防ぐことができる。
30

【0119】

なお、加速されたイオン103を単結晶半導体基板100に照射する工程は、イオン注入装置で行うこともできる。イオン注入装置は、チャンバー内に配置された被処理体に、ソースガスをプラズマ励起して生成された複数のイオン種を質量分離し、特定のイオン種を照射する質量分離型の装置である。したがって、イオン注入装置を用いる場合は、水素ガスや PH_3 を励起して生成された H^+ イオンおよび H_2^+ イオンを質量分離して、 H^+ イオンまたは H_2^+ イオンの一方のイオンを加速して、単結晶半導体基板100に照射する。
40

【0120】

次に、ベース基板120を準備する(図2(B-1)参照)。

【0121】

ベース基板120は、絶縁体でなる基板を用いる。具体的には、アルミニシリケートガラス、アルミニホウケイ酸ガラス、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。本実施の形態では、ガラス基板を用いる場合について説明する。ベース基板120として大面積化
50

が可能で安価なガラス基板を用いることにより、低コスト化を図ることができる。

【0122】

また、ベース基板120を用いるに際し、ベース基板120の表面をあらかじめ洗浄することが好ましい。具体的には、ベース基板120を、塩酸過水(HPM)、硫酸過水(SPM)、アンモニア過水(APM)、希フッ酸(DHF)等を用いて超音波洗浄を行う。例えば、ベース基板120の表面に塩酸過水を用いて超音波洗浄を行うことが好ましい。このような洗浄処理を行うことによって、ベース基板120表面の平坦化や残存する研磨粒子を除去することができる。

【0123】

次に、ベース基板120の表面に窒素含有層121(例えば、窒化シリコン膜(SiNx)または窒化酸化シリコン膜(SiN_xO_y)(x>y)等の窒素を含有する絶縁膜)を形成する(図2(B-2)参照)。

【0124】

本実施の形態において、窒素含有層121は、単結晶半導体基板100上に設けられた酸化膜132と貼り合わされる層(接合層)となる。また、窒素含有層121は、後にベース基板上に単結晶構造を有する単結晶半導体層を設けた際に、ベース基板に含まれるNa(ナトリウム)等の不純物が単結晶半導体層に拡散することを防ぐためのバリア層として機能する。

【0125】

また、窒素含有層121を接合層として用いるため、接合不良を抑制するには窒素含有層121の表面を平滑とすることが好ましい。具体的には、窒素含有層121の表面の平均面粗さ(Ra)を0.5nm以下、自乗平均粗さ(Rms)を0.60nm以下、より好ましくは、平均面粗さを0.35nm以下、自乗平均粗さを0.45nm以下となるよう窒素含有層121を形成する。膜厚は、10nm以上200nm以下、好ましくは50nm以上100nm以下の範囲で設けることが好ましい。

【0126】

次に、単結晶半導体基板100の表面とベース基板120の表面とを対向させ、酸化膜132の表面と窒素含有層121の表面とを接合させる(図2(C)参照)。

【0127】

ここでは、単結晶半導体基板100とベース基板120を酸化膜132と窒素含有層121を介して密着させた後、単結晶半導体基板100の一箇所に0.1~500N/cm²、好ましくは1~20N/cm²程度の圧力を加える。圧力を加えた部分から酸化膜132と窒素含有層121とが接合はじめ、自発的に接合が形成され全面におよぶ。この接合工程は、ファンデルワールス力や水素結合が作用しており、加熱処理を伴わず、常温で行うことができるため、ベース基板120に、ガラス基板のように耐熱温度が高い基板を用いることができる。

【0128】

なお、単結晶半導体基板100とベース基板120との貼り合わせを行う前に、単結晶半導体基板100上に形成された酸化膜132と、ベース基板120上に形成された窒素含有層121の表面処理を行うことが好ましい。

【0129】

表面処理としては、プラズマ処理、オゾン処理、メガソニック洗浄、2流体洗浄(純水や水素添加水等の機能水を窒素等のキャリアガスとともに吹き付ける方法)またはこれらの方法を組み合わせて行うことができる。特に、酸化膜132、窒素含有層121の少なくとも一方の表面にプラズマ処理を行った後に、オゾン処理、メガソニック洗浄、2流体洗浄等を行うことによって、酸化膜132、窒素含有層121表面の有機物等のゴミを除去し、表面を親水化することができる。その結果、酸化膜132と窒素含有層121の接合強度を向上させることができる。

【0130】

ここで、オゾン処理の一例を説明する。例えば、酸素を含む雰囲気下で紫外線(UV)を

10

20

30

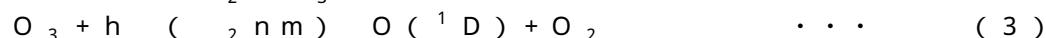
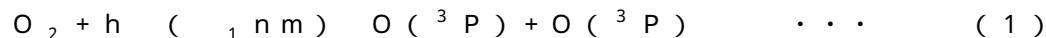
40

50

照射することにより、被処理体表面にオゾン処理を行うことができる。酸素を含む雰囲気下で紫外線を照射するオゾン処理は、UVオゾン処理または紫外線オゾン処理などとも言われる。酸素を含む雰囲気下において、紫外線のうち200nm未満の波長を含む光と200nm以上の波長を含む光を照射することにより、オゾンを生成させるとともに、オゾンから一重項酸素を生成させることができる。紫外線のうち180nm未満の波長を含む光を照射することにより、オゾンを生成させるとともに、オゾンから一重項酸素を生成させることもできる。

【0131】

酸素を含む雰囲気下で、200nm未満の波長を含む光および200nm以上の波長を含む光を照射することにより起きる反応例を示す。

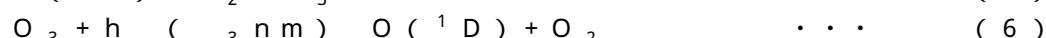
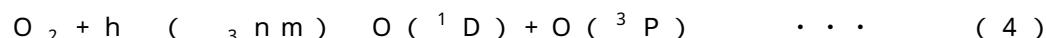


【0132】

上記反応式(1)において、酸素(O_2)を含む雰囲気下で200nm未満の波長(_1 nm)を含む光(h)を照射することにより基底状態の酸素原子($\text{O} \left(^3 \text{P} \right)$)が生成する。次に、反応式(2)において、基底状態の酸素原子($\text{O} \left(^3 \text{P} \right)$)と酸素(O_2)とが反応してオゾン(O_3)が生成する。そして、反応式(3)において、生成されたオゾン(O_3)を含む雰囲気下で200nm以上の波長(_2 nm)を含む光が照射されることにより、励起状態の一重項酸素 $\text{O} \left(^1 \text{D} \right)$ が生成される。酸素を含む雰囲気下において、紫外線のうち200nm未満の波長を含む光を照射することによりオゾンを生成させるとともに、200nm以上の波長を含む光を照射することによりオゾンを分解して一重項酸素を生成する。上記のようなオゾン処理は、例えば、酸素を含む雰囲気下での低压水銀ランプの照射($\text{ }_1 = 185\text{ nm}$, $\text{ }_2 = 254\text{ nm}$)により行うことができる。

【0133】

また、酸素を含む雰囲気下で、180nm未満の波長を含む光を照射することにより起きる反応例を示す。



【0134】

上記反応式(4)において、酸素(O_2)を含む雰囲気下で180nm未満の波長(_3 nm)を含む光を照射することにより、励起状態の一重項酸素 $\text{O} \left(^1 \text{D} \right)$ と基底状態の酸素原子($\text{O} \left(^3 \text{P} \right)$)が生成する。次に、反応式(5)において、基底状態の酸素原子($\text{O} \left(^3 \text{P} \right)$)と酸素(O_2)とが反応してオゾン(O_3)が生成する。反応式(6)において、生成されたオゾン(O_3)を含む雰囲気下で180nm未満の波長(_3 nm)を含む光が照射されることにより、励起状態の一重項酸素と酸素が生成される。酸素を含む雰囲気下において、紫外線のうち180nm未満の波長を含む光を照射することによりオゾンを生成させるとともにオゾンまたは酸素を分解して一重項酸素を生成する。上記のようなオゾン処理は、例えば、酸素を含む雰囲気下でのXeエキシマUVランプの照射($\text{ }_3 = 172\text{ nm}$)により行うことができる。

【0135】

200nm未満の波長を含む光により被処理体表面に付着する有機物などの化学結合を切断し、オゾンまたはオゾンから生成された一重項酸素により被処理体表面に付着する有機物、または化学結合を切断した有機物などを酸化分解して除去することができる。上記のようなオゾン処理を行うことで、被処理体表面の親水性および清浄性を高めることができ、接合を良好に行うことができる。

【0136】

酸素を含む雰囲気下で紫外線を照射することによりオゾンが生成される。オゾンは、被処理体表面に付着する有機物の除去に効果を奏する。また、一重項酸素も、オゾンと同等ま

10

20

30

40

50

たはそれ以上に、被処理体表面に付着する有機物の除去に効果を奏する。オゾン及び一重項酸素は、活性状態にある酸素の例であり、総称して活性酸素とも言われる。上記反応式等で説明したとおり、一重項酸素を生成する際にオゾンが生じる、またはオゾンから一重項酸素を生成する反応もあるため、ここでは一重項酸素が寄与する反応も含めて、便宜的にオゾン処理と称する。

【0137】

また、図2(C)において、酸化膜132と窒素含有層121を接合させた後、接合強度を増加させるための熱処理を行うことが好ましい。この熱処理の温度は、脆化領域104に亀裂を発生させない温度とし、例えば、室温以上400℃未満の温度範囲で処理する。また、この温度範囲で加熱しながら、酸化膜132と窒素含有層121を接合させてもよい。熱処理には、拡散炉、抵抗加熱炉などの加熱炉、RTA(瞬間熱アニール、Rapid Thermal Anneal)装置、マイクロ波加熱装置などを用いることができる。10

【0138】

一般的に、酸化膜132と窒素含有層121を接合と同時に接合させた後に熱処理を行うと、接合界面において脱水反応が進行し、接合界面同士が近づき、水素結合の強化や共有結合が形成されることにより接合が強化される。脱水反応を促進させるためには、脱水反応により接合界面に生じる水分を高温で熱処理を行うことにより除去する必要がある。つまり、接合後の熱処理温度が低い場合には、脱水反応で接合界面に生じた水分を効果的に除去できないため、脱水反応が進まず接合強度を十分に向上させることが難しい。20

【0139】

一方で、酸化膜132として、塩素原子等を含有させた酸化膜を用いた場合、当該酸化膜132が水分を吸収し拡散させることができるために、接合後の熱処理を低温で行う場合であっても、脱水反応で接合界面に生じた水分を酸化膜132へ吸収、拡散させ脱水反応を効率良く促進させることができる。この場合、ベース基板120としてガラス等の耐熱性が低い基板を用いた場合であっても、酸化膜132と窒素含有層121の接合強度を十分に向上させることが可能となる。また、バイアス電圧を印加してプラズマ処理を行うことにより、酸化膜132の表面近傍にマイクロポアを形成し、水分を効果的に吸収し拡散させ、低温であっても酸化膜132と窒素含有層121の接合強度を向上させることができる。30

【0140】

次に、熱処理を行い脆化領域104にて分離(劈開)することにより、ベース基板120上に、酸化膜132及び窒素含有層121を介して単結晶半導体層124を設ける(図2(D)参照)。

【0141】

加熱処理を行うことで、温度上昇によって脆化領域104に形成されている微小な孔に添加された元素が析出して体積変化が起こり、脆化領域104に亀裂が生じるので、脆化領域104に沿って単結晶半導体基板100が劈開する。酸化膜132はベース基板120に接合しているので、ベース基板120上には単結晶半導体基板100から分離された単結晶半導体層124が形成される。また、ここで熱処理の温度は、ベース基板120の歪み点を越えない温度とする。40

【0142】

この加熱処理には、拡散炉、抵抗加熱炉などの加熱炉、RTA装置、マイクロ波加熱装置などを用いることができる。例えば、RTA装置を用いる場合、加熱温度550℃以上730℃以下、処理時間0.5分以上60分以内で行うことができる。

【0143】

なお、上述したベース基板120と酸化膜132との接合強度を増加させるための熱処理を行わず、図1(D)の熱処理を行うことにより、酸化膜132と窒素含有層121との接合強度の増加の熱処理工程と、脆化領域104における分離の熱処理工程を同時に行つてもよい。50

【 0 1 4 4 】

以上の工程により、ベース基板 120 上に酸化膜 132 及び窒素含有層 121 を介して単結晶半導体層 124 が設けられた SOI 基板を作製することができる。本実施の形態で示した作製方法を用いることによって、窒素含有層 121 を接合層として用いた場合であっても、ベース基板 120 と単結晶半導体層 124との接合強度を向上させ、信頼性を向上させることができる。その結果、ベース基板 120 上に形成される単結晶半導体層 124 への不純物の拡散を抑制すると共に、ベース基板 120 と単結晶半導体層 124 とが強固に密着した SOI 基板を形成することができる。

【 0 1 4 5 】

また、ベース基板側に窒素含有層を設け、半導体基板側に塩素等のハロゲンを有する酸化膜を形成することにより、作製工程を簡略化すると共にベース基板との貼り合わせ前に当該半導体基板へ不純物元素が浸入することを抑制することができる。また、半導体基板側に設ける接合層として塩素等のハロゲンを有する酸化膜を形成することにより、接合後の熱処理を低温で行う場合であっても、脱水反応を効率良く促進させることにより接合強度を向上させることができる。10

【 0 1 4 6 】

その後、上記実施の形態 1 で示したように、単結晶半導体層 124 にレーザー光を照射して当該単結晶半導体層 124 の結晶性を回復させる。レーザー光の照射工程は、上記実施の形態で示した方法や装置を用いて行うことができる。

【 0 1 4 7 】

なお、本実施の形態では、単結晶半導体基板 100 上に酸化膜 132 を形成し、ベース基板 120 上に窒素含有層 121 を形成する場合を示したが、これに限られない。例えば、単結晶半導体基板 100 上に酸化膜 132 と窒素含有層を順に積層させて形成し、酸化膜 132 上に形成された窒素含有層の表面とベース基板 120 との表面とを接合させてもよい。この場合、窒素含有層は脆化領域 104 の形成前に設けてもよいし、形成後に設けてもよい。なお、窒素含有層上に酸化膜（例えば、酸化シリコン）を形成し、当該酸化膜の表面とベース基板 120 の表面とを接合させても良い。20

【 0 1 4 8 】

また、ベース基板 120 から単結晶半導体層 124 への不純物の混入が問題とならない場合には、ベース基板 120 上に窒素含有層 121 を設けずに、単結晶半導体基板 100 上に設けられた酸化膜 132 の表面とベース基板 120 の表面とを接合させてもよい。30

【 0 1 4 9 】

なお、本実施の形態で示した構成は、本明細書の他の実施の形態で示す構成と適宜組み合わせて行うことができる。

【 0 1 5 0 】**(実施の形態 5)**

本実施の形態では、上記実施の形態で作製した SOI 基板を用いて、半導体装置を作製する方法を説明する。

【 0 1 5 1 】

まず、図 4 および図 5 を参照して、n チャネル型薄膜トランジスタ、および p チャネル型薄膜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（TFT）を組み合わせることで、各種の半導体装置を形成することができる。40

【 0 1 5 2 】

本実施の形態では、SOI 基板として図 2 の工程を用いて作製した SOI 基板を用いる場合について説明する。もちろん、上記実施の形態で示した他の方法で作製した SOI 基板を用いることも可能である。

【 0 1 5 3 】

図 4 (A) は、図 2 を用いて説明した方法で作製された SOI 基板の断面図である。

【 0 1 5 4 】

まず、エッチングにより、単結晶半導体層 124 を素子分離して、図 4 (B) に示すよう50

に半導体層 251、252を形成する。半導体層 251はnチャネル型のTFTを構成し、半導体層 252はpチャネル型のTFTを構成する。

【0155】

図4(C)に示すように、半導体層 251、252上に絶縁膜 254を形成する。次に、絶縁膜 254を介して半導体層 251上にゲート電極 255を形成し、半導体層 252上にゲート電極 256を形成する。

【0156】

なお、単結晶半導体層 124のエッティングを行う前に、TFTのしきい値電圧を制御するために、ホウ素、アルミニウム、ガリウムなどの不純物元素、またはリン、ヒ素などの不純物元素を単結晶半導体層 124に添加することが好ましい。例えば、nチャネル型 TFTが形成される領域に不純物元素を添加し、pチャネル型 TFTが形成される領域に不純物元素を添加する。10

【0157】

次に、図4(D)に示すように半導体層 251にn型の低濃度不純物領域 257を形成し、半導体層 252にp型の高濃度不純物領域 259を形成する。具体的には、まず、半導体層 251にn型の低濃度不純物領域 257を形成する。このため、pチャネル型 TFTとなる半導体層 252をレジストでマスクし、不純物元素を半導体層 251に添加する。不純物元素としてリンまたはヒ素を添加すればよい。イオンドーピング法またはイオン注入法により不純物元素を添加することにより、ゲート電極 255がマスクとなり、半導体層 251に自己整合的にn型の低濃度不純物領域 257が形成される。半導体層 251のゲート電極 255と重なる領域はチャネル形成領域 258となる。20

【0158】

次に、半導体層 252を覆うマスクを除去した後、nチャネル型 TFTとなる半導体層 251をレジストマスクで覆う。次に、イオンドーピング法またはイオン注入法により不純物元素を半導体層 252に添加する。不純物元素として、ボロンを添加することができる。不純物元素の添加工程では、ゲート電極 256がマスクとして機能して、半導体層 252にp型の高濃度不純物領域 259が自己整合的に形成される。高濃度不純物領域 259はソース領域またはドレイン領域として機能する。半導体層 252のゲート電極 256と重なる領域はチャネル形成領域 260となる。ここでは、n型の低濃度不純物領域 257を形成した後、p型の高濃度不純物領域 259を形成する方法を説明したが、先にp型の高濃度不純物領域 259を形成することもできる。30

【0159】

次に、半導体層 251を覆うレジストを除去した後、プラズマCVD法等によって窒化シリコン等の窒素化合物や酸化シリコン等の酸化物からなる単層構造または積層構造の絶縁膜を形成する。この絶縁膜を垂直方向の異方性エッティングすることで、図5(A)に示すように、ゲート電極 255、256の側面に接するサイドウォール絶縁膜 261、262を形成する。この異方性エッティングにより、絶縁膜 254もエッティングされる。

【0160】

次に、図5(B)に示すように、半導体層 252をレジスト 265で覆う。半導体層 251にソース領域またはドレイン領域として機能する高濃度不純物領域を形成するため、イオン注入法またはイオンドーピング法により、半導体層 251に高ドーズ量で不純物元素を添加する。ゲート電極 255およびサイドウォール絶縁膜 261がマスクとなり、n型の高濃度不純物領域 267が形成される。次に、不純物元素の活性化のための加熱処理を行う。40

【0161】

活性化の加熱処理の後、図5(C)に示すように、水素を含んだ絶縁膜 268を形成する。絶縁膜 268を形成後、350以上450以下の温度による加熱処理を行い、絶縁膜 268中に含まれる水素を半導体層 251、252中に拡散させる。絶縁膜 268は、プロセス温度が350以下のプラズマCVD法により窒化シリコンまたは窒化酸化シリコンを堆積することで形成できる。半導体層 251、252に水素を供給することで、半50

導体層 251、252 中および絶縁膜 254 との界面での捕獲中心となるような欠陥を効果的に補償することができる。

【0162】

その後、層間絶縁膜 269 を形成する。層間絶縁膜 269 は、酸化シリコン膜、BPSG (Boron Phosphorus Silicon Glass) 膜などの無機材料でなる絶縁膜、または、ポリイミド、アクリルなどの有機樹脂膜から選ばれた単層構造の膜、積層構造の膜で形成することができる。層間絶縁膜 269 にコンタクトホールを形成した後、図 5 (C) に示すように配線 270 を形成する。配線 270 の形成には、例えば、アルミニウム膜またはアルミニウム合金膜などの低抵抗金属膜をバリアメタル膜で挟んだ 3 層構造の導電膜で形成することができる。バリアメタル膜は、モリブデン、クロム、チタンなどの金属膜で形成することができる。10

【0163】

以上の工程により、n チャネル型 TFT と p チャネル型 TFT を有する半導体装置を作製することができる。SOI 基板の作製過程で、チャネル形成領域を構成する半導体層の酸素濃度を低減させているので、オフ電流が小さく、しきい値電圧の変動が抑制された TFT を作製することができる。また、チャネル形成領域を構成する半導体層の酸素濃度を $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、好ましくは $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 未満とすることが望ましい。

【0164】

図 4 及び図 5 を参照して TFT の作製方法を説明したが、TFT の他、容量、抵抗など TFT と共に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。以下、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。20

【0165】

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 6 はマイクロプロセッサ 500 の構成例を示すプロック図である。

【0166】

マイクロプロセッサ 500 は、演算回路 501 (Arithmetic logic unit。ALUともいう。)、演算回路制御部 502 (ALU Controller)、命令解析部 503 (Instruction Decoder)、割り込み制御部 504 (Interrupt Controller)、タイミング制御部 505 (Timing Controller)、レジスタ 506 (Register)、レジスタ制御部 507 (Register Controller)、バスインターフェース 508 (Bus I/F)、読み出し専用メモリ 509、およびメモリインターフェース 510 を有している。30

【0167】

バスインターフェース 508 を介してマイクロプロセッサ 500 に入力された命令は、命令解析部 503 に入力され、デコードされた後、演算回路制御部 502、割り込み制御部 504、レジスタ制御部 507、タイミング制御部 505 に入力される。演算回路制御部 502、割り込み制御部 504、レジスタ制御部 507、タイミング制御部 505 は、デコードされた命令に基づき様々な制御を行う。40

【0168】

演算回路制御部 502 は、演算回路 501 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 504 は、マイクロプロセッサ 500 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 504 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 507 は、レジスタ 506 のアドレスを生成し、マイクロプロセッサ 500 の状態に応じてレジスタ 506 の読み出しや書き込みを行う。タイミング制御部 505 は、演算回路 501、演算回路制御部 502、命令解析部 503、割り込み制御部 504、およびレジスタ制御部 507 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 505 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50

る内部クロック生成部を備えている。図6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。

【0169】

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7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7に示す半導体装置は、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コンピュータ（以下、「RFCPU」という）と呼ぶことができる。

【0170】

図7に示すように、RFCPU511は、アナログ回路部512とデジタル回路部513を有している。アナログ回路部512として、共振容量を有する共振回路514、整流回路515、定電圧回路516、リセット回路517、発振回路518、復調回路519と、変調回路520、電源管理回路530を有している。デジタル回路部513は、RFインターフェース521、制御レジスタ522、クロックコントローラ523、インターフェース524、中央処理ユニット525、ランダムアクセスメモリ526、読み出し専用メモリ527を有している。

10

【0171】

RFCPU511の動作の概要は以下の通りである。アンテナ528が受信した信号は共振回路514により誘導起電力を生じる。誘導起電力は、整流回路515を経て容量部529に充電される。この容量部529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529は、RFCPU511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RFCPU511に組み込むこともできる。

20

【0172】

リセット回路517は、デジタル回路部513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518は、定電圧回路516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519は、受信信号を復調する回路であり、変調回路520は、送信するデータを変調する回路である。

【0173】

例えば、復調回路519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520は、共振回路514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。

30

【0174】

クロックコントローラ523は、電源電圧または中央処理ユニット525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530が行っている。

【0175】

アンテナ528からRFCPU511に入力された信号は復調回路519で復調された後、RFインターフェース521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522に格納される。制御コマンドには、読み出し専用メモリ527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526へのデータの書き込み、中央処理ユニット525への演算命令などが含まれている。

40

【0176】

中央処理ユニット525は、インターフェース524を介して読み出し専用メモリ527、ランダムアクセスメモリ526、制御レジスタ522にアクセスする。インターフェース524は、中央処理ユニット525が要求するアドレスより、読み出し専用メモリ527、ランダムアクセスメモリ526、制御レジスタ522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。

【0177】

50

中央処理ユニット 525 の演算方式は、読み出し専用メモリ 527 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 525 が処理する方式を適用できる。

【0178】

次に、図 8、図 9 を用いて、表示装置について説明する。

【0179】

図 8 は液晶表示装置を説明するための図面である。図 8 (A) は液晶表示装置の画素の平面図であり、図 8 (B) は、J - K 切断線による図 8 (A) の断面図である。10

【0180】

図 8 (A) に示すように、画素は、単結晶半導体層 320、単結晶半導体層 320 と交差している走査線 322、走査線 322 と交差している信号線 323、画素電極 324、画素電極 324 と単結晶半導体層 320 を電気的に接続する電極 328 を有する。単結晶半導体層 320 は、ベース基板 120 上に設けられた単結晶半導体層から形成された層であり、画素の TFT 325 を構成する。

【0181】

SOI 基板には上記実施の形態で示した SOI 基板が用いられている。図 8 (B) に示すように、ベース基板 120 上に、酸化膜 132 及び窒素含有層 121 を介して単結晶半導体層 320 が積層されている。ベース基板 120 としては、ガラス基板を用いることができる。TFT 325 の単結晶半導体層 320 は、SOI 基板の単結晶半導体層をエッチングにより素子分離して形成された膜である。単結晶半導体層 320 には、チャネル形成領域 340、不純物元素が添加された n 型の高濃度不純物領域 341 が形成されている。TFT 325 のゲート電極は走査線 322 に含まれ、ソース電極およびドレイン電極の一方は信号線 323 に含まれている。20

【0182】

層間絶縁膜 327 上には、信号線 323、画素電極 324 および電極 328 が設けられている。層間絶縁膜 327 上には、柱状スペーサ 329 が形成されている。信号線 323、画素電極 324、電極 328 および柱状スペーサ 329 を覆って配向膜 330 が形成されている。対向基板 332 には、対向電極 333、対向電極を覆う配向膜 334 が形成されている。柱状スペーサ 329 は、ベース基板 120 と対向基板 332 の隙間を維持するために形成される。柱状スペーサ 329 によって形成される隙間に液晶層 335 が形成されている。信号線 323 および電極 328 と高濃度不純物領域 341 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 327 に段差が生じるので、この接続部では液晶層 335 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 329 を形成して、液晶の配向の乱れを防ぐ。30

【0183】

次に、エレクトロルミネンス表示装置（以下、EL 表示装置という。）について図 9 を参照して説明する。図 9 (A) は EL 表示装置の画素の平面図であり、図 9 (B) は、J - K 切断線による図 9 (A) の断面図である。40

【0184】

図 9 (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。エレクトロルミネンス材料を含んで形成される層（EL 層）が一対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が画素電極 408 である。また、半導体層 403 は、選択用トランジスタ 401 のチャネル形成領域、ソース領域およびドレイン領域が形成されている。半導体層 404 は、表示制御用トランジスタ 402 のチャネル形成領域、ソース領域およびドレイン領域が形成されている。半導体層 403、404 は、ベース基板上に設けられた単結晶半導体層 124 から形成50

された層である。

【0185】

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。

【0186】

表示制御用トランジスタ402はpチャネル型のTFTである。図9(B)に示すように、半導体層404には、チャネル形成領域451、およびp型の高濃度不純物領域452が形成されている。なお、SOI基板は、実施の形態で作製したSOI基板が用いられている。

10

【0187】

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によりベース基板120に固定されている。

20

【0188】

EL表示装置の階調の制御は、発光素子の輝度を電流で制御する電流駆動方式と、電圧でその輝度を制御する電圧駆動方式とがあるが、電流駆動方式は、画素ごとでトランジスタの特性値の差が大きい場合、採用することは困難であり、そのためには特性のばらつきを補正する補正回路が必要になる。SOI基板の作製工程を含む製造方法でEL表示を作製することで、選択用トランジスタ401および表示制御用トランジスタ402は画素ごとに特性のばらつきがなくなるため、電流駆動方式を採用することができる。

【0189】

つまり、SOI基板を用いることで、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(digital versatile disc)などの記録媒体に記憶された音声データを再生し、かつ記憶された画像データを表示しうる表示装置を備えた装置などが含まれる。それらの一例を図10に示す。

30

【0190】

図10は、本発明を適用した携帯電話の一例であり、図10(A)が正面図、図10(B)が背面図、図10(C)が2つの筐体をスライドさせたときの正面図である。携帯電話700は、筐体701及び筐体702二つの筐体で構成されている。携帯電話700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。

40

【0191】

携帯電話700は、筐体701及び筐体702で構成されている。筐体701においては、表示部703、スピーカ704、マイクロフォン705、操作キー706、ポインティングデバイス707、表面カメラ用レンズ708、外部接続端子ジャック709及びイヤホン端子710等を備え、筐体702においては、キーボード711、外部メモリスロット712、裏面カメラ713、ライト714等により構成されている。また、アンテナは筐体701に内蔵されている。

【0192】

また、携帯電話700には、上記の構成に加えて、非接触型ICチップ、小型記録装置等

50

を内蔵していてもよい。

【0193】

重なり合った筐体701と筐体702(図10(A)に示す)は、スライドさせることができ可能であり、スライドさせることで図10(C)のように展開する。表示部703には、実施の形態2及び実施の形態3で説明した表示装置の作製方法を適用した表示パネルまたは表示装置を組み込むことが可能である。表示部703と表面カメラ用レンズ708を同一の面に備えているため、テレビ電話としての使用が可能である。また、表示部703をファインダーとして用いることで、裏面カメラ713及びライト714で静止画及び動画の撮影が可能である。

【0194】

スピーカ704及びマイクロフォン705を用いることで、携帯電話700は、音声記録装置(録音装置)または音声再生装置として使用することができる。また、操作キー706により、電話の発着信操作、電子メール等の簡単な情報入力操作、表示部に表示する画面のスクロール操作、表示部に表示する情報の選択等を行うカーソルの移動操作等が可能である。

10

【0195】

また、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711を用いると便利である。更に、重なり合った筐体701と筐体702(図10(A))をスライドさせることで、図10(C)のように展開させることができる。携帯情報端末として使用する場合には、キーボード711及びポインティングデバイス707を用いて、円滑な操作でマウスの操作が可能である。外部接続端子ジャック709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712に記録媒体を挿入し、より大量のデータ保存及び移動が可能になる。

20

【0196】

筐体702の裏面(図10(B))には、裏面カメラ713及びライト714を備え、表示部703をファインダーとして静止画及び動画の撮影が可能である。

【0197】

また、上記の機能構成に加えて、赤外線通信機能、U S Bポート、テレビワンセグ受信機能、非接触I Cチップまたはイヤホンジャック等を備えたものであってもよい。

30

【0198】

図10において説明した各種電子機器は、上述したトランジスタ及び表示装置の作製方法を適用して作製することができる。

【0199】

なお、本実施の形態で示した構成は、本明細書の他の実施の形態で示す構成と適宜組み合わせて行うことができる。

【符号の説明】

【0200】

100	単結晶半導体基板
102	絶縁層
103	イオン
104	脆化領域
120	ベース基板
121	窒素含有層
124	単結晶半導体層
130	レーザー光
132	酸化膜
251	半導体層
252	半導体層
254	絶縁膜

40

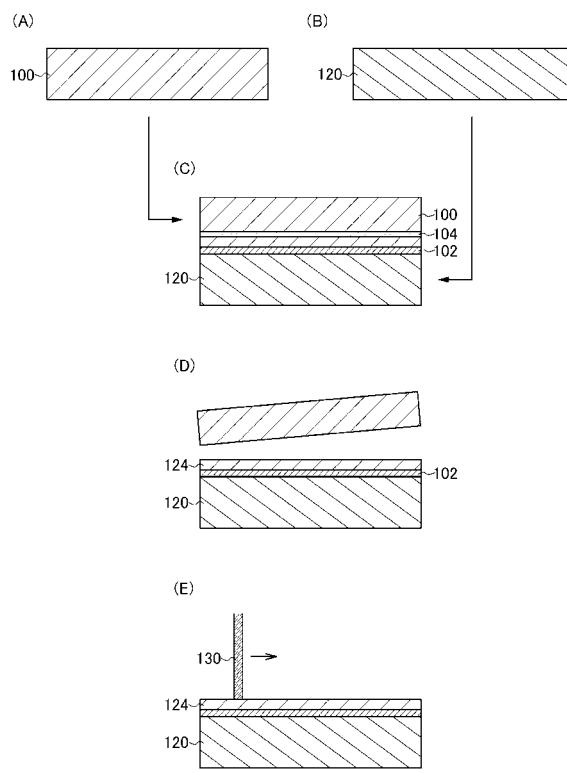
50

2 5 5	ゲート電極	
2 5 6	ゲート電極	
2 5 7	低濃度不純物領域	
2 5 8	チャネル形成領域	
2 5 9	高濃度不純物領域	
2 5 n	パルス幅	
2 6 0	チャネル形成領域	
2 6 1	サイドウォール絶縁膜	
2 6 5	レジスト	
2 6 7	高濃度不純物領域	10
2 6 8	絶縁膜	
2 6 9	層間絶縁膜	
2 7 0	配線	
3 2 0	単結晶半導体層	
3 2 2	走査線	
3 2 3	信号線	
3 2 4	画素電極	
3 2 5	TFT	
3 2 7	層間絶縁膜	
3 2 8	電極	20
3 2 9	柱状スペーサ	
3 3 0	配向膜	
3 3 2	対向基板	
3 3 3	対向電極	
3 3 4	配向膜	
3 3 5	液晶層	
3 4 0	チャネル形成領域	
3 4 1	高濃度不純物領域	
4 0 0	室温以上	
4 0 1	選択用トランジスタ	30
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	
4 0 8	画素電極	
4 1 0	電極	
4 1 1	電極	
4 1 2	ゲート電極	40
4 1 3	電極	
4 2 7	層間絶縁膜	
4 2 8	隔壁層	
4 2 9	EL層	
4 3 0	対向電極	
4 3 1	対向基板	
4 3 2	樹脂層	
4 5 1	チャネル形成領域	
4 5 2	高濃度不純物領域	
5 0 0	マイクロプロセッサ	50

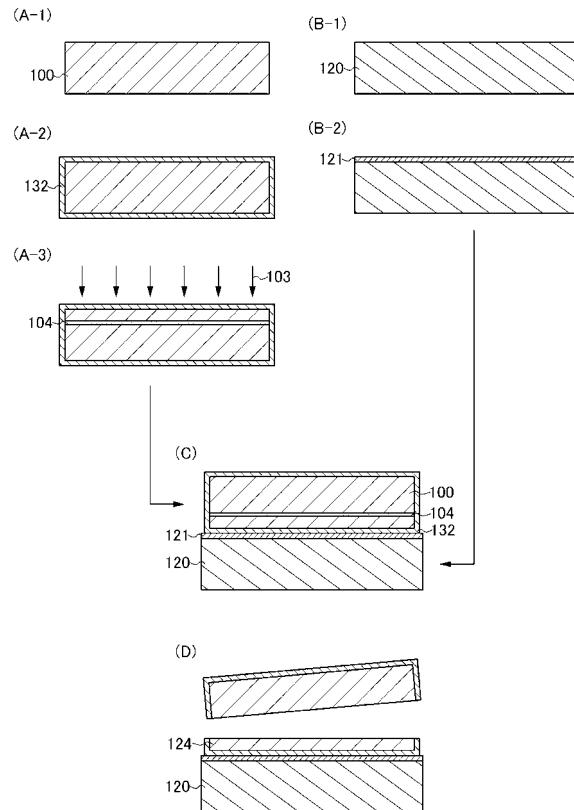
5 0 1	演算回路	
5 0 2	演算回路制御部	
5 0 3	命令解析部	
5 0 4	制御部	
5 0 5	タイミング制御部	
5 0 6	レジスタ	
5 0 7	レジスタ制御部	
5 0 8	バスインターフェース	
5 0 9	専用メモリ	
5 1 0	メモリインターフェース	10
5 1 1	R F C P U	
5 1 2	アナログ回路部	
5 1 3	デジタル回路部	
5 1 4	共振回路	
5 1 5	整流回路	
5 1 6	定電圧回路	
5 1 7	リセット回路	
5 1 8	発振回路	
5 1 9	復調回路	
5 2 0	変調回路	20
5 2 1	R F インターフェース	
5 2 2	制御レジスタ	
5 2 3	クロックコントローラ	
5 2 4	インターフェース	
5 2 5	中央処理ユニット	
5 2 6	ランダムアクセスメモリ	
5 2 7	専用メモリ	
5 2 8	アンテナ	
5 2 9	容量部	
5 3 0	電源管理回路	30
5 5 0	加熱温度	
6 0 0	レーザー光	
6 0 2	レーザー発振器	
6 0 4	処理基板	
6 0 6	ステージ	
6 0 8	コントローラ	
6 1 0	加熱手段	
6 1 2	内側チャンバー	
6 1 4	外側チャンバー	
6 1 6	窓	40
6 1 8	窓	
6 2 0	気体供給口	
6 2 2	排気口	
6 2 4	気体供給口	
6 2 6	排気口	
6 2 8	気体供給装置	
6 3 0	気体供給装置	
6 3 2	ターボポンプ	
6 3 4	ドライポンプ	
6 3 6	ターボポンプ	50

6 3 8	ドライポンプ	
6 4 0	光学系	
7 0 0	携帯電話	
7 0 1	筐体	
7 0 2	筐体	
7 0 3	表示部	
7 0 4	スピーカ	
7 0 5	マイクロフォン	
7 0 6	操作キー	
7 0 7	ポインティングデバイス	10
7 0 8	表面カメラ用レンズ	
7 0 9	外部接続端子ジャック	
7 1 0	イヤホン端子	
7 1 1	キーボード	
7 1 2	外部メモリスロット	
7 1 3	裏面カメラ	
7 1 4	ライト	
8 0 1	ロード室	
8 0 2	基板搬送室	
8 0 3	搬送アーム	20
8 0 4	表面処理室	
8 0 5	処理剤供給部	
8 0 6	待機室	
8 0 7	バージガスライン	
8 0 8	基板搬送室	
8 0 9	搬送アーム	
8 1 0	処理室	
8 1 1	ゲートバルブ	
8 1 2	搬送アーム	
8 1 3	基板ステージ	30
8 1 4	ヒーター	
8 1 5	レーザー光導入窓	
8 1 6	バージガスライン	
8 1 7	シュラウド	
8 1 8	シュラウド温度制御部	
8 1 9	ターボ分子ポンプ	
8 2 0	ドライポンプ	
8 2 1	クライオポンプ	
8 2 2	シリンダ	
8 2 3	流量制御部	40
8 2 4	ガス精製器	
8 2 5	バージガスライン	
8 2 6	アンロード室	
8 2 7	搬送アーム	
8 2 8	外側処理室	

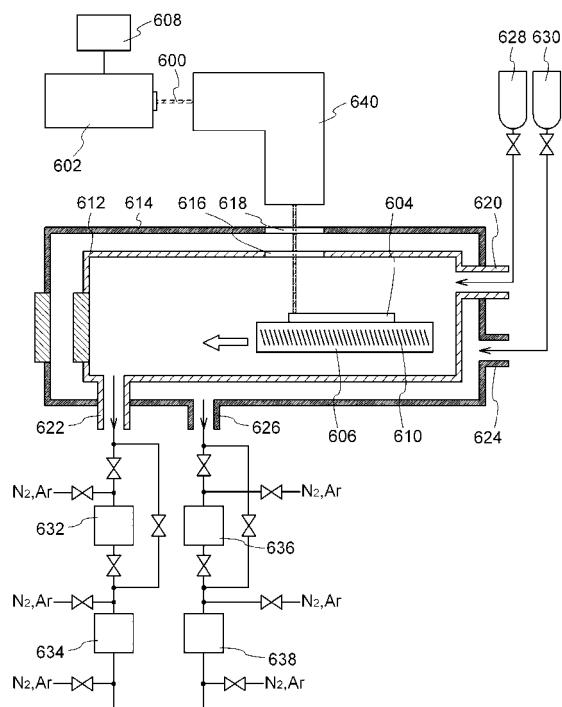
【図1】



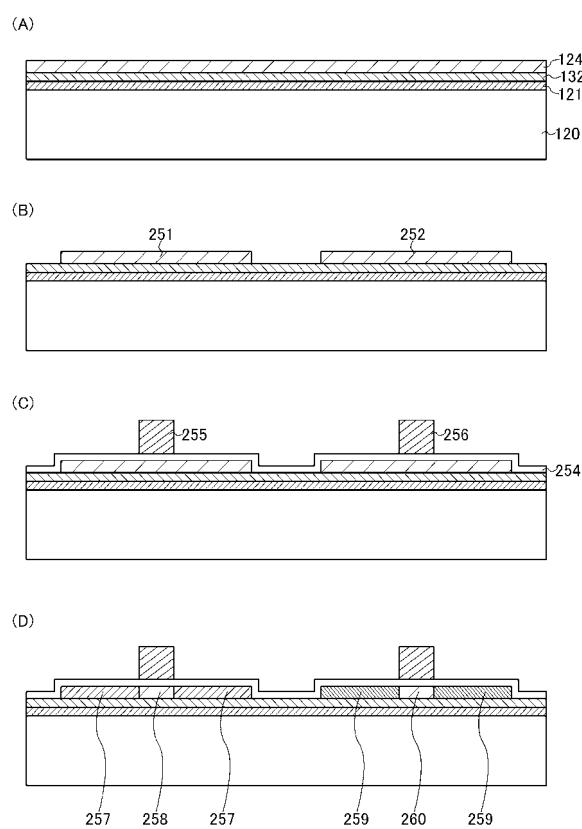
【図2】



【図3】

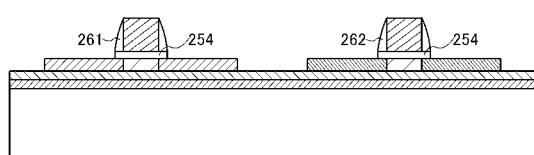


【図4】

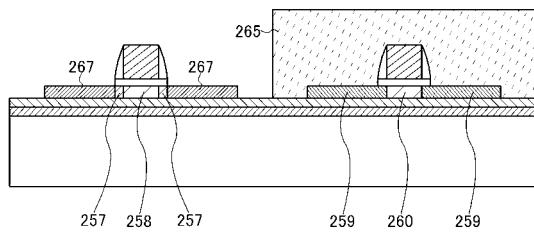


【図5】

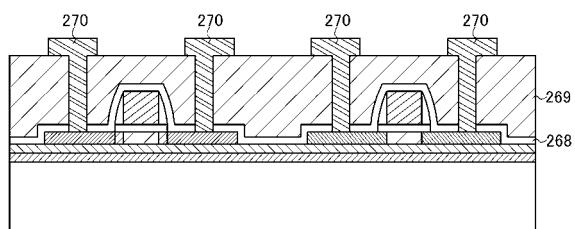
(A)



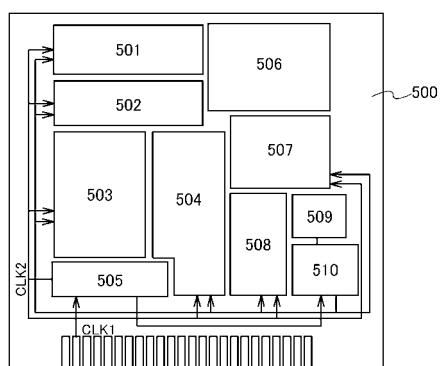
(B)



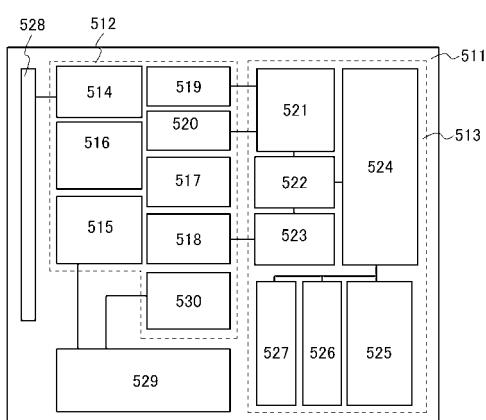
(C)



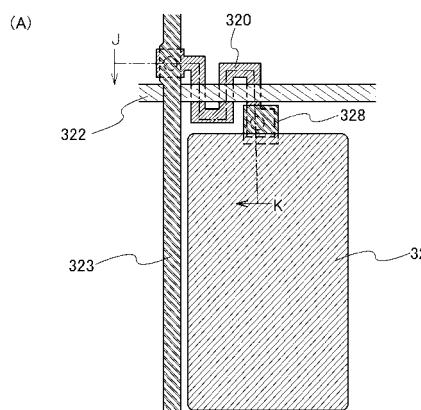
【図6】



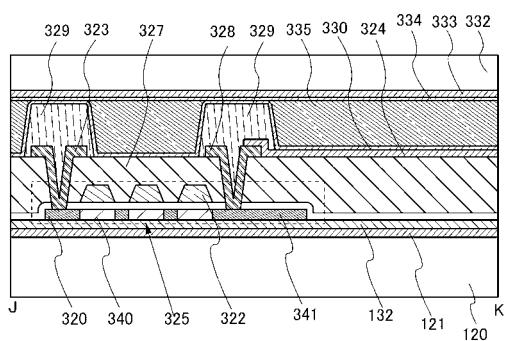
【図7】



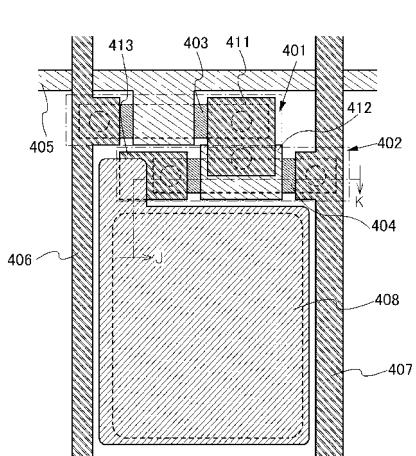
【図8】



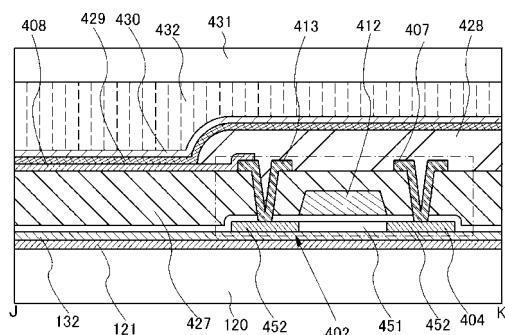
(B)



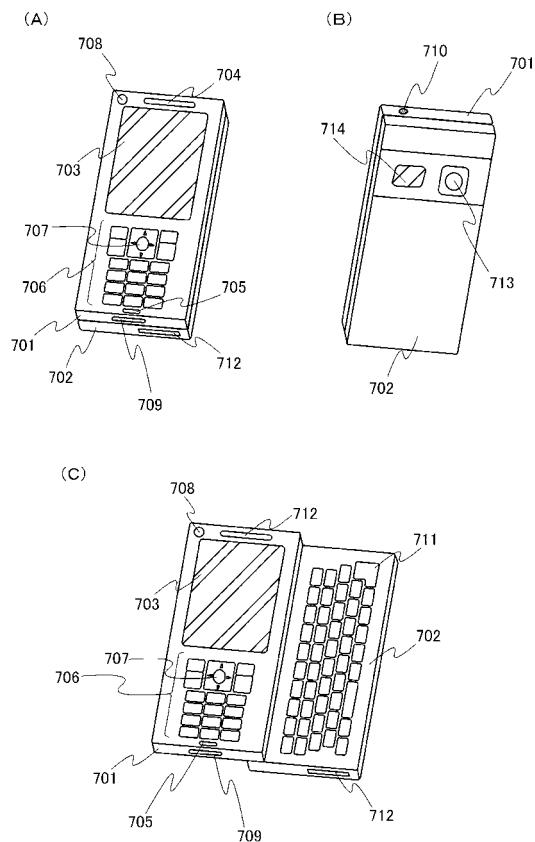
【図9】



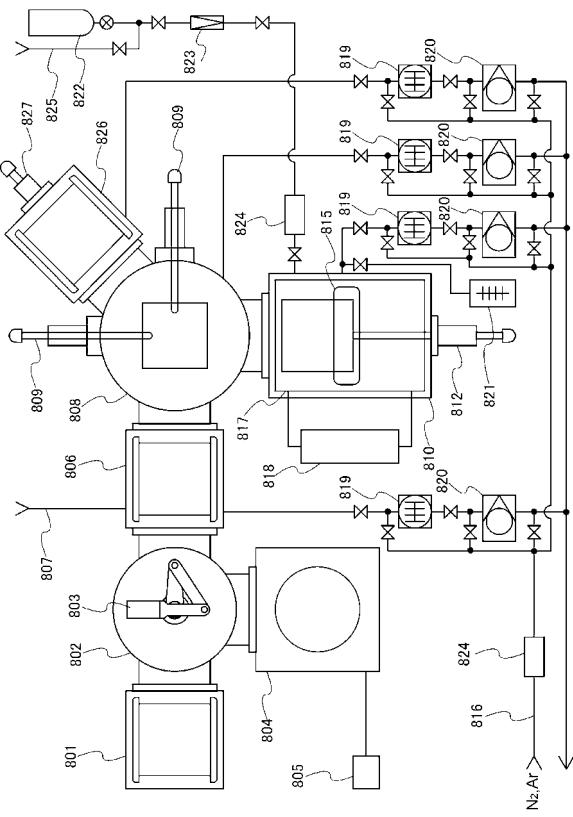
(B)



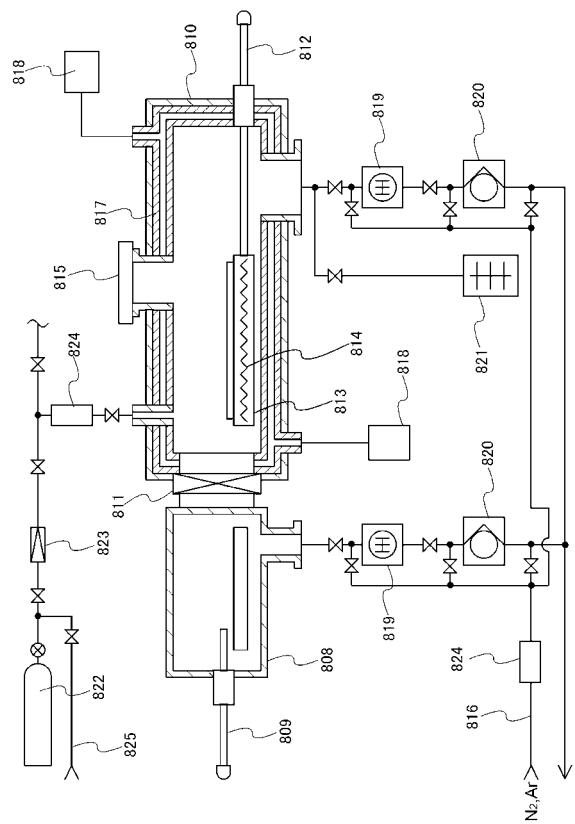
【図10】



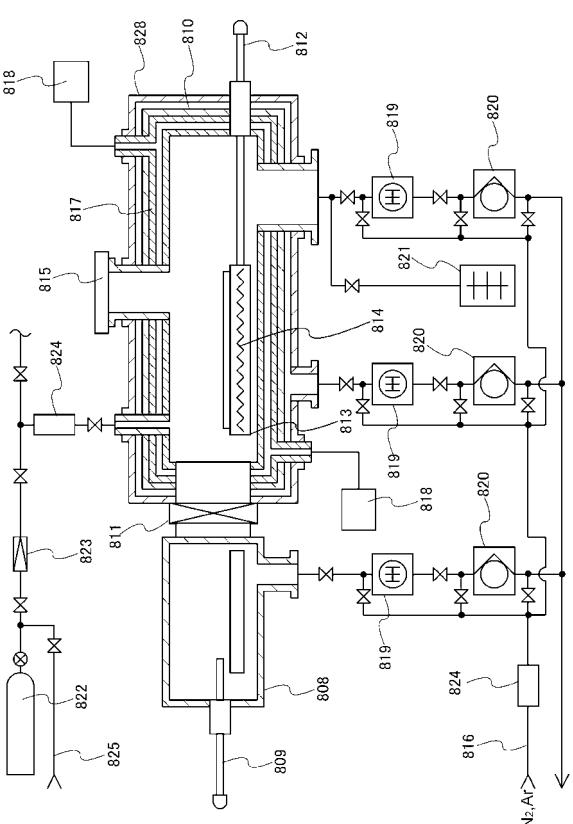
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 01L 21/336 (2006.01)
H 01L 29/786 (2006.01)

審査官 綿引 隆

(56)参考文献 特開2005-203596 (JP, A)
特開2000-049063 (JP, A)
特開平09-115853 (JP, A)
特開2006-179875 (JP, A)
特開平09-186085 (JP, A)
特開2002-231628 (JP, A)
特表平03-503551 (JP, A)
特表2005-509281 (JP, A)
特開平05-299339 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01L 21/02
H 01L 21/20
H 01L 21/268
H 01L 21/322
H 01L 21/336
H 01L 27/12
H 01L 29/786