

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の導電型を有する第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層上に設けられ第 2 の導電型を有する第 2 の半導体層と、前記第 2 の半導体層上に設けられ前記第 2 の半導体層によって前記第 1 の半導体層と分離され前記第 1 の導電型を有する第 3 の半導体層とを含む炭化珪素基板を準備する工程と、

前記炭化珪素基板に開口部を有するトレンチを形成する工程とを備え、前記トレンチは、前記第 1 の半導体層からなる底面と、前記第 1 ~ 第 3 の半導体層のそれぞれからなる第 1 ~ 第 3 の側面を有する側壁面とを含み、前記トレンチは、前記第 1 の側面と前記底面とが合わさることで構成された角部を有し、さらに

前記角部を覆い、かつ前記開口部から前記第 2 の側面上に至る領域を露出する角絶縁膜を形成する工程と、

前記開口部から前記角部に至る領域を覆うゲート絶縁膜を形成する工程とを備え、前記ゲート絶縁膜を形成する工程は、前記角絶縁膜が設けられた前記トレンチを熱酸化する工程を含み、前記トレンチを熱酸化する工程は 1300 以上に前記炭化珪素基板を加熱する工程を含み、さらに

前記ゲート絶縁膜を介して前記トレンチ上にゲート電極を形成する工程を備える、炭化珪素半導体装置の製造方法。

【請求項 2】

前記トレンチを熱酸化する工程は、

1300 未満の温度から 1300 以上の温度へ非酸化雰囲気中で前記炭化珪素基板の温度を上げる工程と、

前記炭化珪素基板の温度を 1300 以上に保持しつつ、前記炭化珪素基板を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気から酸化雰囲気へ切り替える工程とを含む、請求項 1 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

【請求項 3】

前記トレンチを熱酸化する工程は、

前記炭化珪素基板の温度を 1300 以上に保持しつつ、前記炭化珪素基板を取り巻く雰囲気を酸化雰囲気から非酸化雰囲気へ切り替える工程と、

前記炭化珪素基板を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気に保持しつつ、1300 以上の温度から 1000 以下の温度へ前記炭化珪素基板を冷却する工程とを含む、請求項 2 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

【請求項 4】

前記炭化珪素基板を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気から酸化雰囲気へ切り替える工程は、前記炭化珪素基板を取り巻く雰囲気中に酸素ガスを導入する工程を含む、請求項 2 または 3 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

【請求項 5】

前記角絶縁膜を形成する工程は、

前記開口部から前記角部に至る領域を覆う被覆絶縁膜を形成する工程と、

前記被覆絶縁膜をパターンニングする工程とを含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

【請求項 6】

前記被覆絶縁膜を形成する工程は、

前記トレンチ上にシリコン膜を形成する工程と、

前記シリコン膜を熱酸化する工程とを含む、請求項 5 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

【請求項 7】

前記被覆絶縁膜を形成する工程は、前記シリコン膜を形成する工程の前に、前記トレンチ上に熱酸化膜を形成する工程を含む、請求項 6 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

前記シリコン膜を熱酸化する工程は 1 3 0 0 未満で行なわれる、請求項 7 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

【請求項 9】

前記被覆絶縁膜をパターニングする工程は、

前記被覆絶縁膜を介して前記トレンチを埋めるようにレジスト液を塗布することでレジスト層を形成する工程と、

前記レジスト層をエッチバックすることによって、前記トレンチ内に前記レジスト層が部分的に残るように、前記レジスト層をパターニングする工程と、

前記レジスト層をパターニングする工程の後に、前記レジスト層をマスクとして用いて前記被覆絶縁膜をエッチングする工程とを含む、請求項 5 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

10

【請求項 10】

前記被覆絶縁膜をエッチングする工程はウエットエッチングによって行なわれる、請求項 9 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

この発明は、炭化珪素半導体装置の製造方法に関するものであり、特に、トレンチを有する炭化珪素半導体装置の製造方法に関するものである。

20

【背景技術】**【0002】**

炭化珪素半導体装置として、たとえば特開平 7 - 3 2 6 7 5 5 号公報（特許文献 1）は、炭化珪素基板を用いたトレンチゲート型 M O S F E T（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）を開示している。この公報によれば、トレンチの底部のゲート酸化膜の絶縁破壊を防止するために、側部に比して底部でのゲート熱酸化膜の厚さが大きくされている。このような厚さの相違を生じさせる方法として、酸化速度の結晶方位依存性が用いられている。

【先行技術文献】**【特許文献】**

30

【0003】

【特許文献 1】特開平 7 - 3 2 6 7 5 5 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

上記公報に記載の技術においては、ゲート絶縁膜を形成する際の熱酸化の速度が十分に大きな結晶方位依存性を有する必要がある。このような場合、本発明者らの検討によれば、トレンチの開口部においてゲート絶縁膜の厚さが局所的に薄くなってしまふ。この結果、トレンチの開口部の近傍でのゲート絶縁膜の絶縁信頼性が低くなってしまふ。

【0005】

40

本発明は、上記のような課題を解決するために成されたものであり、この発明の目的は、トレンチの底部のゲート酸化膜の絶縁破壊を防止しつつ、トレンチの開口部の近傍でのゲート絶縁膜の十分な絶縁信頼性を確保することができる炭化珪素半導体装置の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本発明の炭化珪素半導体装置の製造方法は、以下の工程を有する。

第 1 の導電型を有する第 1 の半導体層と、第 1 の半導体層上に設けられ第 2 の導電型を有する第 2 の半導体層と、第 2 の半導体層上に設けられ第 2 の半導体層によって第 1 の半導体層と分離され第 1 の導電型を有する第 3 の半導体層とを含む炭化珪素基板が準備され

50

る。

【0007】

炭化珪素基板に開口部を有するトレンチが形成される。トレンチは、第1の半導体層からなる底面と、第1～第3の半導体層のそれぞれからなる第1～第3の側面を有する側壁面とを含む。トレンチは、第1の側面と底面とが合わさることで構成された角部を有する。

【0008】

角部を覆い、かつ開口部から第2の側面上に至る領域を露出する角絶縁膜が形成される。

【0009】

開口部から角部に至る領域を覆うゲート絶縁膜が形成される。ゲート絶縁膜を形成する工程は、角絶縁膜が設けられたトレンチを熱酸化する工程を含む。トレンチを熱酸化する工程は1300以上に炭化珪素基板を加熱する工程を含む。

【0010】

ゲート絶縁膜を介してトレンチ上にゲート電極が形成される。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、トレンチの開口部の近傍でのゲート絶縁膜の十分な絶縁信頼性を確保することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施の形態1における炭化珪素半導体装置の構成を概略的に示す部分断面図である。

【図2】図1の炭化珪素半導体装置が有する炭化珪素基板の形状を概略的に示す斜視図であり、図を見やすくするために第2の導電型の領域にハッチングを付した図である。

【図3】図1の拡大図である。

【図4】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第1工程を概略的に示す部分断面図である。

【図5】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第2工程を概略的に示す部分断面図である。

【図6】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第3工程を概略的に示す部分断面図である。

【図7】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第4工程を概略的に示す部分断面図である。

【図8】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第5工程を概略的に示す部分断面図である。

【図9】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第6工程を概略的に示す部分断面図である。

【図10】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第7工程を概略的に示す部分断面図である。

【図11】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第8工程を概略的に示す部分断面図である。

【図12】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第9工程を概略的に示す部分断面図である。

【図13】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第10工程を概略的に示す部分断面図である。

【図14】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第11工程を概略的に示す部分断面図である。

【図15】図1の炭化珪素半導体装置の製造方法の第12工程を概略的に示す部分断面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 6】図 1 の炭化珪素半導体装置の製造方法の第 1 3 工程におけるプロセス条件の例を示すグラフ図である。

【図 1 7】図 1 の炭化珪素半導体装置の製造方法の第 1 3 工程を概略的に示す部分断面図である。

【図 1 8】図 1 の炭化珪素半導体装置の製造方法の第 1 4 工程を概略的に示す部分断面図である。

【図 1 9】比較例の炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す部分断面図である。

【図 2 0】本発明の実施の形態 2 における炭化珪素半導体装置の構成を概略的に示す部分断面図である。

【図 2 1】炭化珪素半導体装置が有する炭化珪素基板の表面の微細構造を概略的に示す部分断面図である。

【図 2 2】ポリタイプ 4 H の六方晶における (0 0 0 - 1) 面の結晶構造を示す図である。

【図 2 3】図 2 2 の線 X X I I I - X X I I I に沿う (1 1 - 2 0) 面の結晶構造を示す図である。

【図 2 4】図 2 1 の複合面の表面近傍における結晶構造を (1 1 - 2 0) 面内において示す図である。

【図 2 5】図 2 1 の複合面を (0 1 - 1 0) 面から見た図である。

【図 2 6】巨視的に見たチャンネル面および (0 0 0 - 1) 面の間の角度と、チャンネル移動度との関係の一例を、熱エッチングが行われた場合と行われなかった場合との各々について示すグラフ図である。

【図 2 7】チャンネル方向および $\langle 0 - 1 1 - 2 \rangle$ 方向の間の角度と、チャンネル移動度との関係の一例を示すグラフ図である。

【図 2 8】図 2 1 の変形例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。本明細書中の結晶学的記載においては、個別方位を []、集合方位を $\langle \rangle$ 、個別面を ()、集合面を { } でそれぞれ示している。また結晶学上の指数が負であることは、通常、" - " (バー) を数字の上に付すことによって表現されるが、本明細書中では数字の前に負の符号を付している。

【 0 0 1 4 】

はじめに概要について、以下の (i) ~ (x) に記す。

(i) 炭化珪素半導体装置 5 0 1 , 5 0 2 の製造方法は、以下の工程を有する。

【 0 0 1 5 】

第 1 の導電型を有する第 1 の半導体層 1 2 1 と、第 1 の半導体層 1 2 1 上に設けられ第 2 の導電型を有する第 2 の半導体層 1 2 2 と、第 2 の半導体層 1 2 2 上に設けられ第 2 の半導体層 1 2 2 によって第 1 の半導体層 1 2 1 と分離され第 1 の導電型を有する第 3 の半導体層 1 2 3 とを含む炭化珪素基板 1 0 0 が準備される。

【 0 0 1 6 】

炭化珪素基板 1 0 0 に開口部 O P を有するトレンチ T R が形成される。トレンチ T R は、第 1 の半導体層 1 2 1 からなる底面 B T と、第 1 ~ 第 3 の半導体層 1 2 1 ~ 1 2 3 のそれぞれからなる第 1 ~ 第 3 の側面 S W 1 ~ S W 3 を有する側壁面 S W とを含む。トレンチ T R は、第 1 の側面 S W 1 と底面 B T とが合わさることで構成された角部 C R を有する。

【 0 0 1 7 】

角部 C R を覆い、かつ開口部 O P から第 2 の側面 S W 2 上に至る領域を露出する角絶縁膜 2 0 1 R が形成される。

【 0 0 1 8 】

開口部 O P から角部 C R に至る領域を覆うゲート絶縁膜 2 0 1 が形成される。ゲート絶

10

20

30

40

50

縁膜 201 を形成する工程は、角絶縁膜 201R が設けられたトレンチ TR を熱酸化する工程を含む。トレンチ TR を熱酸化する工程は 1300 以上に炭化珪素基板 100 を加熱する工程を含む。

【0019】

ゲート絶縁膜 201 を介してトレンチ TR 上にゲート電極 230 が形成される。

上記の製造方法によれば、角絶縁膜 201R が設けられたトレンチ TR を熱酸化することで形成されるゲート絶縁膜 201 は、トレンチ TR の角部 CR において、角絶縁膜 201R の厚さに対応する分だけ、より厚くされる。よって角部 CR を熱酸化によって厚くさせる必要がない。よって、結晶方位に依存して熱酸化速度が相違する現象を積極的に発生させる必要がない。よってそのような現象がほぼ生じない 1300 以上の熱酸化を用いることができる。熱酸化の温度がこのように選択されることで、トレンチ TR の開口部 OP の近傍でゲート絶縁膜 201 が薄くなる現象を抑制することができる。よって開口部 OP の近傍でのゲート絶縁膜の十分な絶縁信頼性を確保することができる。

10

【0020】

(ii) 上記(i)において、トレンチ TR を熱酸化する工程は、以下の工程を含むことが好ましい。

【0021】

1300 未満の温度から 1300 以上の温度へ非酸化雰囲気中で炭化珪素基板 100 の温度が上げられる。炭化珪素基板 100 の温度を 1300 以上に保持しつつ、炭化珪素基板 100 を取り巻く雰囲気が非酸化雰囲気から酸化雰囲気へ切り替えられる。

20

【0022】

これにより、1300 以上での熱酸化をより十分にに行なうことができる。

(iii) 上記(ii)において、トレンチ TR を熱酸化する工程は、以下の工程を含むことが好ましい。

【0023】

炭化珪素基板 100 の温度を 1300 以上に保持しつつ、炭化珪素基板 100 を取り巻く雰囲気が酸化雰囲気から非酸化雰囲気へ切り替えられる。炭化珪素基板 100 を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気に保持しつつ、1300 以上の温度から 1000 以下の温度へ炭化珪素基板 100 が冷却される。

30

【0024】

これにより 1300 以上での熱酸化をより確実にに行なうことができる。

(iv) 上記(ii)または(iii)において、炭化珪素基板 100 を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気から酸化雰囲気へ切り替える工程は、炭化珪素基板 100 を取り巻く雰囲気中に酸素ガスを導入する工程を含むことが好ましい。

【0025】

これにより非酸化雰囲気から酸化雰囲気への切り換えを容易に行なうことができる。

(v) 上記(i)~(iv)のいずれかにおいて、角絶縁膜 201R を形成する工程は、以下の工程を含むことが好ましい。

【0026】

開口部 OP から角部 CR に至る領域を覆う被覆絶縁膜 201Q が形成される。被覆絶縁膜 201Q がパターニングされる。

40

【0027】

これにより角絶縁膜 201R を、開口部 OP から角部 CR に至る領域を覆う膜から形成することができる。

【0028】

(vi) 上記(v)において、被覆絶縁膜 201Q を形成する工程は、以下の工程を含むことが好ましい。

【0029】

トレンチ TR 上にシリコン膜 302P が形成される。シリコン膜 302P が熱酸化される。

50

【0030】

これにより被覆絶縁膜201Qをシリコン膜302Pを用いて形成することができる。

(vii) 上記(vi)において、被覆絶縁膜201Qを形成する工程は、シリコン膜302Pを形成する工程の前に、トレンチ上に熱酸化膜201Pを形成する工程を含むことが好ましい。

【0031】

これにより被覆絶縁膜201Qに、熱酸化膜201Pから形成された部分を含めることができる。よって被覆絶縁膜201Qをより厚くすることができる。

【0032】

(viii) 上記(vii)において、シリコン膜302Pを熱酸化する工程は1300 未満で行なわれることが好ましい。

10

【0033】

これにより熱酸化膜201Pとシリコン膜302Pとの間の反応によるSiOの生成にともなう絶縁性の劣化を抑制することができる。

【0034】

(ix) 上記(v)~(viii)において、被覆絶縁膜201Qをパターンニングする工程は、以下の工程を含むことが好ましい。

【0035】

被覆絶縁膜201Qを介してトレンチTRを埋めるようにレジスト液を塗布することでレジスト層402が形成される。

20

【0036】

レジスト層402をエッチバックすることによって、トレンチTR内にレジスト層402が部分的に残るように、レジスト層402がパターンニングされる。

【0037】

レジスト層402がパターンニングされた後に、レジスト層402をマスクとして用いて被覆絶縁膜201Qがエッチングされる。

【0038】

これにより被覆絶縁膜201Qのパターンニングを容易に行なうことができる。

(x) 上記(ix)において、被覆絶縁膜201Qをエッチングする工程はウエットエッチングによって行なわれることが好ましい。

30

【0039】

これによりエッチングが物理的エッチングではなく化学的エッチングにより行なわれる。よってエッチングにおける炭化珪素基板100への物理的ダメージが生じない。

【0040】

次により詳細な説明として、以下において、実施の形態1および2と、その補足事項とについて説明する。

【0041】

(実施の形態1)

図1に示すように、本実施の形態のMOSFET501(炭化珪素半導体装置)は、エピタキシャル基板100(炭化珪素基板)と、ゲート絶縁膜201と、ゲート電極230と、層間絶縁膜203と、ソース電極221と、ドレイン電極211と、ソース配線222と、保護電極212とを有する。

40

【0042】

エピタキシャル基板100は、炭化珪素から作られており、単結晶基板110およびその上に設けられたエピタキシャル層を有する。単結晶基板110はn型(第1の導電型)を有する。単結晶基板110の一方主面(図1における上面)の面方位(hklm)は、好ましくは負のmを有し、より好ましくはおおよそ(000-1)面である。

【0043】

さらに図2を参照して、エピタキシャル基板100のエピタキシャル層は、n⁻層121(第1の半導体層)と、p型ボディ層122(第2の半導体層)と、n領域123(第

50

3の半導体層)と、コンタクト領域124とを有する。エピタキシャル基板100の炭化珪素は、好ましくは六方晶の結晶構造を有し、より好ましくはポリタイプ4Hを有する。

【0044】

n⁻層121は、ドナーが添加されていることでn型を有する。n⁻層121へのドナーの添加は、イオン注入によってではなく、n⁻層121のエピタキシャル成長時の不純物添加によって行われていることが好ましい。n⁻層121のドナー濃度は、単結晶基板110のドナー濃度よりも低いことが好ましい。n⁻層121のドナー濃度は、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、たとえば $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0045】

p型ボディ層122は、n⁻層121上に設けられており、アクセプタが添加されていることでp型(第1の導電型と異なる第2の導電型)を有する。p型ボディ層122のアクセプタ濃度は、たとえば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0046】

n領域123はn型を有する。n領域123は、p型ボディ層122上に設けられており、p型ボディ層122によってn⁻層121と分離されている。

【0047】

コンタクト領域124はp型を有する。コンタクト領域124は、p型ボディ層122につながるようにp型ボディ層122の一部の上に形成されている。

【0048】

図3を参照して、エピタキシャル基板100のエピタキシャル層には、開口部OPを有するトレンチTRが設けられている。トレンチTRは、n⁻層121からなる底面BTと、側面SW1~SW3(第1~第3の側面)を有する側壁面SWとを含む。側面SW1~SW3のそれぞれは、n⁻層121、p型ボディ層122およびn領域123からなる。底面BTは、エピタキシャル基板100の主面とほぼ平行な平坦面である。トレンチTRは、側面SW1と底面BTとが合わさることで構成された角部CRを有する。側面SW2は、MOSFETのチャンネルとしての機能を有する。好ましくは、側壁面SW、特に側面SW2は、所定の結晶面(「特殊面」とも称する)を有する。特殊面の詳細については後述する。

【0049】

エピタキシャル基板100がトレンチTRを有するということは、単結晶基板110の上面上においてエピタキシャル層が部分的に除去されていることに対応している。本実施の形態においては、単結晶基板110の上面上において多数のメサ構造が形成されている。具体的には、メサ構造は上面および底部が六角形状となっており、その側壁は単結晶基板110の上面上に対して傾斜している。これによりトレンチTRは開口側に向かって拡がっている。

【0050】

ゲート絶縁膜201はトレンチTR上に設けられている。ゲート絶縁膜201はトレンチTR内においてエピタキシャル基板100とゲート電極230とを隔てている。ゲート絶縁膜201は、酸化膜であることが好ましく、たとえばシリコン酸化膜である。

【0051】

ゲート絶縁膜201は、底面BTを覆う底部201Bと、底部201Bにつながっておりかつ側壁面SWを覆う側壁部201Sとを有する。底部201Bは厚さ d_0 を有する。側壁部201Sのうち側面SW2上の部分は最小厚さ d_1 を有する。側壁部201Sのうち側面SW1上で底部201Bにつながる部分は厚さ d_2 を有する。本実施の形態においては、厚さ d_1 を有する部分と、厚さ d_2 を有する部分とが、厚さが変化している領域である境界部BPで互いにつながっている。境界部BPは、本実施の形態においては、側面SW1およびSW2の境界よりも深くに(図中、下方に)位置している。

【0052】

上述した厚さに関して、 $d_2 > d_1$ が満たされている。好ましくは $d_0 > d_1$ が満たされている。好ましくは、側壁部201Sは、側面SW2上において、厚さ d_2 よりも小さい厚

10

20

30

40

50

さを有する部分によって n^- 層121および n 領域123をつないでいる。好ましくは、側壁部201Sは、側面SW2上において、厚さ d_1 を有する部分によって n^- 層121および n 領域123をつないでいる。

【0053】

ゲート電極230はゲート絶縁膜201を介してトレンチTR上に設けられている。すなわちゲート電極230は、ゲート絶縁膜201を介して、側面SW1～SW3の各々と、底面BTとに対向している。

【0054】

ソース電極221は、層間絶縁膜203を貫通して n 領域123およびコンタクト領域124の各々に接している。ソース配線222はソース電極221に接するようにソース電極221および層間絶縁膜203上に設けられている。ドレイン電極211は、エピタキシャル基板100の、トレンチTRが設けられた面と反対の面の上に設けられている。保護電極212はドレイン電極211を被覆している。

10

【0055】

次にMOSFET501(図1)の製造方法について説明する。

図4を参照して、単結晶基板110上に n^- 層121がエピタキシャル成長により形成される。このエピタキシャル成長は、たとえば原料ガスとしてシラン(SiH_4)とプロパン(C_3H_8)との混合ガスを用い、キャリアガスとしてたとえば水素ガス(H_2)を用いたCVD(Chemical Vapor Deposition)法により行うことができる。また、このときドナーとしてたとえば窒素(N)やリン(P)を導入することが好ましい。

20

【0056】

次に、 n^- 層121上のp型ボディ層122と、p型ボディ層122上の n 領域123とが形成される。具体的には、 n^- 層121の上面にイオン注入が行われる。p型ボディ層122を形成するためのイオン注入においては、たとえばアルミニウム(Al)などのアクセプタがイオン注入される。また n 領域123を形成するためのイオン注入においては、たとえばリン(P)などのドナーがイオン注入される。なおイオン注入に代わり、不純物の添加をとまなうにエピタキシャル成長が用いられてもよい。次に、イオン注入によってコンタクト領域124が形成される。

【0057】

次に、イオン注入により添加された不純物を活性化するための活性化熱処理が行われる。この熱処理の温度は、好ましくは1500以上1900以下であり、たとえば1700程度である。熱処理の時間は、たとえば30分程度である。熱処理の雰囲気は、好ましくは不活性ガス雰囲気であり、たとえばAr雰囲気である。以上のようにしてエピタキシャル基板100が準備される。

30

【0058】

図5に示すように、エピタキシャル基板100上に、 n 領域123を部分的に露出する開口部を有するマスク401が形成される。開口部はトレンチTR(図1)の位置に対応して配置される。マスク401としては、たとえば、熱酸化によって形成されたシリコン酸化膜を用いることができる。

【0059】

図6に示すように、マスク401の開口部において、 n 領域123と、p型ボディ層122と、 n^- 層121の一部とがエッチングにより除去される。エッチングの方法としては、たとえば反応性イオンエッチング(RIE)、特に誘導結合プラズマ(ICP)RIEを用いることができる。具体的には、たとえば反応ガスとして SF_6 または SF_6 と O_2 との混合ガスを用いたICP-RIEを用いることができる。このようなエッチングにより、トレンチTR(図1)が形成されるべき領域に、側壁が単結晶基板110の主表面に対してほぼ垂直な内面SVを有する凹部TQを形成することができる。

40

【0060】

次に、マスク401を用いてエピタキシャル基板100がエッチングされる。具体的には、エピタキシャル基板100に対して、凹部TQの内面SVにおいて熱エッチングが行

50

われる。熱エッチングは、たとえば、少なくとも1種類以上のハロゲン原子を有する反応性ガスを含む雰囲気中で、エピタキシャル基板100を加熱することによって行い得る。少なくとも1種類以上のハロゲン原子は、塩素(Cl)原子およびフッ素(F)原子の少なくともいずれかを含む。この雰囲気は、たとえば、 Cl_2 、 BCl_3 、 SF_6 、または CF_4 である。たとえば、塩素ガスと酸素ガスとの混合ガスを反応ガスとして用い、熱処理温度を、たとえば700以上1000以下として、熱エッチングが行われる。なお、反応ガスはキャリアガスを含んでいてもよい。キャリアガスとしては、たとえば窒素(N_2)ガス、アルゴンガス、ヘリウムガスなどを用いることができる。そして、上述のように熱処理温度を700以上1000以下とした場合、SiCのエッチング速度は、たとえば約70 μm /時になる。また、この場合に、酸化珪素から作られたマスク401は、SiCに対する選択比が極めて大きいので、SiCのエッチング中に実質的にエッチングされない。

10

【0061】

図7に示すように、上記の熱エッチングにより炭化珪素基板100のエピタキシャル層にトレンチTRが形成される。トレンチTRの形成の際、エピタキシャル基板100は、矢印SEで示すようにマスク401の開口部からサイドエッチングされるようにエッチングされる。またこの熱エッチングの際、トレンチTRの側壁面SW上、特に側面SW2上に、特殊面が自己形成される。次に、たとえばウエットエッチングにより、マスク401が除去される(図8)。ウエットエッチングは、たとえばフッ化水素酸を用いて行ない得る。

20

【0062】

図9に示すように、エピタキシャル基板100の熱酸化によって、トレンチ上に熱酸化膜201Pが形成される。この熱酸化の温度は、1300未満であってもよく、1300以上であってもよい。

【0063】

図10に示すように、熱酸化膜201Pを介してトレンチTR上にシリコン膜302Pが形成される。シリコン膜302Pの形成は、たとえば化学気相成長(CVD)法により行ない得る。次にシリコン膜302Pが熱酸化される。これにより、開口部OPから角部CRに至る領域を覆う被覆絶縁膜201Q(図11)が形成される。シリコン膜302Pは、1300未満で熱酸化されることが好ましく、特に1100未満で熱酸化されることがより好ましい。またシリコン膜302Pは、900超で熱酸化されることが好ましく、1000超で熱酸化されることがより好ましい。

30

【0064】

図12に示すように、被覆絶縁膜201Qを介してトレンチTRを埋めるようにレジスト液を塗布することでレジスト層402が形成される。図13に示すように、レジスト層402をエッチバックすることによって、トレンチTR内にレジスト層402が部分的に残るように、レジスト層402がパターンニングされる。エッチバックはエッチングマスクを用いることなく行なわれ得る。残されたレジスト層402は、被覆絶縁膜201Qを介して角部CRを覆っている。レジスト層402がパターンニングされた後に、レジスト層402をマスクとして用いて被覆絶縁膜201Qがエッチングされる。このエッチングはウエットエッチングによって行なわれることが好ましい。ウエットエッチングは、たとえばフッ化水素酸を用いて行ない得る。

40

【0065】

以上のように図12および図13の工程を経て、被覆絶縁膜201Qがパターンニングされる。この結果、図14に示すように、角部CRを覆い、かつ開口部OPから側面SW2上に至る領域を露出する角絶縁膜201Rが形成される。角絶縁膜201Rは、角部CRを覆っており、かつ側面SW2上の少なくとも一部を露出している。本実施の形態においては側面SW2の全体が露出され、また側面SW1のうち側面SW2に接する部分も露出される。

【0066】

50

図15に示すように、レジスト層402(図14)が除去される。次に角絶縁膜201Rが設けられたトレンチTRが熱酸化される。熱酸化においてエピタキシャル基板100は1300℃以上に加熱される。すなわち1300℃以上での熱酸化が行われる。具体的には、熱酸化のために、以下の工程が行われることが好ましい。

【0067】

図16を参照して、まず、1300℃未満の温度から1300℃以上の温度へ非酸化雰囲気中でエピタキシャル基板100が加熱される。好ましくは1000℃未満(たとえば室温程度)の温度から1300℃以上の温度へ非酸化雰囲気中でエピタキシャル基板100が加熱される。非酸化雰囲気は、たとえばAr雰囲気である。

【0068】

次に、エピタキシャル基板100の温度を1300℃以上に保持しつつ、エピタキシャル基板100を取り巻く雰囲気が非酸化雰囲気から酸化雰囲気へ切り替えられる。これによりエピタキシャル基板100の熱酸化が進行する。この切り替えは、エピタキシャル基板100を取り巻く雰囲気中に酸素ガスを導入することにより行ない得る。たとえば、Ar雰囲気から、ArガスおよびO₂(酸素)ガスの混合された雰囲気への切り換えが行われる。

【0069】

次に、エピタキシャル基板100の温度を1300℃以上に保持しつつ、エピタキシャル基板100を取り巻く雰囲気が酸化雰囲気から非酸化雰囲気へ切り替えられる。たとえば、ArガスおよびO₂ガスの混合された雰囲気からAr雰囲気への切り換えが行われる。次に、エピタキシャル基板100を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気に保持しつつ、1300℃以上の温度から1000℃以下の温度へ(たとえば室温程度へ)エピタキシャル基板100が冷却される。

【0070】

以上により、開口部OPから角部CRに至る領域を覆うゲート絶縁膜201(図17)が形成される。

【0071】

図18に示すように、トレンチTR上にゲート絶縁膜201を介してゲート電極230が形成される。ゲート電極230の形成方法は、たとえば、導体またはドーパントシリコンの成膜とCMP(Chemical Mechanical Polishing)とによって行い得る。

【0072】

再び図1を参照して、ゲート電極230の露出面を覆うようにゲート電極230およびゲート絶縁膜201上に層間絶縁膜203が形成される。層間絶縁膜203およびゲート絶縁膜201に開口部が形成されるようにエッチングが行われる。この開口部により、メサ構造の上面においてn領域123およびコンタクト領域124の各々が露出される。次に、メサ構造の上面においてn領域123およびコンタクト領域124の各々に接するソース電極221が形成される。ソース配線222、ドレイン電極211および保護電極212が形成される。これにより、MOSFET501が得られる。

【0073】

本実施の形態によれば、角絶縁膜201R(図15)が設けられたトレンチTRを熱酸化することで形成されるゲート絶縁膜201(図16)は、トレンチTRの角部CRにおいて、角絶縁膜201Rの厚さに対応する分だけ、より厚くされる。よって角部CRを熱酸化によって厚くさせる必要がない。よって、結晶方位に依存して熱酸化速度が相違する現象を積極的に発生させる必要がない。よってそのような現象がほぼ生じない1300℃以上の熱酸化(図16)を用いることができる。熱酸化の温度がこのように選択されることで、トレンチTRの開口部OPの近傍でゲート絶縁膜201が薄くなる現象を抑制することができる。よって開口部OPの近傍でのゲート絶縁膜の十分な絶縁信頼性を確保することができる。

【0074】

なお仮に、開口部OP上の絶縁膜が1300℃未満の熱酸化のみによって形成されると

10

20

30

40

50

、ゲート絶縁膜 201Z (図 19) のように、開口部 OP の近傍での厚さが小さくなって
しまう。

【0075】

角絶縁膜 201R が設けられたトレンチ TR が熱酸化される際には、1300 未満の
温度から 1300 以上の温度へ非酸化雰囲気中でエピタキシャル基板 100 の温度が上
げられ、エピタキシャル基板 100 の温度を 1300 以上に保持されつつ、エピタキシ
シャル基板 100 を取り巻く雰囲気が非酸化雰囲気から酸化雰囲気へ切り替えられることが
好ましい。より好ましくは、エピタキシャル基板 100 の温度を 1300 以上に保持さ
れつつ、エピタキシャル基板 100 を取り巻く雰囲気が酸化雰囲気から非酸化雰囲気へ切
り替えられ、エピタキシャル基板 100 を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気に保持しつつ、
1300 以上の温度から 1000 以下の温度へエピタキシャル基板 100 が冷却され
る。これにより 1300 以上での熱酸化をより十分に行なうことができる。

10

【0076】

エピタキシャル基板 100 を取り巻く雰囲気を非酸化雰囲気から酸化雰囲気へ切り替
える際には、エピタキシャル基板 100 を取り巻く雰囲気中に酸素ガスが導入されること
が好ましい。これにより非酸化雰囲気から酸化雰囲気への切り換えを容易に行なうこと
ができる。

【0077】

角絶縁膜 201R (図 15) が形成される際には、開口部 OP から角部 CR に至る領域
を覆う被覆絶縁膜 201Q が形成され (図 11)、この被覆絶縁膜 201Q がパターニ
ングされること (図 12 ~ 図 14) が好ましい。これにより角絶縁膜 201R を、開口部 O
P から角部 CR に至る領域を覆う膜から形成することができる。

20

【0078】

被覆絶縁膜 201Q がパターニングされる際には、エッチバックによってパターニ
ングされたレジスト層 402 (図 13) をマスクとして用いて被覆絶縁膜 201Q がエッチ
ングされることが好ましい。これにより被覆絶縁膜 201Q のパターニングを容易に行な
うことができる。被覆絶縁膜 201Q はウエットエッチングによってエッチングされるこ
とが好ましい。これによりエッチングが物理的エッチングではなく化学的エッチングによ
り行なわれる。よってエッチングにおけるエピタキシャル基板 100 への物理的ダメージが
生じない。

30

【0079】

被覆絶縁膜 201Q (図 11) が形成される際には、トレンチ TR 上にシリコン膜 30
2P が形成され (図 9)、このシリコン膜 302P が熱酸化される (図 10) ことが好ま
しい。これにより被覆絶縁膜 201Q をシリコン膜 302P から形成することができる。
またシリコン膜 302P だけでなく熱酸化膜 201P が形成されることで、被覆絶縁膜 2
01Q をより厚くすることができる。

【0080】

シリコン膜 302P は 1300 未満で熱酸化されることが好ましく、特に 1100
未満で熱酸化されることがより好ましい。これにより熱酸化膜 201P とシリコン膜 30
2P との間の反応による SiO₂ の生成にともなう絶縁性の劣化を抑制することができる。
また熱酸化を実用上十分な速度を進めるには、シリコン膜 302P は 900 超で熱酸化
されることが好ましい。また熱酸化膜中に蓄積される応力を小さくするには、熱酸化膜を
軟化させることができる温度である 1000 超でシリコン膜 302P が熱酸化されるこ
とが好ましい。

40

【0081】

(実施の形態 2)

図 20 に示すように、本実施の形態の MOSFET 502 (炭化珪素半導体装置) にお
いては、実施の形態 1 (図 3) と異なり、境界部 BP が側面 SW1 および SW2 の境界上
に位置している。ここでの「境界上に位置し」とは製造誤差を全く許容しないものではな
く、具体的には ±0.1 μm 程度の誤差は許容される。境界部 BP をこのように位置させ

50

るためには、たとえば、実施の形態 1 におけるエッチバック工程（図 1 2 および図 1 3）の進行の程度を抑えればよい。なお上記以外の構成については、上述した実施の形態 1 の構成とほぼ同じであるため、同一または対応する要素について同一の符号を付し、その説明を繰り返さない。

【0082】

境界部 B P が上記のように位置することで、ゲート絶縁膜 2 0 1 の側壁部 2 0 1 S は、側面 S W 1 上において、厚さ d_1 よりも大きい厚さを有する部分によって p 型ボディ層 1 2 2 と底部 2 0 1 B との間をつないでいる。これにより、側壁部 2 0 1 S のうち側面 S W 1 上の部分が、厚さ d_1 よりも大きい厚さを、より広い範囲において有する。よってトレンチ T R の角部 C R 近傍でのゲート絶縁膜 2 0 1 の絶縁破壊をより確実に防止することができる。

10

【0083】

ゲート絶縁膜 2 0 1 の側壁部 2 0 1 S は、側面 S W 1 上において、厚さ d_2 を有する部分によって p 型ボディ層 1 2 2 と底部 2 0 1 B との間をつないでいてもよい。これにより、側壁部 2 0 1 S のうち側面 S W 1 上の部分が、厚さ d_1 よりも大きい厚さ d_2 を、より広い範囲において有する。よってトレンチ T R の角部 C R 近傍でのゲート絶縁膜 2 0 1 の絶縁破壊をより確実に防止することができる。

【0084】

（特殊面を有する表面）

上述したように、トレンチ T R の側壁面 S W（図 3）、特に側面 S W 2 は、所定の結晶面（特殊面とも称する）を有することが好ましい。このような側壁面 S W は、図 2 1 に示すように、面方位 { 0 - 3 3 - 8 } を有する面 S 1（第 1 の面）を含む。面 S 1 は好ましくは面方位（0 - 3 3 - 8）を有する。

20

【0085】

より好ましくは、側壁面 S W は面 S 1 を微視的に含み、側壁面 S W はさらに、面方位 { 0 - 1 1 - 1 } を有する面 S 2（第 2 の面）を微視的に含む。ここで「微視的」とは、原子間隔の 2 倍程度の寸法を少なくとも考慮する程度に詳細に、ということの意味する。このように微視的な構造の観察方法としては、たとえば T E M（Transmission Electron Microscope）を用いることができる。面 S 2 は好ましくは面方位（0 - 1 1 - 1）を有する。

30

【0086】

好ましくは、側壁面 S W の面 S 1 および面 S 2 は、面方位 { 0 - 1 1 - 2 } を有する複合面 S R を構成している。すなわち複合面 S R は、面 S 1 および S 2 が周期的に繰り返されることによって構成されている。このような周期的構造は、たとえば、T E M または A F M（Atomic Force Microscopy）により観察し得る。この場合、複合面 S R は { 0 0 0 - 1 } 面に対して巨視的に 62° のオフ角を有する。ここで「巨視的」とは、原子間隔程度の寸法を有する微細構造を無視することを意味する。このように巨視的なオフ角の測定としては、たとえば、一般的な X 線回折を用いた方法を用い得る。好ましくは複合面 S R は面方位（0 - 1 1 - 2）を有する。この場合、複合面 S R は（0 0 0 - 1）面に対して巨視的に 62° のオフ角を有する。

40

【0087】

好ましくは、チャンネル面上においてキャリアが流れる方向であるチャンネル方向 C D は、上述した周期的繰り返しが行われる方向に沿っている。

【0088】

次に、複合面 S R の詳細な構造について説明する。

一般に、ポリタイプ 4 H の炭化珪素単結晶を（0 0 0 - 1）面から見ると、図 2 2 に示すように、S i 原子（または C 原子）は、A 層の原子（図中の実線）と、この下に位置する B 層の原子（図中の破線）と、この下に位置する C 層の原子（図中の一点鎖線）と、この下に位置する B 層の原子（図示せず）とが繰り返し設けられている。つまり 4 つの層 A B C B を 1 周期として A B C B A B C B A B C B … のような周期的な積層構造が設け

50

られている。

【0089】

図23に示すように、(11-20)面(図22の線XXIII-XXIIIの断面)において、上述した1周期を構成する4つの層ABC Bの各層の原子は、(0-11-2)面に完全に沿うようには配列されていない。図23においてはB層の原子の位置を通るように(0-11-2)面が示されており、この場合、A層およびC層の各々の原子は(0-11-2)面からずれていることがわかる。このため、炭化珪素単結晶の表面の巨視的な面方位、すなわち原子レベルの構造を無視した場合の面方位が(0-11-2)に限定されたとしても、この表面は、微視的には様々な構造をとり得る。

【0090】

図24に示すように、複合面SRは、面方位(0-33-8)を有する面S1と、面S1につながりかつ面S1の面方位と異なる面方位を有する面S2とが交互に設けられることによって構成されている。面S1および面S2の各々の長さは、Si原子(またはC原子)の原子間隔の2倍である。なお面S1および面S2が平均化された面は、(0-11-2)面(図23)に対応する。

【0091】

図25に示すように、複合面SRを(01-10)面から見て単結晶構造は、部分的に見て立方晶と等価な構造(面S1の部分)を周期的に含んでいる。具体的には複合面SRは、上述した立方晶と等価な構造における面方位(001)を有する面S1と、面S1につながりかつ面S1の面方位と異なる面方位を有する面S2とが交互に設けられることによって構成されている。このように、立方晶と等価な構造における面方位(001)を有する面(図25においては面S1)と、この面につながりかつこの面方位と異なる面方位を有する面(図25においては面S2)とによって表面を構成することは4H以外のポリタイプにおいても可能である。ポリタイプは、たとえば6Hまたは15Rであってもよい。

【0092】

次に図26を参照して、側壁面SWの結晶面と、チャンネル面の移動度MBとの関係について説明する。図26のグラフにおいて、横軸は、チャンネル面を有する側壁面SWの巨視的な面方位と(000-1)面とのなす角度D1を示し、縦軸は移動度MBを示す。プロット群CMは側壁面SWが熱エッチングによる特殊面として仕上げられた場合に対応し、プロット群MCはそのような熱エッチングがなされない場合に対応する。

【0093】

プロット群MCにおける移動度MBは、チャンネル面の表面の巨視的な面方位が(0-33-8)のときに最大となった。この理由は、熱エッチングが行われない場合、すなわち、チャンネル表面の微視的な構造が特に制御されない場合においては、巨視的な面方位が(0-33-8)とされることによって、微視的な面方位(0-33-8)、つまり原子レベルまで考慮した場合の面方位(0-33-8)が形成される割合が確率的に高くなったためと考えられる。

【0094】

一方、プロット群CMにおける移動度MBは、チャンネル面の表面の巨視的な面方位が(0-11-2)のとき(矢印EX)に最大となった。この理由は、図24および図25に示すように、面方位(0-33-8)を有する多数の面S1が面S2を介して規則正しく稠密に配置されることで、チャンネル面の表面において微視的な面方位(0-33-8)が占める割合が高くなったためと考えられる。

【0095】

なお移動度MBは複合面SR上において方位依存性を有する。図27に示すグラフにおいて、横軸はチャンネル方向と<0-11-2>方向との間の角度D2を示し、縦軸はチャンネル面の移動度MB(任意単位)を示す。破線はグラフを見やすくするために補助的に付してある。このグラフから、チャンネル移動度MBを大きくするには、チャンネル方向CD(図21)が有する角度D2は、0°以上60°以下であることが好ましく、ほぼ0°であ

10

20

30

40

50

ることがより好ましいことがわかった。

【0096】

図28に示すように、側壁面SWは複合面SRに加えてさらに面S3(第3の面)を含んでもよい。より具体的には、面S3および複合面SRが周期的に繰り返されることによって構成された複合面SQを側壁面SWが含んでもよい。この場合、側壁面SWの{000-1}面に対するオフ角は、理想的な複合面SRのオフ角である62°からずれる。このずれは小さいことが好ましく、±10°の範囲内であることが好ましい。このような角度範囲に含まれる表面としては、たとえば、巨視的な面方位が{0-33-8}面となる表面がある。より好ましくは、側壁面SWの(000-1)面に対するオフ角は、理想的な複合面SRのオフ角である62°からずれる。このずれは小さいことが好ましく、±10°の範囲内であることが好ましい。このような角度範囲に含まれる表面としては、たとえば、巨視的な面方位が(0-33-8)面となる表面がある。

10

【0097】

このような周期的構造は、たとえば、TEMまたはAFMにより観察し得る。

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。たとえば、炭化珪素半導体装置は、MOSFET以外のMISFET(Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor)であってもよい。また炭化珪素半導体装置はMISFETに限定されず、たとえばIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)であってもよい。また第1および第2の導電型のそれぞれはn型およびp型に限定されず、これらが入れ替えられてもよい。

20

【符号の説明】

【0098】

- 100 エピタキシャル基板(炭化珪素基板)
- 110 単結晶基板
- 121 n⁻層(第1の半導体層)
- 122 p型ボディ層(第2の半導体層)
- 123 n領域(第3の半導体層)
- 124 コンタクト領域
- 201 ゲート絶縁膜
- 201B 底部
- 201P 熱酸化膜
- 201Q 被覆絶縁膜
- 201R 角絶縁膜
- 201S 側壁部
- 203 層間絶縁膜
- 211 ドレイン電極
- 212 保護電極
- 221 ソース電極
- 222 ソース配線
- 230 ゲート電極
- 302P シリコン膜
- 401 マスク
- 402 レジスト層
- 501, 502 MOSFET(炭化珪素半導体装置)
- BP 境界部
- BT 底面
- CR 角部
- OP 開口部

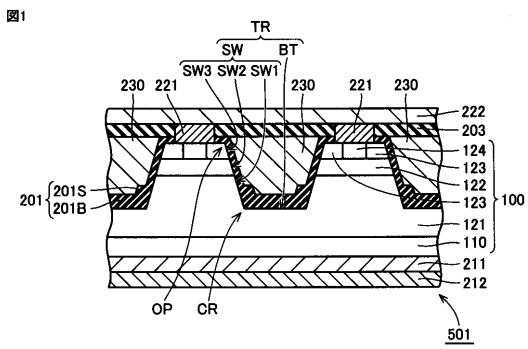
30

40

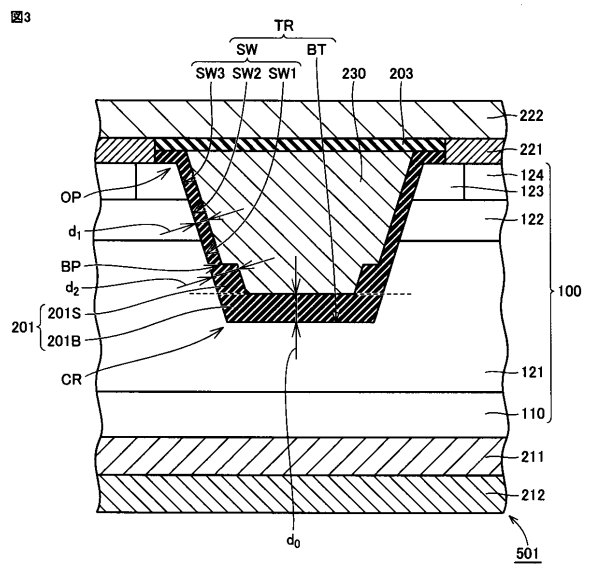
50

SW 側壁面
SW1 ~ SW3 側面 (第1 ~ 第3の側面)
TR トレンチ

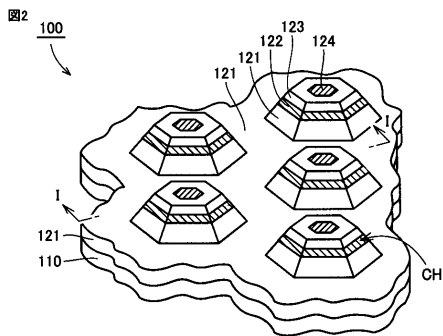
【 図 1 】



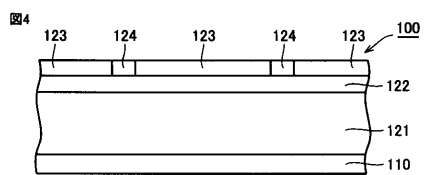
【 図 3 】



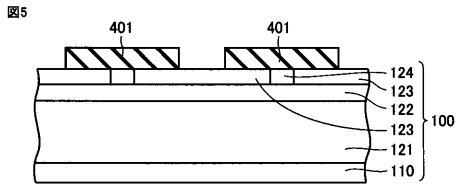
【 図 2 】



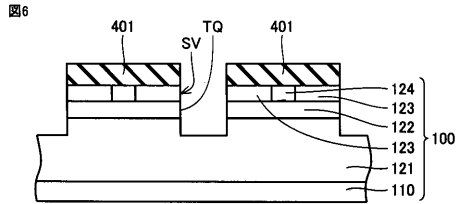
【 図 4 】



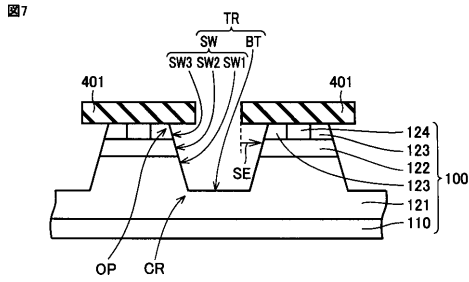
【 図 5 】



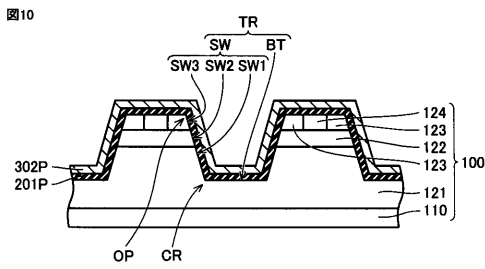
【 図 6 】



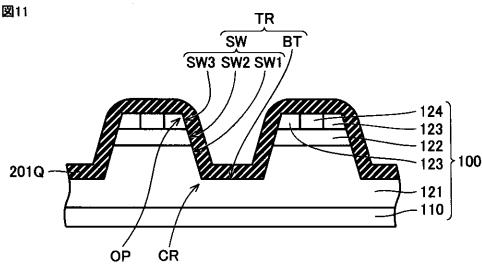
【 図 7 】



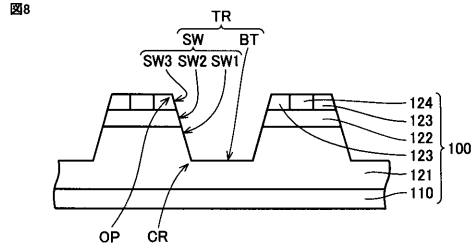
【 図 10 】



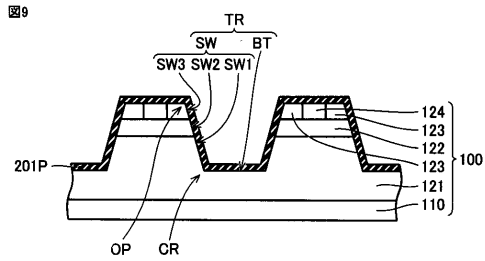
【 図 11 】



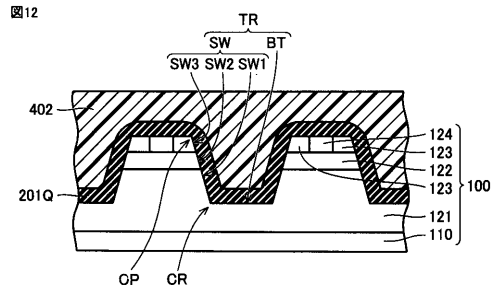
【 図 8 】



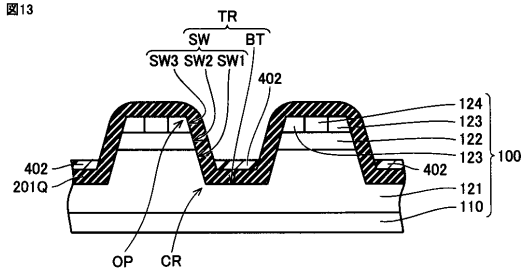
【 図 9 】



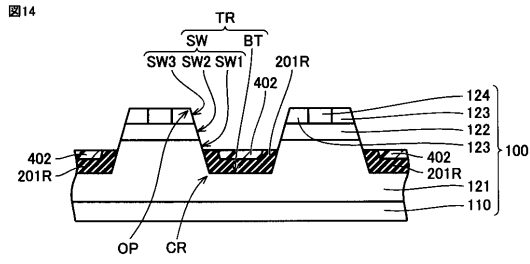
【 図 12 】



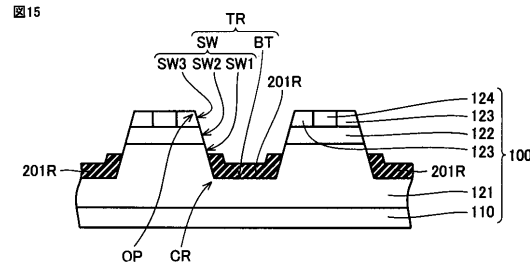
【 図 13 】



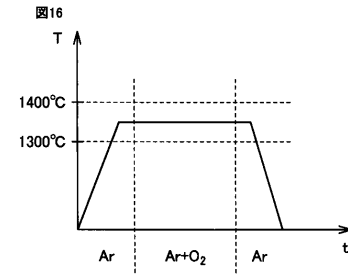
【 図 1 4 】



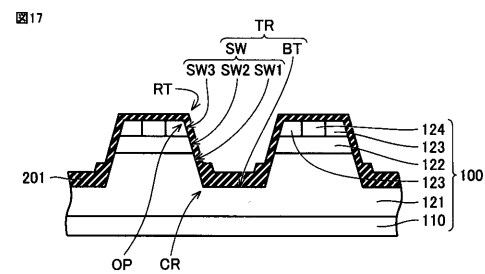
【 図 1 5 】



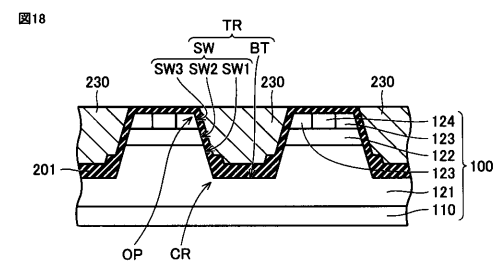
【 図 1 6 】



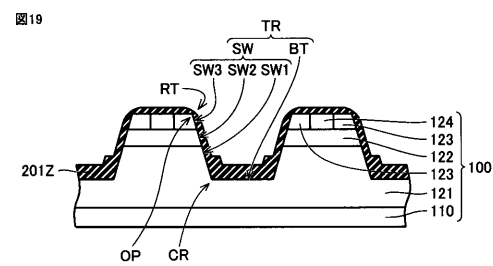
【 図 1 7 】



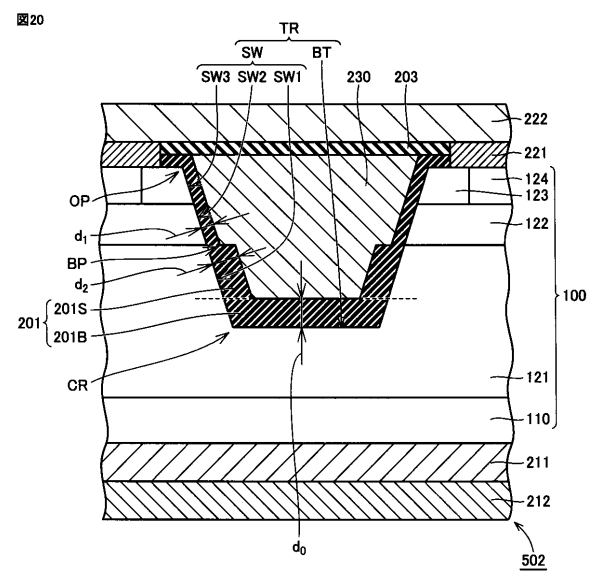
【 図 1 8 】



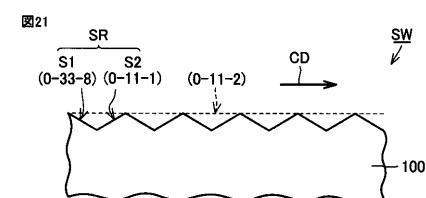
【 図 1 9 】



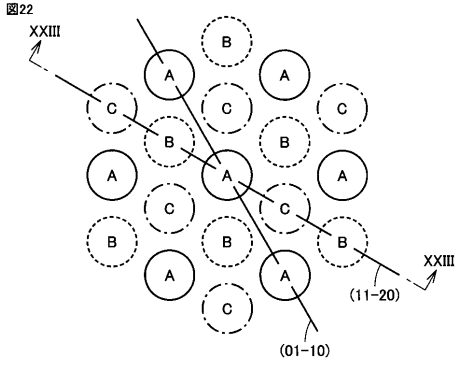
【 図 2 0 】



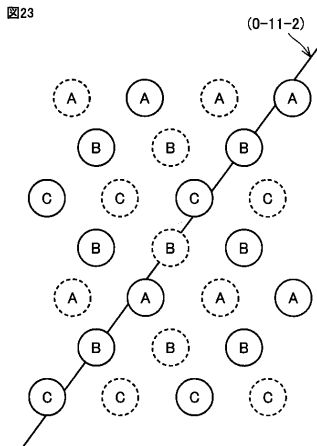
【 図 2 1 】



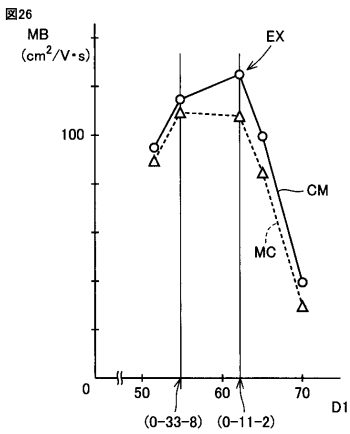
【 2 2 】



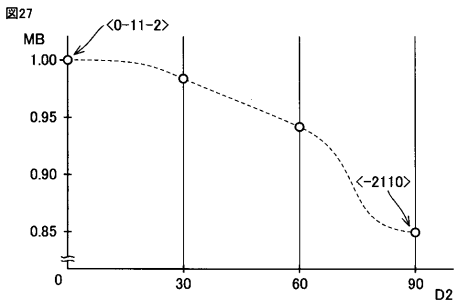
【 2 3 】



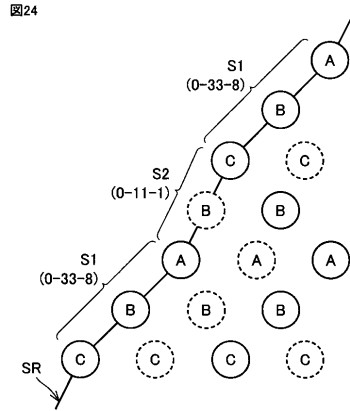
【 2 6 】



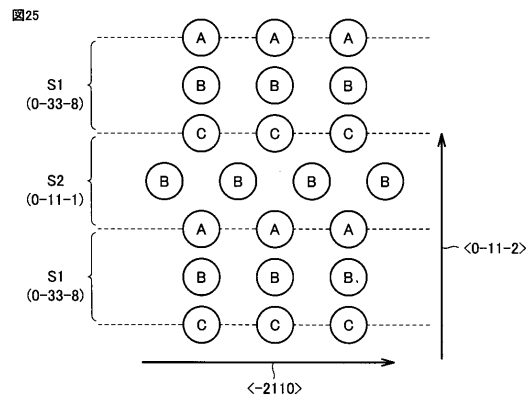
【 2 7 】



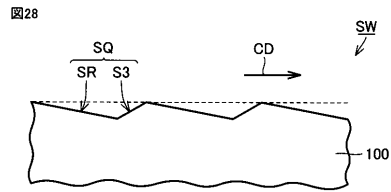
【 2 4 】



【 2 5 】



【 2 8 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/316

M

H 0 1 L 21/316

S