

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6419414号
(P6419414)

(45) 発行日 平成30年11月7日(2018.11.7)

(24) 登録日 平成30年10月19日(2018.10.19)

(51) Int.Cl.	F I	
C30B 29/36 (2006.01)	C30B 29/36	A
HO1L 21/20 (2006.01)	HO1L 21/20	
HO1L 21/205 (2006.01)	HO1L 21/205	
HO1L 21/28 (2006.01)	HO1L 21/28	A
HO1L 29/06 (2006.01)	HO1L 21/28	301B
請求項の数 8 (全 31 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2013-59833 (P2013-59833)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成25年3月22日(2013.3.22)	(74) 代理人	100119035 弁理士 池上 徹真
(65) 公開番号	特開2014-185048 (P2014-185048A)	(74) 代理人	100141036 弁理士 須藤 章
(43) 公開日	平成26年10月2日(2014.10.2)	(74) 代理人	100088487 弁理士 松山 允之
審査請求日	平成27年9月15日(2015.9.15)	(72) 発明者	西尾 謙司 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
審判番号	不服2017-5912 (P2017-5912/J1)	(72) 発明者	清水 達雄 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
審判請求日	平成29年4月25日(2017.4.25)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 SiCエピタキシャルウェハおよび半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

SiC基板と、

前記SiC基板上に設けられ、p型不純物とn型不純物を含有し、前記p型不純物を元素A、前記n型不純物を元素Dとする場合に、前記元素Aと前記元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、前記組み合わせを構成する前記元素Dの濃度の前記元素Aの濃度に対する比が0.5より大きく0.95より小さい、p型の第1のSiCエピタキシャル層と、

前記SiC基板と前記第1のSiCエピタキシャル層との間に設けられるn型の第2のSiCエピタキシャル層と、

前記第2のSiCエピタキシャル層と、前記第1のSiCエピタキシャル層との間に設けられ、p型不純物の濃度が、前記第1のSiCエピタキシャル層よりも低いp型の第3のSiCエピタキシャル層と、を備え、

前記SiC基板がn型で、n型不純物の濃度が、前記第2のSiCエピタキシャル層よりも高く、

前記元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とするSiCエピタキシャルウェハ。

【請求項2】

前記元素Aのアクセプタ準位が150meV以下であることを特徴とする請求項1記載

10

20

のSiCエピタキシャルウェハ。

【請求項3】

前記元素Dの90%以上が前記元素Aの最近接の格子位置にあることを特徴とする請求項1又は請求項2記載のSiCエピタキシャルウェハ。

【請求項4】

前記組み合わせを構成する前記元素Dの濃度の前記元素Aの濃度に対する比が0.6以上であることを特徴とする請求項1乃至請求項3いずれか一項記載のSiCエピタキシャルウェハ。

【請求項5】

SiC基板と、

前記SiC基板上に設けられたn型の第1のSiCエピタキシャル層と、

前記第1のSiCエピタキシャル層上に設けられ、p型不純物とn型不純物を含有し、前記p型不純物を元素A、前記n型不純物を元素Dとする場合に、前記元素Aと前記元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、前記組み合わせを構成する前記元素Dの濃度の前記元素Aの濃度に対する比が0.5より大きく0.95より小さく、前記組合せを構成する前記元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるp型の第2のSiCエピタキシャル層と、

前記第1のSiCエピタキシャル層と前記第2のSiCエピタキシャル層との間に設けられ、p型不純物の濃度が、前記第2のSiCエピタキシャル層よりも低い、p型の第3のSiCエピタキシャル層と、

前記第2のSiCエピタキシャル層上に設けられた第1の電極と、

前記SiC基板の前記第1の電極と反対側に設けられた第2の電極と、

前記第1の電極の両側に設けられ、前記第2のSiCエピタキシャル層表面から前記第1のSiCエピタキシャル層に達する溝部と、
を備え、

前記SiC基板がn型で、n型不純物の濃度が、前記第1のSiCエピタキシャル層よりも高いことを特徴とする半導体装置。

【請求項6】

前記元素Aのアクセプタ準位が150meV以下であることを特徴とする請求項5記載の半導体装置。

【請求項7】

前記元素Dの90%以上が前記元素Aの最近接の格子位置にあることを特徴とする請求項5又は請求項6記載の半導体装置。

【請求項8】

前記組み合わせを構成する前記元素Dの濃度の前記元素Aの濃度に対する比が0.6以上であることを特徴とする請求項5乃至請求項7いずれか一項記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、SiCエピタキシャルウェハおよび半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

次世代のパワー半導体デバイス用の材料としてSiC（炭化珪素）が期待されている。SiCはSi（シリコン）と比較して、バンドギャップが3倍、破壊電界強度が約10倍、および熱伝導率が約3倍と優れた物性を有する。この特性を活用すれば低損失かつ高温動作可能なパワー半導体デバイスを実現することができる。

【0003】

一方、SiCは、不純物の固溶限が低いことや、不純物の形成するバンドギャップ中の

10

20

30

40

50

準位が深いことに起因して、p型不純物層またはn型不純物層の抵抗を低くすることが困難である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-31014号公報

【特許文献2】特開2009-167047号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明が解決しようとする課題は、不純物層の抵抗を低減したSiCエピタキシャルウェハおよび半導体装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、SiC基板と、前記SiC基板上に設けられ、p型不純物とn型不純物を含有し、前記p型不純物を元素A、前記n型不純物を元素Dとする場合に、前記元素Aと前記元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、前記組み合わせを構成する前記元素Dの濃度の前記元素Aの濃度に対する比が0.5より大きく0.95より小さい、p型の第1のSiCエピタキシャル層と、前記SiC基板と前記第1のSiCエピタキシャル層との間に設けられるn型の第2のSiCエピタキシャル層と、前記第2のSiCエピタキシャル層と、前記第1のSiCエピタキシャル層との間に設けられ、p型不純物の濃度が、前記第1のSiCエピタキシャル層よりも低いp型の第3のSiCエピタキシャル層と、を備え、前記SiC基板がn型で、n型不純物の濃度が、前記第2のSiCエピタキシャル層よりも高く、前記元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1の実施形態のSiCエピタキシャルウェハの模式断面図である。

【図2】共ドープの作用を説明する図である。

【図3】共ドープの作用を説明する図である。

【図4】共ドープの作用を説明する図である。

【図5】共ドープの作用を説明する図である。

【図6】共ドープの作用を説明する図である。

【図7】n型SiCの場合のAlとNの濃度とシート抵抗の関係を示す図である。

【図8】p型SiCの場合のNとAlの濃度とシート抵抗の関係を示す図である。

【図9】第1の実施形態の気相成長装置の模式断面図である。

【図10】第2の実施形態のSiCエピタキシャルウェハの模式断面図である。

【図11】第3の実施形態の半導体装置の模式断面図である。

【図12】第4の実施形態のSiCエピタキシャルウェハの模式断面図である。

【図13】第5の実施形態のSiCエピタキシャルウェハの模式断面図である。

【図14】第6の実施形態の半導体装置の模式断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施形態を説明する。なお、以下の説明では、同一の部材等には同一の符号を付し、一度説明した部材等については適宜その説明を省略する。

【0009】

また、以下の説明において、 n^+ 、 n 、 n^- および、 p^+ 、 p 、 p^- の表記は、各導電型における不純物濃度の相対的な高低を表す。すなわち n^+ は n よりも n 型の不純物濃度

10

20

30

40

50

が相対的に高く、 n^- は n よりも n 型の不純物濃度が相対的に低いことを示す。また、 p^+ は p よりも p 型の不純物濃度が相対的に高く、 p^- は p よりも p 型の不純物濃度が相対的に低いことを示す。なお、 n^+ 型、 n^- 型を単に n 型、 p^+ 型、 p^- 型を単に p 型と記載する場合もある。

【0010】

(第1の実施形態)

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、SiC基板と、SiC基板上に設けられ、 p 型不純物と n 型不純物を含有し、 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さい、 p 型の第1のSiCエピタキシャル層を、備える。

10

【0011】

図1は、本実施形態のSiCエピタキシャルウェハの模式断面図である。本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、SiC基板100上に、 p 型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)102を備えている。

【0012】

SiC基板100は、例えば、 n^+ 型の単結晶SiC基板である。例えば、表面が0.2度~10度のオフ角で(0001)面から傾斜する4H-SiCの基板である。 n 型不純物は、例えば、N(窒素)であり、不純物濃度は、例えば、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上

20

【0013】

p 型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)102は、エピタキシャル成長によって形成される。 p 型のSiCエピタキシャル層102は、 p 型不純物と n 型不純物を含有し、 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さい。

【0014】

p 型のSiCエピタキシャル層102中の、 p 型不純物濃度、すなわち、元素Aの濃度は、例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲である。元素Aの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

30

【0015】

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、上記構成により、低抵抗な p 型のSiCエピタキシャル層を実現する。

【0016】

p 型のSiCエピタキシャル層102中の元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。元素Aの濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であること、さらには、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが、抵抗を低くする観点から望ましい。

40

【0017】

p 型のSiCエピタキシャル層102中の元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が、0.40より大きく0.95より小さいこと、元素Aのアクセプタ準位が150meV以下であること、元素Dの90%以上が元素Aの最近接の格子位置にあることが、抵抗を低くする観点から望ましい。

【0018】

以下、本実施形態の n 型不純物と p 型不純物が共ドーブされたSiCエピタキシャル層について詳述する。

【0019】

50

発明者らによる検討の結果、SiCに対し、p型不純物（p型ドーパント）のAlと、n型不純物（n型ドーパント）のNとを共ドーブすることにより、AlとNのペアリングをおこさせることができることがわかった。このペアリング状態では、キャリアが補償され、キャリアがゼロの状態になる。

【0020】

図2および図3は、共ドーブの作用を説明する図である。図2がn型SiCの場合、図3がp型SiCの場合である。発明者らが行なった第一原理計算によれば、SiC中で、AlはSi（シリコン）サイトに、NはC（炭素）サイトに、AlとNが隣接するように入ることで、より系として安定化することが明らかになった。

【0021】

すなわち、図2および図3に示すように、AlとNとが未結合でばらばらになっている状態に比べ、AlとNが結合し、Al-Nペア構造を形成することで、エネルギー的に2.9 eV安定になる。Al量とN量とが一致した場合には、両者の全てがペア構造になった状態が最も安定である。

【0022】

ここで、第一原理計算は、超ソフト擬ポテンシャルを用いた計算である。超ソフト擬ポテンシャルは、バンダービルトらによって開発された、擬ポテンシャルの一種である。例えば、格子定数は、1%以下の誤差で実験値を実現できる高い精度を備える。不純物（ドーパント）を導入して、構造緩和を行い、安定状態の全エネルギーを計算する。系の全エネルギーを、変化の前後で比較することで、いずれの構造が安定状態か、否かを判定する。安定状態では、バンドギャップ中で不純物の準位が、どのエネルギー位置にあるかを示すことが出来る。

【0023】

図2に示すように、NがAlよりも多く存在する場合、すなわち、n型SiCの場合、余分にあるNが、Al-Nペア構造の近傍のCサイトに入り、N-Al-Nの3量体となることで更に系が安定化することが明らかになった。第一原理計算からは、3量体となることで、ペア構造とNとが別々に存在する場合に比べ、系が0.3 eV安定になる。

【0024】

同様に、図3に示すように、AlがNよりも多く存在する場合、すなわちp型SiCの場合、余分にあるAlが、Al-Nペア構造の近傍のSiサイトに入り、Al-N-Alの3量体となることで更に安定化することが明らかになった。第一原理計算からは、3量体となることで、Al-Nペア構造とAlとが別々に存在する場合に比べ、系が0.4 eV安定になる。

【0025】

次に、AlとN以外のドーパントの組み合わせについて、考察する。B（ボロン）とN（窒素）の場合について計算を行った場合を例に、計算結果を説明する。

【0026】

BはSiサイトに、NはCサイトに入る。第一原理計算によると、B-N-B、あるいは、N-B-Nという3量体構造は形成できないことがわかった。つまり、B-Nのペア構造は形成されるが、近傍にBやNが来ると系のエネルギーが高くなる。したがって、余分なBやNは、ペア構造から離れた位置に独立に存在する方が、系がエネルギー的に安定であった。

【0027】

第一原理計算によると、余分なBが3量体を形成すると、B-NペアとBが独立に存在する場合に比べて、系のエネルギーが0.5 eV高かった。また、余分なNが3量体を形成すると、B-NペアとNが独立に存在する場合に比べて、系のエネルギーが0.3 eV高かった。このため、いずれの場合も、3量体が出来ると系がエネルギー的に不安定になる。

【0028】

図4は、共ドーブの作用を説明する図である。図4では、各元素の共有結合半径を示す

10

20

30

40

50

。図の右上方向に向かうほど共有結合半径が小さくなり、左手下方に向かうほど共有結合半径が大きくなる。

【 0 0 2 9 】

BとNの場合に、3量体が出来ると不安定になることは、共有結合半径の大きさにより理解できる。Bの共有結合半径はSiの共有結合半径より小さく、かつ、Nの共有結合半径はCの共有結合半径より小さい。このため、BがSiサイトに、NがCサイトに入ると、歪が溜まり3量体が形成できない。

【 0 0 3 0 】

ドーパントとなるp型不純物とn型不純物の組み合わせとして、「共有結合半径がSiより大きな元素(A1、Ga、In)」と「共有結合半径がCより小さい元素(N)」の組み合わせ、あるいは、その逆の、「共有結合半径がCより大きな元素(B)」と「共有結合半径がSiより小さい元素(P)」の組み合わせの場合以外は、3量体が形成出来ないことが判明した。

10

【 0 0 3 1 】

B、Pの共有結合半径はSiの共有結合半径とCの共有結合半径の間にあることから、B、およびPは、Siサイト、Cサイトのどちらにも入りえる。しかし、他の不純物(A1、Ga、In、N、As)は、基本的に片方のサイトに偏る。A1、Ga、In、AsはSiサイトに入り、NはCサイトに入ると考えて良い。

【 0 0 3 2 】

さらに、両不純物が共にSiサイト、あるいは共にCサイトに入る場合は、考える必要がない。それは、p型不純物とn型不純物が最近接に来ないと歪が緩和し難いためである。よって、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせ(元素Aと元素D)が、(A1とN)、(GaとN)、(InとN)、(BとP)という4つの組み合わせ以外では、3量体を形成することは困難である。

20

【 0 0 3 3 】

このペア構造、あるいは3量体構造は、原子間に相互作用が無ければ形成できない。第一原理計算による4H-SiC構造中の不純物準位(ドーパント準位)は、c軸方向にユニットセルが10個程度あると、相互作用が見えなくなり、不純物準位が平らな状態となる。すなわち、分散が十分に抑制され、10meVオーダー程度になる。

【 0 0 3 4 】

つまり、不純物間の距離が10nm以上では相互作用が殆どないと考えられる。よって、不純物同士の相互作用があるためには、不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。

30

【 0 0 3 5 】

この値は、SiC材料が既に形成されている場合に、イオン注入などによって局所的な不純物の分布を形成する場合に望まれる不純物濃度の下限となる。

【 0 0 3 6 】

なお、半導体SiCに、共ドーブによる効果が発現されるためには、n型不純物濃度とp型不純物濃度の比率を特定の範囲の比率にする必要がある。後に記述する製造方法において、イオン打ち込みによって導入するn型、p型のそれぞれの不純物の比率を上記特定の範囲の比率になるように、初めから導入することが重要である。相互作用が届く範囲が10nm未満と小さいが、その範囲にあれば、互いの引力により3量体が形成可能となる。しかも、引力が働くので、不純物の活性化アニールの温度が、共ドーブしない場合の1700 - 1900 から、1500 - 1800 に低温化できると考えられる。

40

【 0 0 3 7 】

ただし、この3量体形成に望ましい不純物濃度は、CVD(Chemical Vapor Deposition)法などによる気相からの結晶成長などでは、低減させることが可能である。これは、原料を表面にてフローさせることが出来るため、不純物同士の相互作用が低濃度でも生じやすくなるためである。

【 0 0 3 8 】

50

気相成長では、三量体を形成可能な不純物濃度の領域が、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下と、イオン注入に比較して拡大する。気相成長ではSiCの不純物濃度を、例えば、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度と薄くすることも、例えば、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 程度と濃くすることも可能である。特に、濃度の薄い領域は、イオン注入による形成が困難である。したがって、特に濃度の薄い領域では、気相成長による不純物領域の形成が有効である。さらに、気相成長では、共ドーピングされた、例えば、5 nm程度の極薄膜を形成することも可能である。

【0039】

また、気相成長では不純物の濃度の濃い領域で、結晶中の欠陥が生じにくいという利点もある。すなわち、イオン注入では、導入する不純物量が大きくなるにつれ結晶中の欠陥量が增大し、熱処理等による回復も困難となる。気相成長では成長中に3量体が形成され、不純物導入による欠陥も生じにくい。この観点から、例えば、不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上、さらには $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上の領域で、気相成長による不純物領域の形成が有効である。

10

【0040】

このように、気相成長では、イオン注入では得られない効果がある。もっとも、イオン注入では、局所的に共ドーピングされた不純物領域を形成することが可能である。また、低コストで共ドーピングされた不純物領域を形成することが可能である。よって、必要性に応じて、気相成長とイオン注入とを使い分ければ良い。

【0041】

気相からの結晶成長時において、3量体形成を形成する場合、p型およびn型の不純物濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。さらに、3量体形成を容易にする観点からは、不純物濃度は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上あることがより望ましい。

20

【0042】

次に不純物濃度の上限であるが、3量体を形成した場合には、3量体を形成しない場合の固溶限を超えることも可能である。3量体を作ると、結晶中の歪が緩和され不純物が固溶されやすくなるためである。

【0043】

3量体を形成しない場合の不純物の固溶限は、Nの場合は 10^{19} cm^{-3} オーダー、Alの場合でも 10^{21} cm^{-3} オーダーである。他の不純物は、およそ 10^{21} cm^{-3} オーダー程度である。

30

【0044】

不純物が一種類の場合、不純物の大きさが小さい側、あるいは大きい側に偏る。このため、歪が蓄積されて、不純物が格子点に入り難くなり、活性化できないためである。特にイオン注入では欠陥を多く形成するので、余計に固溶限が低くなる。

【0045】

しかし、3量体を形成すれば、Al、Nのどちらも 10^{22} cm^{-3} オーダー程度まで、導入が可能となる。(AlとN)、(GaとN)、(InとN)、(BとP)という4つの組み合わせにおいて、3量体を形成することで、歪を緩和することが出来るため、固溶限の拡大が可能となる。その結果、 10^{22} cm^{-3} オーダーまで不純物の固溶限の拡張が可能である。

40

【0046】

不純物がB、Al、Ga、In、Pである場合は、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上、特に、 $6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上では、歪が多く、欠陥が多量に入っている状態となる。その結果、シート抵抗または比抵抗は非常に大きな値となる。

【0047】

しかし、p型不純物とn型不純物との共ドーピングによれば、このような不純物濃度の高い領域でも、欠陥が抑制できる。

【0048】

不純物がNである場合は、さらに固溶限が一桁小さく $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度である

50

。第一原理計算によれば、不活性な格子間Nの欠陥が発生するためと考えられる。

【0049】

N濃度の上限が、 10^{19} cm^{-3} オーダーだったものが、3量体を形成することにより、 10^{22} cm^{-3} オーダーに大幅に拡大する。従来、高濃度にドーピングされたn型領域を形成する場合、窒素を使うことが出来ず、例えばPを 10^{20} cm^{-3} 程度、イオン注入することにより形成している。しかし、本実施形態を用いれば、例えば、Nを $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、Alを $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 導入するというように、窒素を用いて高濃度にドーピングされたn型領域を形成できる。つまり、従来は窒素を使うこと自体が困難だったが、それが可能になる。

【0050】

以上、p型不純物とn型不純物を両方とも導入し、かつ、共有結合半径の組み合わせを適切に選ぶことにより、上記の3量体を形成することが可能となる。そして、構造が安定化して、歪を低減することが出来る。

【0051】

その結果、(1)各不純物が格子点に入りやすくなる。(2)プロセスの低温化が可能となる。少なくとも100程度の低温化は期待できる。(3)活性化可能な不純物量(上限の拡大)が増加する。(4)3量体、あるいはペア構造のような安定構造が出来る。この構造でエントロピーを稼ぎ、結晶欠陥量が低減する。(5)3量体が安定なので、p型不純物とn型不純物を結ぶボンドの周りに回転することが難しくなり、構造が固定化する。したがって、通電破壊耐性が大幅にアップする。例えば、pnジャンクションのp型不純物領域、n型不純物領域の少なくとも一部に3量体構造を導入すれば、通電破壊が抑制され、高抵抗化が避けられる。その結果、電流を一定量だけ流すときに必要な印加電圧(Vf)が増加してしまう劣化現象(Vf劣化)を抑制可能となる。

【0052】

以上、p型不純物のAlとn型不純物のNを共ドーピングすることにより、AlとNのペアリングをおこさせることが出来ることを示した。さらに、この際、アクセプタ準位およびドナー準位を、ともに浅く出来ることが、第一原理計算により明らかになっている。

【0053】

図5、図6は、共ドーピングの作用の説明図である。図5はn型SiCの場合、図6はp型SiCの場合である。白丸は準位が電子で埋まっていない空の準位、黒丸は準位が電子で埋まっている状態を示す。

【0054】

ドナー準位が浅くなる理由は、図5に示すように、アクセプタであるAlの伝導帯の内側にある空の準位と、Nのドナー準位とが相互作用したことにより、ドナー準位が引き上げられたためである。同様に、アクセプタ準位が浅くなる理由は、図6に示すように、ドナーであるNの価電子帯の内側にある電子が埋った準位と、Alのアクセプタ準位とが相互作用したことにより、アクセプタ準位が引き下げられたためである。

【0055】

一般に、n型不純物のNやP(リン)は42meV~95meVの深いドナー準位を形成する。p型不純物のB、Al、Ga、Inは160meV~300meVの非常に深いアクセプタ準位を形成する。それに対し、3量体を形成すると、n型不純物では35meV以下のドナー準位を形成し、p型不純物では、100meV以下のアクセプタ準位を形成することが可能となる。

【0056】

3量体が完全に形成された最良の状態では、n型のNやPでは、およそ20meV程度となり、p型のB、Al、Ga、Inでは40meV程度となる。このように浅い準位を形成するので、活性化した不純物の多くがキャリア(自由電子、自由正孔)となる。したがって、バルク抵抗が共ドーピングを行わない場合に比べ、桁違いに低抵抗化する。

【0057】

n型SiCの場合、キャリア発生に寄与するドナー準位が40meV以下となることで

10

20

30

40

50

、共ドーピングしない場合と比較して、抵抗が低減する。また、35 meV以下となることで抵抗が約一桁、20 meV以下とすることにより抵抗が約二桁低減する。但し、歪緩和効果、ドーピング上限拡大効果なども含む。

【0058】

p型SiCの場合、キャリア発生に寄与するアクセプタ準位が150 meV以下となることで、共ドーピングしない場合と比較して、抵抗が低減する。また、100 meV以下となることで抵抗が約一桁、40 meV以下とすることにより抵抗が約二桁低減する。但し、歪緩和効果、ドーピング上限拡大効果なども含む。

【0059】

Al濃度とN濃度とが一致した場合(N:Al = 1:1)には、浅い準位はあっても、キャリアが無いため、絶縁体になってしまう。Al濃度とN濃度の差分だけキャリアが存在することになる。低抵抗の半導体になるには、濃度差が必要となる。

10

【0060】

N濃度がAl濃度よりも多い場合(N濃度 > Al濃度)、相互作用によりAl-Nペアが出来た余りのNもまた、Al-Nペアの近傍のCを置換することで安定化する。このため、浅いドナー準位が形成される。また、歪も緩和するので、3量体を形成しない場合よりもNの濃度を増やすことが出来る。

【0061】

図7は、n型SiCの場合のAlとNの濃度とシート抵抗の関係を示す図である。N濃度は、 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ としている。単体でNを導入した場合は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上いれても、シート抵抗は低減できない。その値がおよそ300 / である。

20

【0062】

N濃度:Al濃度が1:1から2:1になるまでは、歪が入らずに3量体ができ、浅いドナー準位に入っているキャリア電子数が増加する。したがって、シート抵抗が急激に低下する。

【0063】

そして、2:1に達したとき、最大量のキャリアが使えるので、最もシート抵抗が低い状態となる。シート抵抗は、図7に示すように、1.5 / 程度まで低減できる。n型SiCへのコンタクト抵抗も、N濃度:Al濃度 = 2:1になるようにし、N濃度とAl濃度の差分を 10^{20} cm^{-3} から 10^{22} cm^{-3} と増やすことで、 10^{-5} cm^3 程度から、 10^{-7} cm^3 程度まで低減可能である。

30

【0064】

さらに、2:1よりN濃度の割合が上がると、N濃度:Al濃度 = 2:1より過剰なNにより、元の深いドナー準位が形成されることになる。そして、このドナー準位がキャリア電子を受け取ることになり、3量体によって形成された浅いドナー準位が空になってしまう。N濃度:Al濃度 = 2:1よりずれた分のNは、単体で導入された場合に近いので、歪の緩和が困難である。したがって、図7に示すように、シート抵抗が急激に増加していくことになる。

【0065】

図7では、n型不純物のN(窒素)を、Alを共ドーピングしない場合に固溶限近傍まで入れた場合のシート抵抗(この場合は約300 /)を比較対象とし、N濃度:Al濃度 = 2:1からずらした場合にどのようにシート抵抗の値が変化するかを示している。

40

【0066】

3量体構造が出来たAl濃度/N濃度 = 0.5を中心に考えることにする。Al濃度/N濃度を0.47以上、0.60 ($8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなる)以下とした場合、つまり、n型不純物に対し、p型不純物を47%~60%入れた場合、Alを共ドーピングしない場合のシート抵抗と比較して2桁落ちのシート抵抗となり、非常に有効である。0.5未満では、浅い準位が減少し、かつ、歪が入るので、自由キャリア数が減り、0.47程度で、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 相当のキャリアとなる。

50

【0067】

そこから幅を両側に広げて、A1濃度/N濃度を0.45以上、0.75 ($5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなる)以下とした場合、すなわち、A1をNに対し45%~75%入れた場合、2桁落ちからその3倍程度の大きさとなる。0.5未満では、浅い準位が減少し、かつ、歪が入るので、自由キャリア数が減り、0.45程度で、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 相当のキャリアとなる。さらに幅を両側に広げて、A1濃度/N濃度を0.40より大きく0.95 ($1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなる)より小さくした場合、すなわち、A1をNに対し40%~95%入れた場合、1桁落ちのシート抵抗となる。0.5未満では、浅い準位が減少し、かつ、歪が入るので、自由キャリア数が減り、0.40程度で、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 相当のキャリアとなる。

10

【0068】

A1をNに対し50%以上入れた側の方が特性がよいのは、歪が十分に緩和するためである。1つのA1に対し2つのNがクラスター化して3量体が形成された状態が50%の状態である。50%未満の場合、3量体が出来た状態に加え、更に余分なNが存在することになる。つまり、3量体になれないNがあるので、その分だけ歪が溜まることになる。3量体になれないNは、単体で入ったのも同然であり、直ぐに歪の限界に達してしまう。こうして、A1の量が50%を割った場合は、歪が急激に発生して、格子欠陥が増加することになる。このため、歪が緩和できる50%以上の場合に比較して、50%未満の方が、シート抵抗が急激に悪化する。

20

【0069】

なお、A1濃度/N濃度=0.995で、キャリア数が共ドープしない場合とほぼ同等になる。 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の0.5%分の $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなるので、従来の窒素ドープのシート抵抗が実現可能となる。このため、シート抵抗が共ドープしない場合と、およそ一致することになる。また、A1濃度/N濃度=0.33、すなわち、N濃度:A1濃度=3:1の場合、キャリア電子がすべて、3量体によって形成される浅いドナー準位ではなく、余剰のNで形成される深いドナー準位に受け取られことになる。このため、シート抵抗が共ドープしない場合と、およそ一致することになる。したがって、共ドープにより抵抗が低減するのは、A1濃度/N濃度を0.33より大きく0.995より小さくした場合、すなわち、A1をNに対し33%~99.5%入れた場合となる。誤差も考えると、33%より大きく、100%未満と考えればよい。

30

【0070】

A1濃度がN濃度よりも多い場合(A1濃度>N濃度)、相互作用によりA1-Nペアが出来た余りのA1もまた、A1-Nペアの近傍のSiを置換することで安定化する。このため、浅いアクセプタ準位が形成される。また、歪も緩和するので、3量体を形成しない場合よりもA1の濃度を増やすことが出来る。この場合も、N濃度>A1濃度の場合と同様に考えればよい。

【0071】

図8は、p型SiCの場合のNとA1の濃度とシート抵抗の関係を示す図である。A1濃度は、 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ としている。

40

【0072】

A1濃度:N濃度が1:1から2:1になるまでは、歪が入らずに3量体ができ、浅いアクセプタ準位に入っているキャリア正孔数が増加する。したがって、シート抵抗が低下する。

【0073】

そして、2:1に達したとき、最大量のキャリアが使えるので、最もシート抵抗が低い状態となる。シート抵抗としては、図8に示すように、40 / 程度まで低減できる。p型SiCへのコンタクト抵抗も、A1濃度:N濃度=2:1になるようにし、A1濃度とN濃度の差分を 10^{20} cm^{-3} から 10^{22} cm^{-3} と増やすことで 10^{-5} cm

50

3 程度から、 10^{-7} cm^3 程度まで低減可能である。

【0074】

さらに、2 : 1よりA1濃度の割合が上がると、A1濃度 : N濃度 = 2 : 1より過剰なA1により、元の深いアクセプタ準位が形成されることになる。そして、このアクセプタ準位がキャリア正孔を受け取ることになり、3量体によって形成された浅いアクセプタ準位が電子で埋まってしまう。A1濃度 : N濃度 = 2 : 1よりずれた分のA1は、単体で導入された場合に近いので、歪の緩和が困難である。したがって、図8に示すように、シート抵抗が急激に増加していくことになる。

【0075】

図8では、p型不純物のA1(アルミニウム)を、Nを共ドーブしない場合に固溶限近傍まで入れた場合のシート抵抗(この場合は約 $10 \text{ K} / \square$)を比較対象とし、A1濃度 : N濃度 = 2 : 1からずらした場合にどのようにシート抵抗の値が変化するかを示している。

【0076】

3量体構造が出来たN濃度 / A1濃度 = 0.5を中心に考えることにする。N濃度 / A1濃度を0.47以上、0.60($8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなる)以下とした場合、つまり、p型不純物に対し、n型不純物を47%~60%入れた場合、Nを共ドーブしない場合のシート抵抗に比較して2桁落ちのシート抵抗となり、非常に有効である。0.5未満では、浅い準位が減少し、かつ、歪が入るので、自由キャリア数が減り、0.47程度で、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 相当のキャリアとなる。

【0077】

そこから幅を両側に広げて、N濃度 / A1濃度を0.45以上、0.75($5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなる)以下とした場合、すなわち、NをA1に対し45%~75%入れた場合、2桁落ちからその3倍程度の大きさとなる。0.5未満では、浅い準位が減少し、かつ、歪が入るので、自由キャリア数が減り、0.45程度で、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 相当のキャリアとなる。さらに幅を広げて、N濃度 / A1濃度を0.40より大きく0.95($1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなる)より小さくした場合、すなわち、NをA1に対し40%~95%入れた場合、1桁落ちのシート抵抗となる。0.5未満では、浅い準位が減少し、かつ、歪が入るので、自由キャリア数が減り、0.40程度で、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 相当のキャリアとなる。

【0078】

NをA1に対して50%以上入れた側の方が特性がよいのは、歪が緩和するためである。それに対し、Nが50%未満の場合、1つのNに対し2つのA1がクラスター化して3量体が形成された状態が50%の状態であり、そこに更にA1が存在することになる。つまり、3量体になれないA1があるので、その分だけ歪が溜まることになる。こうして、50%を割った場合は、歪が急激に発生して、格子欠陥が増加することになる。このため、歪が緩和できる50%以上の場合に比較して、50%未満の場合の方が、シート抵抗が急激に悪化する。

【0079】

なお、N濃度 / A1濃度 = 0.995で、キャリア数が共ドーブしない場合とほぼ同等になる。 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の0.5%分の $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリアが100%自由キャリアとなるので、従来のA1ドーブのシート抵抗が実現可能となる。このため、シート抵抗が共ドーブしない場合と、およそ一致することになる。また、N濃度 / A1濃度 = 0.33、すなわちA1濃度 : N濃度 = 3 : 1の場合、キャリア正孔がすべて、3量体によって形成される浅いアクセプタ準位ではなく、余剰のA1で形成される深いアクセプタ準位に受け取られことになる。このため、シート抵抗が共ドーブしない場合と、およそ一致することになる。したがって、共ドーブの抵抗低減効果が得られるのは、N濃度 / A1濃度を0.33より大きく0.995より小さくした場合、すなわち、NをA1に対し33%~99.5%入れた場合となる。誤差も考えると、33%より大きく、1

10

20

30

40

50

00%未満と考えればよい。

【0080】

共ドーブしない場合には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の低濃度の不純物を使った低抵抗SiC半導体材料は存在し難い。しかし、共ドーブによれば、3量体を形成することで、浅い準位が形成され、キャリア数が増加する。したがって、少量の不純物でも低抵抗化が可能である。

【0081】

以上のように、p型不純物とn型不純物を適切な割合で共ドーブすることにより、少なくとも2つの顕著な効果が得られることになる。

【0082】

第一に、歪が緩和して、歪の少ないSiCを形成可能である。共ドーブしない場合に比べて、歪が少なくなり、欠陥が少なく、多くの不純物を導入することが可能になる。すなわち、不純物の固溶限を高くすることができる。したがって、シート抵抗が低減し、比抵抗が低減し、コンタクト抵抗が低減する。イオン注入法であれ、エピタキシャル成長法であれ、欠陥が少なくなるので、不純物の高ドーズ化が可能となる。

【0083】

第二に、浅い準位を形成することが可能となる。共ドーブしない場合と比較して、少ない不純物を用いるだけで、低抵抗な材料を作成することが可能になる。あるいは、同じ不純物量の場合に、桁違いに小さいシート抵抗が得られることになる。エピタキシャル成長にて形成可能な低ドーズの領域を考えた時、共ドーブを用いない場合、高抵抗になってしまう。しかし、共ドーブを使えば、低抵抗なSiCを形成することが可能となる。これにより、より低オン抵抗のSiC半導体装置を製造することも可能となる。

【0084】

次に、本実施形態のSiCエピタキシャルウェハの製造方法について説明する。まず、本実施形態のSiCエピタキシャルウェハの製造方法に用いられる製造装置について、説明する。

【0085】

図9は、本実施形態の気相成長装置の模式断面図である。本実施形態の気相成長装置は、枚葉型のエピタキシャル成長装置である。

【0086】

図9に示すように、本実施形態のエピタキシャル成長装置は、例えばステンレス製で円筒状中空体の反応室10を備えている。そして、この反応室10上部に配置され、反応室10内に、ソースガス等のプロセスガスを供給するガス供給部12を備えている。

【0087】

また、反応室10内のガス供給部12下方に設けられ、半導体ウェハ(基板)Wを載置可能な支持部14を備えている。支持部14は、例えば、中心部に開口部が設けられる環状ホルダー、または、半導体ウェハW裏面のほぼ全面に接する構造のサセプタである。

【0088】

また、支持部14をその上面に配置し回転する回転体ユニット16を、支持部14下方に備えている。また、支持部14に載置されたウェハWを輻射熱により加熱する加熱部18としてヒーターを、支持部14下方に備えている。

【0089】

ここで、回転体ユニット16は、その回転軸20が、下方に位置する回転駆動機構22に接続される。そして、回転駆動機構22により、半導体ウェハWをその中心を回転中心として、例えば、300rpm~1000rpmの高速回転させることが可能となっている。

【0090】

また、円筒状の回転軸20は中空の回転体ユニット16内を排気するための真空ポンプ(図示せず)に接続される。真空ポンプの吸引により、半導体ウェハWが支持部14に真空吸着する構成になっていてもよい。なお、回転軸20は、反応室10の底部に真空シー

10

20

30

40

50

ル部材を介して回転自在に設けられている。

【0091】

そして、加熱部18は、回転軸20の内部に貫通する支持軸24に固定される支持台26上に固定して設けられる。この支持台26には半導体ウェハWを環状ホルダー14から脱着させるための、例えば突き上げピン(図示せず)が設けられている。

【0092】

さらに、半導体ウェハW表面等でソースガスが反応した後の反応生成物および反応室10の残留ガスを反応室10外部に排出するガス排出部28を、反応室10底部に備える。なお、ガス排出部28は真空ポンプ(図示せず)に接続してある。

【0093】

そして、本実施形態のエピタキシャル成長装置は、反応室10にSi(シリコン)のソースガスを供給する第1のガス供給路31と、反応室10にC(炭素)のソースガスを供給する第2のガス供給路32と、反応室10にN(窒素)のソースガスを供給する第3のガス供給路33と、反応室にAl(アルミニウム)のソースガスを供給する第4のガス供給路34を備える。

【0094】

第1のガス供給路31は第1のガス供給源41に、第2のガス供給路32は第2のガス供給源42に、第3のガス供給路33は第3のガス供給源43に、第4のガス供給路34は第4のガス供給源44に、接続されている。第1ないし第4のガス供給源は41~44は、例えば、それぞれのソースガスが充填されたガスボンベまたは容器である。

【0095】

Si(シリコン)のソースガスは、例えば、水素ガス(H_2)をキャリアガスとするモノシラン(SiH_4)である。また、C(炭素)のソースガスは、例えば、水素ガスをキャリアガスとするプロパン(C_3H_8)である。また、N(窒素)のソースガスは、例えば、窒素ガス(N_2)である。そして、Al(アルミニウム)のソースガスは、例えば、水素ガス(H_2)でバブリングされ、水素ガス(H_2)をキャリアガスとするトリメチルアルミニウム(TMA)である。

【0096】

さらに、本実施形態の気相成長装置は第1のガス供給源41に接続されSi(シリコン)のソースガスの流量を調整するマスフローコントローラ51と、第2のガス供給源42に接続されC(炭素)のソースガスの流量を調整するマスフローコントローラ52と、第3のガス供給源43に接続されN(窒素)のソースガスの流量を調整するマスフローコントローラ(第1の調節部)53と、第4のガス供給源44に接続されAl(アルミニウム)のソースガスの流量を調整するマスフローコントローラ(第2の調節部)54を備える。

【0097】

そして、第1の調節部53と第2の調節部54に流量を指定する制御信号を与える制御信号生成部60を備える。第1の調節部53と第2の調節部54と、制御信号生成部60が、NのソースガスとAlのソースガスとの流量を所望の流量となるよう調整する制御部を構成する。

【0098】

制御信号生成部60は、例えば、成膜されるSiC中のNとAlの濃度比を実現するNのソースガスとAlのソースガスの流量を演算する機能を備えたコンピュータである。例えば、制御信号生成部60に、外部入力装置から入力される実現すべきSiC中のNとAlの濃度比を基に、NのソースガスとAlのソースガスに要求される流量を演算して制御信号を生成する。

【0099】

なお、制御部は、第1の調節部53と第2の調節部54自身が、上記制御信号生成部60の機能を備える構成とすることも可能である。

【0100】

10

20

30

40

50

本実施形態の気相成長装置によれば、n型不純物であるN（窒素）のソースガスとp型不純物であるAl（アルミニウム）のソースガスを同時に供給してSiCを成膜することが可能となる。したがって、n型不純物であるN（窒素）とp型不純物であるAl（アルミニウム）が共ドーピングされたエピタキシャルSiC膜を成膜することが可能となる。

【0101】

さらに、NのソースガスとAlのソースガスとの流量を調整する制御部によって、NのソースガスとAlのソースガスとの流量を所望の流量に制御することが可能となる。したがって、成長するSiC中のAlの濃度とNの濃度の比を所望の比率に制御することが可能である。

【0102】

このように、n型不純物であるN（窒素）とp型不純物であるAl（アルミニウム）が所定の比率で共ドーピングされることにより、低抵抗なSiCが実現される。

【0103】

特に、制御部が、成長するSiC中のNの濃度のAlの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さく、または、成長するSiC中のAlの濃度のNの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さくなるようAlのソースガスとNのソースガスとの流量を調整する構成となっていることが望ましい。

【0104】

次に、本実施形態の気相成長装置を用いたSiCエピタキシャルウェハの製造方法について、図9を参照しつつ説明する。

【0105】

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハの製造方法は、反応室内で、SiC基板に、Si（シリコン）のソースガス、C（炭素）のソースガス、n型不純物のソースガス、および、p型不純物のソースガスを同時に供給してp型SiCを成長させる。p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、成長するp型SiC中の組み合わせを構成する元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さくなるようp型不純物のソースガスとn型不純物のソースガスの量（流量）を制御する。

【0106】

また、本実施形態の製造方法で成膜されるp型のSiCエピタキシャル層の元素Aの濃度は、例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲である。

【0107】

例えば、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）の第1の組み合わせの場合、元素Aが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）から選ばれる1種の元素であってもかまわない。また、Al（元素A₁）とGa（元素A₂）等の2種の元素、あるいは、Al（元素A₁）、Ga（元素A₂）、In（元素A₃）の3種の元素で構成されていてもかまわない。複数の元素の場合、2種または3種の元素をあわせて組み合わせを構成する元素Aと考え、上記元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比、元素Aの濃度の条件が充足されれば良い。

【0108】

また、第1の組み合わせと第2の組み合わせの両者が共存することも可能である。しかし、上記元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比、元素Aの濃度の条件は、すくなくとも、第1の組み合わせ、第2の組み合わせのいずれか一方を構成する元素で充足されなければならない。いいかえれば、第1の組み合わせと第2の組み合わせは、個別に元素比、元素濃度を満たさなければならない。これは、第1の組み合わせの不純物と第2の組み合わせの不純物の間では、3量体が形成されないためである。

【0109】

以下、元素AがAl（アルミニウム）、元素DがN（窒素）である場合を例に説明する。

。

10

20

30

40

50

【0110】

まず、反応室10内の支持部14にSiC基板Wを載置する。SiC基板Wは、例えば、n型不純物としてP(リン)またはN(窒素)を不純物濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度含み、例えば、厚さ $300 \mu\text{m}$ であり、4H-SiCの低抵抗のn⁺型のSiC基板である。

【0111】

ここで、例えば、反応室10のウェハ出入口のゲートバルブ(図示せず)を開きハンドリングアームにより、ロードロック室内のSiC基板Wを反応室10内に搬送する。そして、SiC基板Wは例えば突き上げピン(図示せず)を介して支持部14に載置され、ハンドリングアームはロードロック室に戻され、ゲートバルブは閉じられる。

10

【0112】

そして、図示しない真空ポンプを作動して反応室10内のガスをガス排出部28から排気して所定の真空度にする。ここで、支持部14に載置したSiC基板Wは、加熱部18により所定温度に予備加熱している。さらに、加熱部18の加熱出力を上げて半導体ウェハWをSiCのエピタキシャル成長温度に昇温させる。成長温度は、例えば、 $1600 \sim 1750$ である。

【0113】

そして、上記真空ポンプによる排気を続行すると共に、回転体ユニット16を所要の速度で回転させる。そして、第1ないし第4のガス供給源41~44から供給され、マスフローコントローラ51~52で流量を調整されたSi(シリコン)、C(炭素)、N(窒素)、Al(アルミニウム)のソースガスを混合して、ガス供給部12から噴出する。なお、ソースガスは、例えば、それぞれ異なるノズルから反応室内に噴出され、反応室で混合してもかまわない。

20

【0114】

Si(シリコン)のソースガスは、例えば、水素ガス(H_2)をキャリアガスとするモノシラン(SiH_4)である。また、C(炭素)のソースガスは、例えば、水素ガスをキャリアガスとするプロパン(C_3H_8)である。また、N(窒素)のソースガスは、例えば、水素ガスで希釈された窒素ガス(N_2)である。そして、Al(アルミニウム)のソースガスは、例えば、水素ガス(H_2)でバブリングされ、水素ガス(H_2)をキャリアガスとするトリメチルアルミニウム(TMA)である。

30

【0115】

ソースガスを供給する際、制御信号生成部60で、成長するp型SiC中のNの濃度のAlの濃度に対する比(N濃度/Al濃度)が0.33より大きく1.0より小さくなるよう流量が規定された制御信号が生成される。

【0116】

ガス供給部12から、噴出されたSi(シリコン)、C(炭素)、N(窒素)、Al(アルミニウム)のソースガスの混合ガスは、SiC基板W上に整流状態で供給される。これにより、SiC基板W表面に、p型SiCの単結晶膜がエピタキシャル成長により形成される。

【0117】

そして、エピタキシャル成長終了時には、ガス供給部12からのソースガスの噴出を停止し、SiC基板W上へのソースガスの供給が遮断され、単結晶膜の成長が終了される。

40

【0118】

成膜後は、半導体ウェハWの降温を始める。ここでは、例えば、回転体ユニット16の回転を停止させ、単結晶膜が形成されたSiC基板Wを支持部12に載置したままにして、加熱部16の加熱出力を初期値に戻し、予備加熱の温度、例えば 600 以下に低下するよう調整する。

【0119】

次に、SiC基板Wが所定の温度に安定した後、例えば突き上げピンによりSiC基板Wを支持部14から脱着させる。そして、再びゲートバルブを開いてハンドリングアーム

50

を挿入し、その上にSiC基板Wを載せる。そして、SiC基板Wを載せたハンドリングアームをロードロック室に戻す。

【0120】

以上のようにして、一回の半導体ウェハWに対する成膜が終了し、例えば、引き続いて他のSiC基板Wに対する成膜を上述したのと同じのプロセスシーケンスに従って行うことも可能である。

【0121】

本実施形態の製造方法で成膜されるp型SiCのAl（アルミニウム）濃度は、例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲である。本実施形態の気相成長方法によれば、NとAlが所定の割合で共ドーピングされる。これにより、Alの固溶限が上がり、かつ、アクセプタ準位が浅くなり、低抵抗なp型SiCが実現される。さらに、欠陥の発生が抑制され高品質なp型SiCが実現される。

10

【0122】

本実施形態では、p型SiCの成長を気相から行っている。気相中での拡散は固相中に比べると遥かに大きいため、NとAlの相互作用が固相中よりも生じやすい、したがって、SiC中での3量体形成が生じやすい。よって、共ドーピングによる効果の発現が促進される。

【0123】

特に、本実施形態は、イオン注入での共ドーピングでは3量体が形成しにくいAlの濃度が比較的低い範囲、すなわち、Alの濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲でも、共ドーピングの効果の発現を促進することが出来る。

20

【0124】

特に、Alの濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の低濃度の範囲では、アクセプタ準位が浅くできることで、アクセプタ準位が深い共ドーピングを行わない場合と比較して、SiCとしての耐圧を維持した状態で低抵抗化を実現することが可能となる。

【0125】

なお、より低抵抗なp型SiCを形成する観点から、成長するp型SiC中のNの濃度のAlの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さくなるようAlのソースガスとNのソースガスとの流量を調整することが望ましい。さらに、Nの濃度のAlの濃度に対する比が0.45以上0.75以下となるようAlのソースガスとNのソースガスとの流量を調整することが望ましい。そして、Nの濃度のAlの濃度に対する比が0.47以上0.60以下となるようAlのソースガスとNのソースガスとの流量を調整することが一層望ましい。

30

【0126】

本実施形態では、SiC基板としてn⁺型基板を例に説明したが、SiC基板はn⁺型基板に限られるものではない。n型基板、n⁻型基板、p⁺型基板、p型基板、p⁻型基板のいずれも適用することが可能である。

【0127】

また、本実施形態では、SiC基板100上に、p型のSiCエピタキシャル層102が一層設けられる単純な構造を例に説明したが、SiC基板100とp型のSiCエピタキシャル層102との間に、p型またはn型の他のSiCエピタキシャル層が一層または複数層挟まれる構成であっても、p型のSiCエピタキシャル層102上にp型またはn型の他のSiCエピタキシャル層が一層または複数層形成される構成であってもかまわない。

40

【0128】

(第2の実施形態)

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、SiC基板とp型の第1のSiCエピタキシャル層との間に設けられるn型の第2のSiCエピタキシャル層と、n型の第2のSiCエピタキシャル層と、第1のSiCエピタキシャル層との間に設けられ、p型不純物

50

の濃度が、第1のSiCエピタキシャル層よりも低いp型の第3のSiCエピタキシャル層を、さらに備える。そして、SiC基板がn型で、SiC基板のn型不純物の濃度が、第2のSiCエピタキシャル層よりも高く、p型の第1のSiCエピタキシャル層の元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。上記構成以外は、第1の実施形態と同様である。したがって、第1の実施形態と重複する内容については、記述を省略する。

【0129】

図10は、本実施形態のSiCエピタキシャルウェハの模式断面図である。本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、例えば、PINダイオード製造用のSiCエピタキシャルウェハである。

10

【0130】

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、 n^+ 型のSiC基板100上に、n型のSiCエピタキシャル層104、 n^- 型のSiCエピタキシャル層（第2のSiCエピタキシャル層）106、p型のSiCエピタキシャル層（第3のSiCエピタキシャル層）108、 p^+ 型のSiCエピタキシャル層（第1のSiCエピタキシャル層）102が積層された構造となっている。

【0131】

n^+ 型のSiC基板100は、例えば、N（窒素）をn型不純物として含み、不純物濃度が 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の、4H-SiC基板である。表面は、例えば、(0001)面に対し0.2度~10度傾斜する面である。SiC基板100の不純物濃度は、 n^- 型のSiCエピタキシャル層（第2のSiCエピタキシャル層）106の不純物濃度より高い。

20

【0132】

n^+ 型のSiC基板100は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の前記元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい、ことが望ましい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減されるからである。

【0133】

n型のSiCエピタキシャル層104は、 n^+ 型のSiC基板100と n^- 型のSiCエピタキシャル層106との間の歪を緩和するためのバッファ層である。例えば、N（窒素）をn型不純物として含み、不純物濃度は 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。不純物濃度は、 n^+ 型のSiC基板100より低く、 n^- 型のSiCエピタキシャル層（第2のSiCエピタキシャル層）106よりも高い。Nの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

30

【0134】

n型のSiCエピタキシャル層104は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい、ことが望ましい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減されるからである。また、n型のSiCエピタキシャル層104に形成される三量体によるピン止め効果により、n型のSiCエピタキシャル層104中のBPD（Basial Plane Defect）が、 n^- 型のSiCエピタキシャル層106に伸びることを抑制する。したがって、特性に優れた半導体装置を製造することが可能になる。

40

【0135】

n^- 型のSiCエピタキシャル層（第2のSiCエピタキシャル層）106は、例えば、N（窒素）をn型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 5×10

50

10^{16} cm^{-3} 以下である。Nの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

【0136】

n⁻型のSiCエピタキシャル層106は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい、ことが望ましい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減されるからである。

【0137】

p型のSiCエピタキシャル層（第3のSiCエピタキシャル層）108は、例えば、Al（アルミニウム）をp型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。p型のSiCエピタキシャル層108の不純物濃度は、p⁺型のSiCエピタキシャル層（第1のSiCエピタキシャル層）102よりも低い。

【0138】

p型のSiCエピタキシャル層108は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さい、ことが望ましい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減されるからである。

【0139】

p⁺型のSiCエピタキシャル層（第1のSiCエピタキシャル層）102は、例えば、Al（アルミニウム）をp型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらには $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが、抵抗を低くする観点から望ましい。Alの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

【0140】

p⁺型のSiCエピタキシャル層102は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さい。

【0141】

p⁺型のSiCエピタキシャル層102中の元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。元素Aの濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらには $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが、抵抗を低くする観点から望ましい。元素Aの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

【0142】

p⁺型のSiCエピタキシャル層102中の元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が、0.40より大きく0.95より小さいこと、元素Aのアクセプタ準位が150 meV以下であること、元素Dの90%以上が元素Aの最近接の格子位置にあることが、抵抗を低くする観点から望ましい。

【0143】

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、SiCエピタキシャル層の抵抗が低く、欠陥が少ない。したがって、本実施形態のSiCエピタキシャルウェハを用いれば、性能が高く、信頼性に優れた半導体装置を製造することが可能となる。

10

20

30

40

50

【0144】

(第3の実施形態)

本実施形態の半導体装置は、n型の第1のSiCエピタキシャル層と、SiCエピタキシャル層上に設けられ、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）またはIn（インジウム）とN（窒素）、B（ボロン）とP（リン）の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さく、組み合わせを構成する元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるp型の第2のSiCエピタキシャル層と、第2のSiCエピタキシャル層上に設けられた第1の電極と、第1のSiCエピタキシャル層の第1の電極と反対側に設けられた第2の電極と、第1の電極の両側に設けられ、第2のSiCエピタキシャル層表面から第1のSiCエピタキシャル層に達する溝部、を備える。

10

【0145】

本実施形態の半導体装置は、メサ型のPINダイオードである。本実施形態のPINダイオードは、例えば、第2の実施形態のSiCエピタキシャルウェハを用いて製造される。第2の実施形態と重複する内容については一部記述を省略する。

【0146】

図11は、本実施形態の半導体装置の模式断面図である。

【0147】

このPINダイオードは、第1と第2の面を有するn⁺型SiC基板（炭化珪素基板）100を備えている。図11においては、第1の面とは図の上側の面であり、第2の面とは図の下側の面である。

20

【0148】

SiC基板100は例えば、N（窒素）をn型不純物として含み、不純物濃度が 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の、4H-SiC基板である。第1の面は、例えば、(0001)面に対し0.2度～10度傾斜する面である。

【0149】

このSiC基板100の第1の面上にはn型SiCエピタキシャル層104が形成されている。n型のSiCエピタキシャル層104は、n⁺型のSiC基板100とn⁻型のSiCエピタキシャル層106との間の歪を緩和するためのバッファ層である。

30

【0150】

例えば、N（窒素）をn型不純物として含み、不純物濃度は 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。n型SiCエピタキシャル層104の膜厚は、例えば、0.5～10μm程度である。

【0151】

n型SiCエピタキシャル層104には、Al（アルミニウム）とN（窒素）が共ドーピングされていることが望ましい。そして、Alの濃度のNの濃度に対する比が、0.40より大きく0.95より小さいことが望ましい。

【0152】

n型SiCエピタキシャル層104上には、n⁻型のSiCエピタキシャル層（第1のSiCエピタキシャル層）106が形成される。n⁻型のSiCエピタキシャル層106は、例えば、N（窒素）をn型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。n⁻型のSiCエピタキシャル層106の膜厚は、例えば5～100μm程度である。

40

【0153】

n⁻型のSiCエピタキシャル層106には、Al（アルミニウム）とN（窒素）が共ドーピングされていることが望ましい。そして、Alの濃度のNの濃度に対する比が、0.40より大きく0.95より小さいことが望ましい。

【0154】

50

n⁻型のSiCエピタキシャル層106上には、p型のSiCエピタキシャル層(第3のSiCエピタキシャル層)108が形成される。p型のSiCエピタキシャル層108は、例えば、Al(アルミニウム)をp型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。p型のSiCエピタキシャル層108の膜厚は、例えば、0.2~3 μm程度である。

【0155】

p型のSiCエピタキシャル層108には、Al(アルミニウム)とN(窒素)が共ドーピングされていることが望ましい。そして、Nの濃度のAlの濃度に対する比が、0.33より大きく1.0より小さいことが望ましい。

【0156】

p型のSiCエピタキシャル層108上には、p⁺型のSiCエピタキシャル層(第2のSiCエピタキシャル層)102が形成される。p⁺型のSiCエピタキシャル層102は、例えば、Al(アルミニウム)をp型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらには不純物濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが、抵抗を低くする観点から望ましい。Alの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

【0157】

p⁺型のSiCエピタキシャル層102は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Dの濃度の元素Aの濃度に対する比が0.33より大きく1.0より小さい。

【0158】

p⁺型のSiCエピタキシャル層102中の元素Aの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。元素Aの濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらには $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが、p⁺型のSiCエピタキシャル層102の比抵抗および電極とのコンタクト抵抗を低くする観点から望ましい。元素Aの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

【0159】

p⁺型のSiCエピタキシャル層102の膜厚は、例えば、0.2~1 μm程度である。

【0160】

そして、p⁺型のSiCエピタキシャル層102と電氣的に接続される導電性のアノード電極(第1の電極)194を備えている。アノード電極94は、例えば、Ni(ニッケル)のバリアメタル層194aと、バリアメタル層194a上のAlのメタル層194bとで構成される。

【0161】

また、SiC基板100の第2の面側には、導電性のカソード電極(第2の電極)196が形成されている。カソード電極196は、例えば、Niである。

【0162】

Pinダイオードは、第1の電極194の両側に設けられ、第2のSiCエピタキシャル層102表面から第1のSiCエピタキシャル層106に達する溝部198が設けられている。溝部198は、例えば、図示しない酸化膜で埋め込まれる。溝部198を設けることにより、リーク電流を低減し、高耐圧のPinダイオードが実現される。

【0163】

本実施形態によれば、p⁺型のSiCエピタキシャル層102が共ドーピングのp型不純物層となっている。したがって、低い抵抗が実現される。また、p⁺型のSiCエピタキシャル層102とアノード電極(第1の電極)194のコンタクト抵抗が低減される。した

10

20

30

40

50

がって、順方向電流の大きいP i Nダイオードが実現される。

【0164】

また、 p^+ 型のS i Cエピタキシャル層102中の欠陥も低減され、安定した順方向降下電圧(V_f)および逆方向の降伏耐圧を備えるP i Nダイオードが実現される。

【0165】

(第4の実施形態)

本実施形態のS i Cエピタキシャルウェハは、S i C基板と、S i C基板上に設けられ、 p 型不純物と n 型不純物を含有し、 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい、 n 型の第1のS i Cエピタキシャル層を、備える。

10

【0166】

図12は、本実施形態のS i Cエピタキシャルウェハの模式断面図である。本実施形態のS i Cエピタキシャルウェハは、S i C基板200上に、 n 型のS i Cエピタキシャル層(第1のS i Cエピタキシャル層)202を備えている。

【0167】

S i C基板200は、例えば、 n^+ 型の単結晶S i C基板である。例えば、表面が0.2度~10度のオフ角で(0001)面から傾斜する4H-S i Cの基板である。 n 型不純物は、例えば、N(窒素)であり、不純物濃度は、例えば、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上

20

$5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

【0168】

n 型のS i Cエピタキシャル層(第1のS i Cエピタキシャル層)202は、エピタキシャル成長によって形成される。 n 型のS i Cエピタキシャル層202は、 p 型不純物と n 型不純物を含有し、 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい。

【0169】

30

n 型のS i Cエピタキシャル層202中の、 n 型不純物濃度、すなわち、元素Dの濃度は、例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲である。

【0170】

本実施形態のS i Cエピタキシャルウェハは、上記構成により、低抵抗な n 型のS i Cエピタキシャル層を実現する。なお、 n 型不純物と p 型不純物が共ドープされることによる作用や効果については、第1の実施形態と重複するため記述を省略する。

【0171】

また、 n 型のS i Cエピタキシャル層202中の、元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が、0.45以上0.75以下であること、元素Dのドナー準位が40meV以下であること、元素Aの90%以上が元素Dの最近接の格子位置にあることが、抵抗を低くする観点から望ましい。

40

【0172】

次に、本実施形態のS i Cエピタキシャルウェハの製造方法について説明する。

【0173】

本実施形態のS i Cエピタキシャルウェハの製造方法は、反応室内で、S i C基板に、Si(シリコン)のソースガス、C(炭素)のソースガス、 n 型不純物のソースガス、および、 p 型不純物のソースガスを同時に供給して p 型S i Cを成長させる。 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、成長する p 型S i C中の組み合わせ

50

を構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さくなるようp型不純物のソースガスとn型不純物のソースガスの量(流量)を制御する。

【0174】

また、本実施形態の製造方法で成膜されるn型のSiCエピタキシャル層の元素Dの濃度は、例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲である。

【0175】

例えば、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)の第1の組み合わせの場合、元素Aが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)から選ばれる1種の元素であってもかまわない。また、Al(元素A₁)とGa(元素A₂)等の2種の元素、あるいは、Al(元素A₁)、Ga(元素A₂)、In(元素A₃)の3種の元素で構成されていてもかまわない。複数の元素の場合、2種または3種の元素をあわせて組み合わせを構成する元素Aと考え、上記元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比、元素Dの濃度の条件が充足されれば良い。

【0176】

また、第1の組み合わせと第2の組み合わせの両者が共存することも可能である。しかし、上記元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比、元素Dの濃度の条件は、すくなくとも、第1の組み合わせ、第2の組み合わせのいずれか一方を構成する元素で充足されなければならない。いいかえれば、第1の組み合わせと第2の組み合わせは、個別に元素比、元素濃度を満たさなければならない。これは、第1の組み合わせの不純物と第2の組み合わせの不純物の間では、後に詳述する3量体が形成されないためである。

【0177】

以下、元素AがAl(アルミニウム)、元素DがN(窒素)である場合を例に説明する。

【0178】

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハの製造方法は、第1の実施の形態のp型のSiCエピタキシャル層の気相成長方法に対して、N(窒素)のソースガス、Al(アルミニウム)のソースガスの流量が異なる点で、相違する。第1の実施形態のp型SiCの気相成長方法と重複する点については記述を省略する。

【0179】

ソースガスを供給する際、制御信号生成部60で、成長するn型SiC中のAlの濃度のNの濃度に対する比(Al濃度/N濃度)が0.40より大きく0.95より小さくなるよう流量が規定された制御信号が生成される。

【0180】

n型SiCの気相成長では、ガス供給部12から、噴出されたSi(シリコン)、C(炭素)、N(窒素)、Al(アルミニウム)のソースガスの混合ガスは、SiC基板W上に整流状態で供給される。これにより、SiC基板W表面に、n型SiCの単結晶膜がエピタキシャル成長により形成される。

【0181】

本実施形態の気相成長方法で成膜されるn型SiCのN(窒素)濃度は、例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲である。本実施形態の製造方法によれば、NとAlが所定の割合で共ドーピングされる。これにより、Alの固溶限が上がり、かつ、アクセプタ準位が浅くなり、低抵抗なn型SiCが実現される。さらに、欠陥の発生が抑制され高品質なn型SiCが実現される。

【0182】

本実施形態では、n型SiCの成長を気相から行っている。気相中での拡散は固相中に比べると遥かに大きいので、NとAlの相互作用が固相中よりも生じやすい。したがって、SiC中での3量体形成が生じやすい。よって、共ドーピングによる効果の発現が促進される。

【0183】

10

20

30

40

50

特に、本実施形態は、イオン注入での共ドーブでは3量体が形成しにくいNの濃度が比較的低い範囲、すなわち、Nの濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲でも、共ドーブの効果の発現を促進することが出来る。

【0184】

特に、Nの濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の低濃度の範囲では、ドナー準位が浅くできることで、ドナー準位が深い共ドーブを行わない場合と比較して、SiCとしての耐圧を維持した状態で低抵抗化を実現することが可能となる。したがって、本実施形態では、例えば、縦型MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)や縦型IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)のドリフト層への応用に適したSiC膜が成膜可能である。

10

【0185】

なお、より低抵抗なn型SiCを形成する観点から、成長するn型SiC中のAlの濃度のNの濃度に対する比が0.45以上0.75以下となるようAlのソースガスとNのソースガスとの流量を調整することが望ましい。さらに、Alの濃度のNの濃度に対する比が0.47以上0.60以下となるようAlのソースガスとNのソースガスとの流量を調整することが望ましい。

【0186】

本実施形態では、SiC基板としてn⁺型基板を例に説明したが、SiC基板はn⁺型基板に限られるものではない。n型基板、n⁻型基板、p⁺型基板、p型基板、p⁻型基板のいずれも適用することが可能である。

20

【0187】

また、本実施形態では、SiC基板200上に、n型のSiCエピタキシャル層202が一層設けられる単純な構造を例に説明したが、SiC基板200とn型のSiCエピタキシャル層202との間に、p型またはn型の他のSiCエピタキシャル層が一層または複数層挟まれる構成であっても、p型のSiCエピタキシャル層102上にp型またはn型の他のSiCエピタキシャル層が一層または複数層形成される構成であってもかまわない。

【0188】

(第5の実施形態)

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、SiC基板と第1のSiCエピタキシャル層との間に設けられ、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい、n型の第2のSiCエピタキシャル層を、さらに備える。そして、SiC基板がn型で、第2のSiCエピタキシャル層のn型不純物の濃度がSiC基板より低く、かつ、第1のSiCエピタキシャル層よりも高く、第1のSiCエピタキシャル層中の元素Dの濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。上記構成以外は、第4の実施形態と同様である。したがって、第4の実施形態と重複する内容については、記述を省略する。

30

40

【0189】

図13は、本実施形態のSiCエピタキシャルウェハの模式断面図である。本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、例えば、縦型MOSFET製造用のSiCエピタキシャルウェハである。

【0190】

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、n⁺型のSiC基板200上に、n型のSiCエピタキシャル層(第2のSiCエピタキシャル層)204、n⁻型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202が積層された構造となっている。

【0191】

50

n^+ 型のSiC基板200は、例えば、N(窒素)を n 型不純物として含み、不純物濃度が 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の、4H-SiC基板である。表面は、例えば、(0001)面に対し0.2度~10度傾斜する面である。SiC基板200の不純物濃度は、 n^- 型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202の不純物濃度より高い。

【0192】

n 型のSiCエピタキシャル層(第2のSiCエピタキシャル層)204は、 n^+ 型のSiC基板200と n^- 型のSiCエピタキシャル層202との間の歪を緩和するためのバッファ層である。例えば、N(窒素)を n 型不純物として含み、不純物濃度は 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。不純物濃度は、 n^+ 型のSiC基板200より低く、 n^- 型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202よりも高い。 n 型SiCエピタキシャル層204の膜厚は、例えば、0.5~10 μm 程度である。

10

【0193】

n 型のSiCエピタキシャル層204は、 p 型不純物と n 型不純物を含有し、 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減されるからである。また、 n 型のSiCエピタキシャル層204に形成される三量体によるピン止め効果により、 n 型のSiCエピタキシャル層204中のBPD(Basial Plane Defect)が、 n^- 型のSiCエピタキシャル層202に伸びることを抑制する。したがって、特性に優れた半導体装置を製造することが可能になる。

20

【0194】

n^- 型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202は、例えば、N(窒素)を n 型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。 n^- 型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202の膜厚は、例えば5~50 μm 程度である。Nの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

30

【0195】

n^- 型のSiCエピタキシャル層202は、 p 型不純物と n 型不純物を含有し、 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減される。

【0196】

なお、 n 型のSiCエピタキシャル層202中の、元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が、0.45以上0.75以下であること、元素Dのドナー準位が40meV以下であること、元素Aの90%以上が元素Dの最近接の格子位置にあることが、抵抗を低くする観点から望ましい。

40

【0197】

本実施形態のSiCエピタキシャルウェハは、SiCエピタキシャル層の抵抗が低く、欠陥が少ない。したがって、本実施形態のSiCエピタキシャルウェハを用いれば、性能が高く、信頼性に優れた半導体装置を製造することが可能となる。

【0198】

(第6の実施形態)

本実施形態の半導体装置は、 p 型不純物と n 型不純物を含有し、 p 型不純物を元素A、 n 型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウ

50

ム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい、n型の第1のSiCエピタキシャル層と、第1のSiCエピタキシャル層の表面に設けられたp型の第1のSiC領域と、第1のSiC領域の表面に形成されるn型の第2のSiC領域と、第1のSiCエピタキシャル層、第1のSiC領域の表面に連続的に設けられたゲート絶縁膜と、ゲート絶縁膜上に設けられたゲート電極と、第2のSiC領域上に設けられた第1の電極と、第1のSiCエピタキシャル層の第1の電極と反対側に設けられた第2の電極と、を備える。

【0199】

10

本実施形態の半導体装置は、縦型のMOSFETである。本実施形態のMOSFETは、第5の実施形態のSiCエピタキシャルウェハを用いて製造される。第5の実施形態と重複する内容については一部記述を省略する。

【0200】

図14は、本実施形態で製造される半導体装置の模式断面図である。このMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)は、例えば、pウェルとソース領域をイオン注入で形成する、Double Implantation MOSFET(DIMOSFET)である。

【0201】

このMOSFETは、第1と第2の面を備えるSiC基板(炭化珪素基板)200を備えている。図14においては、第1の面とは図の上側の面であり、第2の面とは図の下側の面である。

20

【0202】

n⁺型のSiC基板200は、例えば、N(窒素)をn型不純物として含み、不純物濃度が 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の、4H-SiC基板である。表面は、例えば、(0001)面に対し0.2度~10度傾斜する面である。SiC基板200の不純物濃度は、n⁻型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202の不純物濃度より高い。

【0203】

このSiC基板200の第1の面上には、n型のSiCエピタキシャル層(第2のSiCエピタキシャル層)204が形成されている。n型のSiCエピタキシャル層(第2のSiCエピタキシャル層)204は、n⁺型のSiC基板200とn⁻型のSiCエピタキシャル層202との間の歪を緩和するためのバッファ層である。例えば、N(窒素)をn型不純物として含み、不純物濃度は 5×10^{17} 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。不純物濃度は、n⁺型のSiC基板200より低く、n⁻型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202よりも高い。n型SiCエピタキシャル層204の膜厚は、例えば、0.5~10 μm 程度である。

30

【0204】

n型のSiCエピタキシャル層204は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減されるからである。また、n型のSiCエピタキシャル層204に形成される三量体によるピン止め効果により、n型のSiCエピタキシャル層204中のBPD(Basial Plane Defect)が、n⁻型のSiCエピタキシャル層202に伸びることを抑制する。したがって、特性に優れた半導体装置を製造することが可能になる。

40

【0205】

n型のSiCエピタキシャル層204上には、n⁻型のSiCエピタキシャル層(第1

50

のSiCエピタキシャル層)202が形成されている。n⁻型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202は、ドリフト層である。

【0206】

n⁻型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202は、例えば、N(窒素)をn型不純物として含み、不純物濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。n⁻型のSiCエピタキシャル層(第1のSiCエピタキシャル層)202の膜厚は、例えば5~10 μm 程度である。Nの濃度は、上記範囲内で一定値でもよいし、上記範囲内で濃度勾配があってもよい。

【0207】

n⁻型のSiCエピタキシャル層202は、p型不純物とn型不純物を含有し、p型不純物を元素A、n型不純物を元素Dとする場合に、元素Aと元素Dとの組み合わせが、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の少なくとも一方の組み合わせであり、組み合わせを構成する元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が0.40より大きく0.95より小さい。これにより、抵抗が低くなり、欠陥も低減される。

【0208】

なお、n型のSiCエピタキシャル層202中の、元素Aの濃度の元素Dの濃度に対する比が、0.45以上0.75以下であること、元素Dのドナー準位が40meV以下であること、元素Aの90%以上が元素Dの最近接の格子位置にあることが、抵抗を低くする観点から望ましい。

【0209】

n型のSiCエピタキシャル層202の一部表面には、p型不純物の不純物濃度 $5 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度のp型の第1のSiC領域(pウェル領域)216が形成されている。pウェル領域216の深さは、例えば0.6 μm 程度である。pウェル領域216は、MOSFETのチャネル領域として機能する。

【0210】

第1のSiC領域(pウェル領域)216の一部表面には、例えばn型不純物の不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 程度のn⁺型の第2のSiC領域(ソース領域)218が形成されている。ソース領域218の深さは、第1のSiC領域(pウェル領域)216の深さよりも浅く、例えば0.3 μm 程度である

【0211】

第1のSiC領域(pウェル領域)216の一部表面であって、n⁺型の第2のSiC領域(ソース領域)218の側方に、例えばp型不純物の不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 程度のp⁺型の第3のSiC領域(pウェルコンタクト領域)220が形成されている。pウェルコンタクト領域220の深さは、第1のSiC領域(pウェル領域)216の深さよりも浅く、例えば0.3 μm 程度である。

【0212】

n⁻SiCエピタキシャル層202および第1のSiC領域(pウェル領域)216の表面に連続的に、これらの領域および層を跨ぐように設けられたゲート絶縁膜228を有している。ゲート絶縁膜228には、例えばSiO₂膜やhigh-k絶縁膜が適用可能である。

【0213】

そして、ゲート絶縁膜228上には、ゲート電極230が形成されている。ゲート電極230には、例えばポリシリコン等が適用可能である。ゲート電極230上には、例えば、SiO₂膜で形成される層間絶縁膜232が形成されている。

【0214】

ゲート電極下の第2のSiC領域(ソース領域)218とn⁻SiCエピタキシャル層202とに挟まれる第1のSiC領域216がMOSFETのチャネル領域として機能する。

【0215】

10

20

30

40

50

そして、第2のSiC領域(ソース領域)218と、第3のSiC領域(pウェルコンタクト領域)220と電氣的に接続される導電性の第1の電極(ソース・pウェル共通電極)224を備えている。第1の電極(ソース・pウェル共通電極)224は、例えば、Ni(ニッケル)のバリアメタル層224aと、バリアメタル層224a上のAlのメタル層224bとで構成される。Niのバリアメタル層224aとAlのメタル層224bとは反応により合金を形成していてもよい。

【0216】

また、SiC基板200の第2の面側には、導電性の第2の電極(ドレイン電極)236が形成されている。第2の電極(ドレイン電極)236は、例えば、Niである。

【0217】

なお、本実施形態において、n型不純物は例えば、N(窒素)やP(リン)が好ましいが、As(ヒ素)等を適用することも可能である。また、p型不純物は例えば、Al(アルミニウム)が好ましいが、B(ボロン)、Ga(ガリウム)、In(インジウム)等を適用することも可能である。

【0218】

本実施形態によれば、ドリフト層となるn型のSiCエピタキシャル層202が共ドープのn型不純物層となっている。したがって、低い抵抗および低い欠陥密度が実現される。また、n型のSiCエピタキシャル層204も、共ドープのn型不純物層となっている。したがって、低い抵抗、低い欠陥密度が実現されるとともに、n型のSiC基板200からn型のSiCエピタキシャル層202中にBPDが伸びることを抑制する。したがって、オン抵抗が小さく、信頼性の向上したMOSFETが実現される。

【0219】

なお、ここではn型のSiC基板を用いた縦型のMOSFETを例に説明したが、SiC基板をp型に変えてIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を構成することも可能である。このIGBTにおいてもMOSFET同様、オン抵抗が小さく、信頼性の向上したIGBTが実現される。

【0220】

以上、実施形態では、SiC(炭化珪素)の結晶構造として4H-SiCの場合を例に説明したが、本発明は6H-SiC、3C-SiC等、その他の結晶構造のSiCに適用することも可能である。

【0221】

また、実施形態では、p型不純物とn型不純物の組み合わせとして、Al(アルミニウム)とN(窒素)の組み合わせの場合を例に説明したが、この組み合わせに限らず、Al(アルミニウム)、Ga(ガリウム)またはIn(インジウム)とN(窒素)、B(ボロン)とP(リン)の組み合わせであれば、同様の効果を得ることが可能である。

【0222】

また、実施形態では、SiC上にSiCを成長させるホモエピタキシャル成長を例に説明したが、SiCと異なる材質の基板上にSiCを成長させるヘテロエピタキシャル成長に本発明を適用することも可能である。

【0223】

また、実施形態では、気相成長装置として、枚葉型のエピタキシャル成長装置とHTCVD法装置を例に説明したが、例えば、プラネタリー方式等、その他の気相成長装置にも本発明を適用することが可能である。

【0224】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。例えば、一実施形態の構成要素を他の実施形態の構成要素と置き換えまたは変更してもよい。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含ま

10

20

30

40

50

れる。

【符号の説明】

【0225】

- 100 SiC基板
- 102 p型の第1(または第2)のSiCエピタキシャル層
- 106 n型の第2(または第1)のSiCエピタキシャル層
- 108 p型の第3のSiCエピタキシャル層
- 194 第1の電極(アノード電極)
- 196 第2の電極(カソード電極)
- 200 SiC基板
- 202 n型の第1のSiCエピタキシャル層
- 204 n型の第2のSiCエピタキシャル層
- 216 第1のSiC領域(pウェル領域)
- 218 第2のSiC領域(ソース領域)
- 220 第3のSiC領域(pウェルコンタクト領域)
- 224 第1の電極(ソース・pウェル共通電極)
- 228 ゲート絶縁膜
- 230 ゲート電極
- 232 層間絶縁膜
- 236 第2の電極(ドレイン電極)

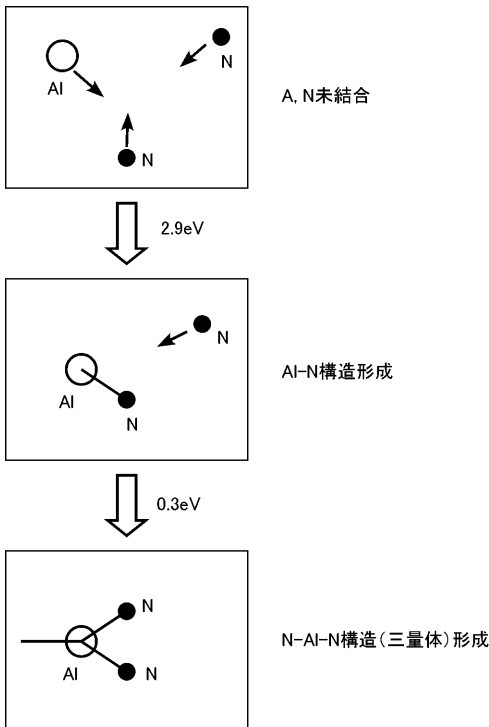
10

20

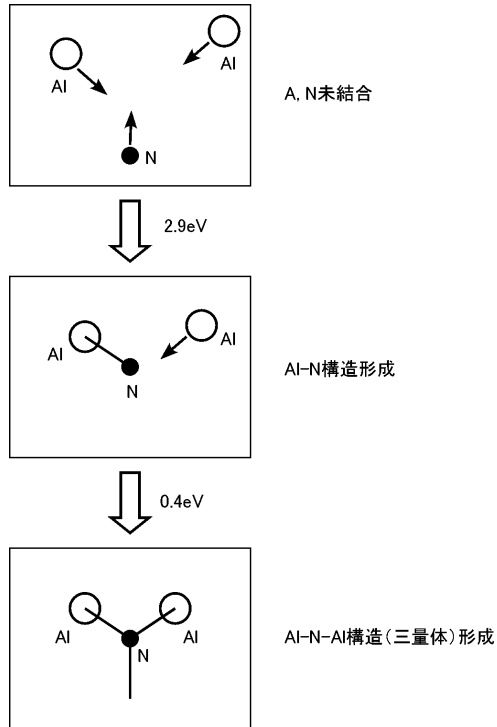
【図1】



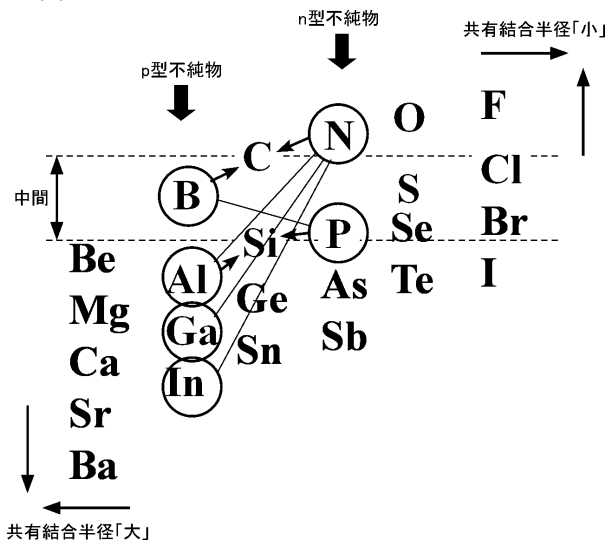
【図2】



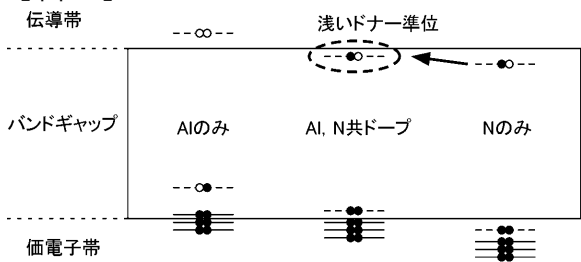
【図3】



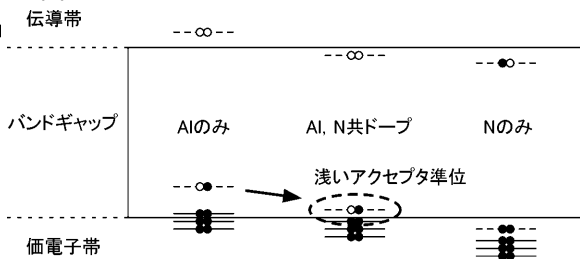
【図4】



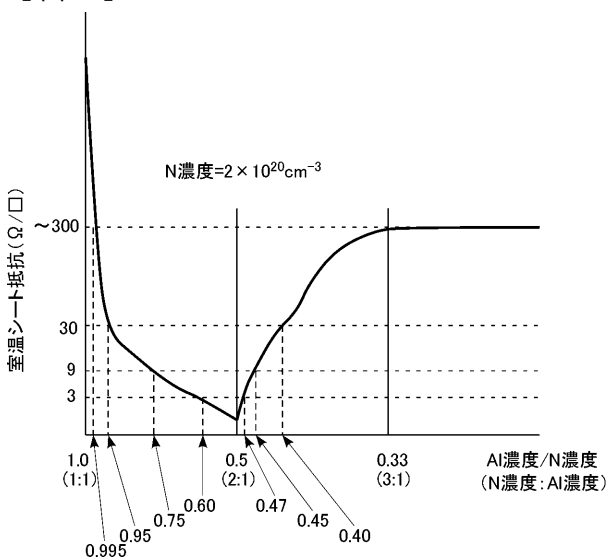
【図5】



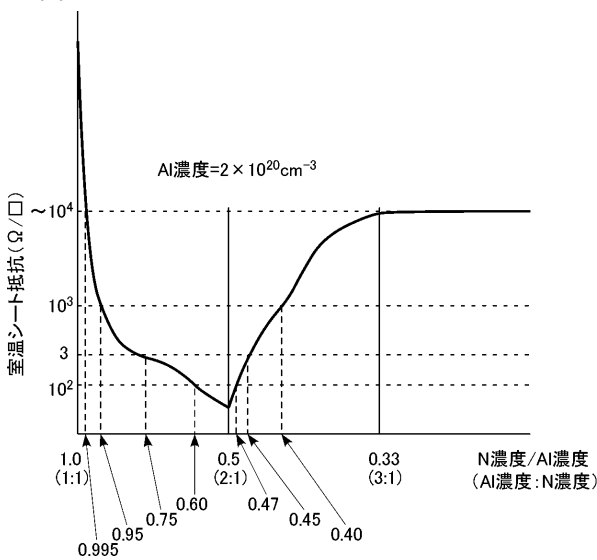
【図6】



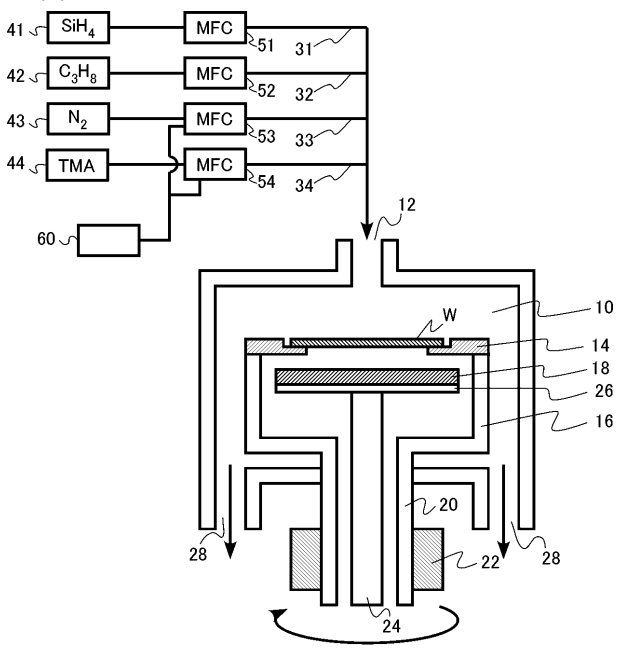
【図7】



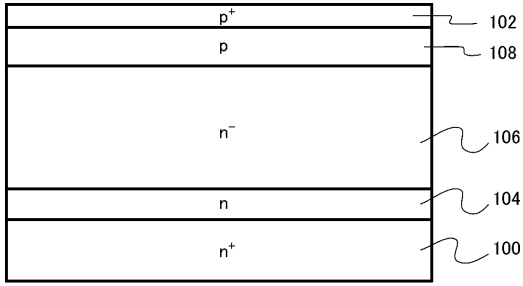
【図8】



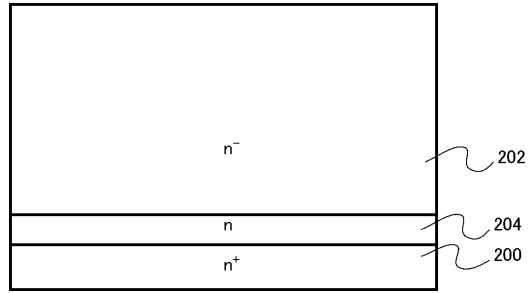
【図9】



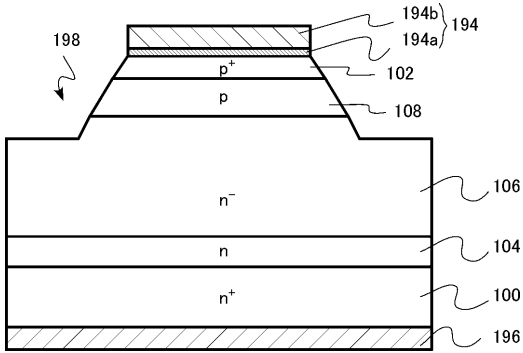
【 10 】



【 13 】



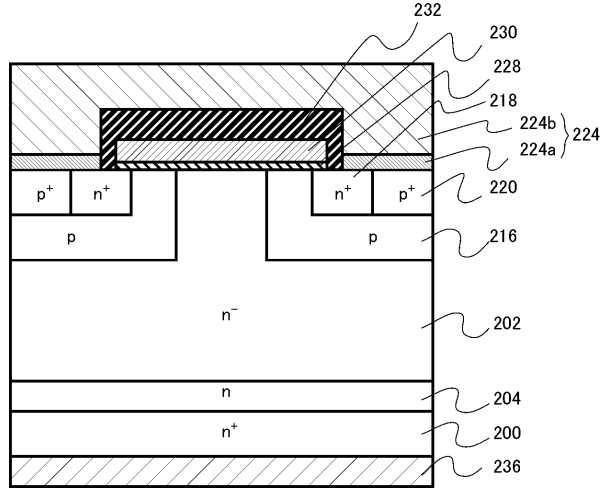
【 11 】



【 12 】



【 14 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
H 0 1 L 29/78	(2006.01)	H 0 1 L	29/06	3 0 1 M
H 0 1 L 29/12	(2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 2 H
H 0 1 L 21/336	(2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 2 T
H 0 1 L 21/329	(2006.01)	H 0 1 L	29/78	6 5 8 E
H 0 1 L 29/868	(2006.01)	H 0 1 L	29/91	A
H 0 1 L 29/861	(2006.01)	H 0 1 L	29/91	B
		H 0 1 L	29/91	F

(72)発明者 太田 千春
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 四戸 孝
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 東芝リサーチコンサルティング株式会社内

合議体

審判長 豊永 茂弘

審判官 菊地 則義

審判官 宮澤 尚之

(56)参考文献 特開2012-178412(JP,A)
Masanori Miyata and Yoshinori Hayafuji, The
oretical Study of Acceptor-Donor Complexes
in 4H-SiC, Applied Physics Express, 2008年10月
4日, Vol1.no.11 2008, P111401

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C30B 29/36

H01L 21/205

H01L 29/78