

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5777437号
(P5777437)

(45) 発行日 平成27年9月9日(2015.9.9)

(24) 登録日 平成27年7月17日(2015.7.17)

(51) Int. Cl.	F I
C 3 O B 29/36 (2006.01)	C 3 O B 29/36 A
H O 1 L 29/861 (2006.01)	H O 1 L 29/91 F
H O 1 L 29/868 (2006.01)	

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2011-164573 (P2011-164573)	(73) 特許権者	000006633
(22) 出願日	平成23年7月27日 (2011.7.27)		京セラ株式会社
(65) 公開番号	特開2013-28475 (P2013-28475A)		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
(43) 公開日	平成25年2月7日 (2013.2.7)	(72) 発明者	上山 大輔
審査請求日	平成26年3月17日 (2014.3.17)		京都府相楽郡精華町光台3丁目5番地3号
			京セラ株式会社中央研究所内
		(72) 発明者	堂本 千秋
			京都府相楽郡精華町光台3丁目5番地3号
			京セラ株式会社中央研究所内
		(72) 発明者	正木 克明
			京都府相楽郡精華町光台3丁目5番地3号
			京セラ株式会社中央研究所内
		審査官	村岡 一磨

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 単結晶基板およびそれを用いた半導体素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

炭化ケイ素の単結晶からなり、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムのうち少なくとも1つを微量添加物として含み、

前記微量添加物の濃度は、第1主面の近傍よりも該第1主面と反対側の第2主面の近傍の方が高い単結晶基板。

【請求項2】

前記微量添加物が、前記単結晶の炭素またはケイ素の一部の元素と置換されている請求項1に記載の単結晶基板。

【請求項3】

前記微量添加物は、第1主面から該第1主面と反対側の第2主面に向かうにつれて濃度が高くなっている請求項1または2に記載の単結晶基板。

【請求項4】

前記単結晶は、ドーパントを含むn型半導体である請求項1～3のいずれかに記載の単結晶基板。

【請求項5】

請求項4に記載の単結晶基板と、前記単結晶基板の前記第1主面上に設けられた、炭化ケイ素からなるp型半導体層と、前記単結晶基板に設けられた第1電極と、前記p型半導体層に設けられた第2電極とを有する半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、炭化ケイ素からなる半導体によって構成された単結晶基板およびそれを用いた半導体素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

炭素と、ケイ素の化合物である炭化ケイ素 (Silicon carbide; SiC) がある。炭化ケイ素は、バンドギャップがシリコンと比べて広く、絶縁破壊に至る電界強度が大きい (耐電圧特性がよい) こと、熱伝導性が高いこと、耐熱性が高いこと、耐薬品性に優れること、および耐放射線性に優れることなどの種々の利点から注目を集めている。この炭化ケイ素に注目している分野は、例えば、原子力を含む重電、自動車および航空を含む運輸、家電、ならびに宇宙などと幅広い。炭化ケイ素の単結晶は、例えば特許文献1に記載されるような製造方法で製造されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2000 - 264790号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

20

このような炭化ケイ素からなる単結晶の研究・開発において、耐電圧特性をさらに向上させることが課題の一つとなっている。本発明は、このような事情を鑑みて案出されたものであり、耐電圧特性を向上させることが可能な炭化ケイ素の単結晶からなる単結晶基板を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の単結晶基板は、炭化ケイ素の単結晶からなり、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムのうち少なくとも1つを微量添加物として含み、前記微量添加物の濃度は、第1主面の近傍よりも該第1主面と反対側の第2主面の近傍の方が高い。

30

【0006】

また、本発明の半導体素子は、上記の単結晶基板と、前記単結晶基板の前記第1主面上に設けられた、炭化ケイ素からなるp型半導体層と、前記単結晶基板に設けられた第1電極と、前記p型半導体層に設けられた第2電極とを有する。

【発明の効果】

【0007】

本発明の単結晶基板によれば、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムのうち少なくとも1つを微量添加物として含む炭化ケイ素であることから、耐電圧特性を向上させることができる。

【0008】

40

また、本発明の半導体素子によれば、上記の単結晶基板上に、p型半導体層、単結晶基板に第1電極、およびp型半導体層に第2電極をそれぞれ設けることから、耐電圧特性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明に係る単結晶基板の実施形態の一例を示す斜視図である。

【図2】格子定数とバンドギャップとの関係を模式的に示す図である。

【図3】図1の単結晶基板の実施形態の変形例を示す図であり、微量添加物の濃度分布を示している。

【図4】本発明に係る半導体素子の実施形態の一例を示す図であり、(a)は概略構成を

50

示す斜視図に相当し、(b)は(a)のA-A'線で切断したときの断面図に相当する。

【図5】図1に示す単結晶基板のインゴットを製造する、単結晶育成装置である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

<単結晶基板および半導体素子>

(単結晶基板)

本発明に係る単結晶基板の実施形態の一例について、適宜、図面を参照しつつ説明する。単結晶基板1は、炭化ケイ素の単結晶により構成されている。

【0011】

単結晶基板1は、厚みが、例えば0.5 μm 以上50mm以下となるように設定されている。ここで単結晶基板1の厚みhは、第1主面1Aから、第1主面1Aと反対側の第2主面1Bまでの距離を指す。なお、単結晶基板1は、直径が、例えば1インチ以上10インチ以下となるように設定されている。

10

【0012】

単結晶基板1は、平面視形状が、例えば、四角形状若しくは六角形状などの多角形状、または円形状などとなるように設定することができる。後述する通り、本実施形態の単結晶基板1は、溶液法により製造されたインゴットを切りだすことによって製造したり、インゴットを単結晶基板1として用いたりすればよい。

【0013】

単結晶基板1は、例えば3C、4H、6H、2H、または15Rなどの結晶面を有している。本実施形態では、単結晶基板1は、厚み方向が、主に4Hの結晶面となるように構成されている。また、単結晶基板1内には、厚み方向に延びる転位またはマイクロパイプなどを有していることがある。

20

【0014】

本実施形態に係る単結晶基板1の炭化ケイ素の単結晶内には、炭素よりも原子半径の大きな材料が微量添加されている。このような微量添加物としては、例えば、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどがある。微量添加物の濃度は、キャリアの移動度に影響を与えない程度に設定すればよく、例えば $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下となるように設定することができる。

【0015】

このように本実施形態の単結晶基板1には、炭素よりも原子半径の大きな、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムのうち少なくとも1つの微量添加物が含まれていることによって、単結晶基板1を構成する炭化ケイ素の単結晶の格子定数が小さくなっている。微量添加物は、炭化ケイ素の単結晶を構成する結晶格子の間に入っている場合と、結晶格子を構成する炭素およびケイ素のいずれかと置き換わっている場合とがある。

30

【0016】

このように微量添加物が炭化ケイ素の単結晶内に含まれていることによって、当該微量添加物が、周囲に存在する結晶格子を歪ませることとなる。そのため、歪んだ結晶格子は、結晶格子同士の間隔が近くなり、格子定数が小さくなる。その結果、単結晶基板1全体の格子定数を、炭化ケイ素のものよりも小さくすることができる。

40

【0017】

ここで、炭化ケイ素からなる単結晶の格子定数とバンドギャップの関係について、図2に示す。図2において、2点鎖線は微量添加物を添加していない状態の格子定数およびバンドギャップ、および点線は微量添加物を添加した状態の格子定数およびバンドギャップをそれぞれ模式的に示している。

【0018】

ここで、炭化ケイ素のバンドギャップは、その結晶構造によって、例えば2.2eV以上3.3eV以下となるように設定される。炭化ケイ素が4Hの結晶面によって構成されている場合には、例えば、a軸方向の格子定数が0.307nm、バンドギャップが3.26eVとなる

50

【0019】

本実施形態の単結晶基板1は、炭化ケイ素の単結晶に微量添加物を含んでいることによって、その周辺に位置する結晶格子の格子間隔が短くなり、格子定数が局所的に小さくなっている。局所的な格子定数の変化は、4Hの結晶においてシリコンと炭素との結晶格子の格子間隔が0.307nmであることから、例えば0.307nmよりも小さくなるように設定される。

【0020】

単結晶基板1は、局所的に格子定数が小さくなった変化領域、および格子定数がほとんど変化していない通常領域を有することとなる。その結果、単結晶基板1は、変化領域と通常領域を平均化した格子定数を有することとなる。そのため、微量添加物を含む単結晶基板1は、微量添加物を含まない炭化ケイ素の格子定数よりも、格子定数が小さくなっている。具体的に、単結晶基板1の格子定数は、例えば0.01nm程度小さくなる。

10

【0021】

そのため、図2に示すように、単結晶基板1は、バンドギャップが、微量添加物を含まない炭化ケイ素の単結晶よりも広がっている。単結晶基板1の格子定数が、例えば0.0125nm小さくなった場合、バンドギャップは0.14eV程度広がる。

【0022】

このようにバンドギャップを広くすることができることから、単結晶基板1の耐電圧特性を高くすることができる。ここで、単結晶基板1の電気特性とバンドギャップの関係を示す値として、バリガー指数(Baliga index)がある。このバリガー指数を用いることによって、バンドギャップの変化から単結晶基板1の耐電圧特性の向上を確認することができる。なお、バリガー指数は、バンドギャップの変化の三乗に比例する値である。

20

【0023】

(単結晶基板の変形例1)

微量添加物が、単結晶基板1を構成する単結晶の炭素またはケイ素の一部の元素と置換されていてもよい。微量添加物が単結晶基板1を構成する炭素またはケイ素の一部の元素と置換されていることによって、微量添加物を強固に固定することができる。このように微量添加物が固定されていることから、例えば500度以上の加熱などの高い熱負荷が単結晶基板1にかかった際にも、微量添加物を結晶格子内で移動しにくくすることができ、単結晶基板1の耐電圧特性の変動を抑制することができる。

30

【0024】

(単結晶基板の変形例2)

微量添加物は、図3に示すように、第1主面1Aから当該第1主面1Aと反対側の第2主面1Bに向かうにつれて濃度が高くなっていてもよい。図3は、単結晶基板1を第1主面1Aの表面から厚み方向(第2主面1Bに向かう方向)の微量添加物の濃度分布を示す図である。第1主面1A付近の微量添加物の濃度と第2主面1A付近の微量添加物の濃度とは、例えば10倍以下の濃度差があるように設定することができる。

【0025】

単結晶基板1は、このような濃度分布を有していることから、第1主面1Aよりも第2主面1B付近に含まれている微量添加物の濃度が高くなっている。そのため、単結晶基板1の第1主面1Aに、単結晶基板1を構成する炭素およびケイ素からなる半導体層をエピタキシャル成長させる場合、第2主面1Bよりも微量添加物の濃度が低くなっていることから、格子定数のずれを抑制することができる。その結果、単結晶基板1の耐電圧特性を向上させるとともに、第1主面1Aに炭化ケイ素からなる半導体層を良好に成長させることができる。

40

【0026】

(単結晶基板の変形例3)

単結晶基板1は、単結晶内にドーパントを含むn型半導体であってもよい。単結晶内に含まれるドーパントとしては、例えば窒素等を用いることができる。このようなドーパント

50

濃度は、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下となるように設定することができる。

【0027】

後述する通り、本実施形態の炭化ケイ素からなる単結晶基板 1 は、溶液成長法によってイットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムのうち少なくとも 1 つの酸化物からなる坩堝を用いて製造してもよい。この場合、単結晶内には p 型のドーパントとして機能するアルミニウムが従来よりも少なくなっている。その結果、通常よりも少ないドーパント濃度で高品質の n 型半導体の性質を呈する炭化ケイ素からなる単結晶基板 1 を提供することができる。

【0028】

(半導体素子)

次に、図 4 を参照しつつ、半導体素子 2 の実施形態について説明する。本実施形態に係る半導体素子 2 は、主に、単結晶基板 1、単結晶基板 1 上に設けられた p 型半導体層 3、単結晶基板 1 に設けられた第 1 電極 4、および p 型半導体層 3 に設けられた第 2 電極 5 から構成されている。

【0029】

p 型半導体層 3 は、単結晶基板 1 の第 1 主面 1 A に設けられている。なお、単結晶基板 1 は、単結晶内にドーパントを含むことにより、n 型半導体となっている。p 型半導体層 3 は、厚みが、例えば 100 nm 以上 50 μm 以下となるように設定されている。p 型半導体層 3 は、炭化ケイ素の単結晶から構成されており、例えばホウ素、アルミニウムまたはバナジウム等のドーパントが添加されている。ドーパントは、濃度が、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上となるように設定されている。

【0030】

半導体素子 2 は、n 型半導体の性質を呈する単結晶基板 1 上に、p 型半導体層 3 が設けられていることによって、両者が p n 接合されている。このような半導体素子 2 は、例えば高耐压用のダイオードなどのパワーデバイスに用いることができる。本実施形態の半導体素子 2 は、従来よりも少ないドーパント濃度で n 型半導体の性質を呈する単結晶基板 1 を作製することができることから、p 型半導体層 3 との間で良好な p n 接合を有することとなる。その結果、良好なダイオード特性を得ることが可能な半導体素子 2 を提供することができる。

【0031】

本実施形態では、単結晶基板 1 上に p 型半導体層 3 を形成した半導体素子 2 について説明したが、p 型半導体層 3 に換えて n⁻型半導体層を形成してもよい。このように n⁻型半導体層を形成した半導体素子 2 は、ショットキーバリアダイオードとして用いることができる。このような半導体素子 2 は、単結晶基板 1 に、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度のドーパントを添加したものをを用いることができる。n⁻型半導体層は、例えば 1×10^{16} 程度の濃度のドーパントを添加したものをを用いることができる。

【0032】

この場合、単結晶基板 1 に含まれる n 型のドーパント濃度が従来よりも小さくなっていることから、n⁻型半導体層を単結晶基板 1 上に結晶性よく成長させることができる。

【0033】

また、単結晶基板 1 に直接、第 1 電極 4 および第 2 電極 5 を形成して、ショットキーバリアダイオードとして用いてもよい。その場合、第 1 電極 4 および第 2 電極 5 は、単結晶基板 1 に対してオーミック接触となる材料およびショットキー接触となる材料を用いればよい。炭化ケイ素からなる単結晶基板 1 と接触すると、オーミック接触となる材料としては、例えばニッケルなどがある。炭化ケイ素からなる単結晶基板 1 と接触すると、ショットキー接触となる材料としては、例えばチタンなどがある。

【0034】

< 単結晶基板および半導体素子の製造方法 >

(単結晶基板の製造方法)

10

20

30

40

50

単結晶基板 1 の製造方法の一例について、図 5 を参照しつつ説明する。単結晶基板 1 を構成する炭化ケイ素からなる単結晶は次のように溶液成長法によって製造することができる。

【 0 0 3 5 】

炭化ケイ素からなる単結晶は、単結晶育成装置 6 によって製造することができる。単結晶育成装置 6 は、坩堝 7、坩堝容器 8、加熱機構 9、搬送機構 10、および制御部 11 を有して構成されている。この単結晶育成装置 6 では、溶液成長法を用いて単結晶の育成を行う。

【 0 0 3 6 】

坩堝 7 は、育成する単結晶（炭素またはケイ素）の原料を内部で融解させる器としての機能を担っている。本実施形態では、この坩堝 7 の中で、単結晶の原料を融解させて、原料融液 12 として貯留する。また、溶液成長法を採用する本実施形態では、この坩堝 7 の内部で熱的平衡状態を作り出して、単結晶の育成を行う。

【 0 0 3 7 】

坩堝 7 は、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化マグネシウムおよび酸化カルシウムなどの酸化物によって構成されている。坩堝 7 は、このような酸化物のうち一つから形成されていてもよいし、複数の酸化物を混ぜて形成されていてもよい。また、炭素からなる坩堝の表面に、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化マグネシウムおよび酸化カルシウムなど少なくとも一つの酸化物をコーティングしたものを坩堝 7 として用いてもよい。なお、酸化物をコーティングする坩堝の表面は、少なくとも原料融液 12 と接する表面を含むものである。

【 0 0 3 8 】

坩堝 7 は、坩堝容器 8 の内部に配置されている。坩堝容器 8 は、坩堝 7 を保持する機能を担っている。この坩堝容器 8 と坩堝 7 との間には、加熱部材 13 および保温材 14 が配置されている。この保温材 14 は、坩堝 7 の周囲を囲んでいる。保温材 14 は、坩堝 7 からの放熱を抑制し、坩堝 7 の温度を安定して保つことに寄与している。

【 0 0 3 9 】

坩堝 7 は、加熱機構 9 で加熱した加熱部材 13 によって、熱が加えられる。つまり、加熱機構 9 は、坩堝 7 を間接的に加熱する機能を担っている。本実施形態の加熱機構 9 は、電磁波によって加熱部材 13 を加熱する電磁加熱方式を採用しており、コイル 15 および交流電源 16 を含んで構成されている。コイル 15 は、導体によって形成され、坩堝 7 の周囲を囲むように巻き回されている。交流電源 16 は、コイル 15 に交流電流を流すためのものであり、交流電流の周波数が高いものを用いることによって、坩堝 7 内の設定温度までの加熱時間を短縮することができる。

【 0 0 4 0 】

加熱部材 13 は、例えば、銅、白金、金、ニッケル、亜鉛などの金属材料などを用いることができる。加熱部材 13 を用いることによって、坩堝 7 が上述の酸化物で構成されている場合であっても、電磁波で加熱部材 13 を加熱して、坩堝 7 を良好に加熱することができる。

【 0 0 4 1 】

本実施形態では、坩堝 7 を、次のようにして間接的に加熱している。まず、交流電源 16 を用いてコイル 15 に電流を流して、加熱部材 13 を含む空間に電磁場を発生させる。次に、この電磁場によって、金属材料からなる加熱部材 13 に誘導電流が流れる。加熱部材 13 に流れた誘導電流は、電気抵抗によるジュール発熱、およびヒステリシス損失による発熱などの種々の損失によって、熱エネルギーに変換される。つまり、加熱部材 13 は、誘導電流の熱損失によって加熱される。

【 0 0 4 2 】

本実施形態では、加熱機構 9 として電磁加熱方式を採用しているが、他の方式を用いて坩堝 7 を加熱してもよい。加熱機構 9 および加熱部材 13 に代えて、例えば、カーボンなどの発熱抵抗体で生じた熱を伝熱する方式などの他の方式を採用することができる。この伝

10

20

30

40

50

熱方式の加熱機構を採用する場合は、加温部材13に代えて（坩堝7と保温材14との間に）発熱抵抗体が配置される。

【0043】

坩堝7の原料融液12には、搬送機構10によって単結晶の種結晶17が供給される。つまり、搬送機構10は、原料融液12の中に種結晶を搬入する機能を担っている。この搬送機構10は、原料融液12の中から育成した単結晶を搬出する機能も担っている。

【0044】

搬送機構10は、引き上げ軸10a、および動力源10bを含んで構成されている。この引き上げ軸10aによって、種結晶17および育成した単結晶の搬入出が行われる。種結晶17は、引き上げ軸10aの先端に取り付けられており、この引き上げ軸10aは、動力源10bによって上下方向D1、D2に移動が制御される。本実施形態では、D1方向が物理空間上の下方向を意味し、D2方向が物理空間上の上方向を意味する。

10

【0045】

単結晶育成装置6では、加熱機構9の交流電源16と、搬送機構10の動力源10bとが制御部11に接続されて制御されている。つまり、この単結晶育成装置6は、制御部11によって、原料融液12の加熱および温度制御と、種結晶17および種結晶の搬入出とが連動して制御されている。制御部11は、中央演算処理装置、およびメモリなどの記憶装置を含んで構成されており、例えば公知のコンピュータからなる。

【0046】

原料融液12は、育成する単結晶を構成する元素が溶媒として溶解している。原料融液12には、この溶媒中に育成する単結晶を構成する元素が溶質として溶解している。この溶質となる元素の溶解度は、溶媒となる元素の温度が高くなるほど大きくなる。このため、高温下の溶媒に多くの溶質を溶解させた原料融液12が冷えると、熱的な平衡を境に溶質が析出する。この熱的平衡による析出を利用して、本実施形態が採用している溶液成長法では、単結晶の育成を行っている。

20

【0047】

本実施形態の加熱機構9は、種結晶17が供給されるD1方向側において析出を好適に生じさせるため、種結晶17の周囲となるD2方向側の温度がD1方向側の温度に比べて低くように加熱している。具体的には、コイル15の巻数がD1方向側に比べてD2方向側で少なくなっている。コイル15の構成をこのようにすることによって、D1方向側で生じる誘導電流を多くして、D1方向側を相対的に高温にすることができる。

30

【0048】

このような単結晶育成装置6によって、炭化ケイ素からなる単結晶のインゴット（塊）が製造される。単結晶のインゴット（塊）は、例えば、引き上げた方向と垂直な方向に切断されることによって、単結晶基板1を作製することができる。インゴットを切断する方法としては、例えば、ワイヤーソー、ダイシングソーまたはブレード刃などを用いて物理的に切断する方法などがある。

【0049】

本実施形態では、坩堝7が、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化マグネシウムおよび酸化カルシウムなどの酸化物によって構成されている。このような酸化物からなる坩堝7は、不純物として、p型の導電性が付与される材料が含まれにくくなっている。そのため、単結晶内に含まれるp型の導電性が付与される材料の濃度が、従来の炭化の坩堝を用いて成長させた単結晶と比較して低くなっている。その結果、p型の導電性が付与される材料の濃度が低い、真性またはn型の炭化ケイ素からなる単結晶を製造することができる。すなわち、炭化ケイ素からなる単結晶内に、p型のドーパントであるアルミニウムが含まれにくくなっている。

40

【0050】

また、このようにp型の導電性が付与される材料が含まれにくい酸化物を坩堝7として用いることから、炭化ケイ素の単結晶を厚みが厚くなるように長時間にわたって成長を行なった場合でも、原料融液に含まれるp型の導電性が付与される材料の濃度を小さくする

50

ことができる。そのため、単結晶の厚膜化を容易に行なうことができ、生産性を向上させることができる。

【0051】

従来の溶液成長法では、炭化ケイ素からなる単結晶を製造する際に、炭素を坩堝として用いていた。炭素からなる坩堝には不純物としてアルミニウムが含まれていたため、成長させた炭化ケイ素の単結晶には、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上の濃度のアルミニウムが含まれてしまう。そのため、アルミニウムが炭化ケイ素に対してp型のドーパントとして機能し、真性またはn型の炭化ケイ素単結晶を製造することが困難であった。特に、単結晶の厚みが厚い場合、従来の単結晶の製造では、長時間の坩堝の加熱によって原料融液に含まれるアルミニウムの濃度が増えるため、単結晶の厚膜化を行なうことが難しく、生産性が低かった。

10

【0052】

一方、本実施形態では、坩堝7を構成する酸化物の構成元素であるイットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムの一部が溶けだし、原料融液12内に混入しやすくなっている。その結果、成長させた単結晶内に、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの坩堝7を構成する元素が含まれる。そのため、このような元素が単結晶基板1に含まれていた場合には、当該単結晶基板1の耐電圧特性を向上させることができる。

【0053】

イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの元素を、原料融液12に加えて、結晶成長を行なってもよい。このように原料融液12に、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの元素を加えながら結晶成長させることによって、より確実に単結晶基板1の耐電圧特性を向上させることができる。また、これらの元素の濃度を調節しながら、容易に単結晶基板1内に含まれるイットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの元素の濃度を調整することができる。

20

【0054】

(単結晶基板の製造方法の変形例)

コイル15に流す交流電流の周波数の大きさまたは交流電流の電流密度を調節することによって、単結晶基板内に含まれるイットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの元素の濃度を調節してもよい。具体的には、コイル15に流す交流電流の周波数を、単結晶を引き上げるにつれて大きくすることによって、坩堝7から原料融液12内に溶けだす元素の量を増やし、単結晶内に含まれる坩堝7を構成する元素の濃度を高くしてもよい。

30

【0055】

または、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの元素を、原料融液12に投入して、成長させる単結晶内に含まれる当該元素の濃度を調整してもよい。具体的には、単結晶を引き上げるにつれて、原料融液12に投入する元素(投入元素という)の投入量を増やすことによって、原料融液12内の含まれる投入元素の濃度を高くし、単結晶内に含まれる投入元素の濃度を高くしてもよい。

【0056】

このようにして、イットリウム、ジルコニウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの元素の濃度を、第1主面1Aから第1主面1Aと反対側の第2主面1Bに向かうにつれて高くなった単結晶基板1を製造することができる。

40

【0057】

(半導体素子の製造方法)

次に、半導体素子2の製造方法の一実施形態について以下説明をする。半導体素子2は、図4に示す通り、単結晶基板1、p型半導体層3、第1電極4、および第2電極5から主に構成されている。

【0058】

p型半導体層3は、単結晶基板1の第1主面1A上に、結晶成長させることにより設け

50

られる。p型半導体層3を成長させる方法としては、例えば分子線エピタキシー法、ハイドライド気相成長法またはパルス・レーザ・デポジション法などを用いることができる。なお、導電性を半導体に付与する際には、光半導体層3を結晶成長させながら添加物を混ぜればよい。

【0059】

次に、第1電極4および第2電極5をそれぞれ形成する。第1電極4および第2電極5を形成する方法としては、例えば金属を用いる場合は、スパッタリング法または蒸着法などを用いることができる。なお、第1電極4および第2電極5となる金属を積層した後、アニールを行なうことによってそれぞれオーミック接触させてもよい。このようにして、半導体素子2を製造することができる。

10

【0060】

従来の半導体素子は、上述した通り、単結晶内にアルミニウムが含まれてしまい、ドーパントの添加量を抑制してn型の導電性が付与された単結晶基板を製造することが困難だったこと。そのため、例えば、多量のドーパントが添加されたn型の単結晶基板上に、p型半導体層を結晶成長させた場合、両者の格子定数がずれてしまい、結晶性の良いp型半導体層を形成できず、ダイオード特性を向上させることが難しかった。

【0061】

本実施形態の半導体素子2は、炭化ケイ素の単結晶内のアルミニウムが、例えば $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ よりも低くなるように設定された、n型の単結晶基板1上にp型半導体層3を結晶成長させる。そのため、p型半導体層3の結晶性を向上させることができるとともに、単結晶基板1とp型半導体層3との格子定数が近いことから、両者の界面付近に良好なpn接合面を形成することができる。その結果、従来よりもダイオード特性を向上させることが可能な半導体素子を提供することができる。

20

【0062】

本発明は上記実施形態に限定されるものでなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良および変更を行ってもよいのはもちろんである。

【符号の説明】

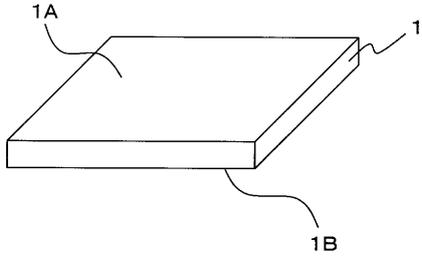
【0063】

- 1 単結晶基板
- 1 A 第1主面
- 1 B 第2主面
- 2 半導体素子
- 3 p型半導体層
- 4 第1電極
- 5 第2電極
- 6 単結晶育成装置
- 7 坩堝
- 8 坩堝容器
- 9 加熱機構
- 10 搬送機構
- 10 a 引き上げ軸
- 10 b 動力源
- 11 制御部
- 12 原料融液
- 13 加温部材
- 14 保温材
- 15 コイル
- 16 交流電源
- 17 種結晶

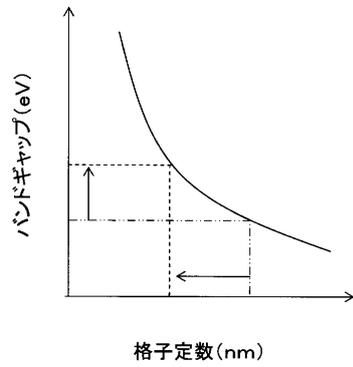
30

40

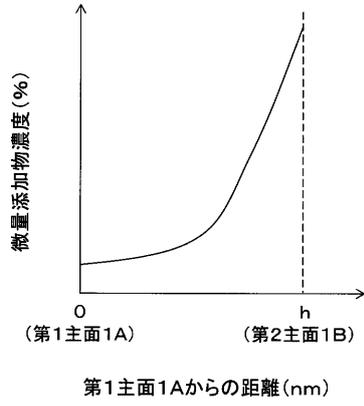
【図1】



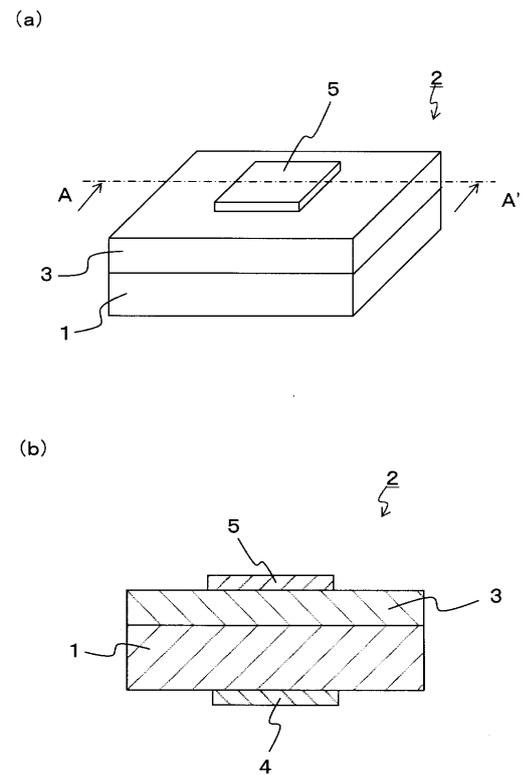
【図2】



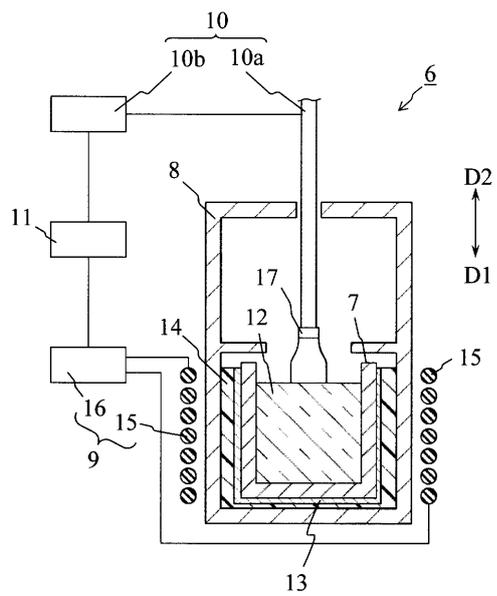
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-168649(JP,A)
特開2006-237319(JP,A)
特開2005-154190(JP,A)
国際公開第2005/053003(WO,A2)
特開2004-323293(JP,A)
特開平06-001698(JP,A)
特開2000-264790(JP,A)
国際公開第03/078702(WO,A1)
特開2010-189235(JP,A)
特開2008-074663(JP,A)
特開2006-290635(JP,A)
特開2003-104798(JP,A)
特開2002-057109(JP,A)
特開平05-070295(JP,A)
特開平05-007016(JP,A)
特開2008-254945(JP,A)
Ledoux, Marc J., et al., "High surface area silicon carbide doped with zirconium for use as heterogeneous catalyst support", Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 1997年, Vol. 454, pp. 35-40

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C30B 1/00-35/00
H01L 29/861
H01L 29/868