

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 2 月 6 日(06.02.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/021365 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/205 (2006.01) *C30B 25/20* (2006.01)
C23C 16/42 (2006.01) *C30B 29/36* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/070708
- (22) 国際出願日: 2013 年 7 月 31 日(31.07.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-170580 2012 年 7 月 31 日(31.07.2012) JP
- (71) 出願人: 独立行政法人産業技術総合研究所(NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関 1 丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP). 一般財団法人電力中央研究所(CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY) [JP/JP]; 〒1008126 東京都千代田区大手町一丁目 6 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 児島 一聡(KOJIMA Kazutoshi); 〒3058568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 紀 世陽(JI Shiyang); 〒3058568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 宮澤 哲

哉(MIYAZAWA Tetsuya); 〒2400196 神奈川県横須賀市長坂二丁目 6 番 1 号 一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所内 Kanagawa (JP). 土田 秀一(TSUCHIDA Hidekazu); 〒2400196 神奈川県横須賀市長坂二丁目 6 番 1 号 一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所内 Kanagawa (JP). 中山 浩二(NAKAYAMA Koji); 〒6610974 兵庫県尼崎市若王寺 3 丁目 1 1 番 2 0 号 関西電力株式会社 研究開発室 電力技術研究所内 Hyogo (JP). 逸見 哲郎(HEMMI Tetsuro); 〒6610974 兵庫県尼崎市若王寺 3 丁目 1 1 番 2 0 号 関西電力株式会社 研究開発室 電力技術研究所内 Hyogo (JP). 浅野 勝則(ASANO Katsunori); 〒6610974 兵庫県尼崎市若王寺 3 丁目 1 1 番 2 0 号 関西電力株式会社 研究開発室 電力技術研究所内 Hyogo (JP).

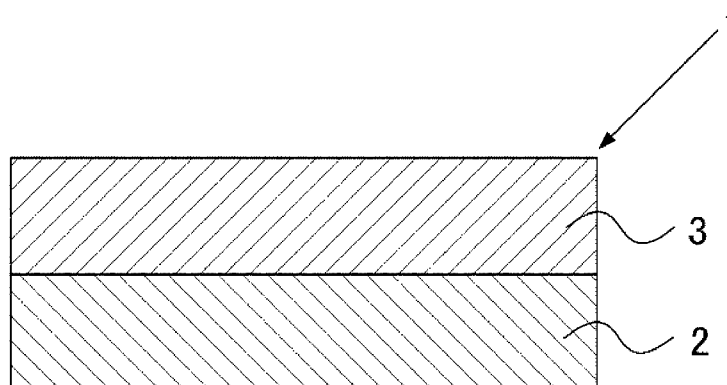
(74) 代理人: 塩田 伸(SHIODA Shin); 〒3050032 茨城県つくば市竹園 2 丁目 1 0-1 4 和宏ビル 2 0 1 号 ホームタウン特許事務所 Ibaraki (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR STRUCTURE, SEMICONDUCTOR DEVICE, AND METHOD FOR PRODUCING SEMICONDUCTOR STRUCTURE

(54) 発明の名称: 半導体構造物、半導体装置及び該半導体構造物の製造方法



(57) Abstract: [Problem] To provide a semiconductor structure, a semiconductor device, and method for producing the semiconductor structure with which mechanical strength is excellent and it is possible to reduce resistance during conduction of electricity. [Solution] The semiconductor structure of the present invention is at least characterized in having an α -type crystal structure, containing aluminum at an impurity concentration of $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ or higher, and having a p-type silicon carbide single crystal layer having a thickness of $50 \mu\text{m}$ or higher. Moreover, the method for producing a semiconductor structure of the present invention is at least characterized in comprising an epitaxial growth step for the introduction of a silicon carbide source and an aluminum source and promoting epitaxial growth of a p-type silicon carbide single crystal layer on top of the bottom layer of silicon carbide single crystals having an α -type crystal structure, wherein the epitaxial growth step is performed under temperature conditions of $1,500$ to $1,700^\circ\text{C}$ and under pressure conditions of 5×10^3 to $25 \times 10^3 \text{ Pa}$.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/021365 A1



MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

パ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

【課題】機械的強度に優れ、かつ、導電時の抵抗を低減可能な半導体構造物、半導体装置及び該半導体構造物の製造方法を提供すること。【解決手段】本発明の半導体構造物は、少なくとも、 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上である p 型炭化珪素単結晶層を有することを特徴とする。また、本発明の半導体構造物の製造方法は、少なくとも、炭化珪素源及びアルミニウム源を導入して p 型炭化珪素単結晶層を α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶の下地層上にエピタキシャル成長させるエピタキシャル成長工程を有し、前記エピタキシャル成長工程が、 $1,500^\circ\text{C}$ 以上 $1,700^\circ\text{C}$ 以下の温度条件及び $5 \times 10^3 \text{ Pa}$ 以上 $25 \times 10^3 \text{ Pa}$ 以下の圧力条件で実施されることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

半導体構造物、半導体装置及び該半導体構造物の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、不純物物質としてのアルミニウムを高濃度で含む p 型炭化珪素単結晶層を有する半導体構造物、半導体装置及び該半導体構造物の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 電気エネルギーの利用において、生成から利用までの間に多段階の電力変換（交流・直流変換、電圧や周波数変換）が行われており、多数の半導体パワーデバイスが用いられている。これら半導体パワーデバイスを低損失化、高性能化することは電力利用の大幅節減につながる。特に、太陽光発電、風力発電、コジェネレーション等が接続された将来の電気エネルギーネットワーク（スマートグリッド）においては、電力の安定供給を実現するために超高電圧・高効率電力変換器が必須となる。この変換器において、超高耐圧（13 kV 超）かつ低損失の半導体パワーデバイスがカギとなるが、Si 等の既存の半導体では実現不可能である。

一方、SiC は、Si に比べて絶縁破壊電界強度が約 10 倍、禁制帯幅と熱伝導率が約 3 倍という優れた物性を持ち、しかも広範囲の伝導性制御（n 型、p 型とも）が容易な間接遷移型半導体であるので、Si では到達できない超高耐圧の半導体パワーデバイスの実現を可能とする。

[0003] 超高耐圧の半導体パワーデバイスとしては、その特性を発揮するために不純物濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ で、厚みが $100 \mu\text{m}$ を超えるドリフト層を有することになるが、このドリフト層の抵抗が無視できなくなる。特に、ショットキーダイオードや MOSFET といったユニポーラ動作のデバイスではドリフト層の抵抗の影響が顕著になる。これを回避するために、伝導度変調を利用できるバイポーラ動作デバイス、例えば P i N

ダイオード、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が利用される。

[0004] n型ドリフト層を用いるn-ch IGBTは、p型ドリフト層を用いるp-ch IGBTに比べて、MOSFETのチャンネル抵抗が低いこと、n型ドリフト層の少数キャリアライフタイムが長いことからp-ch IGBTに比べてオン抵抗をより低減することが可能である。

n-ch IGBTを作製するためには、一般的にはp型炭化珪素単結晶基板上にn型ドリフト層を100 μ m以上エピタキシャル成長させ、そのドリフト層表面にMOSFETを形成させる必要がある。この時、n型ドリフト層としては、極めて高品質な結晶であることが求められる。特に、バイポーラ動作をする炭化珪素デバイスでは、ドリフト層中に基底面転位が存在すると、導通時に基底面転位が拡張し、積層欠陥を発生させ、この積層欠陥が導通時の抵抗となりオン抵抗が増加することが分かっている。

ドリフト層は、エピタキシャル成長により作製されるが、ドリフト層に存在する基底面転位は、基本的に下地となる炭化珪素単結晶基板から伝搬したものである。そのため、炭化珪素単結晶基板が低転位密度であることが求められる。

炭化珪素単結晶基板は、昇華法により作製されるが、n型の炭化珪素単結晶基板の高品質化が非常に進んでおり、転位密度数100 cm^{-3} 、基底面転位密度ゼロといった結晶も得られている。

一方、p型の炭化珪素単結晶基板は、高品質化が進んでおらず、n型同様の高品質炭化珪素単結晶基板を得ることはできていない。加えて、p型炭化珪素単結晶基板は、高不純物濃度化が難しく、n型炭化珪素単結晶基板の場合、比抵抗20 $\text{m}\Omega\text{cm}$ 以下のものを製作可能なのに比べ、p型炭化珪素単結晶基板の場合、比抵抗は、数 Ωcm 程度とn型に比べて一桁から二桁高抵抗である。そのため、p型炭化珪素単結晶基板を用いるn-ch IGBTでは、単結晶基板の抵抗が無視できなくなる。

[0005] このような課題に対して、高品質なn型基板を用いて、そのn型基板上に

n型ドリフト層を100～180 μm 程度エピタキシャル成長させ、更にp型層を数 μm の厚みでエピタキシャル成長させ、その後、n型基板を除去し、その基板を除去した面にMOSFETを形成し、IGBT構造とする方法が提案されている（非特許文献1、2参照）。

しかしながら、この方法では、実際に素子作製プロセスを実施する際のウエハ厚みは、ドリフト層の厚みとなることから、ドリフト層の厚みだけでウエハとしての機械的強度を維持することが困難で、6インチ等の大口径ウエハを用いて素子作製プロセスを実施する際にウエハが破損してしまう問題がある。特に10kV前後のIGBTの場合、必要とされるドリフト層の厚みは、100 μm 前後となり、ドリフト層の厚みだけでは機械的強度を維持することができない。

このウエハの破損を回避するためには、最後に成長させるp型層を厚く成長させ、機械的強度を維持する必要がある。しかしながら、エピタキシャル成長によりp型単結晶薄膜を厚く、且つ不純物を高濃度にドーピングすることは困難で、これまでの事例では、膜厚80 μm ～100 μm で、Alの不純物濃度が $5.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度のものしか報告されていない（非特許文献3参照）。

この程度のAlの不純物濃度では、その比抵抗が数100 $\text{m}\Omega \text{ cm}$ 程度と大きくなり、導通時の抵抗増加要因となってしまう。これは、炭化珪素単結晶中のAlの活性化率が数%から10%と低いことによる。一方、n型単結晶薄膜では、n型不純物となる窒素の活性化率がほぼ100%であるため、不純物濃度が $5.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度の場合でも、20 $\text{m}\Omega \text{ cm}$ 程度と低抵抗になる。

ここで、非特許文献3に開示されている方法では、ウエハの機械的強度を付与するため、エピタキシャル成長時の成長温度を2,000℃とし、p型炭化珪素単結晶基板を製造する温度に近い、非常に高い成長温度条件を採用している。このような高温の成長温度とすれば、200 $\mu\text{m}/\text{h}$ の高速成長でエピタキシャル成長層を成長させることができると同時に厚膜化による機

械的強度を得ることができる。

しかしながら、AlのSiC中への取り込みにおける成長温度の影響については、成長温度に反比例することが分かっており（非特許文献4参照）、成長温度を高温条件にするにつれて、p型炭化珪素単結晶層としてのエピタキシャル成長層に導入されるAlの量が減少することから、非特許文献3の方法では、p型炭化珪素単結晶層におけるAlの不純物濃度を高濃度にするのが困難であるという問題がある。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1: M. K. Das, Q. J. Zhang, R. Callanan, C. Capell, J. Clayton, M. Donofrio, S. Haney, F. Husna, C. Jonas, J. Richmon and J. J. Sumakeris, Materials Science Forum 600-603, 1183 (2009)

非特許文献2: X. Wang and J. A. Cooper, IEEE Transactions on Electron Device 57, 511 (2010)

非特許文献3: M. A. Fanton, B. E. Weiland and J. M. Redwing, Journal of Crystal Growth 310, 4088 (2008)

非特許文献4: K. Kojima, S. Kuroda, H. Okumura and K. Arai, Microelectronic Engineering 83, 79 (2006)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は、従来における前記諸問題を解決し、以下の目的を達成することを課題とする。即ち、本発明は、機械的強度に優れ、かつ、導電時の抵抗を

低減可能な半導体構造物、半導体装置及び該半導体構造物の製造方法を提供することを目的とする。

[0008] 前記課題を解決するため本発明者らが鋭意検討を行った結果、エピタキシャル成長技術を用いてS i C中に高濃度にA lドーピングを行いながらエピタキシャル層の厚膜化を行うことにより、機械的強度に優れ、かつ、低抵抗なp型エピタキシャルウエハが作製できることの知見を得た。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、前記知見に基づくものであり、前記課題を解決するための手段としては、以下の通りである。即ち、

<1> 少なくとも、 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であるp型炭化珪素単結晶層を有することを特徴とする半導体構造物。

<2> p型炭化珪素単結晶層の比抵抗が $100 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 以下である前記<1>に記載の半導体構造物。

<3> p型炭化珪素単結晶層に含まれるアルミニウムの不純物濃度が、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上である前記<1>から<2>のいずれかに記載の半導体構造物。

<4> 更に、p型炭化珪素単結晶層と接合する、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であるn型炭化珪素単結晶層を有する前記<1>から<3>のいずれかに記載の半導体構造物。

<5> 総厚みが $250 \mu\text{m}$ 以上である前記<1>から<4>のいずれかに記載の半導体構造物。

<6> (0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板の上に直接又は間接形成され、前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含むp型炭化珪素単結晶層と、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であり、前記

p型炭化珪素単結晶層と接合して配されるn型炭化珪素単結晶層と、を有することを特徴とする半導体構造物。

<7> p型炭化珪素単結晶層の厚みが $0.5\mu\text{m}$ 以上である前記<6>に記載の半導体構造物。

<8> p型炭化珪素単結晶層の比抵抗が $100\text{m}\Omega\text{cm}$ 以下である前記<6>から<7>のいずれかに記載の半導体構造物。

<9> 総厚みが $250\mu\text{m}$ 以上である前記<6>から<8>のいずれかに記載の半導体構造物。

<10> 更に、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $10\mu\text{m}$ 以下である第1n型炭化珪素単結晶層と、前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $0.5\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下である第1p型炭化珪素単結晶層と、を有し、(0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた前記 α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板上に、前記第1n型炭化珪素単結晶層と、第2n型炭化珪素単結晶層としてn型炭化珪素単結晶層と、前記第1p型炭化珪素単結晶層と、第2p型炭化珪素単結晶層としてp型炭化珪素単結晶層とが、この順で形成される前記<6>から<9>いずれかに記載の半導体構造物。

<11> 更に、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $1\mu\text{m}$ 以下である第3n型炭化珪素単結晶層を有し、前記第3n型炭化珪素単結晶層が第2n型炭化珪素単結晶層と第1p型炭化珪素単結晶層との間に配される前記<10>に記載の半導体構造物。

<12> 厚みのばらつきを示すTTVの数値が、オフ基板が有するTTVの数値以下である前記<6>から<11>のいずれかに記載の半導体構造物。

<13> IGBT半導体装置として、前記<10>から<12>のい

れかに記載された半導体構造物の〔000-1〕C面上にMOS構造が形成されたことを特徴とする半導体装置。

<14> 前記<1>から<12>のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法であって、少なくとも、炭化珪素源及びアルミニウム源を導入してp型炭化珪素単結晶層を α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶の下地層上にエピタキシャル成長させるエピタキシャル成長工程を有し、前記エピタキシャル成長工程が、1,500℃以上1,700℃以下の温度条件及び 5×10^3 Pa以上 25×10^3 Pa以下の圧力条件で実施されることを特徴とする半導体構造物の製造方法。

<15> エピタキシャル成長工程におけるp型炭化珪素単結晶層のエピタキシャル成長速度が、 $15 \mu\text{m/h}$ 以上 $100 \mu\text{m/h}$ 以下である前記<14>に記載の半導体構造物の製造方法。

<16> 炭化珪素源としてシランガス及びプロパンガスを用い、前記炭化珪素源のキャリアガスとして水素ガスを用いる前記<14>から<15>のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

<17> p型炭化珪素単結晶層が、(0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板上に直接又は間接形成される前記<14>から<16>のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

<18> 更に、(0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板上に、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であるn型炭化珪素単結晶層を形成するn型炭化珪素単結晶層形成工程を有し、エピタキシャル成長工程が、前記n型炭化珪素単結晶層を下地層として、p型炭化珪素単結晶層をエピタキシャル成長させる工程である前記<14>から<17>のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

<19> 更に、(0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板上に、前記 α 型の結晶構

造を有し、窒素を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $10 \mu\text{m}$ 以下である第1 n型炭化珪素単結晶層を形成する第1 n型炭化珪素単結晶層形成工程と、前記第1 n型炭化珪素単結晶層上に、前記 α 型の結晶構造を有し、前記窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上である第2 n型炭化珪素単結晶層を形成する第2 n型炭化珪素単結晶層形成工程と、前記第2 n型炭化珪素単結晶層上に、前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下である第1 p型炭化珪素単結晶層を形成する第1 p型炭化珪素単結晶層形成工程と、を有し、エピタキシャル成長工程が、前記第1 p型炭化珪素単結晶層を下地層として、p型炭化珪素単結晶層をエピタキシャル成長させる工程である前記<14>から<18>のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

<20> 更に、第2 n型炭化珪素単結晶層上に、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $1 \mu\text{m}$ 以下である第3 n型炭化珪素単結晶層を形成する第3 n型炭化珪素単結晶層形成工程を有し、第1 p型炭化珪素単結晶層形成工程が、前記第3 n型炭化珪素単結晶層上に第1 p型炭化珪素単結晶層を形成する工程である前記<19>に記載の半導体構造物の製造方法。

<21> 更に、エピタキシャル成長工程後、第2 n型炭化珪素単結晶層と第1 n型炭化珪素単結晶層とを剥離させ、オフ基板及び前記第1 n型炭化珪素単結晶層を除去する除去工程を有する前記<19>から<20>のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、従来技術における前記諸問題を解決することができ、機械的強度に優れ、かつ、導電時の抵抗を低減可能な半導体構造物、半導体装置及び該半導体構造物の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、第1の実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す説明図である。

[図2]図2は、第2の実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す説明図である。

[図3]図3は、第3の実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す説明図である。

[図4]図4は、第4の実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す説明図である。

[図5]図5は、第5の実施形態に係る半導体装置の断面構造を示す説明図である。

[図6]図6は、p型炭化珪素単結晶層のA I 不純物の活性化率を示す図である。

[図7]図7は、p型炭化珪素単結晶層中に取り込まれたA I の濃度と、そのp型炭化珪素単結晶層の比抵抗との関係を示す図である。

[図8]図8は、p型炭化珪素単結晶層の断面SEM像である。

[図9(a)]図9(a)は、実施例2に係る半導体構造物を示す概略図である。

[図9(b)]図9(b)は、図9(a)に示す半導体構造物から基板を除去した構造を示す概略図である。

[図10]図10は、実施例3に係る半導体構造物のp型炭化珪素単結晶層の成長表面を撮影した顕微鏡写真を示す図である。

[図11]図11は、実施例4に係る半導体構造物のp型炭化珪素単結晶層の成長表面を撮影した顕微鏡写真を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] (半導体構造及び半導体装置)

本発明の半導体構造及び半導体装置の各実施形態を以下に説明する。

[0013] <第1実施形態>

本発明の半導体構造は、少なくとも、 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上で

ある p 型炭化珪素単結晶層を有する。

前記不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であると、アルミニウムの活性化率が高まり、導電時の抵抗を低減させることができる。その理由としては、高濃度にアルミニウムが添加されたことにより、添加されたアルミニウム同士の平均的な距離が近くなり、そのためクーロンポテンシャルが遮蔽されて、アルミニウムが価電子帯からホールを捕獲しなくなり、活性化率が高くなったものと考えられる。この効果は、前記不純物濃度に比例して得られるので、前記不純物濃度としては、 $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましく、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上であると、アルミニウムの活性化率が 100% になり、特に好ましい。

なお、前記不純物濃度としては、高いほど好ましいが、上限値としては、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。

[0014] 前記 p 型炭化珪素単結晶層の厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であると、半導体装置製造プロセスに必要な機械的強度として十分な機械的強度を得ることができる。また、このような観点から前記厚みとしては、 $100 \mu\text{m}$ 以上がより好ましい。

なお、前記 p 型炭化珪素単結晶層の厚みの上限値としては、必要以上の機械的強度を付与することにより製造効率が低下することを回避する観点から、 $300 \mu\text{m}$ 程度である。

[0015] また、前記 p 型炭化珪素単結晶層の比抵抗としては、低いほど好ましく、例えば、 $100 \text{ m}\Omega\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $20 \text{ m}\Omega\text{m}$ 以下がより好ましい。この時のアルミニウムの活性化率としては、5% 以上が好ましく、100% がより好ましい。なお、前記比抵抗の下限値としては、 $5 \text{ m}\Omega\text{m}$ 程度が好ましい。

[0016] 前記 p 型炭化珪素単結晶層中の炭化珪素 (SiC) の結晶構造は、 α 型とされる。このような結晶構造を有すると、大口径且つ高品質な α 型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、前述の p 型炭化珪素単結晶の高品質化、及び素子応用に有利である。

[0017] 前記半導体構造物は、半導体装置の一部材として、前記 p 型炭化珪素単結晶層だけで構成されていてもよいし、他の構造を有していてもよい。前記他の構造としては、特に制限はなく、基板、n 型半導体層が挙げられる。

また、前記半導体構造物の総厚みとしては、特に制限はないが、前記半導体構造物を用いて形成される素子の形成プロセスに必要な機械的強度を付与する観点から、 $250\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。なお、前記総厚みの上限値としては、 $350\mu\text{m}$ 程度である。

[0018] 前記半導体構造物の一例として、図 1 に第 1 実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す。

この第 1 実施形態に係る半導体構造物 1 は、n 型炭化珪素単結晶層 2 と、n 型炭化珪素単結晶層 2 と接合する p 型炭化珪素単結晶層 3 とを有し、その接合面が p/n 接合とされる。

[0019] p 型炭化珪素単結晶層 3 は、 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50\mu\text{m}$ 以上とされる。

p 型炭化珪素単結晶層 3 が、このような構成を有すると、前記 p 型炭化珪素単結晶層について説明した通り、機械的強度に優れ、導電時の抵抗を低減可能な半導体構造物を実現できる。

[0020] n 型炭化珪素単結晶層 2 の炭化珪素の結晶構造としては、特に制限はないが、 α 型であると、大口径且つ高品質な α 型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、n 型炭化珪素単結晶層の高品質化、及び素子応用に有利である。

また、n 型炭化珪素単結晶層 2 中の窒素の濃度としては、特に制限はないが、 $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。前記濃度が $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ を超えると、 10kV を超える超高耐圧素子には適さなくなる。なお、前記濃度の下限値としては、 $5 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ 程度が好ましい。

また、n 型炭化珪素単結晶層 2 の厚みとしては、特に制限はないが、 $50\mu\text{m}$ 以上であると、機械的強度を維持する点で好ましい。なお、前記厚みの上限値としては、 $300\mu\text{m}$ 程度が好ましい。

[0021] <第2実施形態>

また、本発明の他の半導体構造は、前記第1実施形態におけるp型炭化珪素単結晶層が、少なくとも、(0001)面に対して、 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板上に直接又は間接形成され、前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含むp型炭化珪素単結晶層と、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であり、前記p型炭化珪素単結晶層と接合して配されるn型炭化珪素単結晶層と、を有する。

[0022] 前記p型炭化珪素単結晶層中の不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であると、アルミニウムの活性化率が高まり、導電時の抵抗を低減させることができる。また、このような観点から前記不純物濃度としては、 $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましく、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上であると、アルミニウムの活性化率が100%になり、特に好ましい。

なお、前記不純物濃度としては、高いほど好ましいが、上限値としては、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。

[0023] 前記p型炭化珪素単結晶層の厚みとしては、特に制限はないが、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上であると、p/n接合構造を形成するのに十分な厚みである。また、機械的強度を維持するという観点から前記厚みとしては、 $50 \mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $100 \mu\text{m}$ 以上が特に好ましい。

なお、前記p型炭化珪素単結晶層の厚みの上限値としては、オン抵抗低減の観点並びに素子作製プロセスへの適合の観点から、 $300 \mu\text{m}$ 程度が好ましい。

[0024] また、前記p型炭化珪素単結晶層の比抵抗としては、低いほど好ましく、例えば、 $100 \text{ m}\Omega\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $20 \text{ m}\Omega\text{m}$ 以下がより好ましい。なお、前記比抵抗の下限値としては、 $5 \text{ m}\Omega\text{m}$ 程度が好ましい。

[0025] 前記p型炭化珪素単結晶層中の炭化珪素(SiC)の結晶構造は、 α 型とされる。このような結晶構造を有すると、4H型の結晶構造を取ることがで

き、大口径且つ高品質な4 H型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、表面平坦性に優れ、低欠陥密度、且つ高い電子移動度というエピタキシャル成長層の高品質化、並びに素子応用に有利である。

[0026] 前記 n 型炭化珪素単結晶層の炭化珪素の結晶構造が α 型であると、大口径且つ高品質な α 型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、n 型炭化珪素単結晶層の高品質化、及び素子応用に有利である。

また、前記 n 型炭化珪素単結晶層中の窒素の濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ を超えると、10 kV を超える超高耐圧素子には適さなくなる。なお、前記濃度の下限値としては、 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 程度が好ましい。

また、前記 n 型炭化珪素単結晶層 2 の厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であると、機械的強度を維持する点で好ましい。なお、前記厚みの上限値としては、 $300 \mu\text{m}$ 程度が好ましい。

[0027] 前記オフ基板の傾斜角（オフ角）が、(0001) 面に対して 0° を超え 8° 以下であると、ステップフロー成長により表面平坦性の優れた炭化珪素単結晶層を作製することができる。また、 α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶製であると、大口径且つ高品質な α 型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、エピタキシャル成長層の高品質化、及び素子応用に有利である。なお、前記傾斜角は、規格による数値を示し、誤差 ($\pm 0.25^\circ$) を許容する。例えば、 8° 規格のオフ基板であれば、 8° の傾斜角に対して、 $\pm 0.25^\circ$ の誤差を許容する。

また、このオフ基板上に、前記 p 型炭化珪素単結晶層を直接又は間接形成すると、ステップフロー成長により表面平坦性の優れた炭化珪素単結晶層を作製することができる。

[0028] 前記半導体構造物は、半導体装置の一部材として、前記オフ基板及び前記 p 型炭化珪素単結晶層だけで構成されていてもよいし、他の構造を有していてもよい。前記他の構造としては、特に制限はなく、n 型半導体層が挙げら

れる。また、前記半導体構造物としては、最終的に前記オフ基板を取り除いて構成されていてもよい。

また、前記半導体構造物の総厚みとしては、特に制限はないが、前記半導体構造物を用いて形成される素子の形成プロセスに必要な機械的強度を付与する観点から、 $250\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。なお、前記総厚みの上限値としては、 $350\mu\text{m}$ 程度である。

[0029] 前記半導体構造物の一例として、図2に第2実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す。

この第2実施形態に係る半導体構造物10は、オフ基板11上に、n型炭化珪素単結晶層12と、n型炭化珪素単結晶層12と接合するp型炭化珪素単結晶層13とを有し、その接合面がp/n接合とされる。

[0030] オフ基板11としては、(0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板とされる。

オフ基板11が、このような構成を有すると、前記オフ基板について説明した通り、ステップフロー成長により表面平坦性の優れた炭化珪素単結晶層を作製することができる。

[0031] p型炭化珪素単結晶層13は、 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含む層とされる。

p型炭化珪素単結晶層13が、このような構成を有すると、前記p型炭化珪素単結晶層について説明した通り、導電時の抵抗を低減可能な半導体構造物を実現できる。

[0032] n型炭化珪素単結晶層12は、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50\mu\text{m}$ 以上であり、前記p型炭化珪素単結晶層と接合して配される。

n型炭化珪素単結晶層12が、このような構成を有すると、前記n型炭化珪素単結晶層について説明した通り、機械的強度に優れるとともに、p/n接合を有する超高耐压素子に適した半導体構造物を実現することができる。

[0033] <第3実施形態>

次に、前記半導体構造物の他の例として、図3に第3実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す。

この第3実施形態に係る半導体構造物20は、オフ基板21上に、第1n型炭化珪素単結晶層22と、第2n型炭化珪素単結晶層23と、第1p型炭化珪素単結晶層24と、第2p型炭化珪素単結晶層25とが、この順に積層されて構成される。

この第3実施形態に係る半導体構造物20は、第2実施形態に係る半導体構造物10の変形例であり、オフ基板21、第2n型炭化珪素単結晶層23、第2p型炭化珪素単結晶層25は、それぞれ第2実施形態に係る半導体構造物10における、オフ基板11、n型炭化珪素単結晶層12、p型炭化珪素単結晶層13と同様の構成であるため、説明を省略し、第1n型炭化珪素単結晶層22及び第1p型炭化珪素単結晶層24について説明する。

[0034] 第1n型炭化珪素単結晶層22は、基板と第2n型炭化珪素単結晶層との不純物濃度差によるストレスを緩和させる目的で配される。

この第1n型炭化珪素単結晶層22は、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $10 \mu\text{m}$ 以下である層であることが好ましい。即ち、前記結晶構造が α 型であると、4H型の結晶構造を取ることができ、大口径且つ高品質な4H型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、表面平坦性に優れ、低欠陥密度といったn型炭化珪素単結晶層の高品質化が可能であり、前記不純物濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であると、基板と第1n型炭化珪素単結晶層との不純物濃度差によるストレスを緩和に適しており、前記厚みが $10 \mu\text{m}$ 以下であると、前記基板と第2n型炭化珪素単結晶層との不純物濃度差によるストレスの緩和に適している。なお、前記厚みの下限値としては、 $5 \mu\text{m}$ 程度が好ましい。

[0035] 第1p型炭化珪素単結晶層24は、導通時にキャリア注入により伝導度変調を生じさせる目的で配される。

この第1p型炭化珪素単結晶層24は、 α 型の結晶構造を有し、アルミニ

ウムを $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下である層であることが好ましい。即ち、前記結晶構造が α 型であると、4H型の結晶構造を取ることができ、大口径且つ高品質な4H型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、表面平坦性に優れ、低欠陥密度といったn型炭化珪素単結晶層の高品質化が可能であり、前記不純物濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であると、キャリア注入に好ましく、前記厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下であると、導通時の抵抗抑制に好ましい。

[0036] また、第3実施形態に係る半導体構造物20としては、厚みのばらつきを示すTTV (Total Thickness Variation) の数値が、オフ基板21が有するTTVの数値以下であることが好ましい。このような構造を有すると、半導体装置作製工程上好ましい。なお、TTVは、光の干渉を利用したウエハ厚みの面内ばらつきを非破壊、非接触で調べる装置を用いることにより、測定することができる。

[0037] なお、第3実施形態に係る半導体構造物20を製造した後、オフ基板21及び第1n型炭化珪素単結晶層22を取り除くことで、残余の構造をIGBT半導体装置形成用の半導体ウエハとして用いることができる。

[0038] <第4実施形態>

次に、前記半導体構造物の他の例として、図4に第4実施形態に係る半導体構造物の断面構造を示す。

この第4実施形態に係る半導体構造物30は、オフ基板31上に、第1n型炭化珪素単結晶層32と、第2n型炭化珪素単結晶層33と、第3n型炭化珪素単結晶層36と、第1p型炭化珪素単結晶層34と、第2p型炭化珪素単結晶層35とが、この順に積層されて構成される。

この第4実施形態に係る半導体構造物30は、第3実施形態に係る半導体構造物20の変形例であり、第3n型炭化珪素単結晶層36以外のオフ基板31、第1n型炭化珪素単結晶層32、第2n型炭化珪素単結晶層33、第1p型炭化珪素単結晶層34、第2p型炭化珪素単結晶層35は、それぞれ

第3実施形態に係る半導体構造物20における、オフ基板21、第1n型炭化珪素単結晶層22、第2n型炭化珪素単結晶層23、第1p型炭化珪素単結晶層24、第2p型炭化珪素単結晶層25と同様の構成であるため、説明を省略し、第3n型炭化珪素単結晶層36について説明する。

[0039] 第3n型炭化珪素単結晶層36は、p/n接合界面の特性を改善する目的で配される。

この第3n型炭化珪素単結晶層36は、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $1 \mu\text{m}$ 以下である層であることが好ましい。即ち、前記結晶構造が α 型であると、4H型の結晶構造を取ることができ、大口径且つ高品質な4H型炭化珪素単結晶基板上にホモエピタキシャル成長をさせることができ、表面平坦性に優れ、低欠陥密度といったn型炭化珪素単結晶層の高品質化が可能であり、前記不純物濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であると、耐電圧特性上好ましい。また、前記厚みが $1 \mu\text{m}$ 以下であると、前記のように耐電圧特性上好ましい。なお、前記厚みの下限としては、 $0.1 \mu\text{m}$ 程度である。

[0040] また、第4実施形態に係る半導体構造物30としては、第3実施形態に係る半導体構造物20と同様に、厚みのばらつきを示すTTVの数値が、オフ基板31が有するTTVの数値以下であることが好ましい。

[0041] なお、第4実施形態に係る半導体構造物30は、第3実施形態に係る半導体構造物20と同様に、製造後、オフ基板31及び第1n型炭化珪素単結晶層32を取り除くことで、残余の構造をIGBT半導体装置形成用の半導体ウエハとして用いることができる。

[0042] <第5実施形態>

次に、半導体装置の一例として、図5に第5実施形態に係る半導体装置の断面構造を示す。なお、第5実施形態に係る半導体装置は、半導体装置の例としてIGBT半導体装置の構成例を示すものであり、本発明の前記半導体構造物は、この他の半導体装置にも適用することができる。

この第5実施形態に係る半導体装置40（IGBT半導体装置）は、第3実施形態に係る半導体構造物20からオフ基板21及び第1n型炭化珪素単結晶層22を取り除き、MOS構造として、第2n型炭化珪素単結晶層23上に絶縁膜46を介してゲート電極47を形成したものに係る。即ち、符号45は、第2p型炭化珪素単結晶層を示し、符号44は、第1p型炭化珪素単結晶層を示し、符号43は、第2n型炭化珪素単結晶層を示し、これらの層は、それぞれ、第3実施形態に係る半導体構造物20の第2p型炭化珪素単結晶層25、第1p型炭化珪素単結晶層24、第2n型炭化珪素単結晶層23と同様に構成される。

[0043] 絶縁膜46及びゲート電極47としては、特に制限はなく、公知の方法により形成することができる。なお、図5に示すMOS構造は、説明のために簡略化した一構成例であり、これに代えて、従来公知のMOS構造から目的に応じて適宜選択して形成することができる。

このような半導体装置40の構成によれば、IGBT半導体動作を発揮させることができ、機械的強度に優れ、低抵抗の半導体構造物をウエハとして利用した、超高耐圧かつ低損失の半導体パワーデバイスを実現することができる。

[0044] （半導体構造物の製造方法）

本発明の半導体構造物の製造方法は、少なくとも、炭化珪素源及びアルミニウム源を導入してp型炭化珪素単結晶層を α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶の下地層上にエピタキシャル成長させるエピタキシャル成長工程を有し、中でも、前記エピタキシャル成長工程を1,500℃以上1,700℃以下の温度条件及び 5×10^3 Pa以上 25×10^3 Pa以下の圧力条件で実施することを技術の核とする。

このようなエピタキシャル成長条件とすることで、前記本発明の機械的強度に優れ、かつ、導電時の抵抗を低減可能な半導体構造物の製造が実現可能とされる。

即ち、アルミニウムを高濃度で含む前記p型炭化珪素単結晶層を形成する

場合、従来では、イオン注入技術を用いる方法しか存在しない。しかしながら、非特許文献 1, 2 などに示されるように $180\ \mu\text{m}$ と厚い n 型エピタキシャル膜に対して数 μm 程度しか p 型炭化珪素単結晶が存在しないため、基板を除去してしまうと機械的強度が不十分で素子プロセス中にウエハが破損しやすくなる。しかし、前記半導体構造物の製造方法によれば、膜厚が厚く且つ低抵抗な前記 p 型炭化珪素単結晶層をエピタキシャル成長させることができ、基板除去後も、素子プロセスに十分耐え得る機械的強度を確保することが可能となる。

[0045] 前記温度条件としては、前記数値範囲内である限り、特に制限はないが、 $1,580^{\circ}\text{C}$ 以上 $1,650^{\circ}\text{C}$ 以下がより好ましい。前記温度条件が $1,580^{\circ}\text{C}$ 未満であると、三角欠陥による結晶性の低下や Si 液滴発生による成長速度の低下が生じ、厚い前記 p 型炭化珪素単結晶層を適切な時間内に成長させることができないことがあり、 $1,650^{\circ}\text{C}$ を超えると、キャリアガス（水素ガス）の水素エッチング効果が強くなり、成長速度及び Al の結晶中への取り込み量が低下し、低抵抗の前記 p 型炭化珪素単結晶層を適切な時間内に成長させることができないことがある。

また、前記圧力条件としては、前記数値範囲内である限り、特に制限はないが、 $1.0 \times 10^3\ \text{Pa}$ 以上 $1.4 \times 10^3\ \text{Pa}$ 以下がより好ましい。例えば、前記圧力条件が $1.4 \times 10^3\ \text{Pa}$ を超えると、前記 p 型炭化珪素単結晶層に大きな膜厚分布が生じ、基板を剥離した時の並行度が維持できないことがある。

[0046] 前記エピタキシャル成長工程における p 型炭化珪素単結晶層のエピタキシャル成長速度としては、特に制限はないが、効率的に成長させやすく、Al を高濃度にドーピングさせやすいことから、 $15\ \mu\text{m}/\text{h}$ 以上 $100\ \mu\text{m}/\text{h}$ 以下が好ましく、 $15\ \mu\text{m}/\text{h}$ 以上 $50\ \mu\text{m}/\text{h}$ 以下がより好ましい。

[0047] 前記炭化珪素源としてとしては、特に制限はなく、公知の炭化珪素源を用いることができ、例えば、シランガス、プロパンガスを用いることができる。また、前記炭化珪素源のキャリアガスとして、水素ガス等を用いることが

できる。また、前記アルミニウム源としては、トリメチルアルミニウム等を用いることができる。

ここで、前記炭化珪素源に含まれるCとSiの組成比（モル比）であるC/Siとしては、次式、 $0.6 \leq C/Si \leq 1.1$ を満たすことが好ましい。前記組成比が0.6未満であると、得られる前記p型炭化珪素単結晶層の低抵抗化が実現できないことがあり、1.1を超えると、前記p型炭化珪素単結晶層が得られないか、得られた前記p型炭化珪素単結晶層の機械的強度が著しく低下することがある。

また、前記キャリアガスとして前記水素ガスを用い、前記炭化珪素源の珪素源として前記シランガスを用いる場合、前記キャリアガス中のHと前記シランガス中のSiの組成比（モル比）であるH/Siとしては、次式、 $450 \leq H/Si \leq 1,700$ が好ましい。前記組成比が450未満であると、前記p型炭化珪素単結晶層の成長表面に凹凸が生じることがあり、1,700を超えると、前記p型炭化珪素単結晶層を形成するための減圧状態を維持できなくなることがある。

[0048] 前記p型炭化珪素単結晶層としては、特に制限はないが、ステップフロー成長により表面平坦性の優れた炭化珪素単結晶層の作製が可能となる観点から、(0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板上に直接又は間接形成されることが好ましい。

[0049] 更に、前記半導体構造物の製造方法としては、前記オフ基板上に、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であるn型炭化珪素単結晶層を形成するn型炭化珪素単結晶層形成工程を有することが好ましく、この場合、前記エピタキシャル成長工程としては、前記n型炭化珪素単結晶層を下地層として、p型炭化珪素単結晶層をエピタキシャル成長させる工程とされる。

このようなn型炭化珪素単結晶層を形成することで、p/n接合を有する前記第2実施形態に係る半導体構造物を製造することができる（図2参照）

。

[0050] 前記 n 型炭化珪素単結晶層形成工程における、前記 n 型炭化珪素単結晶層の形成方法としては、特に制限はなく、公知の化学気相成長法により、エピタキシャル成長させる方法が挙げられる。また、形成の際の炭化珪素源としては、例えば、シランガス、プロパンガスを用いることができる。また、前記炭化珪素源のキャリアガスとして、水素ガス等を用いることができる。また、前記窒素源としては、窒素ガス等を用いることができる。

[0051] 更に、前記半導体構造物の製造方法としては、前記オフ基板上に、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $10 \mu\text{m}$ 以下である第 1 n 型炭化珪素単結晶層を形成する第 1 n 型炭化珪素単結晶層形成工程と、前記第 1 n 型炭化珪素単結晶層上に、前記 α 型の結晶構造を有し、前記窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上である第 2 n 型炭化珪素単結晶層を形成する第 2 n 型炭化珪素単結晶層形成工程と、前記第 2 n 型炭化珪素単結晶層上に、前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下である第 1 p 型炭化珪素単結晶層を形成する第 1 p 型炭化珪素単結晶層形成工程と、を有することが好ましく、この場合、前記エピタキシャル成長工程としては、前記第 1 p 型炭化珪素単結晶層を下地層として、前記 p 型炭化珪素単結晶層を第 2 p 型炭化珪素単結晶層としてエピタキシャル成長させる工程とされる。

このような前記各工程を有すると、前記第 3 実施形態に係る IGBT 半導体装置の製造に好適な半導体構造物を製造することができる（図 3 参照）。

[0052] なお、前記第 1 n 型炭化珪素単結晶層形成工程及び前記第 2 n 型炭化珪素単結晶層形成工程における前記第 1 n 型炭化珪素単結晶層及び前記第 2 n 型炭化珪素単結晶層としては、前記 n 型炭化珪素単結晶層の形成方法に準じて形成することができる。

また、前記第 1 p 型炭化珪素単結晶層形成工程における前記第 1 p 型炭化

珪素単化粧層の形成方法としては、特に制限はなく、公知の化学気相成長法により、エピタキシャル成長させる方法が挙げられる。また、形成の際の炭化珪素源としては、例えば、シランガス、プロパンガスを用いることができる。また、前記炭化珪素源のキャリアガスとして、水素ガス等を用いることができる。また、前記アルミニウム源としては、トリメチルアルミニウム等を用いることができる。

[0053] 更に、前記半導体構造物の製造方法としては、前記第2 n型炭化珪素単結晶層上に、 α 型の結晶構造を有し、前記窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $1 \mu\text{m}$ 以下である第3 n型炭化珪素単結晶層を形成する第3 n型炭化珪素単結晶層形成工程を有することが好ましく、この場合、前記第1 p型炭化珪素単結晶層形成工程としては、前記第3 n型炭化珪素単結晶層上に第1 p型炭化珪素単結晶層を形成する工程とされる。

前記第3 n型炭化珪素単結晶層形成工程を有すると、前記第3 n型炭化珪素単結晶層の p/n 接合界面の特性が改善された前記第4実施形態に係る半導体構造物を製造することができる（図4参照）。

[0054] なお、前記第3 n型炭化珪素単結晶層形成工程における前記第3 n型炭化珪素単結晶層としては、前記 n型炭化珪素単結晶層の形成方法に準じて形成することができる。

[0055] 更に、前記半導体構造物の製造方法としては、エピタキシャル成長工程後、第2 n型炭化珪素単結晶層と第1 n型炭化珪素単結晶層とを剥離させ、オフ基板及び前記第1 n型炭化珪素単結晶層を除去する除去工程を有することが好ましい。

前記除去工程を有することで、前記半導体構造物を前記 IGBT 半導体装置の製造に好適な半導体ウエハとして利用することができる。

前記除去の方法としては、特に制限はなく、例えば、研磨等の機械的手段が挙げられる。

[0056] 前記半導体構造物としては、厚みのばらつきを示す TTV の数値が、前記

オフ基板が有する TTV の数値以下であることが好ましい。このような半導体構造物を得る方法としては、前記オフ基板側の面を基準面としてエピタキシャル成長させた前記第 2 p 型炭化珪素単結晶層側の成長面を研磨することにより、前記半導体構造物全体の TTV を前記オフ基板と同じかそれ以下とし、その後、前記成長面を基準面として前記オフ基板を研磨除去することにより、前記オフ基板除去後の前記半導体構造物の TTV を前記オフ基板と同じかそれ以下の値にする方法が挙げられる。

このような TTV を有する半導体構造物を素子形成プロセスに用いることで、素子形成プロセスの歩留まりを向上させることができる。

[0057] なお、前記半導体構造物を用いて前記 IGBT 半導体装置を製造する方法としては、前記第 3 実施形態及び前記第 4 実施形態に係る半導体構造物から、前記オフ基板及び前記第 1 n 型炭化珪素単結晶層を除去した後、前記第 2 n 型炭化珪素単結晶層上に、ゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成し、MOSFET 構造を作製する方法が挙げられる（前記第 5 実施形態に関する図 5 参照）。

実施例

[0058] （実施例 1）

結晶成長用のオフ基板として（0001）Si 面から [11-20] 方向に 8° 傾いた n 型の α 型の結晶構造を有する 4H 炭化珪素単結晶基板（SiC 基板）を用意した。

この SiC 基板を横型の気相化学成長装置（CVD 装置）の反応管内に設置した後、反応管内に水素ガスを 80 s l m ($1.3519 \times 10^2 \text{ P a m}^3 / \text{s}$) の流量で流しながら、その反応管内の圧力を $10 \times 10^3 \text{ P a}$ に制御した。

この状態で CVD 装置の高周波加熱により、SiC 基板を $1,620^\circ\text{C}$ まで加熱し、この状態を 20 分間維持させた後、SiC 基板表面を清浄化した。

[0059] SiC 基板表面清浄後、シランガスを 90 s c c m ($1.5209 \times 10^{-}$

$1 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ ）、プロパンガスを 30 sccm ($5.07 \times 10^{-2} \text{ Pa m}^3/\text{s}$)、それぞれ反応管内に導入することにより、原料ガスのCとSiの組成比を1:1に制御し、更に、p型不純物であるAl源としてトリメチルアルミニウムを 40 sccm ($6.76 \times 10^{-2} \text{ Pa m}^3/\text{s}$) で同時に反応管内に導入して、SiC基板上にエピタキシャル成長を行い、SiC基板上にp型炭化珪素単結晶層が形成された実施例1に係る半導体構造物を製造した。なお、このp型炭化珪素単結晶層中のAlの不純物濃度は、 $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とした。

[0060] 製造の際、エピタキシャル成長速度を $22 \mu\text{m}/\text{h}$ として4時間エピタキシャル成長させ、厚さ $90 \mu\text{m}$ のp型炭化珪素単結晶層を形成している。

[0061] 実施例1では、p型炭化珪素単結晶層中のAl濃度を $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ としたが、Al濃度を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすれば、図6に示すように、Alの活性化が認められ、更に、Al濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすれば、Alの活性化率が100%となり、p型炭化珪素単結晶層の抵抗を大幅に低減することが可能となる。なお、図6は、p型炭化珪素単結晶層のAl不純物の活性化率を示す図である。

[0062] 実施例1の半導体構造物に関し、Van der Pauw法により比抵抗測定を行ったところ、図7に示すように $40 \text{ m}\Omega\text{cm}$ という比抵抗値が確認された。なお、図7は、p型炭化珪素単結晶層中に取り込まれたAlの濃度と、そのp型炭化珪素単結晶層の比抵抗との関係を示す図である。

即ち、実施例1では、トリメチルアルミニウムを 40 sccm ($6.76 \times 10^{-2} \text{ Pa m}^3/\text{s}$) 流して比抵抗 $40 \text{ m}\Omega\text{cm}$ のp型炭化珪素単結晶層を形成したが、トリメチルアルミニウムの量を増やすことでAlの不純物濃度を増加させることができ、比抵抗を図7に示すように更に低下させることができる。

[0063] 図8に実施例1に係る半導体構造物の断面SEM像を示す。このSEM像に基づき、該半導体構造物の厚みを測定した。ここでは、該半導体構造物の切断面をイオンビームにより平坦化（図8中央部）し、その平坦部をSEM

により観察した。観察の結果、コントラストの濃淡が得られ濃度の薄い部分が成長層、濃度の濃い部分が基板である。この濃度の薄い部分の厚みを測定したところ $90\text{ }\mu\text{m}$ であった。

このように実施例 1 では、 $90\text{ }\mu\text{m}$ 厚の p 型炭化珪素単結晶層を形成したが、エピタキシャル成長時間を更に伸ばすことで、容易に厚みを $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上にすることができる。一方、エピタキシャル成長時間を逆に短くすることで、容易に厚みが $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の p 型炭化珪素単結晶層を形成することもできる。

[0064] (実施例 2)

結晶成長用のオフ基板として (0001) Si 面から $[11-20]$ 方向に 8° 傾いた n 型の α 型の結晶構造を有する 4H 炭化珪素単結晶基板 (SiC 基板) を用意した。この SiC 基板を n 型炭化珪素単結晶層形成に特化した気相化学成長装置 (CVD 装置) の反応管内に設置し、水素をキャリアガス、シランガス及びプロパンガスを原料ガス、窒素ガスを n 型ドーパントとして使用し、SiC 基板上に窒素不純物濃度が $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ の第 1 n 型炭化珪素単結晶層を $10\text{ }\mu\text{m}$ の厚みでエピタキシャル成長させた。

次いで、第 1 n 型炭化珪素単結晶層の形成方法と同様の形成方法にて、第 1 n 型炭化珪素単結晶層上に、窒素不純物濃度が $5 \times 10^{14}\text{ cm}^{-3}$ の第 2 n 型炭化珪素単結晶層を $150\text{ }\mu\text{m}$ の厚みでエピタキシャル成長させた。

この状態の半導体構造物を CVD 装置から取り出し、n 型 / p 型いずれでも成長可能な CVD 装置に設置した。

反応管内の温度条件を $1,620^\circ\text{C}$ とし、圧力条件を $10 \times 10^3\text{ Pa}$ とし、水素をキャリアガスとして 80 s l m ($1.3519 \times 10^2\text{ Pa m}^3/\text{s}$) の量で導入し、原料ガスとしてのシランガス及びプロパンガスをそれぞれ 60 s c c m ($1.014 \times 10^{-1}\text{ Pa m}^3/\text{s}$)、 20 s c c m ($3.38 \times 10^{-2}\text{ Pa m}^3/\text{s}$) で導入し、窒素ガスを n 型ドーパントとして導入し、第 2 n 型炭化珪素単結晶層上に窒素不純物濃度が $2 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ の第 3 n 型炭化珪素単結晶層を成長速度 $15\text{ }\mu\text{m}/\text{h}$ で $1\text{ }\mu\text{m}$ エピタキシャル成長さ

せた。

次いで、トリメチルアルミニウムをp型ドーパントとして使用し、第3n型炭化珪素単結晶層上に、Al不純物濃度が $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の第1p型炭化珪素単結晶層を $2 \mu\text{m}$ の厚みでエピタキシャル成長させた。なお、この際のエピタキシャル成長条件としては、第3n型炭化珪素単結晶層の成長条件と同様とした。

次いで、第1p型炭化珪素単結晶層の形成方法と同様の形成方法にて、第1p型炭化珪素単結晶層上にAl不純物濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の第2p型炭化珪素単結晶層を $120 \mu\text{m}$ の厚みでエピタキシャル成長させた。ただし、この際のエピタキシャル成長条件としては、シランガス及びプロパンガスをそれぞれ 90 sccm ($1.5209 \times 10^{-1} \text{ Pa m}^3/\text{s}$)、 30 sccm ($5.07 \times 10^{-2} \text{ Pa m}^3/\text{s}$)で導入し、成長速度は、 $22 \mu\text{m}/\text{h}$ とした。

これにより、総厚みが $283 \mu\text{m}$ のエピタキシャル成長層を有する実施例2に係る半導体構造物を製造した。この実施例2に係る半導体構造物の構造を示す概略を図9(a)に示す。

[0065] この実施例2に係る半導体構造物から第1n型炭化珪素単結晶層基板及びSiC基板を取り除くことで、総厚みが $273 \mu\text{m}$ の半導体構造物を形成することができる。この半導体構造物の第1n型炭化珪素単結晶層を取り除いた側の第2n型炭化珪素単結晶層の面は、 $[000-1]$ C面となるが、その $[000-1]$ C面にMOS構造を形成することによりIGBT構造の半導体装置とすることができる。

[0066] なお、実施例2の半導体構造物の製造にあたり、第2n型炭化珪素単結晶形成後、CVD装置を変更して、第3n型炭化珪素単結晶層以降の各層を形成したが、一台のCVD装置ですべての層を連側的にエピタキシャル成長させて形成してもよい。

加えて、連続成長の場合、第2n型炭化珪素単結晶層形成後に、第3n型炭化珪素単結晶層を形成する必要はなく、第2n型炭化珪素単結晶層上に第

1 p型炭化珪素単結晶層を直接エピタキシャル成長させてもよい。

[0067] 実施例1及び2の半導体構造物を構成する各層に含まれる不純物濃度は、二次イオン質量分析法（SIMS）により測定される。

また、実施例1及び2の半導体構造物を構成する各層の厚みは、電子顕微鏡を用いて測定される。

[0068] 上記から明らかなように、本発明に係る半導体構造物では、p型炭化珪素の抵抗を従来の1/100以下に低減できることが確認できた。また、p型層（第2 p型炭化珪素単結晶層）の厚膜化により、機械的強度を付与するためのp型炭化珪素基板を用いることなく、機械的強度に優れ、IGBT構造を構築する上で必要なp/n接合構造を有する半導体構造物（半導体ウエハ）を製造可能であることが確認できた。

また、実施例1及び2では、4H-炭化珪素単結晶基板を用いたが、6H-炭化珪素単結晶基板等を用いることができる。また、実施例1及び2では、[11-20]方向に8°傾斜させたオフ基板を用いたが、オフ角には依存せずに、実施することが可能である。加えて、実施例1及び2では、Si面にエピタキシャル成長層を形成したが、C面にエピタキシャル成長層を形成してもよい。

[0069] （実施例3）

本発明の半導体構造物の製造条件の最適化を目的として、以下に実施例1の好適な製造条件から製造条件を変更した場合の製造例を説明する。

即ち、SiC基板表面清浄後、基板温度が1,620℃の状態でシランガス、プロパンガス、トリメチルアルミニウムを反応管内に導入して、SiC基板上にエピタキシャル成長によるp型炭化珪素単結晶層を形成することに代えて、基板温度を1,500℃まで下げた後、シランガス、プロパンガス、トリメチルアルミニウムを反応管内に導入して、SiC基板上にエピタキシャル成長によるp型炭化珪素単結晶層を形成したこと以外は、実施例1と同様にして、実施例3に係る半導体構造物を製造した。

実施例3に係る半導体構造物の製造の際には、エピタキシャル成長速度

が $18 \mu\text{m/h}$ となり、実施例 1 に係る半導体構造物の製造におけるエピタキシャル成長速度 ($22 \mu\text{m/h}$) に比べて低下した。なお、実施例 3 に係る半導体構造物では、この成長速度でエピタキシャル成長させ、厚み $90 \mu\text{m}$ の p 型炭化珪素単結晶層を形成している。

また、実施例 1 に係る半導体構造物では、p 型炭化珪素単結晶層中の Al 濃度が $1.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ であったが、実施例 3 に係る半導体構造物の p 型炭化珪素単結晶層では、 $8.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ と、Al 濃度を高くすることができている。しかしながら、形成された p 型炭化珪素単結晶層は、図 10 に示すように、 β 型の炭化珪素が形成されていることを示す三角形状の欠陥がウエハ全面に多数発生しており、部分的に多結晶化していることが分かる。そのため、結晶が脆くなり、機械的強度が低下するものと推察される。なお、図 10 は、実施例 3 に係る半導体構造物の p 型炭化珪素単結晶層の成長表面を撮影した顕微鏡写真を示す図である。

[0070] (実施例 4)

SiC 基板表面清浄後、反応管内に導入する原料ガスの C と Si の組成比を 1 : 1 から 1.2 : 1 に変更して、SiC 基板上に SiC 基板上にエピタキシャル成長による p 型炭化珪素単結晶層を形成したこと以外は、実施例 1 と同様にして、実施例 4 に係る半導体構造物を製造した。

実施例 4 に係る半導体構造物の p 型炭化珪素単結晶層の結晶表面は、図 11 に示すように凸凹のある状態となり、本実施例の製造条件では、C / Si の組成比の変更により、高品位の p 型炭化珪素単結晶層の形成には、至らなかったことが分かった。なお、図 11 は、実施例 4 に係る半導体構造物の p 型炭化珪素単結晶層の成長表面を撮影した顕微鏡写真を示す図である。

[0071] (実施例 5)

SiC 基板表面清浄後、反応管内に導入する原料ガスの C と Si の組成比を 1 : 1 から 0.5 : 1 に変更して、SiC 基板上に SiC 基板上にエピタキシャル成長による p 型炭化珪素単結晶層を形成したこと以外は、実施例 1 と同様にして、実施例 5 に係る半導体構造物を製造した。

実施例 5 に係る半導体構造物では、p 型炭化珪素単結晶層の比抵抗が、500 mΩ cm と高くなり、本実施例の製造条件では、C/Si の組成比の変更により、低抵抗化が不十分となることが分かった。

産業上の利用可能性

[0072] 本発明の半導体構造物によれば、p 型炭化珪素単結晶の低抵抗が可能であると同時に、機械的強度に優れることから、IGBT 半導体装置等の半導体装置形成用の半導体ウエハの製造分野等において、好適に用いることができる。

符号の説明

[0073]	1, 10, 20, 30	半導体構造物
	2, 12	n 型炭化珪素単結晶層
	3, 13	p 型炭化珪素単結晶層
	11, 21, 31	オフ基板
	22, 32	第 1 n 型炭化珪素単結晶層
	23, 33, 43	第 2 n 型炭化珪素単結晶層
	24, 34, 44	第 1 p 型炭化珪素単結晶層
	25, 35, 45	第 2 p 型炭化珪素単結晶層
	36	第 3 n 型炭化珪素単結晶層
	40	半導体装置
	46	絶縁膜
	47	ゲート電極

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも、 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であるp型炭化珪素単結晶層を有することを特徴とする半導体構造物。
- [請求項2] p型炭化珪素単結晶層の比抵抗が $100 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 以下である請求項1に記載の半導体構造物。
- [請求項3] p型炭化珪素単結晶層に含まれるアルミニウムの不純物濃度が、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上である請求項1から2のいずれかに記載の半導体構造物。
- [請求項4] 更に、p型炭化珪素単結晶層と接合する、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であるn型炭化珪素単結晶層を有する請求項1から3のいずれかに記載の半導体構造物。
- [請求項5] 総厚みが $250 \mu\text{m}$ 以上である請求項1から4のいずれかに記載の半導体構造物。
- [請求項6] (0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板の上に直接又は間接形成され、前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度で含むp型炭化珪素単結晶層と、
前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であり、前記p型炭化珪素単結晶層と接合して配されるn型炭化珪素単結晶層と、
を有することを特徴とする半導体構造物。
- [請求項7] p型炭化珪素単結晶層の厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上である請求項6に記載の半導体構造物。
- [請求項8] p型炭化珪素単結晶層の比抵抗が $100 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 以下である請求項6から7のいずれかに記載の半導体構造物。
- [請求項9] 総厚みが $250 \mu\text{m}$ 以上である請求項6から8のいずれかに記載の

半導体構造物。

[請求項10] 更に、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $10 \mu\text{m}$ 以下である第1 n型炭化珪素単結晶層と、

前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下である第1 p型炭化珪素単結晶層と、を有し、

(0001)面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた前記 α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板の上に、前記第1 n型炭化珪素単結晶層と、第2 n型炭化珪素単結晶層としてn型炭化珪素単結晶層と、前記第1 p型炭化珪素単結晶層と、第2 p型炭化珪素単結晶層としてp型炭化珪素単結晶層とが、この順で形成される請求項6から9いずれかに記載の半導体構造物。

[請求項11] 更に、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $1 \mu\text{m}$ 以下である第3 n型炭化珪素単結晶層を有し、

前記第3 n型炭化珪素単結晶層が第2 n型炭化珪素単結晶層と第1 p型炭化珪素単結晶層との間に配される請求項10に記載の半導体構造物。

[請求項12] 厚みのばらつきを示すTTVの数値が、オフ基板が有するTTVの数値以下である請求項6から11のいずれかに記載の半導体構造物。

[請求項13] IGBT半導体装置として、請求項10から12のいずれかに記載された半導体構造物の[000-1]C面上にMOS構造が形成されたことを特徴とする半導体装置。

[請求項14] 請求項1から12のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法であって、

少なくとも、炭化珪素源及びアルミニウム源を導入してp型炭化珪素単結晶層を α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶の下地層上にエ

ピタキシャル成長させるエピタキシャル成長工程を有し、

前記エピタキシャル成長工程が、 $1,500^{\circ}\text{C}$ 以上 $1,700^{\circ}\text{C}$ 以下の温度条件及び $5 \times 10^3 \text{ Pa}$ 以上 $25 \times 10^3 \text{ Pa}$ 以下の圧力条件で実施されることを特徴とする半導体構造物の製造方法。

[請求項15] エピタキシャル成長工程におけるp型炭化珪素単結晶層のエピタキシャル成長速度が、 $15 \mu\text{m/h}$ 以上 $100 \mu\text{m/h}$ 以下である請求項14に記載の半導体構造物の製造方法。

[請求項16] 炭化珪素源としてシランガス及びプロパンガスを用い、前記炭化珪素源のキャリアガスとして水素ガスを用いる請求項14から15のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

[請求項17] p型炭化珪素単結晶層が、 (0001) 面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板の上に直接又は間接形成される請求項14から16のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

[請求項18] 更に、 (0001) 面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板の上に、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上であるn型炭化珪素単結晶層を形成するn型炭化珪素単結晶層形成工程を有し、

エピタキシャル成長工程が、前記n型炭化珪素単結晶層を下地層として、p型炭化珪素単結晶層をエピタキシャル成長させる工程である請求項14から17のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

[請求項19] 更に、 (0001) 面に対して 0° を超え 8° 以下傾斜させた α 型の結晶構造を有する炭化珪素単結晶のオフ基板の上に、前記 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $10 \mu\text{m}$ 以下である第1n型炭化珪素単結晶層を形成する第1n型炭化珪素単結晶層形成工程と、

前記第1n型炭化珪素単結晶層上に、前記 α 型の結晶構造を有し、

前記窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $50 \mu\text{m}$ 以上である第2 n型炭化珪素単結晶層を形成する第2 n型炭化珪素単結晶層形成工程と、

前記第2 n型炭化珪素単結晶層上に、前記 α 型の結晶構造を有し、アルミニウムを $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下である第1 p型炭化珪素単結晶層を形成する第1 p型炭化珪素単結晶層形成工程と、を有し、

エピタキシャル成長工程が、前記第1 p型炭化珪素単結晶層を下地層として、p型炭化珪素単結晶層をエピタキシャル成長させる工程である請求項14から18のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

[請求項20]

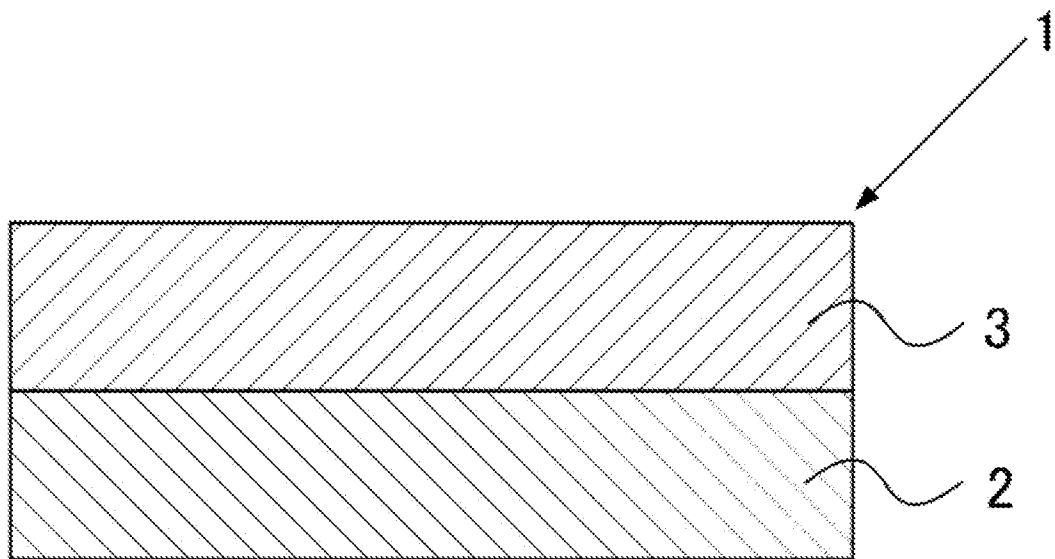
更に、第2 n型炭化珪素単結晶層上に、 α 型の結晶構造を有し、窒素を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度で含み、かつ厚みが $1 \mu\text{m}$ 以下である第3 n型炭化珪素単結晶層を形成する第3 n型炭化珪素単結晶層形成工程を有し、

第1 p型炭化珪素単結晶層形成工程が、前記第3 n型炭化珪素単結晶層上に第1 p型炭化珪素単結晶層を形成する工程である請求項19に記載の半導体構造物の製造方法。

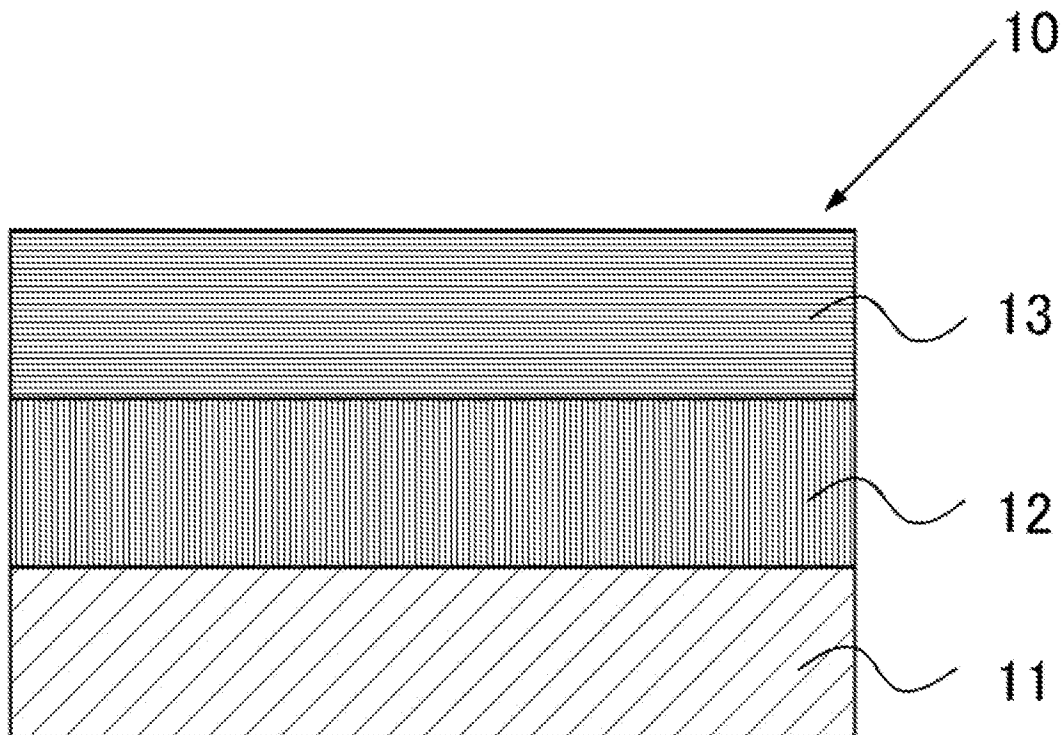
[請求項21]

更に、エピタキシャル成長工程後、第2 n型炭化珪素単結晶層と第1 n型炭化珪素単結晶層とを剥離させ、オフ基板及び前記第1 n型炭化珪素単結晶層を除去する除去工程を有する請求項19から20のいずれかに記載の半導体構造物の製造方法。

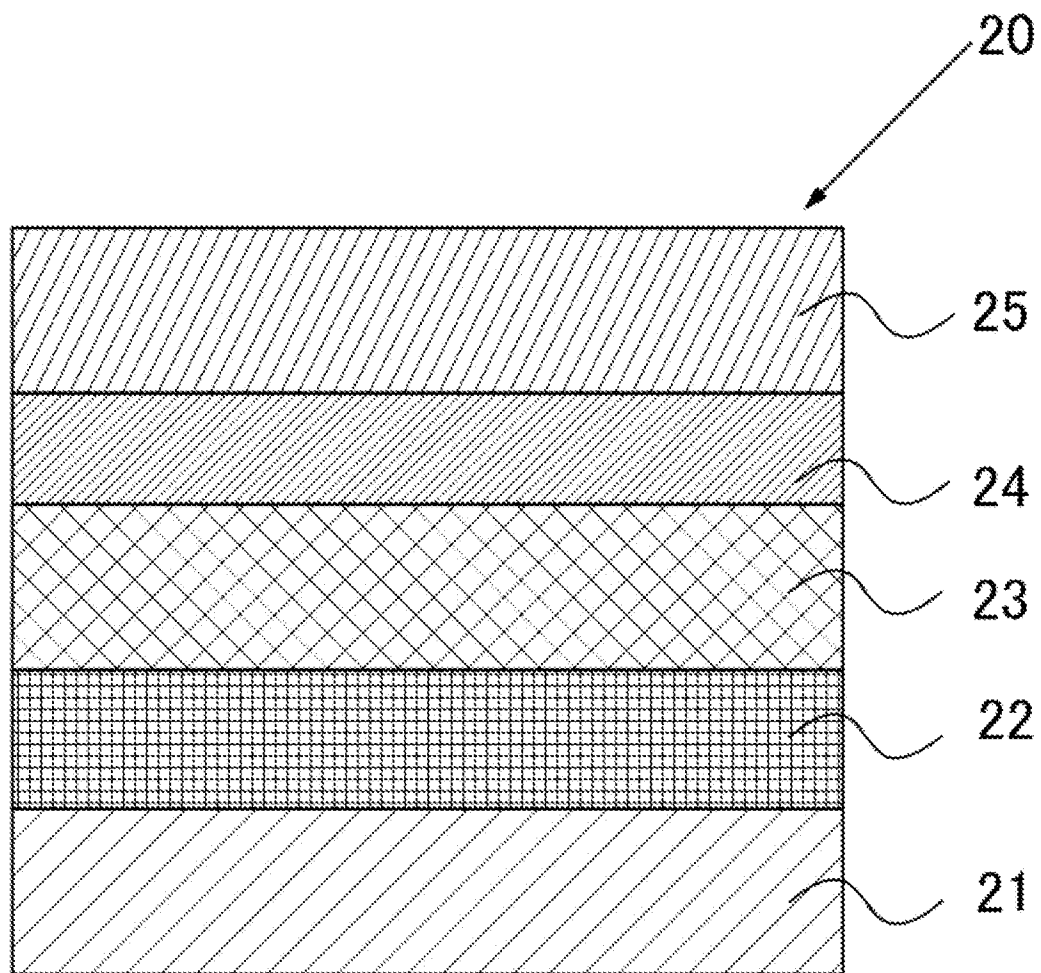
[図1]



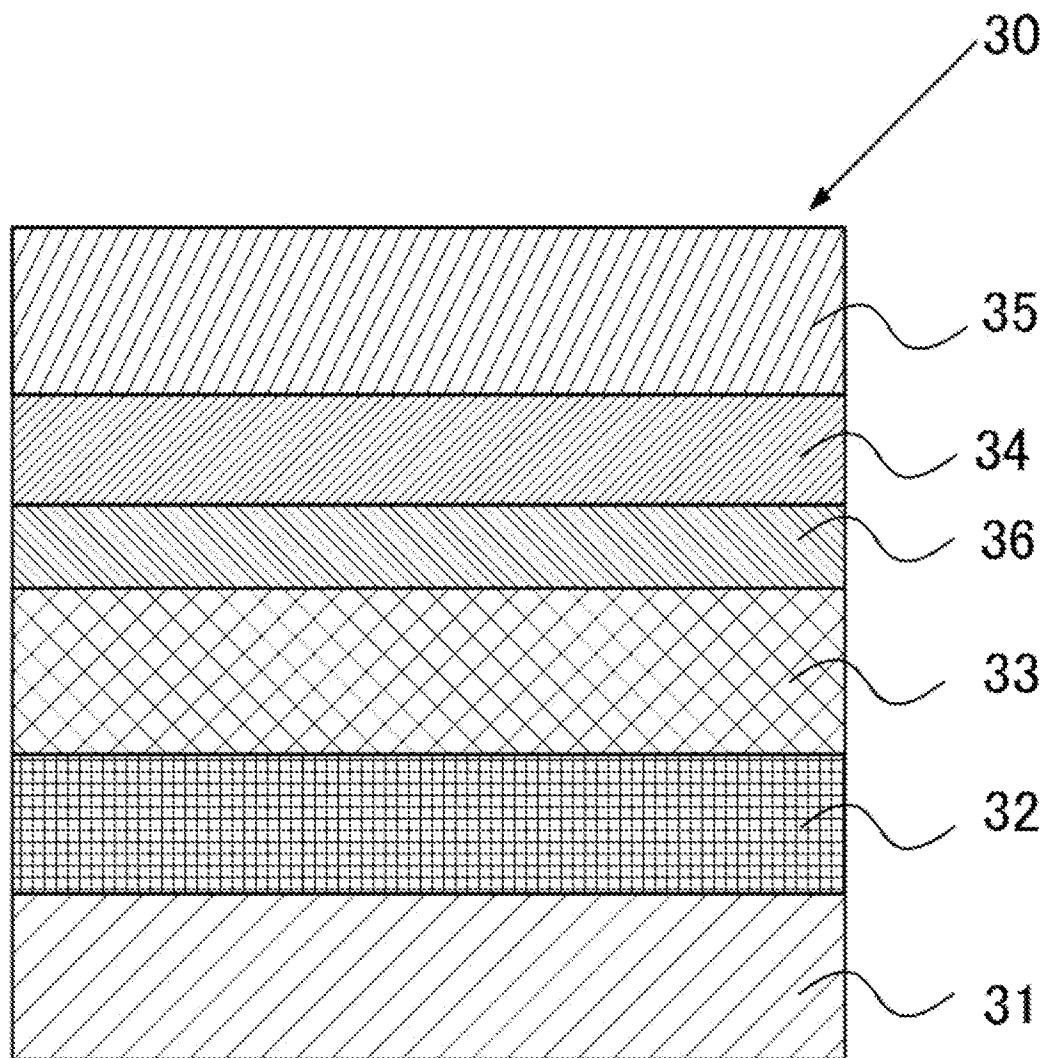
[図2]



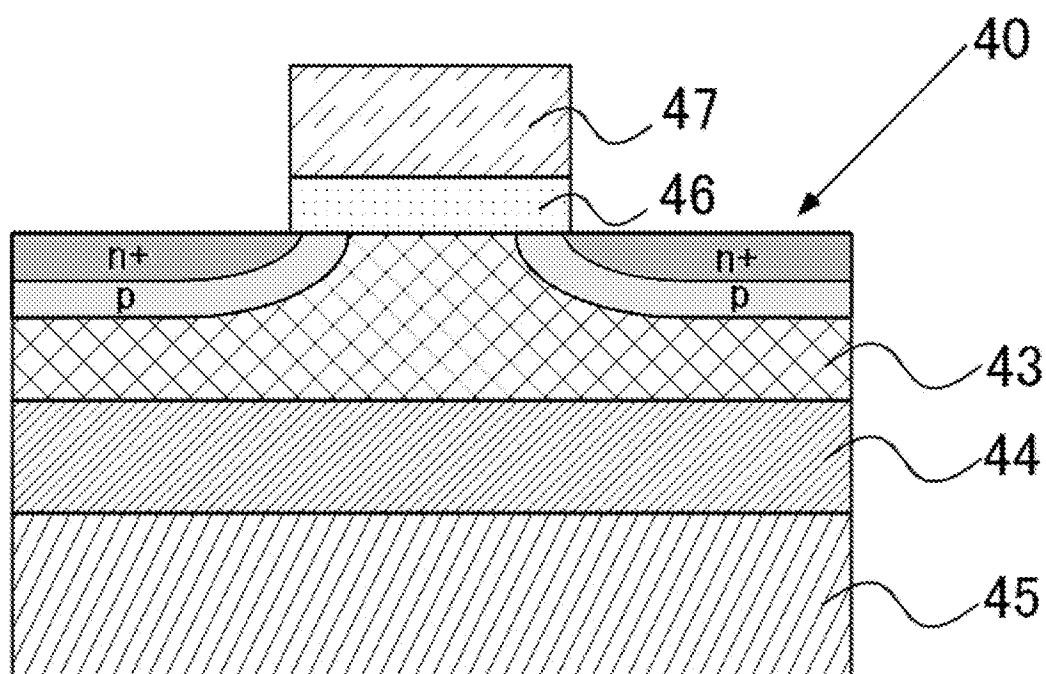
[図3]



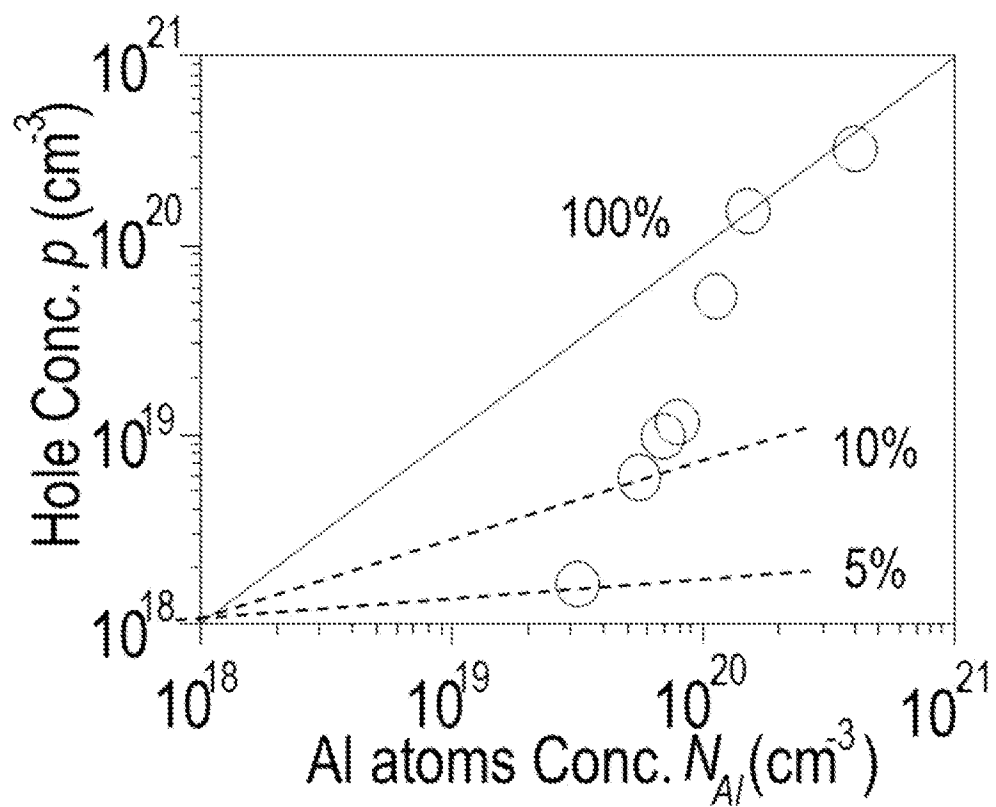
[図4]



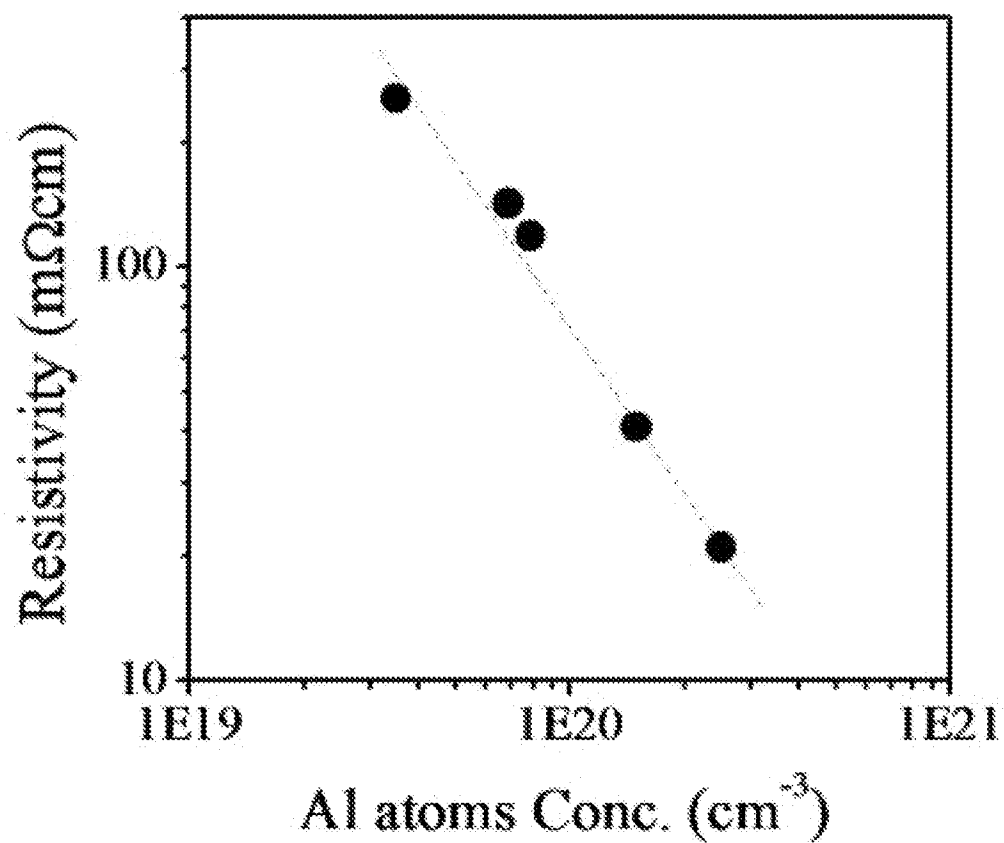
[図5]



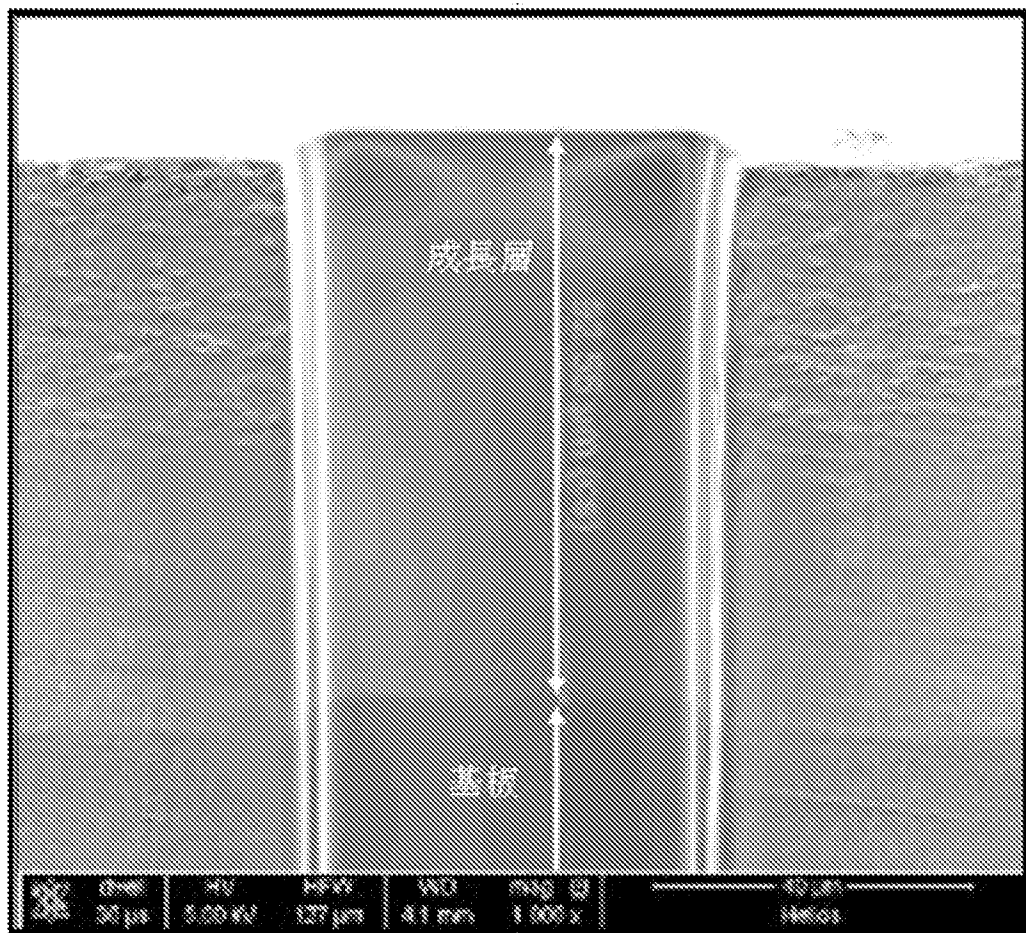
[図6]



[図7]



[図8]



[図9(a)]

(0001)Si 面

p^{++} 1E20, 120 μm
p^+ 8E17, 2 μm
n^- 2E16, 1 μm
n^- 5E14, 150 μm
n^+ 5E18
n^+ substrate

(000-1)C 面

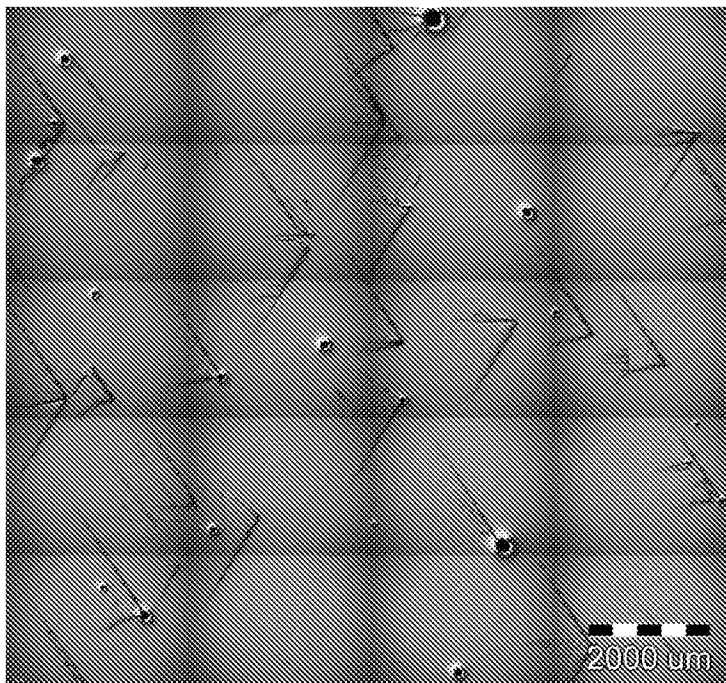
[図9(b)]

(0001)Si 面

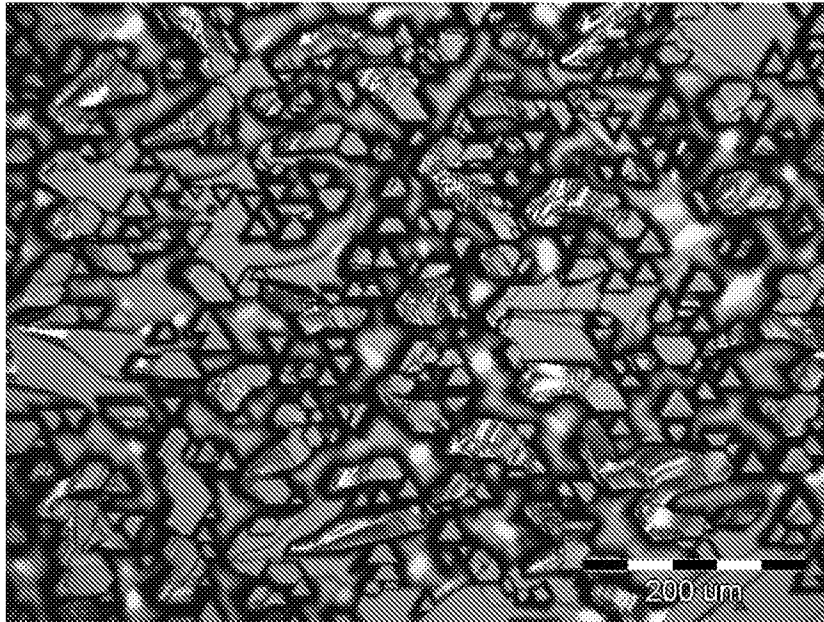
p^{++} 1E20, 120 μm
p^+ 8E17, 2 μm
n^- 2E16, 1 μm
n^- 5E14, 150 μm

(000-1)C 面

[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/070708

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/205(2006.01)i, C23C16/42(2006.01)i, C30B25/20(2006.01)i, C30B29/36(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/205, C23C16/42, C30B25/20, C30B29/36

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2009-179491 A (Toyota Motor Corp.), 13 August 2009 (13.08.2009), paragraphs [0004] to [0031] & US 2010/0308344 A1 & WO 2009/095764 A1 & DE 112009000196 B & KR 10-2010-0100977 A & CN 101932757 A	1-3, 5 4, 6-9, 12, 13, 14, 16, 17, 18
Y	JP 2008-108824 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 08 May 2008 (08.05.2008), paragraphs [0005] to [0132] (Family: none)	4, 6-9, 17, 18

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11 October, 2013 (11.10.13)

Date of mailing of the international search report
05 November, 2013 (05.11.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/070708

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/119792 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 21 October 2010 (21.10.2010), paragraphs [0038] to [0173] & US 2011/0233562 A1 & EP 2420599 A1 & CA 2747776 A & CN 102257190 A & TW 201101481 A & KR 10-2012-0015428 A	12,13
Y A	JP 2011-023502 A (Panasonic Corp.), 03 February 2011 (03.02.2011), paragraphs [0020] to [0086] (Family: none)	14,16,17,18 10,11,15, 19-21

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/205(2006.01)i, C23C16/42(2006.01)i, C30B25/20(2006.01)i, C30B29/36(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/205, C23C16/42, C30B25/20, C30B29/36

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2009-179491 A（トヨタ自動車株式会社）2009.08.13, 【0004】 ～【0031】 & US 2010/0308344 A1 & WO 2009/095764 A1 & DE	1-3, 5
Y	112009000196 B & KR 10-2010-0100977 A & CN 101932757 A	4, 6-9, 12, 13, 14, 16, 17, 18
Y	JP 2008-108824 A（松下電器産業株式会社）2008.05.08, 【0005】 ～【0132】（ファミリーなし）	4, 6-9, 17, 18

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 1 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 5 . 1 1 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

今井 淳一

4 R

9 0 5 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 7 1

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2010/119792 A1 (住友電気工業株式会社) 2010. 10. 21, 【0038】 ～ 【0173】 & US 2011/0233562 A1 & EP 2420599 A1 & CA 2747776 A & CN 102257190 A & TW 201101481 A & KR 10-2012-0015428 A	12, 13
Y	JP 2011-023502 A (パナソニック株式会社) 2011. 02. 03, 【0020】 ～ 【0086】 (ファミリーなし)	14, 16, 17, 18
A		10, 11, 15, 19-21