

(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
2017 年 6 月 8 日(08.06.2017)



(10) 国際公開番号

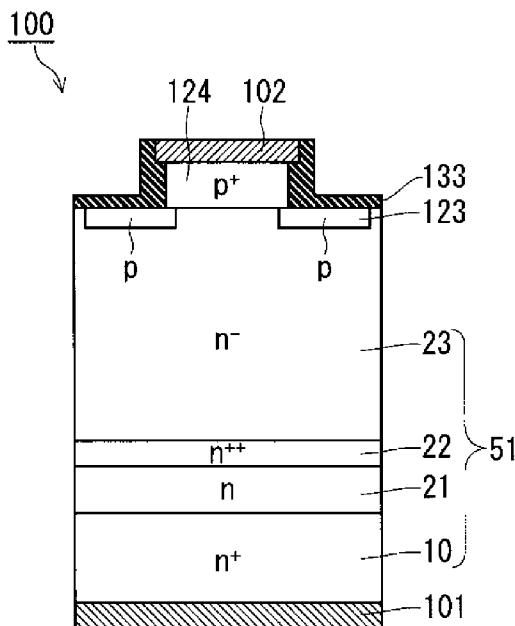
WO 2017/094764 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 29/861 (2006.01) H01L 21/329 (2006.01)
C30B 25/20 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)
C30B 29/36 (2006.01) H01L 29/12 (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01) H01L 29/78 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01) H01L 29/868 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/085525
- (22) 国際出願日: 2016 年 11 月 30 日(30.11.2016)
- (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 2015-235372 2015 年 12 月 2 日(02.12.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中村 勇(NAKAMURA Yu); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 小西 和也(KONISHI Kazuya); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 吉竹 英俊, 外(YOSHITAKE Hidetoshi et al.); 〒5400001 大阪府大阪市中央区城見 1 丁目 4 番 7 0 号住友生命 O B P プラザビル 1 0 階 Osaka (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.
- (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,

[続葉有]

(54) Title: SILICON CARBIDE EPITAXIAL SUBSTRATE AND SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置



(57) Abstract: A silicon carbide epitaxial substrate (51) has a silicon carbide monocrystalline substrate (10) of one conductivity type, a first silicon carbide layer (21) of the one conductivity type, a second silicon carbide layer (22) of the one conductivity type, and a third silicon carbide layer (23) of the one conductivity type. The silicon carbide monocrystalline substrate (10) has a first impurity concentration. The first silicon carbide layer (21) is provided on the silicon carbide monocrystalline substrate (10), and has a second impurity concentration lower than the first impurity concentration. The second silicon carbide layer (22) is provided on the first silicon carbide layer (21), and has a third impurity concentration higher than the first impurity concentration. The third silicon carbide layer (23) is provided on the second silicon carbide layer (22), and has a fourth impurity concentration lower than the second impurity concentration.

(57) 要約: 炭化珪素エピタキシャル基板 (51) は、一の導電型の炭化珪素単結晶基板 (10) と、上記一の導電型の第1の炭化珪素層 (21) と、上記一の導電型の第2の炭化珪素層 (22) と、上記一の導電型の第3の炭化珪素層 (23) とを有している。炭化珪素単結晶基板 (10) は第1の不純物濃度を有している。第1の炭化珪素層 (21) は、炭化珪素単結晶基板 (10) 上に設けられており、第1の不純物濃度よりも低い第2の不純物濃度を有している。第2の炭化珪素層 (22) は、第1の炭化珪素層 (21) 上に設けられており、第1の不純物濃度よりも高い第3の不純物濃度を有している。第3の炭化珪素層 (23) は、第2の炭化珪素層 (22) 上に設けられており、第2の不純物濃度よりも低い第4の不純物濃度を有している。

3) は、第2の炭化珪素層 (22) 上に設けられており、第2の不純物濃度よりも低い第4の不純物濃度を有している。



MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (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).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置に関するものである。

背景技術

[0002] 炭化珪素単結晶は、大きな絶縁破壊電界強度および高い熱伝導率など、優れた物性を有している。このため、半導体材料として従来広く用いられてきたシリコンに代わり炭化珪素を用いた半導体装置、すなわち炭化珪素半導体装置、は、高性能の半導体装置、特にパワーデバイス、として期待されている。炭化珪素には、同一の化学式であっても結晶構造の異なる結晶多形（いわゆる 2 H、3 C、4 H、6 H、8 H、1 5 R 型など）が存在する。これらの中でも、大きな電圧を扱うようなパワーデバイスの用途には 4 H 型の炭化珪素が適している。ここで、「H」は結晶多形が六方晶系（H e x a g o n a l）であることを表しており、「4」は S i（シリコン）および C（カーボン）からなる 2 原子層が 4 回積層されたものが単位構造であることを表している。4 H 型の炭化珪素は、パワーデバイス向け基板の材料としての利点を特に有している。具体的には、そのバンドギャップが 3. 2 6 e V と大きく、また、c 軸に平行な方向と垂直な方向とでの電子移動度の異方性が小さい。

[0003] 炭化珪素単結晶基板は、一般的に、S i および C を含む原料を坩堝内で昇華させることで種結晶上での結晶成長を行う手法（昇華再結晶法）により製造される。1 つの基板からできるだけ多くの炭化珪素半導体装置を高い歩留まりで得るためには、炭化珪素単結晶基板の全体が、単一の結晶多形を有する均一な結晶であることが求められる。このような要件を満たしつつ、生産性を高めるために、基板のサイズを大きくするための努力がなされている。

市販されている基板の直径は、従来100mm（4インチ）までであったところ、現在では150mm（6インチ）まで大きくなってきている。

[0004] 炭化珪素半導体装置の製造には、炭化珪素単結晶基板と、その上にエピタキシャル成長によって設けられた炭化珪素層とを有する炭化珪素エピタキシャル基板が用いられる。エピタキシャル成長は、典型的には、Si原子およびC原子を含む原料ガスを用いた化学気相成長（CVD）法によって行われる。エピタキシャル層の少なくとも一部は、半導体素子構造が形成される活性層として用いられる。活性層の不純物濃度および厚みを調整することで、半導体装置の耐電圧および素子抵抗が調整される。具体的には、活性層中の不純物濃度が低いほど、また、活性層の厚みが大きいほど、高い耐電圧を有する半導体装置が得られる。

[0005] 市販の炭化珪素単結晶基板は、シリコン単結晶基板などと比して、結晶欠陥を高密度で有している。結晶欠陥は、エピタキシャル成長の際に単結晶基板からエピタキシャル成長層へと（すなわち活性層にまで）伝播することで、炭化珪素半導体装置の動作に悪影響を与え得る。炭化珪素の代表的な結晶欠陥としては、貫通らせん転位、貫通刃状転位、基底面転位、積層欠陥などが挙げられる。基底面転位は、2本の部分転位に分解し、それらの間に積層欠陥を伴っている。この積層欠陥は、pinダイオードなどのバイポーラデバイスが順方向に通電された際に、注入されたキャリアをトラップするとともにその面積を拡大させていく。これに起因して、デバイスの順方向電圧降下の増大が引き起こされることが知られている（たとえば、非特許文献1：JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 99, 011101（2006）を参照）。以下、この現象を「通電劣化」と称する。また、本明細書内における「基底面転位」の表現は、上記「2本の部分転位」の意を含むものとする。

[0006] (0001)面から数度傾いた面を表面にもつ炭化珪素基板中の基底面転位の多くは、CVD法によるエピタキシャル成長時に、デバイスへの影響の程度がより低い貫通刃状転位に転換することが知られている。前述した通電

劣化の抑制のため、基板中の基底面転位がエピタキシャル成長時に貫通刃状転位転換する割合（転換率）を向上させるべく、様々な取組がなされている。

[0007] たとえば、特開2007-250693号公報（特許文献1）によれば、第1のエピタキシャル成長層の途中に、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物濃度を有する第2のエピタキシャル成長層が形成される。第2のエピタキシャル成長層においては結晶歪みが急激に大きくなる。上記公報によれば、転位の方向性を変えることで、電気特性に悪影響を及ぼし難い転位への転換が可能である旨が記載されている。しかしながらこの方法では、高い不純物濃度を有する第2のエピタキシャル成長層を形成すること自体が、積層欠陥を発生させる要因となり得る（たとえば非特許文献2：PHYSICA B 376-377, 338（2006）を参照）。また、第1のエピタキシャル成長層と第2のエピタキシャル成長層との間での不純物濃度プロファイルの急峻な変化が、基底面転位を新たに発生させてしまい得る。よってこの方法の有効性は実際のところ低かった。

[0008] また、たとえば、特開2008-74661号公報（特許文献2）によれば、炭化珪素単結晶基板上に、基底面転位密度を抑制する抑制層と、抑制層上に形成された活性層とを有する炭化珪素エピタキシャル基板が開示されている。抑制層は、活性層側へ階段状に窒素濃度が低減した構造を有している。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2007-250693号公報

特許文献2：特開2008-74661号公報

非特許文献

[0010] 非特許文献1：JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 99, 011101（2006）

非特許文献2：PHYSICA B 376-377, 338（2006）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0011] 上記の特開2008-74661号公報に記載の方法を本発明者らが検討したところ、炭化珪素エピタキシャル基板中の活性層の基底面転位密度は抑制されたものの、この基板を用いて作製されたバイポーラデバイスの通電劣化は十分には抑制されなかった。
- [0012] なお、本明細書における「バイポーラデバイス」は、バイポーラ動作のみを行うものに加えて、バイポーラ動作とユニポーラ動作とを行うものも含む。よって、一般的にはユニポーラデバイスに区分されることが多いMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) であっても、その寄生pinダイオードがバイポーラ素子として動作する場合は、本明細書における「バイポーラデバイス」に相当する。このような寄生pinダイオードは、しばしば、MOSFETの内蔵ダイオードとして活用されている。
- [0013] 本発明は以上のような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、バイポーラ動作時の通電劣化を抑制することができる、炭化珪素エピタキシャル基板および炭化珪素半導体装置を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0014] 本発明の炭化珪素エピタキシャル基板は、一の導電型の炭化珪素単結晶基板と、上記一の導電型の第1の炭化珪素層と、上記一の導電型の第2の炭化珪素層と、上記一の導電型の第3の炭化珪素層とを有している。炭化珪素単結晶基板は第1の不純物濃度を有している。第1の炭化珪素層は、炭化珪素単結晶基板上に設けられており、第1の不純物濃度よりも低い第2の不純物濃度を有している。第2の炭化珪素層は、第1の炭化珪素層上に設けられており、第1の不純物濃度よりも高い第3の不純物濃度を有している。第3の炭化珪素層は、第2の炭化珪素層上に設けられており、第2の不純物濃度よりも低い第4の不純物濃度を有している。
- [0015] 本発明の炭化珪素半導体装置は、一の導電型の炭化珪素単結晶基板と、上

記一の導電型の炭化珪素単結晶基板と、上記一の導電型の第1の炭化珪素層と、上記一の導電型の第2の炭化珪素層と、上記一の導電型の第3の炭化珪素層と、上記一の導電型と異なる導電型の第4の炭化珪素層とを有している。炭化珪素単結晶基板は第1の不純物濃度を有している。第1の炭化珪素層は、炭化珪素単結晶基板上に設けられており、第1の不純物濃度よりも低い第2の不純物濃度を有している。第2の炭化珪素層は、第1の炭化珪素層上に設けられており、第1の不純物濃度よりも高い第3の不純物濃度を有している。第3の炭化珪素層は、第2の炭化珪素層上に設けられており、第2の不純物濃度よりも低い第4の不純物濃度を有している。第4の炭化珪素層は第3の炭化珪素層上に設けられている。

[0016] なお上記において、「炭化珪素単結晶基板上に設けられ」との文言は、特段の記載を伴わない限り、炭化珪素単結晶基板上に直接設けられることと、単結晶基板上に何らかの層を介して設けられることとのいずれをも意味し得る。「第1の炭化珪素層上に設けられ」、「第2の炭化珪素層上に設けられ」および「第3の炭化珪素層上に設けられ」の文言についても同様である。

発明の効果

[0017] 本発明の炭化珪素エピタキシャル基板によれば、炭化珪素エピタキシャル基板を製造するためのエピタキシャル成長時に、炭化珪素単結晶基板中の基底面転位が第1の炭化珪素層によって貫通刃状転位に転換される。これにより、エピタキシャル成長時に第3の炭化珪素層中へ基底面転位が伝播することが抑制される。さらに、この炭化珪素エピタキシャル基板を用いた炭化珪素半導体装置のバイポーラ動作時に、第1の炭化珪素層から第3の炭化珪素層の方へ向かう基底面転位の伸長が第2の炭化珪素層によって妨げられる。よってバイポーラ動作時において、第3の炭化珪素層中の基底面転位の伸長および拡大に起因した通電劣化を抑制することができる。

[0018] 本発明の炭化珪素半導体装置によれば、炭化珪素エピタキシャル基板を製造するためのエピタキシャル成長時に、炭化珪素単結晶基板中の基底面転位が第1の炭化珪素層によって貫通刃状転位に転換される。これにより、エピ

タキシャル成長時に第3の炭化珪素層中へ基底面転位が伝播することが抑制される。さらに、第4の炭化珪素層と第3の炭化珪素層と炭化珪素単結晶基板との積層構造によるpin構造を利用したバイポーラ動作時に、第1の炭化珪素層から第3の炭化珪素層の方へ向かう基底面転位の伸長が第2の炭化珪素層によって妨げられる。よってバイポーラ動作時において、第3の炭化珪素層中の基底面転位の伸長および拡大に起因した通電劣化を抑制することができる。

[0019] この発明の目的、特徴、局面、および利点は、以下の詳細な説明と添付図面とによって、より明白となる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の実施の形態1における炭化珪素半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

[図2]本発明の実施の形態1における炭化珪素エピタキシャル基板の構成を概略的に示す断面図である。

[図3]比較例の炭化珪素エピタキシャル基板の構成を概略的に示す断面図である。

[図4]比較例の炭化珪素半導体装置のバイポーラ動作時における炭化珪素エピタキシャル基板中での基底面転位の伸長の様子を示す部分断面図である。

[図5]図1の炭化珪素半導体装置のバイポーラ動作時における炭化珪素エピタキシャル基板中での基底面転位の伸長の様子を示す部分断面図である。

[図6]本発明の実施の形態1における第1の変形例の炭化珪素半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

[図7]本発明の実施の形態1における第2の変形例の炭化珪素半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

[図8]本発明の実施の形態2における炭化珪素エピタキシャル基板の構成を概略的に示す断面図と、その模式的な不純物濃度プロファイルと、を示す図である。

[図9]本発明の実施の形態3における炭化珪素エピタキシャル基板の構成を概

略的に示す断面図と、その模式的な不純物濃度プロファイルと、を示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

[0022] <実施の形態 1>

図 1 および図 2 を参照して、本実施の形態の p i n ダイオード 1 0 0 (炭化珪素半導体装置) は、炭化珪素エピタキシャル基板 5 1 を用いて製造されたものである。言い換えれば、p i n ダイオード 1 0 0 は炭化珪素エピタキシャル基板 5 1 を有している。炭化珪素エピタキシャル基板 5 1 は、n 型 (一の導電型) の炭化珪素単結晶基板 1 0 と、n 型の第 1 の炭化珪素層 2 1 と、n 型の第 2 の炭化珪素層 2 2 と、n 型の第 3 の炭化珪素層 2 3 (活性層) とを有している。第 1 の炭化珪素層 2 1 は炭化珪素単結晶基板 1 0 上に設けられている。第 1 の炭化珪素層 2 1 は炭化珪素単結晶基板 1 0 上に直接設けられている。第 2 の炭化珪素層 2 2 は第 1 の炭化珪素層 2 1 上に設けられている。第 2 の炭化珪素層 2 2 は第 1 の炭化珪素層 2 1 上に直接設けられている。第 3 の炭化珪素層 2 3 は第 2 の炭化珪素層 2 2 上に設けられている。第 3 の炭化珪素層 2 3 は第 2 の炭化珪素層 2 2 上に直接設けられている。第 1 の炭化珪素層 2 1、第 2 の炭化珪素層 2 2 および第 3 の炭化珪素層 2 3 は、炭化珪素単結晶基板 1 0 上のエピタキシャル成長によって形成されたエピタキシャル層である。エピタキシャル成長は C V D 法によって行われ得る。

[0023] 炭化珪素単結晶基板 1 0 は第 1 の不純物濃度を有している。第 1 の不純物濃度は、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。第 1 の炭化珪素層 2 1 は、第 1 の不純物濃度よりも低い第 2 の不純物濃度を有している。第 2 の不純物濃度は、エピタキシャル成長において炭化珪素単結晶基板 1 0 から伝播してきた基底面転位 D B a が第 1 の炭化珪素層 2 1 中

の転換点 P N で貫通刃状転位 D T に転換する率が高くなるように選択されることが好ましい。この目的を満たすため、第 2 の不純物濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。第 2 の炭化珪素層 2 2 は、第 1 の不純物濃度よりも高い第 3 の不純物濃度を有している。新たな結晶欠陥を発生させないようにするため、第 3 の不純物濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。さらに、第 3 の不純物濃度の下限値は、第 1 の不純物濃度よりも高い必要があり、具体的には $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。第 3 の炭化珪素層 2 3 は、第 1 の不純物濃度よりも低い第 4 の不純物濃度を有している。第 4 の不純物濃度は、第 2 の不純物濃度よりも低いことが好ましく、具体的には $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましく、たとえば $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。

[0024] 炭化珪素単結晶基板 1 0 は、六方晶系の結晶構造を有しており、好ましくは結晶多形 4 H を有している。炭化珪素単結晶基板 1 0 の、第 1 の炭化珪素層 2 1 が設けられている表面（図中、上面）は、 $\{0001\}$ 面に対して 0° よりも大きいオフ角を有している。このオフ角は、 0.05° 以上であることが好ましく 0.1° 以上であることがより好ましい。ある程度の大きさのオフ角が設けられることで、炭化珪素単結晶基板 1 0 の結晶構造と同様の結晶構造を有するエピタキシャル層の形成が容易となる。またこのオフ角は、 8° 以下であることが好ましく、 5° 以下であることがより好ましい。オフ角が過度に大きくないことで、炭化珪素単結晶基板 1 0 の表面上における基底面転位の密度が過度に大きくなることが避けられる。また上記オフ角は、 $\{0001\}$ 面である (0001) 面および $(000-1)$ 面のうち、 (0001) 面を基準とした角度であることが好ましい。

[0025] p i n ダイオード 1 0 0 はさらに、p 型（一の導電型と異なる導電型）の第 4 の炭化珪素層 1 2 4 と、カソード電極 1 0 1（第 1 の電極）と、アノード電極 1 0 2（第 2 の電極）と、J T E（J u n c t i o n T e r m i n a t i o n E x t e n s i o n）領域 1 2 3 と、絶縁膜 1 3 3 とを有している。第 4 の炭化珪素層 1 2 4 は第 3 の炭化珪素層 2 3 上に設けられている。

。第4の炭化珪素層124は第3の炭化珪素層23上に直接設けられていてよい。カソード電極101は炭化珪素単結晶基板10に電氣的に接続されている。カソード電極101は炭化珪素単結晶基板10にオーミック接続されている。そのような接続を得るために、カソード電極101は炭化珪素単結晶基板10上に直接設けられていてよい。アノード電極102は第4の炭化珪素層124に電氣的に接続されている。アノード電極102は第4の炭化珪素層124にオーミック接続されている。そのような接続を得るために、アノード電極102は第4の炭化珪素層124上に直接設けられていてよい。

[0026] 図3を参照して、比較例の炭化珪素エピタキシャル基板59においても、炭化珪素エピタキシャル基板51（図2）と同様に、エピタキシャル成長時の基底面転位DBaの伸長が第1の炭化珪素層21中の転換点PNで止められている。一方で、炭化珪素エピタキシャル基板59（図3）には第2の炭化珪素層22が設けられていない。

[0027] 図4を参照して、上記のように第2の炭化珪素層22を欠く炭化珪素エピタキシャル基板59を用いて製造されたpinダイオード（図1参照）に順方向電流が流されたところ、大きな通電劣化が生じた。この理由を発明者らが調査したところ、通電に伴って、転換点PNより深く（図中の下側）に存在する基底面転位DBa（言い換えれば積層欠陥）から、第3のエピタキシャル層23（活性層）中へ、基底面転位DBzが伸長および拡大していることが明らかとなった。よって、炭化珪素エピタキシャル基板59を用いてpinダイオードが製造された場合、バイポーラ動作に伴う通電劣化が大きいことになる。

[0028] そこで本発明者らは、転換点PNより下側に存在する基底面転位DBaからの基底面転位の伸長を妨げる構成がエピタキシャル層中に必要であると考えた。その一環として基底面転位の伸長と炭化珪素中の不純物濃度との関係を調査したところ、基底面転位はより不純物濃度の低い方向へと伸長することがわかった。また不純物濃度が高い領域においては基底面転位の伸長が抑

制され、特に不純物濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の領域においては伸長がほぼ防止されることが分かった。

[0029] 以上のような発見に基づき、本実施の形態の炭化珪素エピタキシャル基板 51 (図2) は、第1の炭化珪素層 21 上に第2の炭化珪素層 22 が設けられたものとされた。第2の炭化珪素層 22 の不純物濃度 (第3の不純物濃度) は、炭化珪素単結晶基板 10 の不純物濃度 (第1の不純物濃度) よりも高く、好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上とされた。

[0030] 図5を参照して、第2の炭化珪素層 22 が設けられた炭化珪素エピタキシャル基板 51 を用いて製造された p i n ダイオード 100 (図1) に順方向電流が流されたところ、通電劣化は起きにくかった。これは、転換点 P N より深く (図中の下側) に存在する基底面転位 D B a からバイポーラ動作時に伸長してきた基底面転位 D B b が、第2の炭化珪素層 22 に達した後は、さらには伸長しにくかったため、と考えられる。

[0031] この検証のため、炭化珪素単結晶基板 10 の直上にエピタキシャル層として、徐々に不純物濃度が低くなる濃度傾斜層 (後述するバッファ層 29 (図8) と同様の層) のみを有する炭化珪素エピタキシャル基板が準備された。この炭化珪素エピタキシャル基板に対して、疑似的な通電劣化を生じさせるために、紫外レーザーが照射された。それにより拡大された積層欠陥をエピタキシャル成長面側から観察した。その結果、積層欠陥の幅は、不純物濃度が高い位置ほど幅が狭くなっていた。このことから、高不純物濃度層が基底面転位 (すなわち積層欠陥) の拡大を抑制する理由は、高不純物濃度層内において積層欠陥 (言い換えればそれを縁取る2つの部分転位) が移動しにくくなるためと考えられる。積層欠陥は、2つの部分転位のうち S i コアと呼ばれる一方の部分転位が結晶内を移動することで拡大することが知られている。S i コアの部分転位は、より不純物濃度の低い側へ移動する傾向がある。このため、第2の炭化珪素層 22 の不純物濃度 (第3の不純物濃度) は、炭化珪素単結晶基板 10 の不純物濃度 (第1の不純物濃度) よりも高くする必要があり、好ましくはその2倍以上の不純物濃度を有している。ただし第

2の炭化珪素層22の不純物濃度が $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を超えると、エピタキシャル成長時に新たな結晶欠陥の発生を引き起こしやすい。このため第2の炭化珪素層22の不純物濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。

[0032] 本実施の形態のpinダイオード100（図1）によれば、炭化珪素エピタキシャル基板51（図2）を製造するためのエピタキシャル成長時に、炭化珪素単結晶基板10中の基底面転位DBaが第1の炭化珪素層21によって貫通刃状転位DTに転換される。これにより、エピタキシャル成長時に第3の炭化珪素層23中へ基底面転位が伝播することが抑制される。さらに、第4の炭化珪素層124と第3の炭化珪素層23と炭化珪素単結晶基板10との積層構造によるpin構造を利用したバイポーラ動作時に、第1の炭化珪素層21から第3の炭化珪素層23の方へ向かう基底面転位DBb（図5）の伸長が第2の炭化珪素層22によって妨げられる。よってバイポーラ動作時において、第3の炭化珪素層23中の基底面転位の伸長および拡大に起因した通電劣化を抑制することができる。

[0033] pinダイオード100（図1）において、カソード電極101は炭化珪素単結晶基板10に電氣的に接続されており、アノード電極102は第4の炭化珪素層124に電氣的に接続されている。これにより、カソード電極101およびアノード電極102を主電極とする縦型半導体装置が構成される。縦型の炭化珪素半導体装置においてはバイポーラ動作時の通電劣化が問題となりやすいところ、本実施の形態によりそれを抑制することができる。

[0034] また、カソード電極101は炭化珪素単結晶基板10にオーミック接続されており、アノード電極102は第4の炭化珪素層124にオーミック接続されている。これにより、カソード電極101とアノード電極102との間、第4の炭化珪素層124と第3の炭化珪素層23と炭化珪素単結晶基板10との積層構造によるpin構造により接続される。このpin構造を利用したバイポーラ動作において、従来、通電劣化が生じやすかったところ、本実施の形態によりそれを抑制することができる。

[0035] 本実施の形態の炭化珪素エピタキシャル基板51（図2）によれば、炭化

珪素エピタキシャル基板 5 1 を製造するためのエピタキシャル成長時に、炭化珪素単結晶基板 1 0 中の基底面転位 D B a が第 1 の炭化珪素層 2 1 によって貫通刃状転位 D T に転換される。これにより、エピタキシャル成長時に第 3 の炭化珪素層 2 3 中へ基底面転位が伝播することが抑制される。さらに、この炭化珪素エピタキシャル基板 5 1 を用いた p i n ダイオード 1 0 0 (図 1) のバイポーラ動作時に、第 1 の炭化珪素層 2 1 から第 3 の炭化珪素層 2 3 の方へ向かう基底面転位 D B b の伸長が第 2 の炭化珪素層 2 2 によって妨げられる。よってバイポーラ動作時において、第 3 の炭化珪素層 2 3 中の基底面転位の伸長および拡大に起因した通電劣化を抑制することができる。

[0036] 好ましくは、第 3 の炭化珪素層 2 3 の不純物濃度 (第 4 の不純物濃度) は、第 1 の炭化珪素層 2 1 の不純物濃度 (第 2 の不純物濃度) よりも低い。これにより、第 3 の炭化珪素層 2 3 の不純物濃度を十分に低くすることができる。よって、第 4 の不純物濃度が第 2 の不純物濃度よりも高い場合に比して、炭化珪素エピタキシャル基板 5 1 を用いた p i n ダイオード 1 0 0 (図 1) の耐電圧を高くすることができる。

[0037] 好ましくは、第 2 の炭化珪素層 2 2 の不純物濃度 (第 3 の不純物濃度) は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。これにより、第 2 の炭化珪素層 2 2 の形成時の積層欠陥の発生を抑制することができる。

[0038] なお炭化珪素半導体装置は、p i n ダイオード 1 0 0 (図 1) に限定されるものではなく、他のバイポーラデバイスであってもよい。前述したように、一般的にユニポーラデバイスに区分されることが多い MOSFET (M e t a l O x i d e S e m i c o n d u c t o r F i e l d E f f e c t T r a n s i s t o r) であっても、その寄生 p i n ダイオードがバイポーラ素子として動作し得る場合は、本明細書における「バイポーラデバイス」に相当する。MOSFET はプレーナゲート型 MOSFET 2 0 0 (図 6) であってもよい。プレーナゲート型 MOSFET 2 0 0 (図 6) は、炭化珪素エピタキシャル基板 5 1 と、ベース層 2 2 4 (第 4 の炭化珪素層) と、ソース層 2 2 3 と、ゲート絶縁膜 2 3 1 と、ゲート電極 2 3 2 と、ドレ

イン電極 201（第1の電極）と、ソース電極 202（第2の電極）とを有している。またMOSFETはトレンチゲート型MOSFET 300（図7）であってもよい。トレンチゲート型MOSFET 300は、炭化珪素エピタキシャル基板 51と、ベース層 324（第4の炭化珪素層）と、ソース層 323と、ゲート絶縁膜 331と、ゲート電極 332と、ドレイン電極 301（第1の電極）と、ソース電極 302（第2の電極）とを有している。

[0039] <実施の形態2>

図8を参照して、本実施の形態の炭化珪素エピタキシャル基板 52はバッファ層 29を有している。バッファ層 29は、第1の面 S1と、第1の面 S1と反対の第2の面 S2とを有している。バッファ層 29は炭化珪素から作られている。バッファ層 29は、第2の炭化珪素層 22上でのエピタキシャル成長によって形成され得る。

[0040] 第1の面 S1は第2の炭化珪素層 22に面しており、第2の面 S2は第3の炭化珪素層 23に面している。第1の面 S1は第2の炭化珪素層 22に直接面してよい。第2の面 S2は第3の炭化珪素層 23に直接面してよい。第1の面 S1が第2の炭化珪素層 22に直接面し、かつ第2の面 S2が第3の炭化珪素層 23に直接面することで、第3の炭化珪素層 23は第2の炭化珪素層 22上にバッファ層 29のみを介して設けられる。バッファ層 29は、第1の面 S1から第2の面 S2へ向かって連続的に減少する不純物濃度プロファイルを有している。

[0041] バッファ層 29の不純物濃度プロファイルは、図8に示すように線形に変化することが好ましいが、急峻な変化を伴わなければ線形でなくてもよく、上述したように連続的な変化であれば許容される。逆に、不純物濃度プロファイルが不連続に（言い換えれば離散的に）変化する階段構造を有する場合、エピタキシャル成長時に当該不連続界面において新たな結晶欠陥が生じやすい。これは、不純物濃度が不連続な界面では、結晶の格子定数も不連続となり、その結果歪が生じるためである。たとえば、厚み 10 μm 程度のバッファ層 29において、不純物濃度は第1の面 S1から第2の面 S2に向かっ

て厚み $1\ \mu\text{m}$ あたり $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 程度で減少するものとされる。これにより、不純物濃度の変化がバッファ層 29 と第 3 の炭化珪素層 23 との界面で急峻とならないようにすることができる。

[0042] 活性層としての第 3 の炭化珪素層 23 における新たな結晶欠陥の発生をより低減するためには、図 8 の不純物濃度プロファイルに示されるように、他の界面においても濃度変化が急峻とならないよう、不純物濃度が滑らかに変化するように各層が接続されることが好ましい。この場合、厳密に言えば、第 2 の炭化珪素層 22 と第 3 の炭化珪素層 23 との間だけでなく、炭化珪素単結晶基板 10 と第 1 の炭化珪素層との間、および第 1 の炭化珪素層と第 2 の炭化珪素層との間の各々にも、バッファ層（図 8 の断面図において図示せず）が設けられているともいえる。

[0043] 上記以外の構成については、上述した炭化珪素エピタキシャル基板 51（図 2：実施の形態 1）の構成とほぼ同じであるため、同一または対応する要素について同一の符号を付し、その説明を繰り返さない。

[0044] 本実施の形態によれば、バッファ層 29 により、第 2 の炭化珪素層 22 と第 3 の炭化珪素層 23 との間での不純物濃度の急峻な変化が抑制される。これにより、エピタキシャル成長時に新たな結晶欠陥が発生することを抑制することができる。よって、実施の形態 1 で説明した効果をより高めることができる。なお、炭化珪素エピタキシャル基板 52 を用いて、実施の形態 1 とほぼ同様の炭化珪素半導体装置を製造することができる。

[0045] <実施の形態 3>

図 9 を参照して、本実施の形態の炭化珪素エピタキシャル基板 53 は、実施の形態 2（図 8）における炭化珪素エピタキシャル基板 52 のバッファ層 29 に代わり、バッファ層 29v を有している。バッファ層 29 と同様、バッファ層 29v は、第 1 の面 S1 と、第 1 の面 S1 と反対の第 2 の面 S2 とを有している。バッファ層 29v は炭化珪素から作られている。バッファ層 29v は、第 2 の炭化珪素層 22 上でのエピタキシャル成長によって形成され得る。

[0046] 実施の形態2と同様、第1の面S1は第2の炭化珪素層22に面しており、第2の面S2は第3の炭化珪素層23に面している。第1の面S1は第2の炭化珪素層22に直接面してよい。第2の面S2は第3の炭化珪素層23に直接面してよい。第1の面S1が第2の炭化珪素層22に直接面し、かつ第2の面S2が第3の炭化珪素層23に直接面することで、第3の炭化珪素層23は第2の炭化珪素層22上にバッファ層29vのみを介して設けられる。バッファ層29vは、第1の面S1から第2の面S2へ向かって連続的に減少する不純物濃度プロファイルを有している。

[0047] ここで第1の面S1と第2の面S2との間の地点を中間地点P1とする。中間地点P1は、第1の面S1と第2の面S2との間に位置する、第1の面S1および第2の面S2の各々から離れた地点であればよく、第1の面S1および第2の面S2から等距離に位置する必要はない。本実施の形態によれば、バッファ層29vは、その不純物濃度が、第1の面S1から中間地点P1へ向かって連続的に第1の減少率で減少し、かつ中間地点P1から第2の面S2へ向かって第2の減少率で連続的に減少する不純物濃度プロファイルを有している。第1の減少率は第2の減少率よりも小さい。

[0048] バッファ層29（図8）とバッファ層29v（図9）との間でその不純物濃度プロファイルを比較すると、バッファ層29vにおいては、第2の炭化珪素層22の直上からバッファ層29vの厚み方向における中間地点P1までの不純物濃度の変化がより緩やかとされている。これにより、第2の炭化珪素層22と第3の炭化珪素層23との界面での歪の発生が抑制される。よって、新たな結晶欠陥の発生をさらに抑制することができる。

[0049] バッファ層29vは、たとえば、次のように形成される。まず、第2の炭化珪素層22上に、表面に向かって厚み1 μm あたり $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ （第1の減少率）で不純物濃度が減少するように、厚み10 μm の第1の炭化珪素領域が堆積される。第1の炭化珪素領域上に、表面に向かって厚み1 μm あたり $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ （第2の減少率）で不純物濃度が減少するように、厚み5 μm の第2の炭化珪素領域が堆積される。これにより総厚み15 μm のバ

ッファ層 29 v が形成され、第 1 の炭化珪素領域と第 2 の炭化珪素領域との間の界面の位置が中間地点 P 1 に対応する。

[0050] なお上記の例においては、中間地点 P 1 は、不純物濃度プロファイルが折れ曲がる地点に対応している。しかしながら中間地点 P 1 は、必ずしもそのような地点である必要はなく、不純物濃度プロファイルが上述した条件を満たすように仮想的に定められればよい。また上記の例においては第 1 および第 2 の減少率の各々は一定であるが、これらは厚み方向において変化してもよい。言い換えれば、上記第 1 および第 2 の炭化珪素領域の各々において、不純物濃度プロファイルは、必ずしも直線に変化する必要はなく、曲線で変化してもよい。その場合、第 1 および第 2 の減少率の各々は、平均的な値によって代表されればよい。

[0051] 炭化珪素エピタキシャル基板 53 の、上記以外の構成については、前述した炭化珪素エピタキシャル基板 52（図 8：実施の形態 2）の構成とほぼ同じであるため、同一または対応する要素について同一の符号を付し、その説明を繰り返さない。

[0052] なお、上記各実施の形態においては、「一の導電型」が n 型の場合について説明したが、「一の導電型」は p 型であってもよい。

[0053] <実施例>

（実施例 1）

炭化珪素単結晶基板 10（図 2）として、オフ角 4 度、直径 75 mm（3 インチ）、結晶多形 4 H、導電型 n 型、不純物濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する炭化珪素基板が用意された。炭化珪素基板の表面は、あらかじめ、機械研磨および化学機械研磨により鏡面に加工されていた。表面における基底面転位密度は 500 個 cm^{-2} であった。

[0054] 次に、この表面に存在する有機物汚染および金属汚染などを除去するための表面洗浄が実施された。具体的には、まず、炭化珪素単結晶基板 10 がアンモニア水と過酸化水素水との混合溶液を加熱したものに浸された。次に、炭化珪素単結晶基板 10 が、加熱された塩酸と過酸化水素水との混合溶液に

浸された。次に、炭化珪素単結晶基板 10 が、フッ化水素を含む水溶液に浸された。次に、純水による置換処理が施された。次に炭化珪素単結晶基板 10 が乾燥された。表面洗浄前の表面には、たとえば、金属元素などの異物が存在し得る。このような異物は、エピタキシャル成長時に新たな結晶欠陥が発生する原因となり得る。

[0055] なお、後述するエピタキシャル成長の最初の段階で導入される水素ガスにも、表面汚染を除去する作用がある。しかしながら、表面洗浄を十分に行う意味でも、また、成長炉内の清浄度を保つ意味でも、表面上の異物は、炭化珪素単結晶基板 10 がエピタキシャル成長のための反応炉に導入される前に除去しておくことが望ましい。

[0056] 続いて、炭化珪素単結晶基板 10 がエピタキシャル成長用の CVD 装置の反応炉内に導入された。反応炉内の温度は 1575°C とされた。キャリアガスである水素ガスを供給し始めた後に炭化珪素原料ガスおよび不純物原料ガスを導入することでエピタキシャル成長が開始された。具体的には、炭化珪素ガスおよび不純物原料ガスの流量を調整することで、まず、不純物濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の第 1 の炭化珪素層 21 が 500 nm の厚みで形成された。続いて、窒素ガス流量を調整することで、不純物濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の第 2 の炭化珪素層 22 が $1 \mu\text{m}$ の厚みで形成された。さらに、不純物濃度が $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の第 3 の炭化珪素層 23 が $10 \mu\text{m}$ の厚みで形成された。炭化珪素原料ガスにはモノシランおよびプロパンが用いられた。不純物原料ガスには、窒素 (N) 原子を含有するガス、具体的には窒素ガス、が用いられた。なお窒素ガスに代わり、リン (P) 原子を含有するガスを用いることもできる。また、成長させられるエピタキシャル層が p 型の場合は、アルミニウム (Al) 原子またはボロン (B) 原子を含むガスが用いられ得る。

[0057] 以上により、炭化珪素エピタキシャル基板 51 を得た。その全体のフォトルミネッセンスイメージを取得したところ、第 3 の炭化珪素層 23 中の基底面転位密度は 300 個 cm^{-2} であった。この炭化珪素エピタキシャル基板 51 を用いて、バイポーラ素子である pin ダイオード 100 (図 1) が作製さ

れた。作製された複数の素子のうち、活性層としての第3の炭化珪素層23中に基底面転位が存在しない素子を選択された。当該素子に対して 50 A cm^{-2} の電流密度で60分間の順方向通電が行われた。その結果、ダイオードの特性に変化はみられなかった。また、活性層としての第3の炭化珪素層23中に基底面転位が存在する素子について、基底面転位の断面構造が観察された。その結果、基底面転位は、第2の炭化珪素層22と第3の炭化珪素層23との界面から形成されていた。

[0058] (実施例2)

実施例1と同様に準備された炭化珪素単結晶基板10(図8)上に、エピタキシャル成長層が形成された。具体的には、まず、不純物濃度が $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ となるように窒素ガス流量を調整された状態で成長が開始された。成長が始まると同時に窒素ガス流量を一定の割合で減少させることで、炭化珪素単結晶基板10上に、不純物濃度が $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ まで線形に減少するようなバッファ層が200nmの厚みで形成された。続いて、不純物濃度が $5 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ の第1の炭化珪素層21が形成された。次に、不純物濃度が $5 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ まで線形に増加するようなバッファ層を500nmの厚みで成長させた後に、不純物濃度が $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ の第2の炭化珪素層22が500nmの厚みで形成された。さらに、不純物濃度が $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ から $3 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ まで線形に減少するようなバッファ層29が10 μm の厚みで形成された。バッファ層29上に不純物濃度が $3 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ の第3の炭化珪素層23が10 μm の厚みで形成された。

[0059] 以上により、炭化珪素エピタキシャル基板52を得た。その全体のフォトルミネッセンスイメージを取得したところ、第3の炭化珪素層23中の基底面転位密度は50個 cm^{-2} であった。これらの基底面転位の断面構造を確認したところ、基底面転位は炭化珪素単結晶基板10から伝播してきたものであった。この炭化珪素エピタキシャル基板52を用いて、バイポーラ素子であるpinダイオードが作製された。作製された複数の素子のうち、活性層とし

ての第3の炭化珪素層23中に基底面転位が存在しない素子が選択された。当該素子に対して 50 A cm^{-2} の電流密度で60分間の順方向通電が行われた。その結果、ダイオードの特性に変化はみられなかった。

[0060] (比較例)

実施例1と同様に準備された炭化珪素単結晶基板10(図3)上に、エピタキシャル成長層が形成された。具体的には、まず、不純物濃度 $5 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ の第1の炭化珪素層21が 500 nm の厚みで形成された。続いて、窒素ガス流量を調整することで、不純物濃度が $3 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ の第3の炭化珪素層23が $10\text{ }\mu\text{m}$ の厚みで形成された。以上により、炭化珪素エピタキシャル基板59を得た。その全体のフォトルミネッセンスイメージを取得したところ、第3の炭化珪素層23中の基底面転位密度は 100 個 cm^{-2} であった。この炭化珪素エピタキシャル基板59を用いて、バイポーラ素子であるpinダイオードが作製された。

[0061] 作製された複数の素子のうち、活性層としての第3の炭化珪素層23中に基底面転位が存在しない素子が選択された。当該素子に対して 50 A cm^{-2} の電流密度で60分間の順方向通電が行われた。その結果、通電に伴い順方向電圧降下の増大がみられた。このような劣化がみられた素子について、その電極などを除去した後に、フォトルミネッセンスイメージが取得された。その結果、拡大した積層欠陥が確認された。炭化珪素単結晶基板10と第1の炭化珪素層21との界面に積層欠陥が交錯する位置周辺の断面構造を確認した結果、第1の炭化珪素層21(図4)中で、炭化珪素単結晶基板10から伝播してきた基底面転位DBaが貫通刃状転位DTに転換している様子と、転換点PNより下側の基底面転位DBa(すなわち積層欠陥)から第3の炭化珪素層23へ基底面転位DBzが伸長している様子とが観察された。

[0062] なお、本発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。この発明は詳細に説明されたが、上記した説明は、すべての局面において、例示であって、この発明がそれに限定されるものではない。例示されてい

ない無数の変形例が、この発明の範囲から外れることなく想定され得るものと解される。

符号の説明

[0063] S 1 第1の面、S 2 第2の面、D T 貫通刃状転位、P N 転換点、D B a, D B b, D B z 基底面転位、1 0 炭化珪素単結晶基板、2 1 第1の炭化珪素層、2 2 第2の炭化珪素層、2 3 第3の炭化珪素層、第3のエピタキシャル層、2 9, 2 9 v バッファ層、5 1～5 3 炭化珪素エピタキシャル基板、1 0 0 p i nダイオード（炭化珪素半導体装置）、1 0 1 カソード電極（第1の電極）、1 0 2 アノード電極（第2の電極）、1 2 3 J T E領域、1 2 4 第4の炭化珪素層、1 3 3 絶縁膜、2 0 0 プレーナゲート型M O S F E T（炭化珪素半導体装置）、3 0 0 トレンチゲート型M O S F E T（炭化珪素半導体装置）、2 0 1, 3 0 1 ドレイン電極（第1の電極）、2 0 2, 3 0 2 ソース電極（第2の電極）、2 2 3, 3 2 3 ソース層、2 2 4, 3 2 4 ベース層（第4の炭化珪素層）、2 3 1, 3 3 1 ゲート絶縁膜、2 3 2, 3 3 2 ゲート電極。

請求の範囲

- [請求項1] 第1の不純物濃度を有する一の導電型の炭化珪素単結晶基板（10）と、
- 前記炭化珪素単結晶基板（10）上に設けられ、前記第1の不純物濃度よりも低い第2の不純物濃度を有する前記一の導電型の第1の炭化珪素層（21）と、
- 前記第1の炭化珪素層（21）上に設けられ、前記第1の不純物濃度よりも高い第3の不純物濃度を有する前記一の導電型の第2の炭化珪素層（22）と、
- 前記第2の炭化珪素層（22）上に設けられ、前記第2の不純物濃度よりも低い第4の不純物濃度を有する前記一の導電型の第3の炭化珪素層（23）と、
- を備える、炭化珪素エピタキシャル基板（51～53）。
- [請求項2] 前記第3の不純物濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項1に記載の炭化珪素エピタキシャル基板（51～53）。
- [請求項3] 前記第3の不純物濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、請求項1または2に記載の炭化珪素エピタキシャル基板（51～53）。
- [請求項4] 前記第2の不純物濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項1から3のいずれか1項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板（51～53）。
- [請求項5] 前記第4の不純物濃度は $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項1から4のいずれか1項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板（51～53）。
- [請求項6] 第1の面（S1）と前記第1の面（S1）と反対の第2の面（S2）とを有し、炭化珪素から作られたバッファ層（29，29v）をさらに備え、
- 前記第1の面（S1）は前記第2の炭化珪素層（22）に面しており、前記第2の面（S2）は前記第3の炭化珪素層（23）に面して

おり、前記バッファ層（２９，２９ｖ）は、前記第１の面（Ｓ１）から前記第２の面（Ｓ２）へ向かって連続的に減少する不純物濃度プロファイルを有している、請求項１から５のいずれか１項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板（５１～５３）。

[請求項７] 第１の面（Ｓ１）と前記第１の面（Ｓ１）と反対の第２の面（Ｓ２）とを有し、炭化珪素から作られたバッファ層（２９ｖ）をさらに備え、

前記第１の面（Ｓ１）は前記第２の炭化珪素層（２２）に面しており、前記第２の面（Ｓ２）は前記第３の炭化珪素層（２３）に面しており、

前記バッファ層（２９ｖ）の前記第１の面（Ｓ１）と前記第２の面（Ｓ２）との間の地点を中間地点とすると、前記バッファ層（２９ｖ）は、不純物濃度が、前記第１の面（Ｓ１）から前記中間地点へ向かって連続的に第１の減少率で減少し、かつ前記中間地点から前記第２の面（Ｓ２）へ向かって第２の減少率で連続的に減少する不純物濃度プロファイルを有しており、

前記第１の減少率は前記第２の減少率よりも小さい、
請求項１から５のいずれか１項に記載の炭化珪素エピタキシャル基板（５３）。

[請求項８] 第１の不純物濃度を有する一の導電型の炭化珪素単結晶基板（１０）と、

前記炭化珪素単結晶基板（１０）上に設けられ、前記第１の不純物濃度よりも低い第２の不純物濃度を有する前記一の導電型の第１の炭化珪素層（２１）と、

前記第１の炭化珪素層（２１）上に設けられ、前記第１の不純物濃度よりも高い第３の不純物濃度を有する前記一の導電型の第２の炭化珪素層（２２）と、

前記第２の炭化珪素層（２２）上に設けられ、前記第２の不純物濃

度よりも低い第4の不純物濃度を有する前記一の導電型の第3の炭化珪素層（23）と、

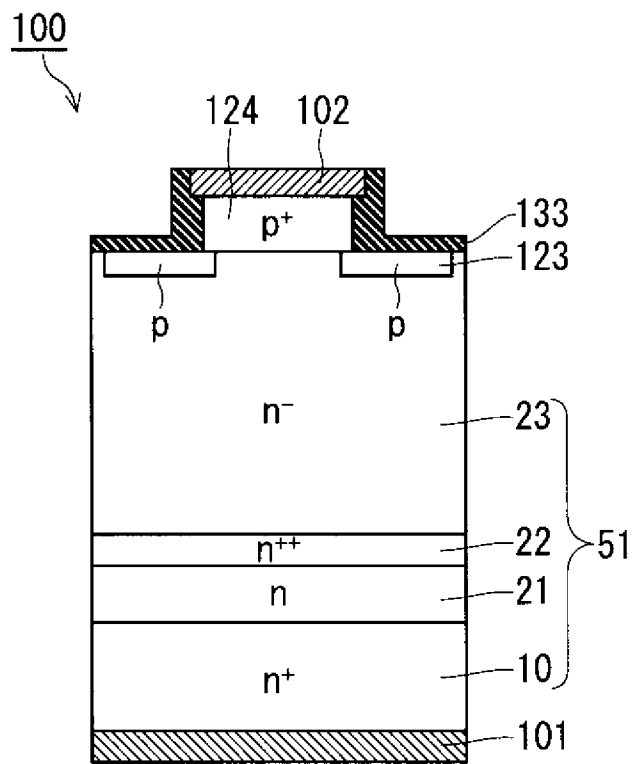
前記第3の炭化珪素層（23）上に設けられた、前記一の導電型と異なる導電型の第4の炭化珪素層（124, 224, 324）と、
を備える、炭化珪素半導体装置（100, 200, 300）。

[請求項9] 前記炭化珪素単結晶基板（10）に電氣的に接続された第1の電極（101, 201, 301）と、

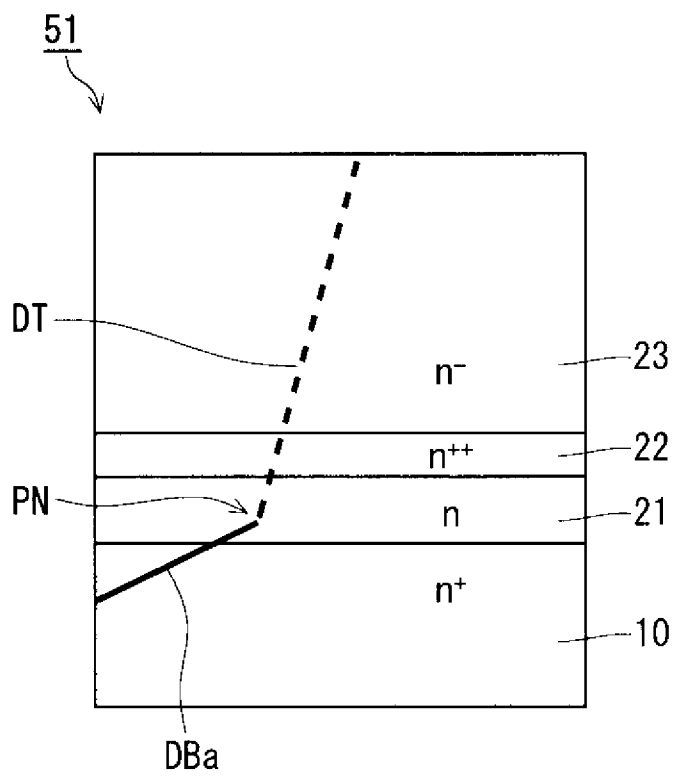
前記第4の炭化珪素層（124, 224, 324）に電氣的に接続された第2の電極（102, 202, 302）と、
をさらに備える、請求項8に記載の炭化珪素半導体装置（100, 200, 300）。

[請求項10] 前記第1の電極（101, 201, 301）は前記炭化珪素単結晶基板（10）にオーミック接続されており、前記第2の電極（102, 202, 302）は前記第4の炭化珪素層（124, 224, 324）にオーミック接続されている、請求項9に記載の炭化珪素半導体装置（100, 200, 300）。

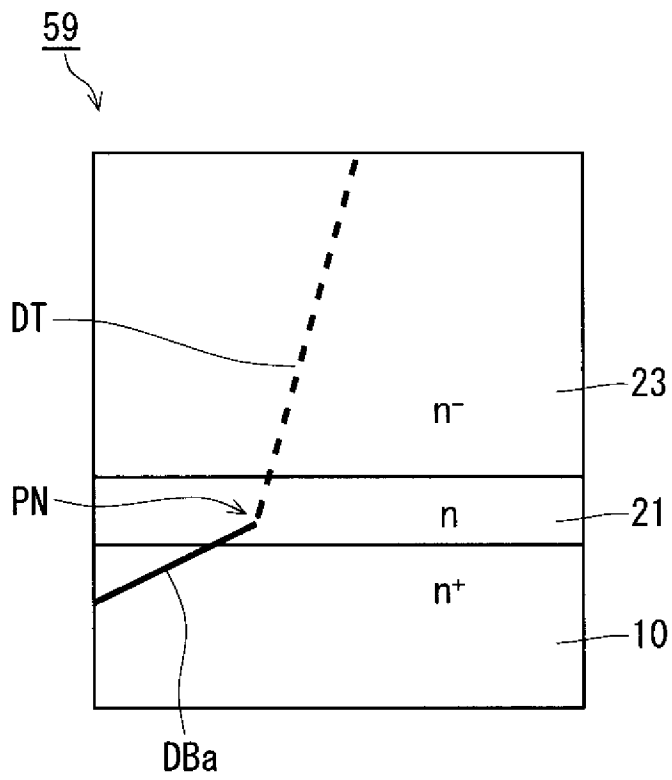
[図1]



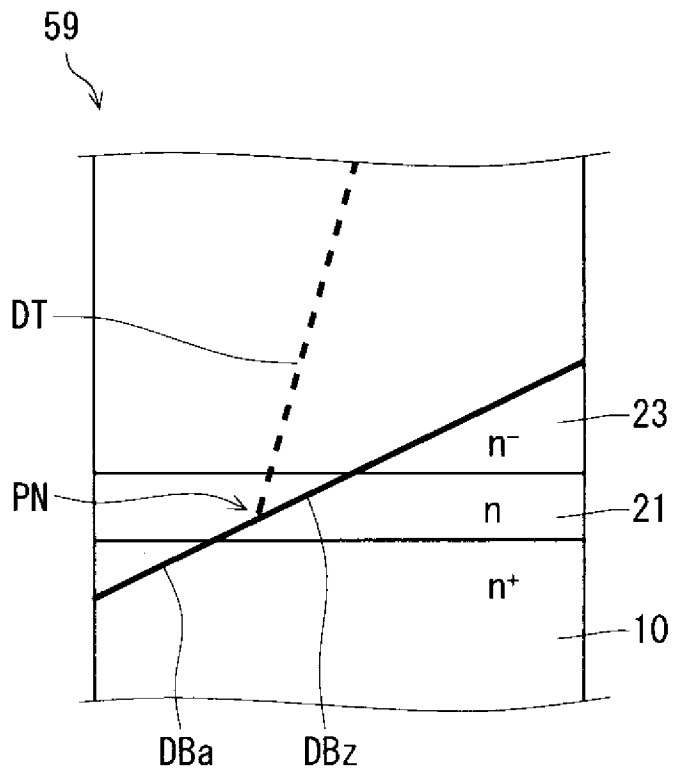
[図2]



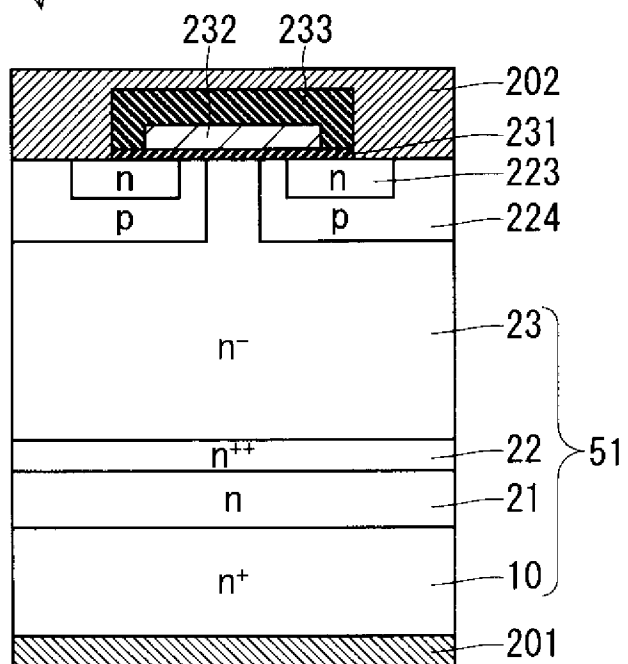
[図3]



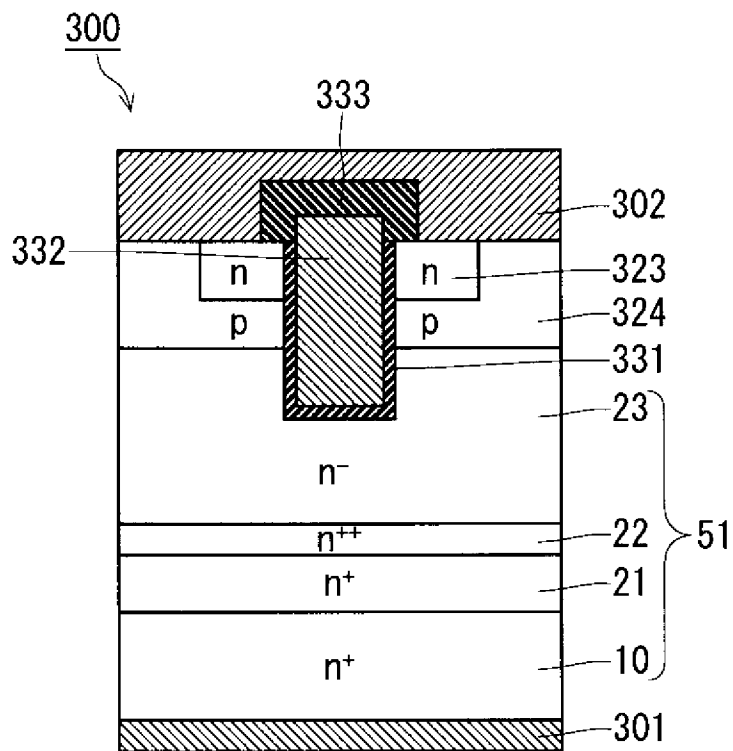
[図4]



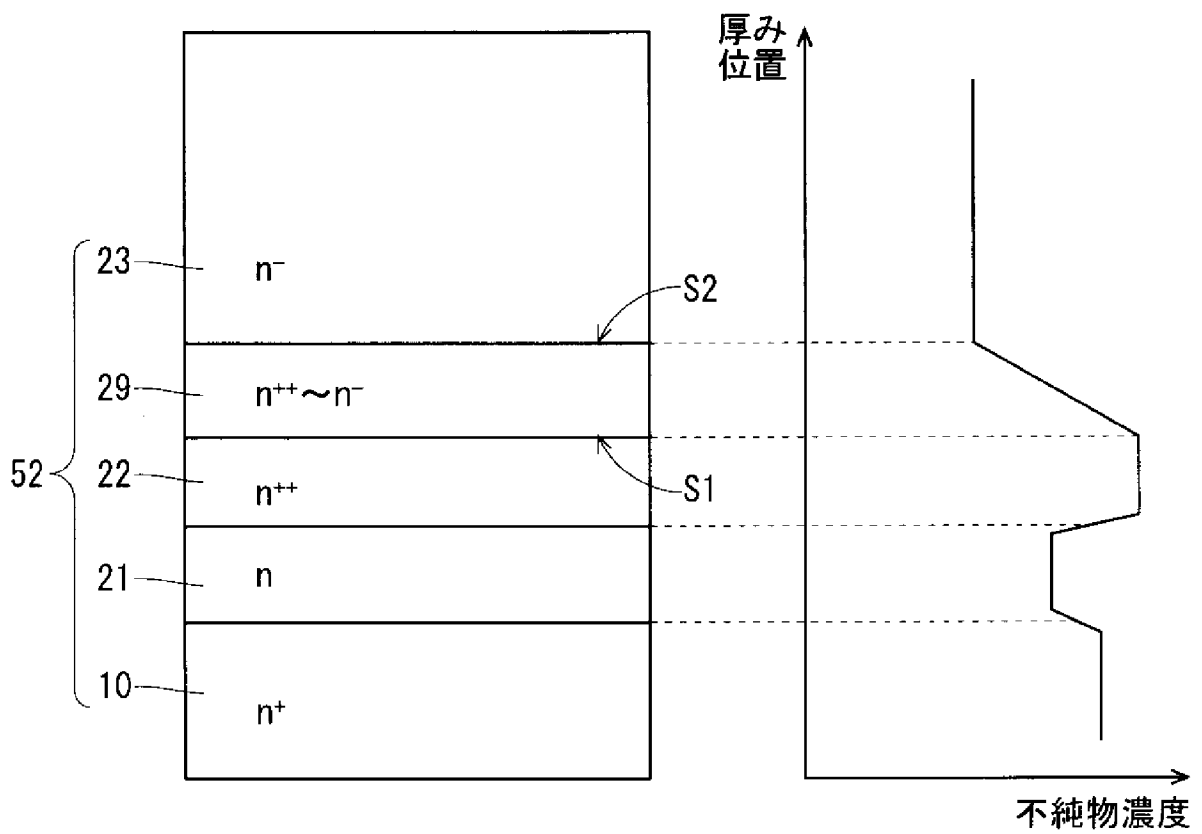
51



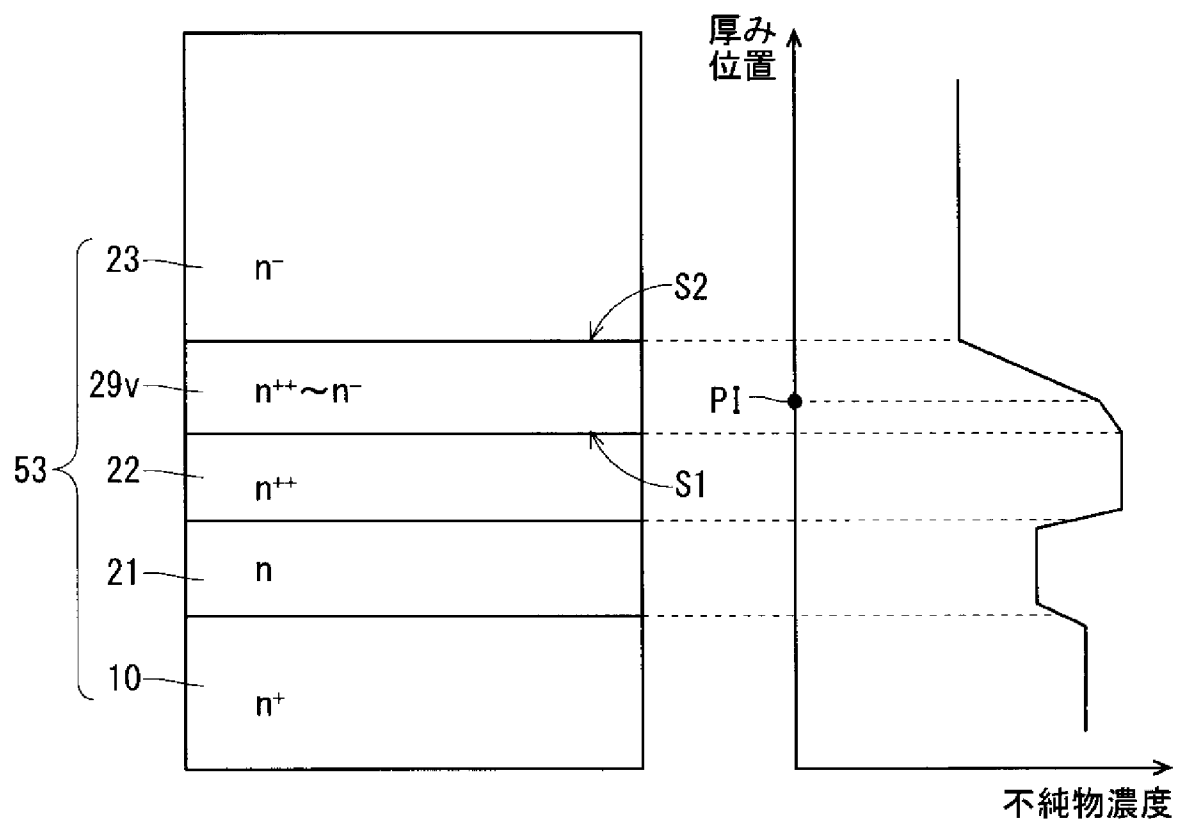
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/085525

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L29/861(2006.01)i, C30B25/20(2006.01)i, C30B29/36(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L21/329(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i, H01L29/868(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)

H01L29/861, C30B25/20, C30B29/36, H01L21/20, H01L21/205, H01L21/329, H01L21/336, H01L29/12, H01L29/78, H01L29/868

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2000-319099 A (Hiroyuki MATSUNAMI), 21 November 2000 (21.11.2000), paragraph [0049]; fig. 5 & WO 2000/068474 A1 & AU 4318600 A	1-10
A	JP 2011-114252 A (Toshiba Corp.), 09 June 2011 (09.06.2011), paragraphs [0017] to [0053]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1-10
A	WO 2012/026234 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 01 March 2012 (01.03.2012), paragraphs [0016] to [0074]; fig. 1 to 12 & JP 5506938 B2 & US 2013/0099253 A1 paragraphs [0031] to [0089]; fig. 1 to 12 & DE 112011102787 T5	1-10

☒ 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
13 February 2017 (13.02.17)

Date of mailing of the international search report
21 February 2017 (21.02.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/085525

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-064970 A (Toshiba Corp.), 26 March 2009 (26.03.2009), paragraphs [0049] to [0059]; fig. 23 to 35 (Family: none)	1-10
A	WO 2015/170500 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 12 November 2015 (12.11.2015), paragraphs [0059] to [0062]; fig. 10 (Family: none)	1-10
P, A	WO 2016/092887 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 16 June 2016 (16.06.2016), paragraphs [0049] to [0155]; fig. 1 to 12 (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L29/861(2006.01)i, C30B25/20(2006.01)i, C30B29/36(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i,
H01L21/205(2006.01)i, H01L21/329(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i,
H01L29/78(2006.01)i, H01L29/868(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 (IPC))

Int.Cl. H01L29/861, C30B25/20, C30B29/36, H01L21/20, H01L21/205, H01L21/329, H01L21/336, H01L29/12,
H01L29/78, H01L29/868

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
A	JP 2000-319099 A (松波 弘之) 2000.11.21, 段落 0049, 図 5 & WO 2000/068474 A1 & AU 4318600 A	1-10
A	JP 2011-114252 A (株式会社東芝) 2011.06.09, 段落 0017-0053, 図 1-6 (ファミリーなし)	1-10
A	WO 2012/026234 A1 (三菱電機株式会社) 2012.03.01, 段落 0016-0074, 図 1-12 & JP 5506938 B2 & US 2013/0099253 A1, 段落 0031-0089, 図 1-12 & DE 112011102787 T5	1-10

☒ 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

13.02.2017

国際調査報告の発送日

21.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
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)

綿引 隆

5 F

2934

電話番号 03-3581-1101 内線 3516

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
A	JP 2009-064970 A (株式会社東芝) 2009.03.26, 段落 0049-0059, 図 23-35 (ファミリーなし)	1-10
A	WO 2015/170500 A1 (三菱電機株式会社) 2015.11.12, 段落 0059-0062, 図 10 (ファミリーなし)	1-10
P A	WO 2016/092887 A1 (三菱電機株式会社) 2016.06.16, 段落 0049-0155, 図 1-12 (ファミリーなし)	1-10