

(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
2016年1月28日(28.01.2016)

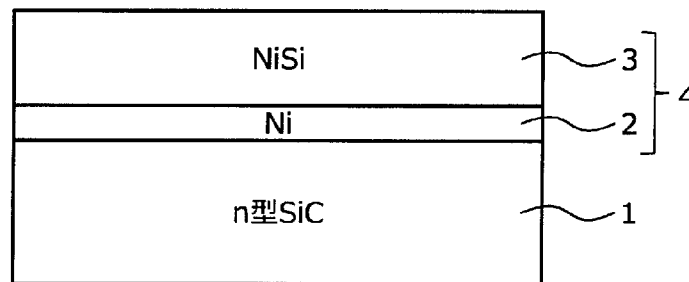


(10) 国際公開番号
WO 2016/013305 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/066078
- (22) 国際出願日: 2015年6月3日(03.06.2015)
- (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 2014-151279 2014年7月24日(24.07.2014) JP
- (71) 出願人: 富士電機株式会社(FUJII ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 河田 泰之(KAWADA, Yasuyuki); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 酒井 昭徳(SAKAI, Akinori); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング5階 酒井総合特許事務所 Tokyo (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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, 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))

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 炭化珪素半導体装置の製造方法



1 n-type SiC

(57) Abstract: A surface electrode film (4) is formed on the surface of a silicon carbide semiconductor part (1) by sequentially laminating a first electrode film (2) that is formed of nickel and a second electrode film (3) that is formed of nickel silicide (NiSi). Subsequently, an ohmic contact is established between the silicon carbide semiconductor part (1) and the surface electrode film (4) by converting almost all of the first electrode film (2) into nickel silicide (Ni₂Si) by causing silicon atoms of the silicon carbide semiconductor part (1) and nickel atoms of the first electrode film (2) to react with each other by a heat treatment. Since the second electrode film (3) contains silicon, the second electrode film (3) does not react with silicon atoms of the silicon carbide semiconductor part (1) during the heat treatment. The first electrode film (2) has a thickness of from 5 nm to 10 nm (inclusive). The second electrode film (3) has a thickness of 80 nm or more. Consequently, adhesion between the electrode film that establishes an ohmic contact with the silicon carbide semiconductor part (1) and a wiring layer that is laminated on the electrode film is able to be ensured.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/013305 A1



炭化珪素半導体部（１）の表面に、ニッケルからなる第１電極膜（２）と、ニッケルシリサイド（ NiSi ）からなる第２電極膜（３）とを順に積層してなる表面電極膜（４）を形成する。その後、熱処理により、炭化珪素半導体部（１）のシリコン原子と第１電極膜（２）のニッケル原子とを反応させて第１電極膜（２）のほぼすべてをニッケルシリサイド（ Ni_2Si ）にすることで、炭化珪素半導体部（１）と表面電極膜（４）とのオーミックコンタクトを形成する。第２電極膜（３）はシリコンを含有するため、熱処理時に炭化珪素半導体部（１）のシリコン原子と反応しない。第１電極膜（２）の厚さは、 5 nm 以上 10 nm 以下である。第２電極膜（３）の厚さは、 80 nm 以上である。このようにすることで、炭化珪素半導体部（１）とのオーミックコンタクトを形成する電極膜と、電極膜上に積層される配線層との密着性を確保することができる。

明 細 書

発明の名称：炭化珪素半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] この発明は、炭化珪素半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、炭化珪素（以下、S i Cとする）半導体は、熱的、化学的、機械的に安定であり、発光素子や高周波デバイス、電力用半導体装置（パワーデバイス）として様々な産業分野への適用が期待されている。特に、S i C半導体を用いた高耐圧のM O S F E T（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：絶縁ゲート型電界効果トランジスタ）は、シリコン（S i）半導体を用いた高耐圧のM O S F E Tよりもオン抵抗が低いという利点を有する。また、S i C半導体を用いたショットキーダイオードは、シリコン半導体を用いたショットキーダイオードよりも順方向の降下電圧が低くなることが報告されている。

[0003] 本来、パワーデバイスのオン抵抗とスイッチング速度とはトレードオフ関係にあるが、S i C半導体を用いたパワーデバイスは、低オン抵抗化と高速スイッチング速度化とを同時に達成することができる可能性がある。S i C半導体を用いたパワーデバイスの低オン抵抗化には、電極膜とS i C半導体部との間に形成されるオーミックコンタクト（電氣的接触部）のコンタクト抵抗の低減が重要である。また、S i C半導体を用いたパワーデバイスの高速スイッチング速度化においても、オーミックコンタクトのコンタクト抵抗は大きな問題である。S i C半導体を用いたパワーデバイスの実用化における問題の1つとして、各デバイス構造および作製（製造）プロセスに適合した実用的な低抵抗のオーミックコンタクトを形成するための技術が確立されていないことが挙げられる。

[0004] n型S i C半導体部との低抵抗なオーミックコンタクトを形成する方法と

して広く活用されている技術として、電極膜を n 型 S i C 半導体部上に被着させて形成したオーミック電極構造体を 8 0 0 ℃ ~ 1 2 0 0 ℃ 程度の高温で熱処理する方法が提案されている（例えば、下記特許文献 1 ~ 3 参照。）。電極材料としては、ニッケル（N i）、タングステン（W）およびチタン（T i）などが公知である。特に電極材料としてニッケルを用いたオーミックコンタクトでは $10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$ 台の実用的なコンタクト抵抗値が得られ、極めて有望なオーミックコンタクトとなる。

[0005] しかしながら、電極材料としてニッケルを用いた場合、高温熱処理によりニッケル膜と S i C 半導体部とが反応し、電極膜としてニッケル-シリコン-炭素（C）が混合した導電性の反応層（例えばニッケルシリサイド（N i S i）膜）が形成される。このとき、電極膜の表面付近には S i C 半導体部から遊離（拡散）した炭素原子が多く析出し、電極膜表面は炭素原子が析出してなる炭素層でほぼ覆われる。このため、電極膜と、電極膜上にさらに積層（形成）する配線のための例えばアルミニウム（A l）膜（配線層）との密着性が悪くなり、配線層が剥離する虞がある。

[0006] この問題を解消する方法として、下記特許文献 1 には、電極膜となるニッケルシリサイド膜の生成によりニッケルシリサイド膜表面に析出した炭素層を、ニッケルシリサイド膜上に配線層を積層する前に熱処理により除去することが記載されている。下記特許文献 2, 3 には、電極膜の材料組成比を調整し、電極膜と S i C 半導体部とのオーミックコンタクト形成時に S i C 半導体部から遊離した炭素原子と電極膜とを反応させて炭化物を生成することで、電極膜表面への炭素原子の析出を抑制することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開 2 0 1 3 - 2 2 2 8 2 3 号公報
特許文献2：国際公開第 2 0 1 1 / 1 1 5 2 9 4 号
特許文献3：特開 2 0 1 3 - 2 1 9 1 5 0 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上述したように、電極材料となるニッケル膜をS i C半導体部上に形成し、高温熱処理により電極膜とS i C半導体部とのオーミックコンタクトを形成する場合、S i C半導体部から遊離した炭素原子が電極膜表面に析出し、電極膜上に積層するアルミニウム膜などが剥離しやすいという問題がある。

[0009] この発明は、上述した従来技術による問題点を解消するため、S i C半導体部とのオーミックコンタクトを形成する電極膜と、電極膜上に積層される配線層との密着性を確保することができる炭化珪素半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上述した課題を解決し、本発明の目的を達成するため、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、n型の炭化珪素半導体部と、前記炭化珪素半導体部の表面に形成された表面電極膜とのオーミックコンタクトを形成する炭化珪素半導体装置の製造方法であって、次の特徴を有する。まず、前記炭化珪素半導体部の表面に、前記表面電極膜としてニッケルからなる第1電極膜を形成する第1形成工程を行う。次に、前記第1電極膜の表面に、前記表面電極膜としてニッケルシリサイドからなる第2電極膜を形成する第2形成工程を行う。次に、熱処理により前記炭化珪素半導体部のシリコン原子と前記第1電極膜のニッケル原子とを反応させて前記第1電極膜をシリサイド化することで、前記炭化珪素半導体部と前記表面電極膜とのオーミックコンタクトを形成する熱処理工程を行う。そして、前記第1形成工程では、前記熱処理工程で前記第1電極膜をシリサイド化する際に前記炭化珪素半導体部から遊離し前記表面電極膜側に拡散する炭素原子が前記第2電極膜の内部に取り込み可能な少ない含有率となる薄厚に前記第1電極膜を形成する。

[0011] また、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、上述した発明において、前記第2形成工程では、前記熱処理工程で前記第2電極膜の内部に取り込まれる前記炭素原子の、前記表面電極膜の表面への析出を抑制可能な厚さの前記第2電極膜を形成することを特徴とする。

[0012] また、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、上述した発明において、前記第2形成工程では、前記熱処理工程で前記炭化珪素半導体部との反応を抑制可能な組成で前記第2電極膜を形成することを特徴とする。

[0013] また、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、上述した発明において、前記第2電極膜は、ニッケル原子を60atm%およびシリコン原子を40atm%の含有率と、ニッケル原子を70atm%およびシリコン原子を30atm%の含有率との間の範囲の組成であることを特徴とする。

[0014] また、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、上述した発明において、前記第2形成工程では、前記熱処理工程でシリサイド化された前記第1電極膜の組成とほぼ等しい組成で前記第2電極膜を形成することを特徴とする。

[0015] また、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、上述した発明において、前記第1電極膜の厚さは、5nm以上10nm以下であることを特徴とする。

[0016] また、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、上述した発明において、前記第2電極膜の厚さは、80nm以上であることを特徴とする。

[0017] 上述した発明によれば、表面電極膜の、炭化珪素半導体部中のシリコン原子との反応によりシリサイド化される領域を第1電極膜のみとすることができ、熱処理時に生じる余剰の炭素原子を減少させることができる。また、この余剰の炭素原子を第2電極膜に取り込むことができる。このため、表面電極膜の最表面への炭素原子の析出が抑制される。

発明の効果

[0018] 本発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法によれば、熱処理によりオーミックコンタクトを形成するにあたって、電極膜表面への炭素原子の析出を抑制し、電極膜上に積層する配線層との密着性を確保することができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]図1は、実施の形態にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法の概要を示すフローチャートである。

[図2]図2は、実施の形態にかかる炭化珪素半導体装置の製造途中の状態を示す断面図である。

[図3]図3は、従来例1における表面電極膜の深さ方向の元素分布を示す特性図である。

[図4]図4は、実施例1における第1電極膜の厚さ（Ni膜厚）と熱処理後の第1電極膜の表面組成を示す図表である。

[図5]図5は、実施例2における第2電極膜の厚さ（NiSi膜厚）と第2電極膜の表面組成を示す図表である。

[図6]図6は、実施例2における表面電極膜の深さ方向元素分析を示す特性図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下に添付図面を参照して、この発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法の好適な実施の形態を詳細に説明する。本明細書および添付図面においては、nまたはpを冠記した層や領域では、それぞれ電子または正孔が多数キャリアであることを意味する。また、nやpに付す+および-は、それぞれそれが付されていない層や領域よりも高不純物濃度および低不純物濃度であることを意味する。なお、以下の実施の形態の説明および添付図面において、同様の構成には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0021] （実施の形態）

実施の形態にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法について、炭化珪素（SiC）半導体からなる半導体部（SiC半導体部）と表面電極膜とのオーミックコンタクトを形成する方法を説明する。図1は、実施の形態にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法の概要を示すフローチャートである。図2は、実施の形態にかかる炭化珪素半導体装置の製造途中の状態を示す断面図である。図2には、n型SiC半導体部1上に第1、2電極膜2、3を順に積

層してなる表面電極膜4を形成した直後の状態を示す。n型SiC半導体部1とは、例えば、n型SiC半導体からなるn型の半導体基板（以下、SiC基板とする）、SiC基板上に積層されたn型SiC半導体層、またはSiC基板の表面層に設けられたn型SiC領域である。表面電極膜4は、n型SiC半導体部1を有する炭化珪素半導体素子（炭化珪素半導体装置）のおもて面電極として形成してもよいし、裏面電極として形成してもよい。

[0022] まず、一般的な方法により所定の素子構造（デバイス構造）を形成する（ステップS1）。すなわち、ステップS1において、n型SiC半導体部1を有する炭化珪素半導体素子（半導体チップ）を作製する。素子構造の各構成部とは、素子構造に応じて形成される半導体領域や半導体層である。素子構造は、n型SiC半導体部1の内部および表面に各構成部が形成された構成であってもよいし、n型SiC半導体部1を1つの構成部として含む構成であってもよい。具体的には、素子構造の各構成部とは、例えばMOSFETを作製（製造）する場合、おもて面素子構造であるMOSゲート（金属－酸化膜－半導体からなる絶縁ゲート）構造を構成するp型ベース領域やn⁺型ソース領域や、裏面素子構造を構成するn⁺型ドレイン領域などである。次に、このn型SiC半導体部1を有する炭化珪素半導体素子を一般的な方法により洗浄する（ステップS2）。

[0023] 次に、図2に示すように、n型SiC半導体部1の上（表面）に、ニッケル（Ni）からなる第1電極膜2を成膜（形成）する（ステップS3）。第1電極膜2の厚さは、後述する熱処理によりn型SiC半導体部1中のシリコン原子と反応してほぼすべてがシリサイド化される（具体的には、ニッケルシリサイド（Ni₂Si：以下、第1固相状態とする）膜となる）程度に薄く、例えば5nm以上10nm以下であるのが好ましい。次に、例えば第1電極膜2の成膜に連続して、第1電極膜2の上に、ニッケルシリサイド（NiSi：以下、第2固相状態とする）からなる第2電極膜3を成膜する（ステップS4）。これにより、第1、2電極膜2、3を順に積層してなる表面電極膜4が形成される。ステップS4においては、ニッケル原子とSiC半

導体中のシリコン原子とが熱処理により反応して生成される第1固相状態のニッケルシリサイド (Ni_2Si) と同程度の組成を有する第2電極膜3を形成することが好ましい。すなわち、第2電極膜3の組成は、熱処理後の第1電極膜2の組成と同程度とすることが好ましい。第2電極膜3の厚さは、例えば80nm以上であることが好ましい。

[0024] また、ステップS3、S4において、第1、2電極膜2、3の成膜には、例えば、直流 (DC: Direct Current) スパッタリング法を用いてもよい。具体的には、例えば、スパッタリング装置の処理炉に挿入したSiC半導体基体 (炭化珪素半導体素子の、n型SiC半導体部1を含むSiC半導体で構成される部分全体) に300Wの直流電力を印加し、室温 (例えば25℃)、すなわちSiC半導体基体を加熱せずに、圧力1Paのアルゴン (Ar) ガス雰囲気中でスパッタリングを行う。第1電極膜2を成膜するためのスパッタリングターゲットの金属原料は、例えば純度99.99wt%のニッケルであってもよい。第2電極膜3を成膜するためのスパッタリングターゲットの金属原料は、例えば60Ni40Si (ニッケル原子を60atm%およびシリコン原子を40atm%の含有率) と、70Ni30Si (ニッケル原子を70atm%およびシリコン原子を30atm%の含有率) との間の範囲の組成を有する金属であってもよい。

[0025] 次に、第1、2電極膜2、3が積層された状態のSiC半導体基体 (素子全体) を高温の真空雰囲気中で熱処理する (ステップS5)。具体的には、ステップS5においては、例えば、 5×10^{-4} Pa以下に排気した真空雰囲気中で1000℃程度の温度で5分間程度の高熱処理を行い、その後室温まで冷却する。この熱処理によって、第1電極膜2中のニッケル原子とn型SiC半導体部1中のシリコン原子とが反応し、ニッケル原子とシリコン原子とが所定の原子比が混合した導電性の加熱反応物が生成される。具体的には、第1電極膜2がシリサイド化され、第1固相状態のニッケルシリサイド (Ni_2Si) が生成される。このとき、第1電極膜2全体がほぼすべてシリサイド化され、第1電極膜2は第1固相状態のニッケルシリサイド (Ni_2Si)

）膜となる。また、上述したように熱処理前の第2電極膜3は第2固相状態のニッケルシリサイド（NiSi）からなる（または熱処理後の第1電極膜2と同程度の組成を有する）ため、熱処理後の表面電極膜4（第1，2電極膜2，3）のほぼ全体がニッケルシリサイド膜となる。

[0026] また、第1電極膜2の厚さが薄いため、ステップS5の熱処理において第1電極膜2とn型SiC半導体部1との反応により余る炭素（C）原子は微量である。また、第1電極膜2とn型SiC半導体部1との反応によって生じた余剰の炭素原子は、第2電極膜3に取り込まれる。第2電極膜3は、シリコンを含む金属膜であるため、n型SiC半導体部1中のシリコン原子と反応しない。すなわち、第1，2電極膜2，3を積層してなる表面電極膜4のうち、第1電極膜2のみがn型SiC半導体部1と反応して余剰の炭素原子が生じ、この余剰の炭素原子は表面電極膜4の外部に拡散されない。すなわち、第2電極膜3の表面（後述する配線層との界面）への炭素原子の析出が抑制される。次に、第2電極膜3の上に、例えばアルミニウム（Al）からなる配線層（不図示）を形成する（ステップS6）。その後、配線層の形成後に行う一般的な工程を行うことで、n型SiC半導体部1とオーミックコンタクトをなす表面電極膜4を備えた炭化珪素半導体素子が完成する。

[0027] 次に、表面電極膜4からの炭素原子の析出量について検証した。図3は、従来例1における表面電極膜の深さ方向の元素分布を示す特性図である。図4は、実施例1における第1電極膜の厚さ（Ni膜厚）と熱処理後の第1電極膜の表面組成を示す図表である。図5は、実施例2における第2電極膜の厚さ（NiSi膜厚）と第2電極膜の表面組成を示す図表である。図6は、実施例2における表面電極膜の深さ方向元素分析を示す特性図である。図3，6の元素分布および図4，5の表面組成は、ともにX線光電子分光法（XPS：X-ray Photoelectron Spectroscopy）によって検出とスパッタリングとを交互に行うことで表面電極膜の深さ方向の組成を測定している。

[0028] まず、従来の一般的な炭化珪素半導体装置の製造方法によって、n型Si

C半導体部とのオーミックコンタクトをなす表面電極膜を形成した（以下、従来例1とする）。具体的には、従来例1では、n型SiC半導体部の上に100nmの厚さのニッケル膜を成膜した後、熱処理によりニッケル膜がシリサイド化されてなる表面電極膜を形成した。従来例1の熱処理条件は、後述する実施例1と同様である。そして、XPS法により、表面電極膜の表面（n型SiC半導体部側に対して反対側の表面（以下、最表面とする））からの深さ方向の元素分布を測定した。その結果を図3に示す。図3に示す結果より、従来例1では、n型SiC半導体部（ニッケル原子=0atm%よりも深い部分（スパッタリング時間が長い部分：図3の右側部分））中のシリコン原子および炭素原子が表面電極膜中に拡散し、表面電極膜の最表面（スパッタリング時間=0分の部分（図3の左側部分））に炭素原子が多量に析出していることが確認された。

[0029] 一般的に、ニッケルはSiC半導体と反応して第1固相状態のニッケルシリサイド（ Ni_2Si ）になることが知られている。図3に示す結果より、従来例1では、n型SiC半導体部中から表面電極膜中に拡散したシリコン原子は表面電極膜中のニッケル原子と反応し、第1固相状態のニッケルシリサイド（ Ni_2Si ）が形成されることが確認された。また、n型SiC半導体部中から表面電極膜中に拡散した炭素原子は表面電極膜の最表面に析出することが確認された。表面電極膜の最表面に析出した炭素層は、アルミニウム膜との密着性が悪い。このため、この状態で表面電極膜の最表面にアルミニウムからなる配線層を成膜する場合、配線層が剥離しやすくなる。配線層との密着性を向上させるには、n型SiC半導体部中の炭素原子を表面電極膜の最表面にまで拡散させないか、表面電極膜とn型SiC半導体部との反応により余った炭素原子を除去する必要があることがわかる。

[0030] 次に、n型SiC半導体部中の炭素原子の拡散を抑制可能な条件として、第1電極膜2の厚さについて検討した。まず、上述した実施の形態にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法にしたがい、n型SiC半導体部1とのオーミックコンタクトをなす表面電極膜4を形成した複数の試料を作製した（以

下、実施例 1 とする)。具体的には、実施例 1 においては、 n 型 SiC 半導体部 1 の上に試料ごとに異なる厚さでニッケルからなる第 1 電極膜 2 を成膜し、第 1 電極膜 2 の上に第 2 固相状態のニッケルシリサイド (NiSi) からなる 80 nm の厚さの第 2 電極膜 3 を成膜した後、例示した上記諸条件で熱処理を行った。第 1 電極膜 2 を成膜するためのスパッタリングターゲットの金属原料として、純度 99.99 wt % のニッケルを用いた。第 2 電極膜 3 を成膜するためのスパッタリングターゲットの金属原料として、67 Ni 33 Si (ニッケルを 67 at m % およびシリコンを 33 at m % 含む金属) を用いた。そして、XPS 法により、第 1, 2 電極膜 2, 3 からなる表面電極膜 4 の最表面 (第 2 電極膜 3 の表面) からの深さ方向の元素分布を測定した。その結果を図 4 に示す。図 4 の炭素組成 (C 組成) は、第 2 電極膜 3 の表面への炭素原子の析出量である (図 5 においても同様)。

[0031] 図 4 に示す結果より、第 1 電極膜 2 の厚さが厚くなるほど第 1 電極膜 2 の表面 (第 1 電極膜 2 と第 2 電極膜 3 との界面) に析出する炭素原子が多くなることがわかる。この理由は、第 1 電極膜 2 中のニッケル原子と n 型 SiC 半導体部 1 中のシリコン原子との反応量が多くなり、余剰の炭素原子が出やすくなるからである。したがって、第 1 電極膜 2 の厚さは薄いことが望ましいが、第 1 電極膜 2 の厚さを薄くしすぎた場合 (例えば 5 nm 以下程度)、第 1 電極膜 2 中のニッケル原子と n 型 SiC 半導体部 1 中のシリコン原子との反応が少なすぎることでオーミック特性に悪影響が及ぶ。このため、第 1 電極膜 2 の厚さは、 n 型 SiC 半導体部 1 との良好なオーミックコンタクトを形成可能な 5 nm 以上 10 nm 以下程度であることが望ましい。

[0032] 次に、 n 型 SiC 半導体部中の炭素原子の拡散を抑制可能な条件として、第 2 電極膜 3 の厚さについて検討した。まず、上述した実施の形態にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法にしたがい、 n 型 SiC 半導体部 1 とのオーミックコンタクトをなす表面電極膜 4 を形成した複数の試料を作製した (以下、実施例 2 とする)。具体的には、実施例 2 においては、 n 型 SiC 半導体部 1 の上にニッケルからなる 10 nm の厚さの第 1 電極膜 2 を成膜し、第

1 電極膜 2 の上に試料ごとに異なる厚さで第 2 固相状態のニッケルシリサイド (NiSi) からなる第 2 電極膜 3 を成膜した後に熱処理を行った。実施例 2 の製造方法の、第 1, 2 電極膜 2, 3 の厚さ以外の条件は、実施例 1 と同様である。そして、XPS 法により、第 1, 2 電極膜 2, 3 からなる表面電極膜 4 の最表面 (第 2 電極膜 3 の表面) からの深さ方向の元素分布を測定した。その結果を図 5, 6 に示す。

[0033] 図 6 に示すように、実施例 2 においては、n 型 SiC 半導体部 1 と表面電極膜 4 との境界から (ニッケル原子 = 0 at m % の部分 (図 6 の右側部分)) から、表面電極膜 4 の最表面 (スパッタリング時間 = 0 分の部分 (図 6 の左側部分)) に向って炭素原子の含有率が減少していることが確認された。すなわち、n 型 SiC 半導体部 1 中から表面電極膜 4 中への炭素原子の拡散が抑制されている。第 1 電極膜 2 の厚さが 10 nm であるときに、第 1 電極膜 2 の表面 (第 1 電極膜 2 と第 2 電極膜 3 との界面) に析出する炭素原子の含有率は 14 at m % である (図 4 参照)。このため、表面電極膜 4 の最表面に析出する炭素原子の含有率を 14 at m % 以下とすることができる 80 nm 以上の厚さで第 2 電極膜 3 を形成すれば、表面電極膜 4 中に拡散した炭素原子が表面電極膜 4 の最表面に析出することを抑制することができる (図 5 参照)。

[0034] そこで、表面電極膜 4 と配線層との密着性について検証した。まず、20 mm 角の SiC 基板 (半導体チップ) に、スパッタリングにより 10 nm の厚さの第 1 電極膜 2 と、80 nm の厚さの第 2 電極膜 3 とを順に成膜してなる表面電極膜 4 を形成して熱処理した試料を作製した (以下、実施例 3 とする)。実施例 3 の製造方法は、実施例 1 と同様である。比較として、ニッケル膜 (表面電極膜) を 90 nm の厚さで成膜して熱処理した試料を作製した (以下、従来例 2 とする)。従来例 2 の製造方法の、ニッケル膜の厚さ以外の条件は従来例 1 と同様である。そして、実施例 3 および従来例 2 について、表面電極膜の最表面にアルミニウム膜 (配線層) を 5 μ m の厚さで形成し、アルミニウム膜に貼り付けたテープを引き剥がすことで、アルミニウム膜

の剥離の有無を観測した。その結果、従来例2では、アルミニウム膜はほぼ全面剥離したことが確認された。一方、実施例3においては、アルミニウム膜の剥離は生じないことが確認された。上述したように、実施例3においては、第1電極膜2の厚さを10nm以下とし、第2電極膜3の厚さを80nm以上として表面電極膜4を形成することで、表面電極膜4の最表面に析出する炭素原子を減少させることができると推測される。

[0035] 以上、説明したように、実施の形態によれば、n型SiC半導体部の上に、厚さの薄い第1電極膜と、ニッケルシリサイドからなる第2電極膜とからなる表面電極膜を形成することで、その後の熱処理において、表面電極膜の、n型SiC半導体部中のシリコン原子との反応によりシリサイド化される領域を、薄厚の第1電極膜のみとすることができる。すなわち、n型SiC半導体部中のシリコン原子との反応によりシリサイド化される領域を従来よりも少なくすることができるため、熱処理時に生じる余剰の炭素原子を従来よりも減少させることができる。また、この熱処理によって生じた余剰の炭素原子を第2電極膜に取り込むことができ、表面電極膜の最表面（第2電極膜の表面）への炭素原子の析出を抑制することができる。これにより、表面電極膜と、表面電極膜の最表面に形成される配線層との密着性を高くすることができ、配線層の剥離が生じにくくなる。

[0036] また、実施の形態によれば、表面電極膜のシリサイド化される領域を従来よりも少なくしたとしても、表面電極膜の、n型SiC半導体部に接する部分（第1電極膜）がほぼすべて第1固相状態のニッケルシリサイド（ Ni_2Si ）となるため、表面電極膜とn型SiC半導体部との付着力を従来と同程度に維持することができる。これにより、n型SiC半導体部から表面電極膜が剥離することを抑制することができる。また、表面電極膜の、n型SiC半導体部に接する部分がほぼすべて第1固相状態のニッケルシリサイド（ Ni_2Si ）となることにより、従来と同程度にn型SiC半導体部とのオーミックコンタクトを形成することができる。このため、第1電極膜とn型SiC半導体部とのコンタクト抵抗を低減させることができる。したがって、

膜中および最表面への余剰の炭素原子の析出を抑制して配線層との密着性を確保した、良好なオーミック性を示す表面電極膜を形成することができる。

[0037] 以上において本発明は、上述した実施の形態に限らず、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

産業上の利用可能性

[0038] 以上のように、本発明にかかる炭化珪素半導体装置の製造方法は、種々の産業用機械や自動車などに使用される炭化珪素半導体装置に有用であり、特にn型SiC半導体部とのオーミックコンタクトを形成する表面電極膜を備えた炭化珪素半導体装置に適している。

符号の説明

- [0039]
- 1 n型SiC半導体部
 - 2 第1電極膜（ニッケル膜）
 - 3 第2電極膜（第2固相状態のニッケルシリサイド（NiSi）膜）

請求の範囲

- [請求項1] n型の炭化珪素半導体部と、前記炭化珪素半導体部の表面に形成された表面電極膜とのオーミックコンタクトを形成する炭化珪素半導体装置の製造方法であって、
- 前記炭化珪素半導体部の表面に、前記表面電極膜としてニッケルからなる第1電極膜を形成する第1形成工程と、
- 前記第1電極膜の表面に、前記表面電極膜としてニッケルシリサイドからなる第2電極膜を形成する第2形成工程と、
- 熱処理により前記炭化珪素半導体部のシリコン原子と前記第1電極膜のニッケル原子とを反応させて前記第1電極膜をシリサイド化することで、前記炭化珪素半導体部と前記表面電極膜とのオーミックコンタクトを形成する熱処理工程と、
- を含み、
- 前記第1形成工程では、前記熱処理工程で前記第1電極膜をシリサイド化する際に前記炭化珪素半導体部から遊離し前記表面電極膜側に拡散する炭素原子が前記第2電極膜の内部に取り込み可能な少ない含有率となる薄厚に前記第1電極膜を形成することを特徴とする炭化珪素半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 前記第2形成工程では、前記熱処理工程で前記第2電極膜の内部に取り込まれる前記炭素原子の、前記表面電極膜の表面への析出を抑制可能な厚さの前記第2電極膜を形成することを特徴とする請求項1に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。
- [請求項3] 前記第2形成工程では、前記熱処理工程で前記炭化珪素半導体部との反応を抑制可能な組成で前記第2電極膜を形成することを特徴とする請求項1に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記第2電極膜は、ニッケル原子を60atm%およびシリコン原子を40atm%の含有率と、ニッケル原子を70atm%およびシリコン原子を30atm%の含有率との間の範囲の組成であることを

特徴とする請求項 1 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

[請求項5] 前記第 2 形成工程では、前記熱処理工程でシリサイド化された前記第 1 電極膜の組成とほぼ等しい組成で前記第 2 電極膜を形成することを特徴とする請求項 1 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

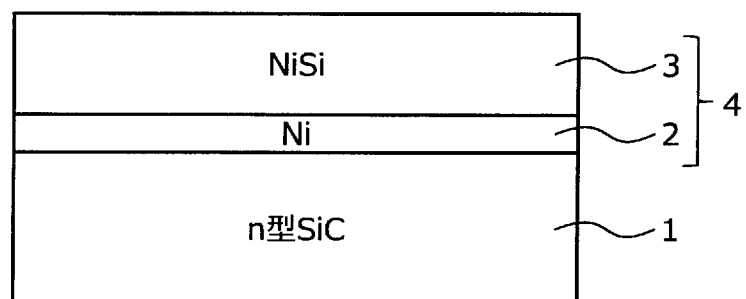
[請求項6] 前記第 1 電極膜の厚さは、5 nm 以上 10 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

[請求項7] 前記第 2 電極膜の厚さは、80 nm 以上であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一つに記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

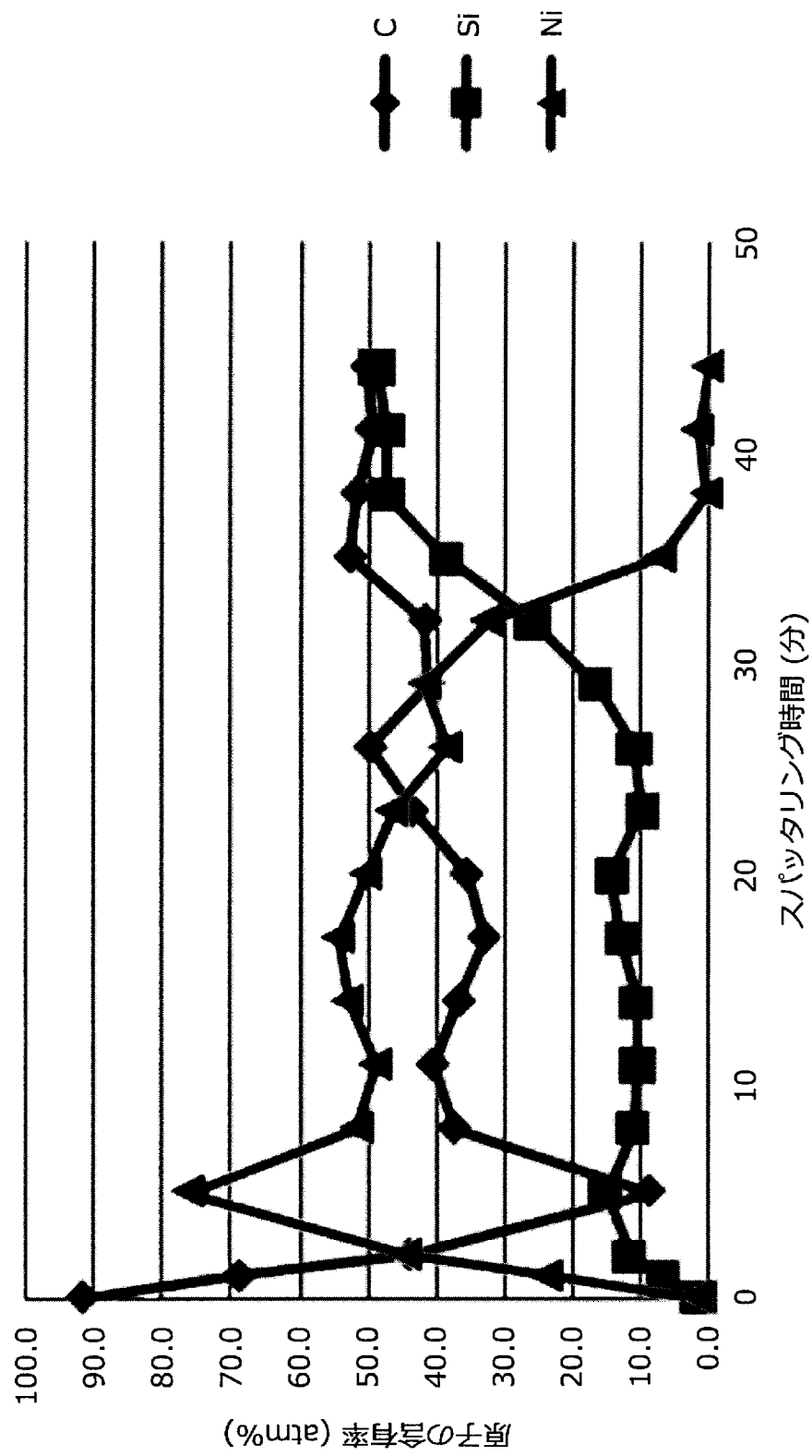
[図1]



[図2]



[図3]



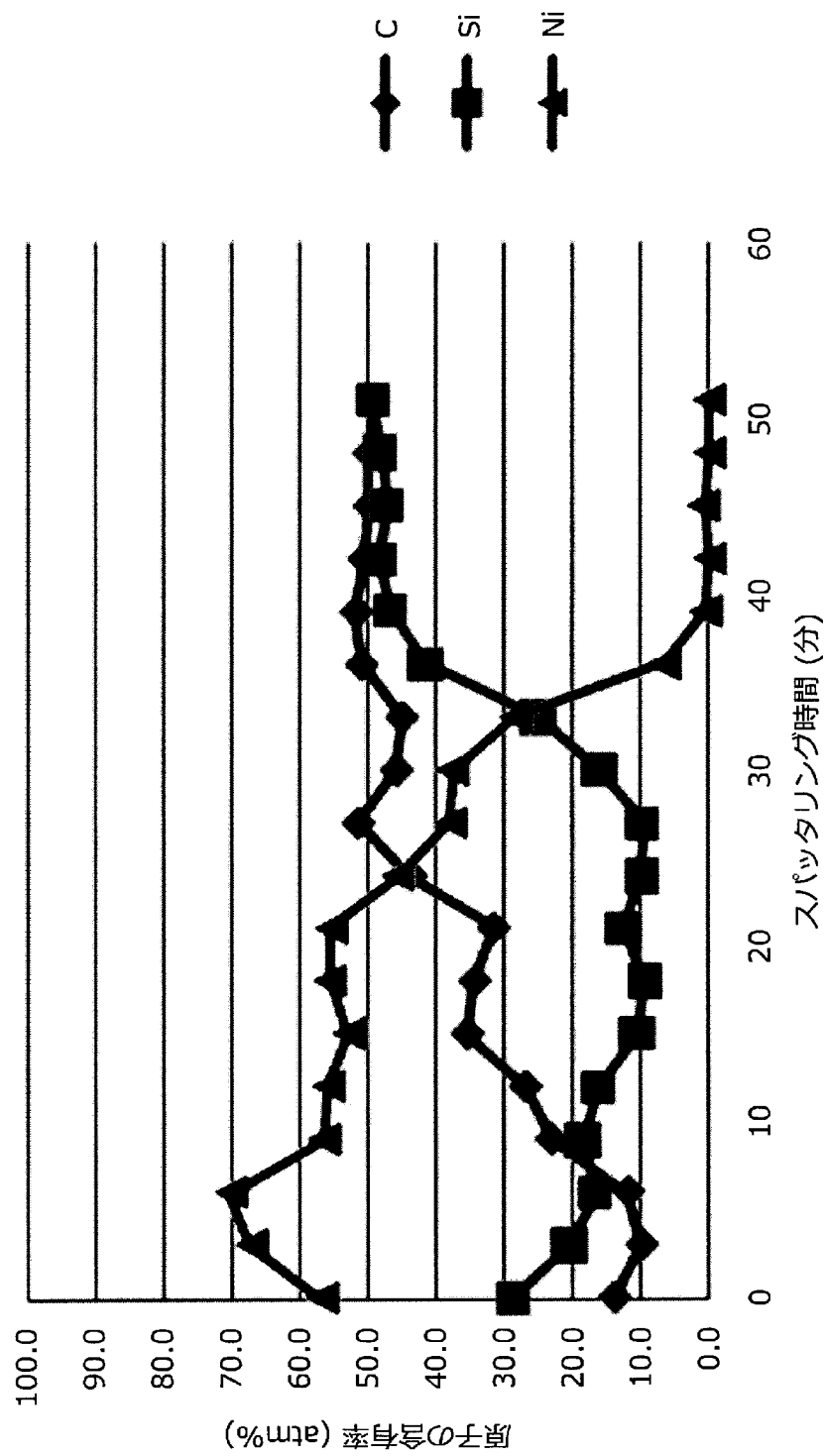
[図4]

Ni膜厚	Si組成(atm%)	Ni組成(atm%)	C組成(atm%)
5nm	32	60	8
10nm	37	49	14
15nm	24	47	29

[図5]

NiSi膜厚	Si組成(atm%)	Ni組成(atm%)	C組成(atm%)
50nm	27	50	23
80nm	29	57	14
120nm	34	54	12

[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/066078

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/28(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)

H01L21/28

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 2006-332358 A (Denso Corp.), 07 December 2006 (07.12.2006), entire text (Family: none)	1-7
A	JP 2002-217129 A (New Japan Radio Co., Ltd.), 02 August 2002 (02.08.2002), entire text (Family: none)	1-7
A	JP 2010-103229 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 06 May 2010 (06.05.2010), entire text (Family: none)	1-7

☒ 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
18 June 2015 (18.06.15)

Date of mailing of the international search report
30 June 2015 (30.06.15)

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/JP2015/066078

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 2006-24880 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 26 January 2006 (26.01.2006), entire text (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/28(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. H01L21/28

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 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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 2006-332358 A（株式会社デンソー）2006.12.07, 全文（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2002-217129 A（新日本無線株式会社）2002.08.02, 全文（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2010-103229 A（住友電気工業株式会社）2010.05.06, 全文（ファミリーなし）	1-7

☒ 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 8 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

3 0 . 0 6 . 2 0 1 5

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）

河合 俊英

5 F

3 2 3 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 1 6

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 2006-24880 A (松下電器産業株式会社) 2006.01.26, 全文 (ファ ミリーなし)	1-7