

(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
2020年8月6日(06.08.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/158041 A1

(51) 国際特許分類:

B32B 9/00 (2006.01) *C01B 32/188* (2017.01)
B32B 18/00 (2006.01) *H01L 29/16* (2006.01)
C01B 32/184 (2017.01)

[JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/037057

(22) 国際出願日: 2019年9月20日(20.09.2019)

(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 2019-012044 2019年1月28日(28.01.2019) JP

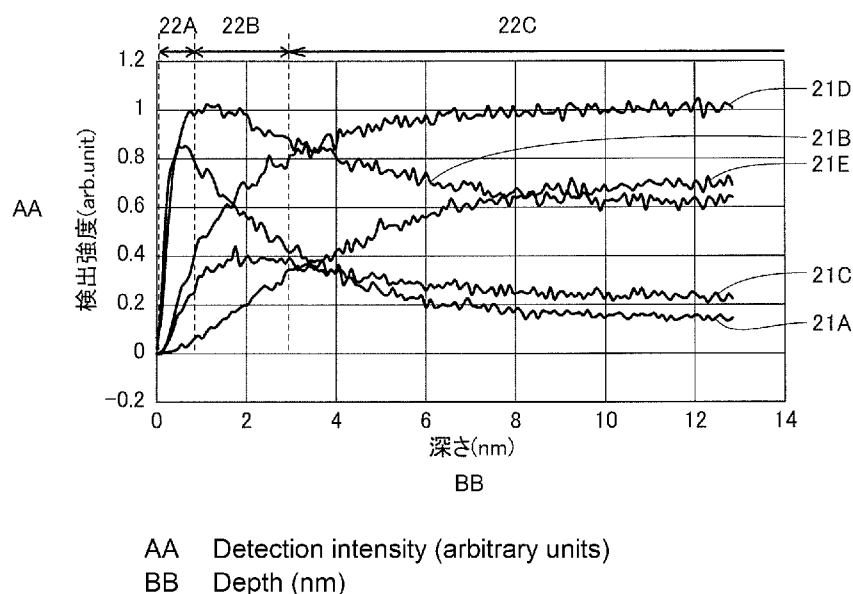
(71) 出願人: 住友電気工業株式会社
(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)

(72) 発明者: 三橋 史典(MITSUHASHI, Fuminori); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 館野 泰範(TATENNO, Yasunori); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 足立 真寛(ADACHI, Masahiro); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 山本 喜之(YAMAMOTO, Yoshiyuki); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).

(54) Title: LAMINATE AND ELECTRONIC ELEMENT

(54) 発明の名称: 積層体および電子素子

FIG.3



(57) **Abstract:** This laminate comprises a base part and a graphene film. In an ion mass distribution in the depth direction of the laminate as derived by time-of-flight secondary ion mass spectrometry, the detection intensity of C_6 ions has a maximum value at a depth of more than 0 nm and no more than 2.5 nm from an exposed surface. The detection intensity of C_3 ions has a maximum value at a depth of more than 0 nm and no more than 3.0 nm from the exposed surface. The detection intensity of SiC_4 ions has a maximum value at a depth of 0.5-5.0 nm inclusive from the exposed surface. The detection intensity of SiC ions has a maximum value at a depth of 0.5-10.0 nm

(74) 代理人: 北野 修平, 外(KITANO, Shuhei et al.);
〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目
1 番 1 4 号北浜一丁目平和ビル 9 F K &
T 特許商標事務所 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, JO, JP, KE, KG, KH,
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, 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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

inclusive from the exposed surface. The detection intensity of Si_2 ions has a maximum value at a depth of 0.5-10.0 nm inclusive from the exposed surface. A value obtained by dividing the maximum value of the detection intensity of SiC_4 ions by an average value of the detection intensity of SiC_4 ions in a region for which the distance from the exposed surface in the thickness direction of the laminate is 8-12 nm inclusive is 1-3.5 inclusive.

(57) 要約: 積層体は、ベース部と、グラフェン膜と、を備える。飛行時間型二次イオン質量分析により求めた積層体の深さ方向のイオン質量分布において、 C_6 イオンの検出強度は、露出面から0 nmを超えて2.5 nm以下の深さで最大値を有する。 C_3 イオンの検出強度は、露出面から0 nmを超えて3.0 nm以下の深さで最大値を有する。 SiC_4 イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上5.0 nm以下の深さで最大値を有する。 SiC イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。 Si_2 イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。 SiC_4 イオンの検出強度の最大値を、積層体の厚み方向において露出面からの距離が8 nm以上12 nm以下である領域における SiC_4 イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上3.5以下である。

明 細 書

発明の名称： 積層体および電子素子

技術分野

[0001] 本開示は、積層体および電子素子に関するものである。

[0002] 本出願は、2019年1月28日出願の日本出願第2019-012044号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0003] グラフェンは、炭素原子が sp^2 混成軌道を形成して平面的に結合した物質である。このような炭素原子の結合状態に起因して、グラフェンにおけるキャリア（電子）の移動度は、極めて高い。グラフェンをトランジスタなどの電子素子のチャネルとして有効に利用することができれば、電子素子の性能の向上を図ることができる。

[0004] SiC（炭化珪素）からなる基板を加熱して珪素原子を離脱させることで基板の表層部をグラフェンに変換し、基板の表層部にグラフェン膜が形成された積層体を得る方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。特許文献1によると、珪素原子を離脱させた後に基板に水素処理を行い、基板側に位置する珪素原子の終端に水素を結合させている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2015-48258号公報

発明の概要

[0006] 本開示に従った積層体は、炭化珪素を含み、第1主面を有するベース部と、第1主面上に配置され、ベース部が位置する側と反対側の主面である露出面を有するグラフェン膜と、を備える。一次イオンとしてビスマスイオンを用い、スパッタイオンとしてセシウムイオンを用いた飛行時間型二次イオン質量分析により求めた積層体の深さ方向のイオン質量分布において、 C_6 イオ

ンの検出強度は、露出面から0 nmを超えて2.5 nm以下の深さで最大値を有する。 C_3 イオンの検出強度は、露出面から0 nmを超えて3.0 nm以下の深さで最大値を有する。 SiC_4 イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上5.0 nm以下の深さで最大値を有する。 SiC イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。 Si_2 イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。 SiC_4 イオンの検出強度の最大値を、積層体の厚み方向において露出面からの距離が8 nm以上12 nm以下である領域における SiC_4 イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上3.5以下である。

図面の簡単な説明

- [0007] [図1]図1は、実施の形態1における積層体の構造を示す概略断面図である。
- [図2]図2は、実施の形態1における積層体を厚み方向に見た図である。
- [図3]図3は、実施の形態1における積層体の飛行時間型二次イオン質量分析の結果を示すグラフである。
- [図4]図4は、実施の形態1における積層体を用いて製造されるトランジスタにおいて、ゲート電圧を変化させた場合のドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。
- [図5]図5は、本開示の範囲外である積層体の飛行時間型二次イオン質量分析の結果を示すグラフである。
- [図6]図6は、図5に示す飛行時間型二次イオン質量分析の特徴を有する積層体を用いて製造されるトランジスタにおいて、ゲート電圧を変化させた場合のドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。
- [図7]図7は、実施の形態1における積層体の製造方法の代表的な工程を示すフローチャートである。
- [図8]図8は、実施の形態1における積層体の製造方法を示すための概略断面図である。
- [図9]図9は、加熱装置の構造を示す概略断面図である。
- [図10]図10は、実施の形態2における電界効果トランジスタ(FET)の

概略断面図である。

[図11]図11は、グラフェン膜を含むFETの製造方法の代表的な工程を示すフローチャートである

[図12]図12は、グラフェン膜を含むFETの製造方法を説明するための概略断面図である。

[図13]図13は、グラフェン膜を含むFETの製造方法を説明するための概略断面図である。

[図14]図14は、グラフェン膜を含むFETの製造方法を説明するための概略断面図である。

発明を実施するための形態

[0008] [本開示が解決しようとする課題]

従来の積層体を用いて電子素子を製造した場合、高い変調特性が得られないという問題がある。そこで、変調特性を向上した積層体および当該積層体を含む電子素子を提供することを目的の1つとする。

[0009] [本開示の効果]

変調特性を向上した積層体および当該積層体を含む電子素子を提供することができる。

[0010] [本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。本開示に係る積層体は、積層体は、炭化珪素を含み、第1主面を有するベース部と、第1主面上に配置され、ベース部が位置する側と反対側の主面である露出面を有するグラフェン膜と、を備える。一次イオンとしてビスマスイオンを用い、スパッタイオンとしてセシウムイオンを用いた飛行時間型二次イオン質量分析により求めた積層体の深さ方向のイオン質量分布において、 C_6 イオンの検出強度は、露出面から0nmを超えて2.5nm以下の深さで最大値を有する。 C_3 イオンの検出強度は、露出面から0nmを超えて3.0nm以下の深さで最大値を有する。 SiC_4 イオンの検出強度は、露出面から0.5nm以上5.0nm以下の深さで最大値を有する。 SiC イオンの検出強度は、露出面から0.

5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。Si₂イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。SiC₄イオンの検出強度の最大値を、積層体の厚み方向において露出面からの距離が8 nm以上12 nm以下である領域におけるSiC₄イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上3.5以下である。

[0011] 炭化珪素を含むベース部と、ベース部上に配置されるグラフェン膜とを備える積層体においては、グラフェン膜におけるキャリア（電子）の移動度が非常に高い。したがって、電子素子としてのトランジスタのチャネル層にグラフェン膜を利用することが考えられる。

[0012] 本発明者らは、グラフェン膜をチャネル層とするトランジスタを製造した場合において、変調特性を向上させる方策について検討を行った。その結果、飛行時間型二次イオン質量分析（TOF-SIMS）により検出される各イオンの強度の最大値の位置およびSiC₄イオンの強度の比率が上記の通りとなることにより、変調特性が向上することを見出した。

[0013] 各イオンの検出状態が上記の通りとなることにより変調特性が向上する理由は、例えば以下の通りであると考えることができる。SiCからなるベース部とグラフェン膜とを備える積層体については、露出面側からグラフェン膜、グラフェン膜とベース部との界面、ベース部の順に配置される。グラフェン膜とベース部との界面の結晶性の低下等の影響により、トランジスタの動作を阻害する抵抗層が発生し易くなる。このような抵抗層が存在すると、ゲート電圧を変化させても、印加されるドレイン電圧に対するドレイン電流の大きさが変わらず、高い変調特性が得られない。さらに、このような積層体を用いてトランジスタを製造したとしても、相互コンダクタンスが低減することとなり、キャリアの高い移動度を有するグラフェン膜を含むにもかかわらず、トランジスタの高周波特性を悪化させてしまうおそれがある。

[0014] ここで、上記した飛行時間型二次イオン質量分析におけるC₆イオンは、6つのCからなる分子イオンであり、グラフェンの存在に起因して主に検出されと考えられる。C₃イオンは、3つのCからなる分子イオンであり、グラ

フェンの存在に起因して主に検出されると考えられる。 SiC_4 イオンは、1つのSiと4つのCからなる分子イオンであり、グラフェン膜とベース部との界面において主に検出されると考えられる。 SiC イオンは、1つのSiと1つのCからなる分子イオンであり、ベース部において主に検出されると考えられる。 Si_2 イオンは、2つのSiからなる分子イオンであり、ベース部において主に検出されると考えられる。

[0015] グラフェンに対応する C_6 イオンおよび C_3 イオンが上記条件を満たす程度に露出面に極めて近い位置にピークを有するような状態を達成することで、露出面付近に十分な結晶性を有するグラフェン膜とすることができる。また、 SiC に対応する SiC イオンおよび Si_2 イオンが上記条件を満たす程度に露出面から遠い位置にピークを有するような状態を達成することで、露出面から十分遠い位置に十分な結晶性を有する SiC とすることができる。グラフェン膜とベース部との界面におけるSiとCとの遷移領域に対応する SiC_4 イオンが上記条件を満たす程度に露出面からある程度離れた位置にピークを有するような状態を達成する。そして、 SiC_4 イオンの検出強度の最大値を SiC が配置された領域に位置する SiC_4 イオンの平均値で除した値を上記範囲とする。このようにすることにより、グラフェン膜とベース部との界面の結晶性および界面に存在するSiとCとからなる分子の量を多く含むことなく適切にすることができる。このような構成の積層体により、変調特性が向上すると考えることができる。

[0016] 上記積層体において、 C_6 イオンの検出強度は、露出面から0 nmを超えて1.5 nm以下の深さで最大値を有してもよい。このような積層体は、グラフェン膜が露出面側により近く配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 C_6 イオンの検出強度が、露出面から0 nmを超えて1.0 nm以下の深さで最大値を有する構成として、さらに変調特性を向上させてもよい。

[0017] 上記積層体において、 C_3 イオンの検出強度は、露出面から0 nmを超えて2.0 nm以下の深さで最大値を有してもよい。このような積層体は、グラ

フェン膜が露出面側により近く配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 C_3 イオンの検出強度が、露出面から0 nmを超えて1.0 nm以下の深さで最大値を有する構成として、さらに変調特性を向上させてもよい。

[0018] 上記積層体において、 SiC_4 イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上3.5 nm以下の深さで最大値を有してもよい。このような積層体は、グラフェン膜とベース部との界面が露出面側により近く配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 SiC_4 イオンの検出強度が、露出面から0.5 nm以上3.5 nm以下の深さで最大値を有する構成として、さらに変調特性を向上させてもよい。

[0019] 上記積層体において、 SiC_4 イオンの検出強度の最大値を、積層体の厚み方向において露出面からの距離が8 nm以上12 nm以下である領域における SiC_4 イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上2.5以下であってもよい。このような積層体は、グラフェン膜とベース部との界面の結晶性および界面に存在するSiとCとからなる分子の量をより適切にすることができるため、変調特性をより向上させることができる。

[0020] 上記積層体において、 SiC イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上8.0 nm以下の深さで最大値を有してもよい。 Si_2 イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上8.0 nm以下の深さで最大値を有してもよい。このような積層体は、 SiC からなるベース部を露出面から適度に遠ざけて配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 SiC イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上1.5 nm以下の深さで最大値を有してもよい。また、 Si_2 イオンの検出強度は、露出面から0.5 nm以上1.5 nm以下の深さで最大値を有してもよい。このようにすることにより、さらに変調特性を向上させることができる。

[0021] 上記積層体において、グラフェン膜の原子層数は、1以上5以下であってもよい。このようにすることにより、キャリアの高い移動度を安定して確保することができるグラフェン膜を備える積層体とすることができる。

[0022] 上記積層体において、第1主面は、炭化珪素のカーボン面であってもよい。このようにすることにより、基板の表面から珪素原子を離脱させてグラフェン膜を形成する際に、効率的に行うことができる。

[0023] 本開示に係る電子素子は、上記積層体と、露出面上に配置される第1電極と、露出面上に第1電極とは離れて配置される第2電極と、を備える。

[0024] このような電子素子は、上記積層体を備えるため、変調特性を向上させることができる。

[0025] [本開示の実施の形態の詳細]

次に、本開示の積層体の一実施形態を、図面を参照しつつ説明する。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符号を付しその説明は繰り返さない。

[0026] (実施の形態1)

本開示の実施の形態1に係る積層体について説明する。図1は、実施の形態1における積層体の構造を示す概略断面図である。図2は、実施の形態1における積層体を厚み方向に見た図である。図1において、積層体11の深さ方向を矢印Tで示す。

[0027] 図1および図2を参照して、実施の形態1における積層体11は、円板状である。図2に示す積層体11の直径Lは、例えば2インチ(50.8mm)が選択される。

[0028] 実施の形態1における積層体11は、ベース部12と、グラフェン膜13とを備える。ベース部12は、板状である。ベース部12は、炭化珪素を含む。ベース部12は、炭化珪素(SiC)からなる。ベース部12を構成する材料は、炭化珪素である。ベース部12を構成するSiCは、六方晶SiCであって、例えば6H構造を有する。ベース部12は、第1主面12Aを有する。第1主面12Aは、平面状である。第1主面12Aは、ベース部12を構成するSiCのカーボン面である。

[0029] グラフェン膜13は、ベース部12の第1主面12A上に配置される。グラフェン膜13は、一方の主面13Bがベース部12の第1主面12Aと対

向して配置される。一方の主面13Bとグラフェン膜13の厚み方向の反対側に位置するグラフェン膜13の他方の主面が積層体11の露出面13Aとなる。すなわち、グラフェン膜13は、ベース部12が位置する側と反対側の主面である露出面13Aを有する。グラフェン膜13は、本実施形態においては、原子層数が1以上5以下とすることができる。なお、グラフェン膜13の原子層数については、積層体11を板厚方向に切断した場合の断面のTEM (Transmission Electron Microscope) 観察により確認することができる。グラフェン膜13の厚み方向は、矢印Tによって示される。なお、図1において、理解の容易の観点から、グラフェン膜13の厚みを厚く図示している。

[0030] 積層体11は、露出面13A側から深さ方向にグラフェン膜13、グラフェン膜13とベース部12との界面12B、ベース部12の順に配置される構造である。

[0031] 図3は、実施の形態1における積層体11の飛行時間型二次イオン質量分析 (TOF-SIMS: Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry) の結果を示すグラフである。図3において、縦軸は検出強度 (arb. unit) を示し、横軸は、露出面13Aからのベース部12の厚み方向の深さ (nm) を示す。縦軸は、積層体11の厚み方向において露出面13Aからの距離が10nm以上12nm以下である領域におけるSiCイオンの検出強度の平均値を1として規格化した値を示している。図3において、線21AでC₆イオンの検出強度を示し、線21BでC₃イオンの検出強度を示し、線21CでSiC₄イオンの検出強度を示し、線21DでSiCイオンの検出強度を示し、線21EでSi₂イオンの検出強度を示す。また、図3において、領域22Aで主にグラフェン膜13が存在している領域を示し、領域22Bで主にグラフェン膜13とベース部12との界面12Bの領域を示し、領域22Cで主にベース部12が存在している領域を示す。

[0032] 飛行時間型二次イオン質量分析 (TOF-SIMS) については、設備と

して、例えばION-TOF社製のTOF, SIMS 5が採用される。質量分析計としては、飛行時間2次イオン質量分析計を用い、1次イオンとしてビスマスイオンを用い、スパッタイオンとしてセシウムイオンを用いた。スパッタレートとしては、SiO₂の標準試料による深さ方向を指標とし、深さ分解能を0.01~0.15 nm/point、測定深さを上記標準試料による10 nm以上で行った。測定面積については、検出されるC₆イオンが露出面13AからC₆イオンの検出強度の最大値が検出される位置までの積層体11の厚み方向の深さが、0 nmを超えて2.5 nm以下に収まる測定点において、25~2500 μm²の平均プロファイルを取得することにより行った。

[0033] 図3を参照して、実施の形態1における積層体11については、飛行時間型二次イオン質量分析により求めた積層体11の深さ方向のイオン質量分布において、C₆イオンの検出強度は、露出面13Aから0 nmを超えて2.5 nm以下の深さで最大値を有する。C₃イオンの検出強度は、露出面13Aから0 nmを超えて3.0 nm以下の深さで最大値を有する。SiC₄イオンの検出強度は、露出面13Aから0.5 nm以上5.0 nm以下の深さで最大値を有する。SiCイオンの検出強度は、露出面13Aから0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。Si₂イオンの検出強度は、露出面13Aから0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有する。SiC₄イオンの検出強度の最大値を、積層体11の厚み方向において露出面13Aからの距離が8 nm以上12 nm以下である領域におけるSiC₄イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上3.5以下である。

[0034] 具体的には、実施の形態1の積層体11における露出面13AからC₆イオンの検出強度の最大値が検出される位置までの積層体11の厚み方向の距離は約0.4 nmである。実施の形態1の積層体11における露出面13AからC₃イオンの検出強度の最大値が検出される位置までの積層体11の厚み方向の距離は約1.1 nmである。実施の形態1の積層体11における露出面13AからSiC₄イオンの検出強度の最大値が検出される位置までの積層体

11の厚み方向の距離は約1.7nmである。実施の形態1の積層体11における露出面13AからSiCイオンの検出強度の最大値が検出される位置までの積層体11の厚み方向の距離は約8nmである。実施の形態1の積層体11における露出面13AからSi₂イオンの検出強度の最大値が検出される位置までの積層体11の厚み方向の距離は約8nmである。SiC₄イオンの検出強度の最大値を、積層体11の厚み方向において露出面13Aからの距離が8nm以上12nm以下である領域におけるSiC₄イオンの検出強度の平均値で除した値は、約1.8である。

[0035] 図4は、実施の形態1における積層体11を用いて製造されるトランジスタにおいて、ゲート電圧を変化させた場合のドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。図4において、縦軸は、ドレイン電流(A)を示し、横軸は、ドレイン電圧(V)を示す。また、図4において、線23Aは、ゲート電圧が10Vの場合を示し、線23Bは、ゲート電圧が5Vの場合を示し、線23Cは、ゲート電圧が0Vの場合を示し、線23Dは、ゲート電圧が-5Vの場合を示し、線23Eは、ゲート電圧が-10Vの場合を示す。

[0036] 図4を参照して、ゲート電圧を-10Vから10Vまで5Vずつ変化させた場合において、印加するドレイン電圧の大きさに応じて流れるドレイン電流が変化している。すなわち、変調特性が向上されている。

[0037] 図5は、本開示の範囲外である積層体の飛行時間型二次イオン質量分析の結果を示すグラフである。縦軸および横軸については、図3に示す場合と同様である。図5において、線26AでC₆イオンの検出強度を示し、線26BでC₃イオンの検出強度を示し、線26CでSiC₄イオンの検出強度を示し、線26DでSiCイオンの検出強度を示し、線26EでSi₂イオンの検出強度を示す。また、図6において、領域27Aで主にグラフェン膜が存在している領域を示し、領域27Bで主にグラフェン膜とベース部との界面の領域を示し、領域27Cで主にベース部が存在している領域を示す。

[0038] 図5に示す積層体の場合、飛行時間型二次イオン質量分析において、露出

面から C_6 イオンの強度の最大値が検出される位置までの積層体の厚み方向の距離は約3.5 nmであり、2.5 nmよりも長い。露出面から C_3 イオンの強度の最大値が検出される位置までの積層体の厚み方向の距離は約4 nmであり、3.0 nmよりも長い。露出面からの SiC_4 イオンの強度、露出面からの SiC イオンの強度、露出面からの Si_2 イオンの強度は徐々に増え続け、いずれも露出面から強度の最大値が検出される位置までの距離が12 nmよりも長い。

[0039] 図6は、図5に示す飛行時間型二次イオン質量分析の特徴を有する積層体を用いて製造されるトランジスタにおいて、ゲート電圧を変化させた場合のドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。図6において、縦軸および横軸については、図4に示す場合と同様である。また、図6において、線28Aは、ゲート電圧が10 Vの場合を示し、線28Bは、ゲート電圧が5 Vの場合を示し、線28Cは、ゲート電圧が0 Vの場合を示し、線28Dは、ゲート電圧が-5 Vの場合を示し、線28Eは、ゲート電圧が-10 Vの場合を示す。

[0040] 図6を参照して、線28B、線28C、線28D、線28Eはほとんど重なっている状態である。すなわち、ゲート電圧を-10 Vから5 Vまで5 Vずつ変化させた場合において、印加するドレイン電圧の大きさに応じて流れるドレイン電流がほとんど変化していない。このような積層体を含む電子素子は、高い変調特性が得られない。

[0041] なお、積層体11において、 C_6 イオンの検出強度は、露出面から0 nmを超えて1.5 nm以下の深さで最大値を有する。このような積層体11は、グラフェン膜13が露出面13A側により近く配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 C_6 イオンの検出強度が、露出面13Aから0 nmを超えて1.0 nm以下の深さで最大値を有する構成として、さらに変調特性を向上させてもよい。

[0042] また、積層体11において、 C_3 イオンの検出強度は、露出面13Aから0 nmを超えて2.0 nm以下の深さで最大値を有する。このような積層体1

1は、グラフェン膜13が露出面13A側により近く配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 C_3 イオンの検出強度が、露出面13Aから0nmを超えて1.0nm以下の深さで最大値を有する構成として、さらに変調特性を向上させてもよい。

[0043] また、積層体11において、 SiC_4 イオンの検出強度は、露出面13Aから0.5nm以上3.5nm以下の深さで最大値を有する。このような積層体11は、グラフェン膜13とベース部12との界面12Bが露出面13A側により近く配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 SiC_4 イオンの検出強度が、露出面13Aから0.5nm以上3.5nm以下の深さで最大値を有する構成として、さらに変調特性を向上させてもよい。

[0044] また、積層体11において、 SiC_4 イオンの検出強度の最大値を、積層体11の厚み方向において露出面13Aからの距離が8nm以上12nm以下である領域における SiC_4 イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上2.5以下である。このような積層体11は、グラフェン膜13とベース部12との界面12Bの結晶性および界面12Bに存在するSiとCとからなる分子の量をより適切にすることができるため、変調特性をより向上させることができる。

[0045] また、積層体11において、 SiC イオンの検出強度は、露出面13Aから0.5nm以上8.0nm以下の深さで最大値を有する。 Si_2 イオンの検出強度は、露出面13Aから0.5nm以上8.0nm以下の深さで最大値を有する。このような積層体11は、 SiC からなるベース部12を露出面13Aから適度に遠ざけて配置しているため、変調特性をより向上させることができる。なお、 SiC イオンの検出強度は、露出面13Aから0.5nm以上1.5nm以下の深さで最大値を有してもよい。また、 Si_2 イオンの検出強度は、露出面13Aから0.5nm以上1.5nm以下の深さで最大値を有してもよい。このようにすることにより、さらに変調特性を向上させることができる。

[0046] なお、上記の実施の形態においては、グラフェン膜 13 の原子層数を 1 以上 5 以下としたが、必要に応じてグラフェン膜 13 の原子層数が 6 以上であるものを適用してもよい。

[0047] 次に、図 7～図 9 を参照して、実施の形態 1 における積層体 11 の製造方法の一例の概要について説明する。

[0048] 図 7 は、実施の形態 1 における積層体 11 の製造方法の代表的な工程を示すフローチャートである。図 7 を参照して、実施の形態 1 における積層体 11 の製造方法では、まず工程 (S10) として原料基板準備工程が実施される。図 8 は、積層体 11 の製造方法を示すための概略断面図である。図 8 を参照して、この工程 (S10) では、例えば、直径 2 インチ (50.8 mm) の 6H-SiC からなる原料基板 31 が準備される。具体的には、例えば SiC からなるインゴットをスライスすることにより、SiC からなる原料基板 31 が得られる。原料基板 31 の表面が研磨された後、洗浄等のプロセスを経て主面の平坦性および清浄性が確保される。原料基板 31 は、第 1 主面 31A を有する。第 1 主面 31A は、原料基板 31 を構成する SiC のカーボン面である。

[0049] 次に、工程 (S20) としてグラフェン化工程が実施される。この工程 (S20) は、例えば図 9 に示す加熱装置を用いて実施することができる。図 9 は、加熱装置の構造を示す概略断面図である。図 9 を参照して、加熱装置 41 は、本体部 42 と、サセプタ 43 と、カバー部材 44 と、気体導入管 45 と、気体排出管 46 とを備える。

[0050] 本体部 42 は、中空円筒状の形状を有する側壁部 42A と、側壁部 42A の第 1 の端部を閉塞する底壁部 42B と、側壁部 42A の第 2 の端部を閉塞する上壁部 42C とを含む。本体部 42 の内部の底壁部 42B 上には、サセプタ 43 が配置される。サセプタ 43 は、原料基板 31 を保持するための基板保持面 43A を有する。

[0051] 本体部 42 の内部には、サセプタ 43 を覆うためのカバー部材 44 が配置される。カバー部材 44 は、たとえば一對の端部のうち一方の端部が閉塞

され、他方の端部が開口する中空円筒状の形状を有する。カバー部材44の他方の端部側が底壁部42Bに接触するようにカバー部材44が配置される。サセプタ43およびサセプタ43上の原料基板31は、カバー部材44および本体部42の底壁部42Bにより取り囲まれる。カバー部材44および本体部42の底壁部42Bにより取り囲まれる空間である閉塞空間43C内に、サセプタ43およびサセプタ43上の原料基板31が配置される。カバー部材44の上壁面44Aと、原料基板31の第1主面31Aとが対向する。

[0052] ここで、上記した実施の形態1における積層体11を得るための手法として、例えば、第1主面31Aと対向するカバー部材44の上壁面44Aを、他の部分よりも粗くする。具体的には、後述する加熱温度や処理時間等にもよるが、上壁面44Aの表面粗さを、カバー部材44の側壁面44Bの表面粗さの2倍程度とする。このようにすることにより、第1主面31Aからの珪素原子を離脱させる昇華の速度を速くして、実施の形態1における積層体11を得ることが容易となる。

[0053] 気体導入管45および気体排出管46は、本体部42の上壁部42Cに接続される。気体導入管45および気体排出管46は、上壁部42Cに形成された貫通孔に一方の端部において接続される。気体導入管45の他方の端部は、不活性ガスを保持するガス保持部（図示しない）に接続される。実施の形態1では、ガス保持部にはアルゴンが保持される。気体排出管46の他方の端部は、ポンプ等の排気装置（図示しない）に接続される。

[0054] 工程（S20）は、加熱装置41を用いて以下のように実施することができる。まず、サセプタ43の基板保持面43Aに工程（S10）において準備された原料基板31が配置される。次に、サセプタ43および原料基板31を覆うように、カバー部材44が底壁部42B上に配置される。これにより、サセプタ43およびサセプタ43上の原料基板31は、カバー部材44および本体部42の底壁部42Bにより取り囲まれる。

[0055] 次に、気体導入管45に取り付けられたバルブ（図示しない）が閉じた状

態で気体排出管 4 6 に取り付けられたバルブ（図示しない）が開いた状態とされる。そして、気体排出管 4 6 に接続された排気装置が作動することにより、本体部 4 2 の内部の気体が矢印 F_2 に沿って気体排出管 4 6 から排出される。これにより、本体部 4 2 の内部が減圧される。ここで、サセプタ 4 3 および原料基板 3 1 は、カバー部材 4 4 および本体部 4 2 の底壁部 4 2 B により取り囲まれているものの、カバー部材 4 4 と底壁部 4 2 B とは接合されているわけではない。そのため、本体部 4 2 の内部の減圧が進行すると、閉塞空間 4 3 C の内部と外部との圧力差によりカバー部材 4 4 と底壁部 4 2 B とのわずかな隙間から閉塞空間 4 3 C 内の気体が排出される。その結果、閉塞空間 4 3 C 内も減圧される。

[0056] 次に、排気装置の動作が停止されると共に、気体導入管 4 5 に取り付けられたバルブが開いた状態とされる。これにより、ガス保持部に保持されているアルゴンが、気体導入管 4 5 を通って矢印 F_1 に沿って本体部 4 2 の内部に導入される。ここで、本体部 4 2 内の圧力が上昇すると、閉塞空間 4 3 C の内部と外部との圧力差によりカバー部材 4 4 と底壁部 4 2 B とのわずかな隙間から内部にアルゴンが侵入する。このようにして、本体部 4 2 の内部の気体が、アルゴンにより置換される。本体部 4 2 の内部のアルゴンの圧力が常圧（大気圧）にまで上昇すると、余剰のアルゴンが気体排出管 4 6 から排出されることにより、内部の圧力が常圧に維持される。すなわち、本体部 4 2 の内部が、常圧のアルゴン雰囲気中に維持される。

[0057] 次に、原料基板 3 1 が加熱される。原料基板 3 1 は、例えば本体部 4 2 が加熱されることにより加熱される。本体部 4 2 は、例えば誘導加熱により加熱されてもよい。原料基板 3 1 は、例えば常圧のアルゴン中において 1300℃以上1800℃以下の温度に加熱される。具体的な加熱処理の内容として、例えば1700℃で10分間加熱してもよい。これにより、図8を参照して、SiCからなる原料基板31の第1主面31A側から珪素原子が離脱し、第1主面31Aを含む表層部がグラフェンに変換される。ここで、上記加熱により、第1主面31Aを含む領域の原子配列は、原料基板31を構成

するS i Cの原子配列に対して配向する。その結果、第1主面31Aが変換されて生成するグラフェンの原子配列は、原料基板31を構成するS i Cの原子配列に対して配向する。このようにして、図1を参照して、S i Cからなるベース部12と、ベース部12の第1主面12A上に配置され、ベース部12を構成するS i Cの原子配列に対して配向する原子配列を有するグラフェン膜13と、を備える積層体11が得られる。

[0058] なお、このようにして得られる積層体11については、グラフェン膜13とS i Cからなるベース部12との密着性が良好である。また、グラフェン膜13を原料基板31の全面に形成することができる。したがって、量産性が求められるトランジスタのような電子素子を製造する際に好適である。

[0059] (実施の形態2)

次に、上記実施の形態1の積層体11を用いて作製される電子素子の一例であるFET (Field Effect Transister) について説明する。図10は、実施の形態2におけるFETの概略断面図である。図10を参照して、実施の形態2におけるFET15は、上記実施の形態1の積層体11を用いて作製されたものである。FET15は、実施の形態1と同様に積層されたベース部12およびグラフェン膜13を備える積層体11を含む。FET15は、さらに第1電極としてのソース電極16と、ソース電極16とは離れて配置される第2電極としてのドレイン電極17と、ソース電極16およびドレイン電極17と離れて配置される第3電極としてのゲート電極18と、ゲート絶縁膜19と、を含む。

[0060] ソース電極16は、露出面13Aに接触して形成される。ソース電極16は、グラフェン膜13とオーミック接触可能な導電体、例えばNi (ニッケル) / Au (金) からなっている。ドレイン電極17は、露出面13Aに接触して形成される。ドレイン電極17は、グラフェン膜13とオーミック接触可能な導電体、例えばNi / Au からなっている。

[0061] ソース電極16とドレイン電極17との間に位置するグラフェン膜13の露出面13Aを覆うように、ゲート電極18が形成される。ゲート絶縁膜1

9は、ソース電極16とドレイン電極17との間に位置する露出面13Aを覆うと共に、ソース電極16とドレイン電極17の上部表面（グラフェン膜13に接触する側とは反対側の主面）の一部を覆う領域にまで延在する。ゲート絶縁膜19は、例えば窒化珪素（SiN）、酸化アルミニウム（Al₂O₃）等の絶縁体からなっている。

[0062] ゲート電極18は、ゲート絶縁膜19上に接触するように配置される。ゲート電極18は、ソース電極16とドレイン電極17との間に位置する露出面13Aに対応する領域に配置される。ゲート電極18は、導電体、例えばNi/Auからなっている。

[0063] このFET15において、ゲート電極18に印加される電圧が閾値電圧未満の状態、すなわち、FET15がオフの状態では、ソース電極16とドレイン電極17との間（チャネル領域）に位置するグラフェン膜13にはキャリアとなる電子が十分に存在せず、ソース電極16とドレイン電極17との間に電圧が印加されても非導通の状態が維持される。一方、ゲート電極18に閾値電圧以上の電圧が印加されてFET15がオンの状態となると、チャネル領域にキャリアとなる電子が生成する。その結果、キャリアとなる電子が生成したチャネル領域によってソース電極16とドレイン電極17とが電氣的に接続された状態となる。このような状態でソース電極16とドレイン電極17との間に電圧が印加されると、ソース電極16とドレイン電極17との間に電流が流れる。

[0064] ここで、実施の形態2のFET15では、ソース電極16とドレイン電極17とが、上記実施の形態1において説明した積層体11の露出面13A上に形成される。このような積層体11を含むFET15は、変調特性が向上されている。

[0065] 次に、図1および図11を参照して、実施の形態2のFET15の製造方法について説明する。図11は、グラフェン膜を含むFET15の製造方法の代表的な工程を示すフローチャートである。図11を参照して、実施の形態2のFET15の製造方法では、まず工程（S110）として積層体準備

工程が実施される。この工程（S 1 1 0）では、上記実施の形態 1 の積層体 1 1 が準備される（図 1 参照）。積層体 1 1 は、上記実施の形態 1 において説明した製造方法により製造することができる。

[0066] 次に、図 1 1 を参照して、工程（S 1 2 0）としてオーミック電極形成工程が実施される。この工程（S 1 2 0）では、図 1 および図 1 2 を参照して、積層体 1 1 の露出面 1 3 A に接触するようにソース電極 1 6 およびドレイン電極 1 7 が形成される。ソース電極 1 6 およびドレイン電極 1 7 は、例えばグラフェン膜 1 3 の露出面 1 3 A 上に、ソース電極 1 6 およびドレイン電極 1 7 が形成されるべき領域に対応する開口を有するレジストからなるマスク層を形成し、ソース電極 1 6 およびドレイン電極 1 7 を構成する導電体（例えば Ni / Au）からなる導電膜を形成した後、リフトオフを実施することにより形成することができる。

[0067] 次に、図 1 1 を参照して、工程（S 1 3 0）として絶縁膜形成工程が実施される。この工程（S 1 3 0）では、図 1 2 および図 1 3 を参照して、ソース電極 1 6 とドレイン電極 1 7 との間に位置するグラフェン膜 1 3 の露出面 1 3 A、ソース電極 1 6 の積層体 1 1 とは反対側の主面およびドレイン電極 1 7 の積層体 1 1 とは反対側の主面を覆うように、絶縁膜 2 0 が形成される。絶縁膜 2 0 は、例えば CVD 法により形成することができる。絶縁膜 2 0 を構成する材料としては、例えば窒化珪素（SiN）を採用することができる。

[0068] 次に、図 1 1 を参照して、工程（S 1 4 0）としてゲート電極形成工程が実施される。この工程（S 1 4 0）では、図 1 3 および図 1 4 を参照して、ソース電極 1 6 とドレイン電極 1 7 との間に位置する露出面 1 3 A を覆う絶縁膜 2 0 上に接触するように、ゲート電極 1 8 が形成される。ゲート電極 1 8 は、例えばゲート電極 1 8 が形成されるべき領域に対応する開口を有するレジストからなるマスク層を形成し、ゲート電極 1 8 を構成する導電体（例えば Ni / Au）からなる導電膜を形成した後、リフトオフを実施することにより形成することができる。

[0069] 次に、図 1 1 を参照して、工程 (S 1 5 0) としてコンタクトホール形成工程が実施される。この工程 (S 1 5 0) では、図 1 4 および図 1 0 を参照して、ソース電極 1 6 上およびドレイン電極 1 7 上に位置する絶縁膜 2 0 を除去することにより、ソース電極 1 6 およびドレイン電極 1 7 と配線とのコンタクトを可能にするためのコンタクトホールが形成される。具体的には、例えばソース電極 1 6 上およびドレイン電極 1 7 上に対応する領域に開口を有するマスクを形成し、開口から露出する絶縁膜 2 0 をエッチングにより除去する。これにより、コンタクトホールが形成されると共に、残存する絶縁膜 2 0 は、ゲート絶縁膜 1 9 となる。ゲート絶縁膜 1 9 は、ソース電極 1 6 とドレイン電極 1 7 との間に位置する露出面 1 3 A を覆うと共に、ソース電極 1 6 およびドレイン電極 1 7 の上部表面 (グラフェン膜 1 3 に接触する側とは反対側の主面) の一部を覆う領域にまで延在する。

[0070] 以上の工程により、実施の形態 2 における F E T 1 5 が完成する。その後、例えば配線が形成され、ダイシングにより各電子素子に分離される。

[0071] なお、上記の実施の形態においては、積層体 1 1 は、S i C の第 1 主面から珪素原子を離脱させることにより製造することとしたが、これに限らず、例えば S i C とグラフェン膜とを貼り合わせるようにして積層体 1 1 を製造することにしてもよい。また、原料基板 3 1 において、カーボン面ではなくシリコン面から珪素原子を離脱させることとしてもよい。

[0072] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって、どのような面からも制限的なものではないと理解されるべきである。本開示の範囲は上記した説明ではなく、請求の範囲によって規定され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

- [0073] 1 1 積層体
1 2 ベース部
1 2 A, 1 3 B, 3 1 A 主面
1 2 B 界面

1 3 グラフェン膜

1 3 A 露出面

1 5 F E T

1 6 ソース電極

1 7 ドレイン電極

1 8 ゲート電極

1 9 ゲート絶縁膜

2 0 絶縁膜

2 1 A, 2 1 B, 2 1 C, 2 1 D, 2 1 E, 2 3 A, 2 3 B, 2 3 C, 2 3
D, 2 3 E, 2 6 A, 2 6 B, 2 6 C, 2 6 D, 2 6 E, 2 8 A, 2 8 B,
2 8 C, 2 8 D, 2 8 E 線

2 2 A, 2 2 B, 2 2 C, 2 7 A, 2 7 B, 2 7 C 領域

3 1 原料基板

4 1 加熱装置

4 2 本体部

4 2 A 側壁部

4 2 B 底壁部

4 2 C 上壁部

4 3 サセプタ

4 3 A 基板保持面

4 3 C 閉塞空間

4 4 カバー部材

4 4 A 上壁面

4 4 B 側壁面

4 5 気体導入管

4 6 気体排出管

請求の範囲

- [請求項1] 炭化珪素を含み、第1主面を有するベース部と、
前記第1主面上に配置され、前記ベース部が位置する側と反対側の主面である露出面を有するグラフェン膜と、を備える積層体において、
一次イオンとしてビスマスイオンを用い、スパッタイオンとしてセシウムイオンを用いた飛行時間型二次イオン質量分析により求めた前記積層体の深さ方向のイオン質量分布において、
 C_6 イオンの検出強度は、前記露出面から0 nmを超えて2.5 nm以下の深さで最大値を有し、
 C_3 イオンの検出強度は、前記露出面から0 nmを超えて3.0 nm以下の深さで最大値を有し、
 SiC_4 イオンの検出強度は、前記露出面から0.5 nm以上5.0 nm以下の深さで最大値を有し、
 SiC イオンの検出強度は、前記露出面から0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有し、
 Si_2 イオンの検出強度は、前記露出面から0.5 nm以上10.0 nm以下の深さで最大値を有し、
前記 SiC_4 イオンの検出強度の最大値を、前記積層体の厚み方向において前記露出面からの距離が8 nm以上12 nm以下である領域における前記 SiC_4 イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上3.5以下である、積層体。
- [請求項2] 前記 C_6 イオンの検出強度は、前記露出面から0 nmを超えて1.5 nm以下の深さで最大値を有する、請求項1に記載の積層体。
- [請求項3] 前記 C_3 イオンの検出強度は、前記露出面から0 nmを超えて2.0 nm以下の深さで最大値を有する、請求項1または請求項2に記載の積層体。
- [請求項4] 前記 SiC_4 イオンの検出強度は、前記露出面から0.5 nm以上

3. 5 nm以下の深さで最大値を有する、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の積層体。

[請求項5] 前記 SiC_4 イオンの検出強度の最大値を、前記積層体の厚み方向において前記露出面からの距離が8 nm以上12 nm以下である領域における前記 SiC_4 イオンの検出強度の平均値で除した値は、1以上2.5以下である、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の積層体。

[請求項6] 前記 SiC イオンの検出強度は、前記露出面から0.5 nm以上8.0 nm以下の深さで最大値を有し、
前記 Si_2 イオンの検出強度は、前記露出面から0.5 nm以上8.0 nm以下の深さで最大値を有する、請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の積層体。

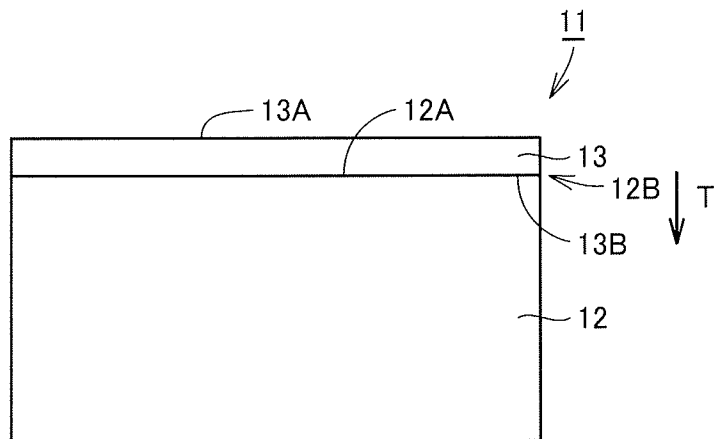
[請求項7] 前記グラフェン膜の原子層数は、1以上5以下である、請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の積層体。

[請求項8] 前記第1主面は、炭化珪素のカーボン面である、請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の積層体。

[請求項9] 請求項1から請求項8のいずれか1項に記載の積層体と、
前記露出面上に配置される第1電極と、
前記露出面上に前記第1電極とは離れて配置される第2電極と、を備える、電子素子。

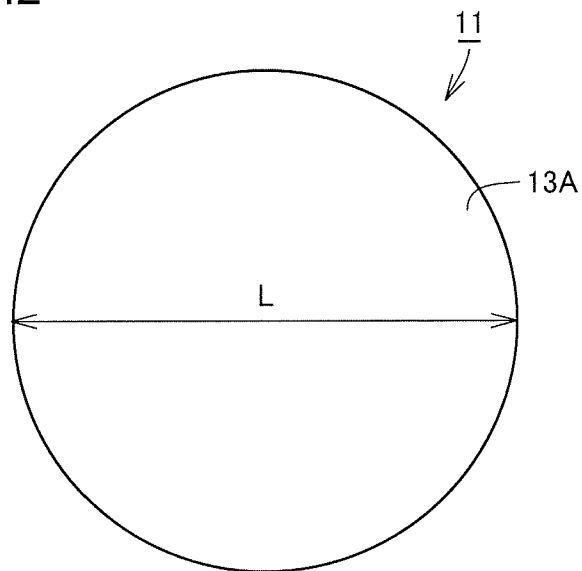
[図1]

FIG.1



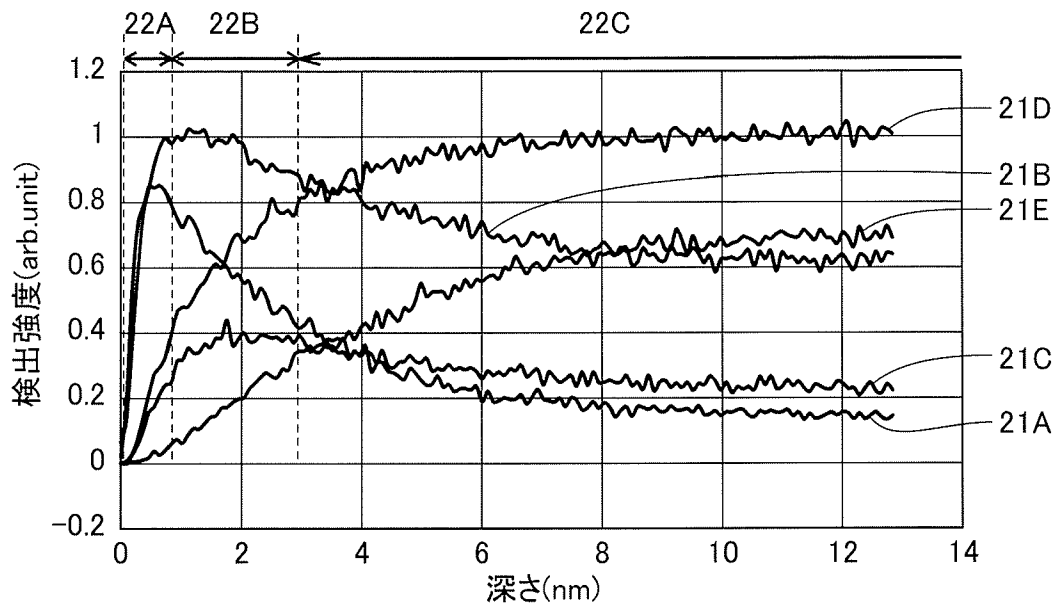
[図2]

FIG.2



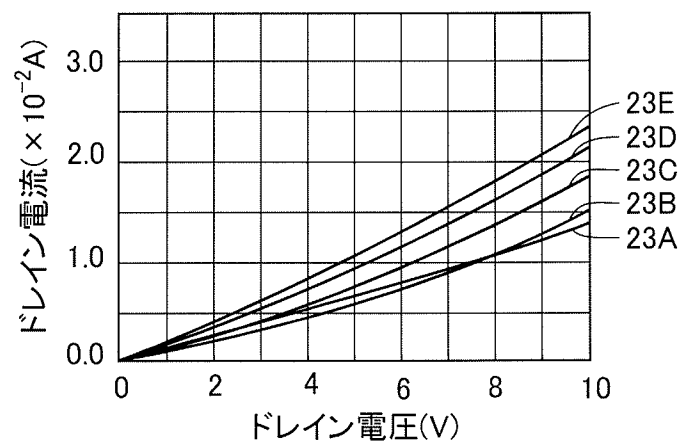
[図3]

FIG.3



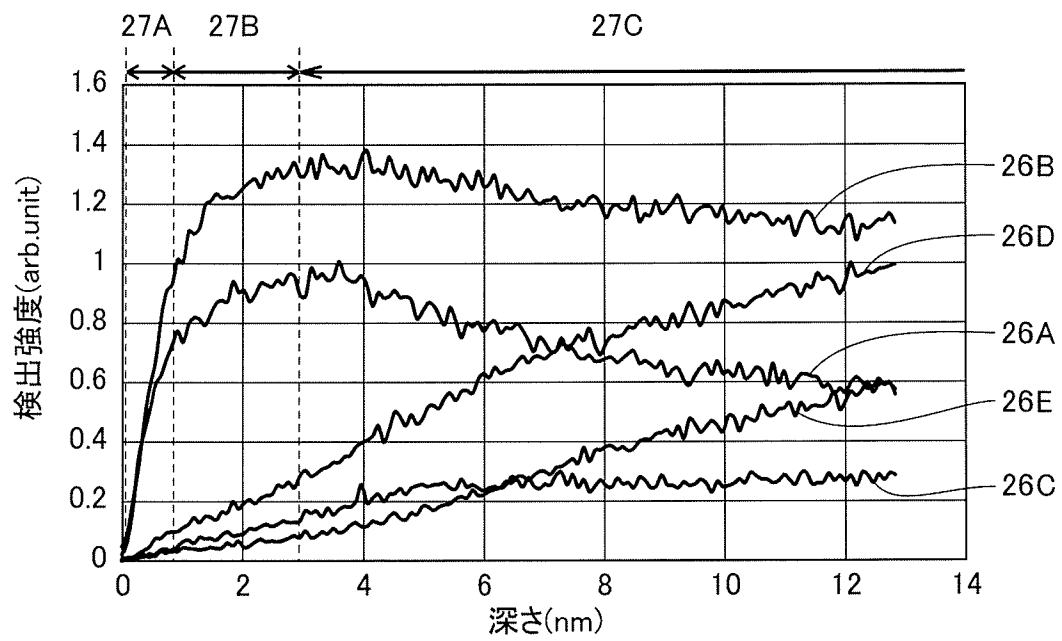
[図4]

FIG.4



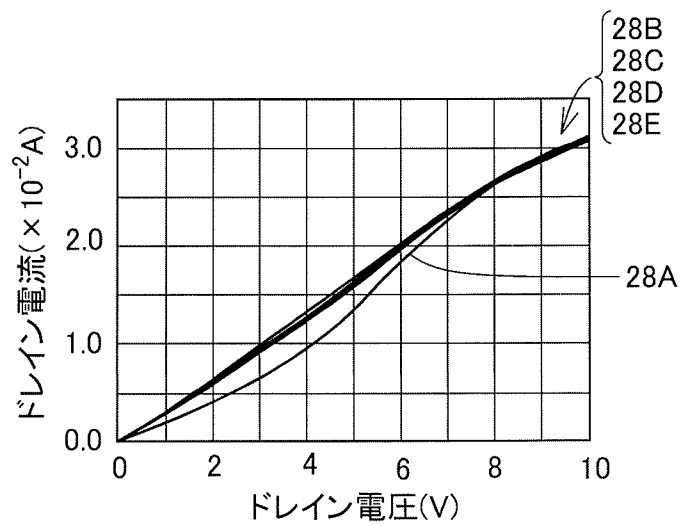
[図5]

FIG.5



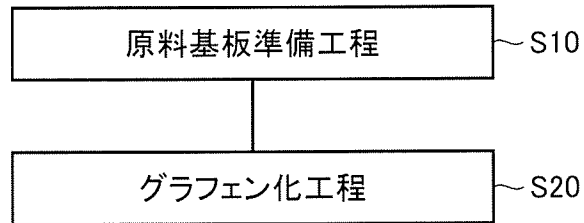
[図6]

FIG.6



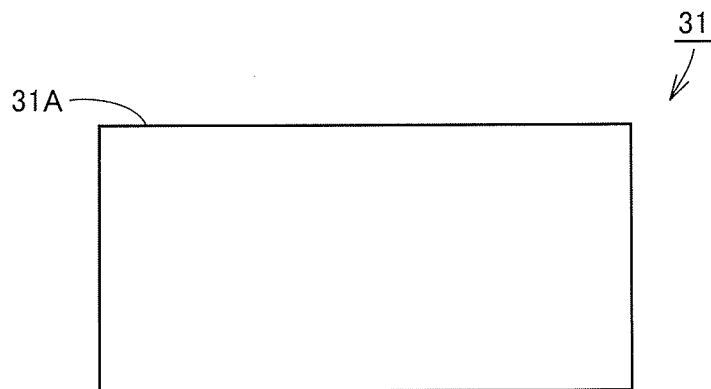
[図7]

FIG.7



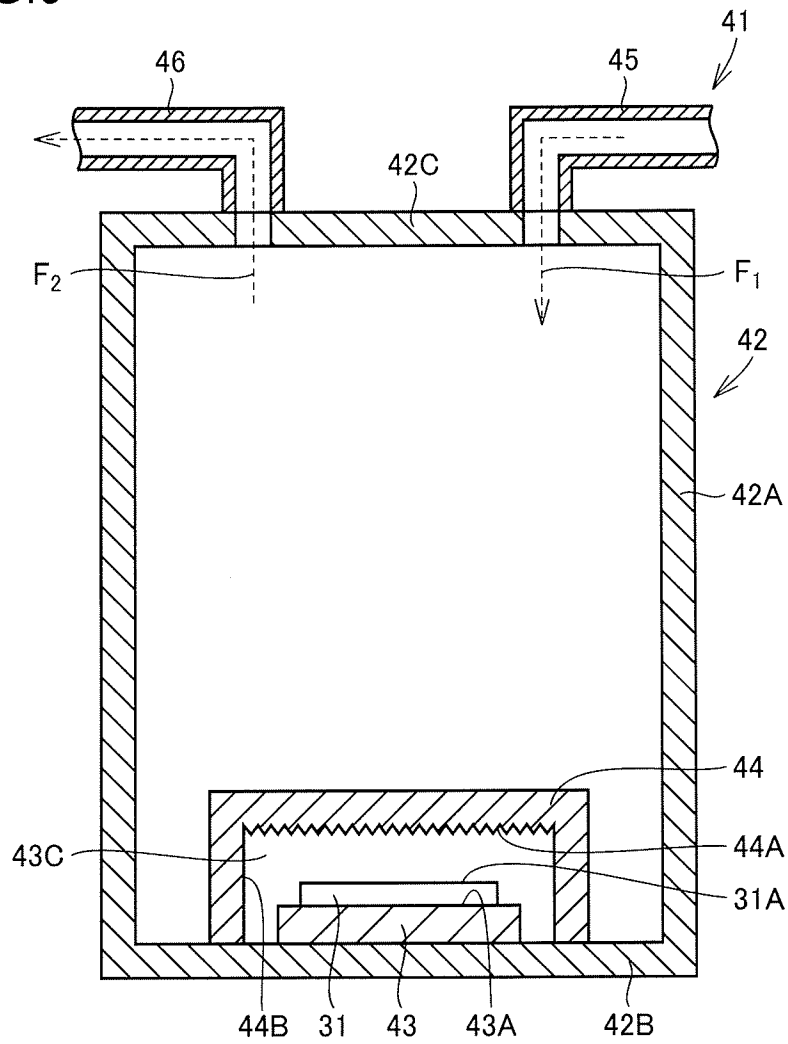
[図8]

FIG.8



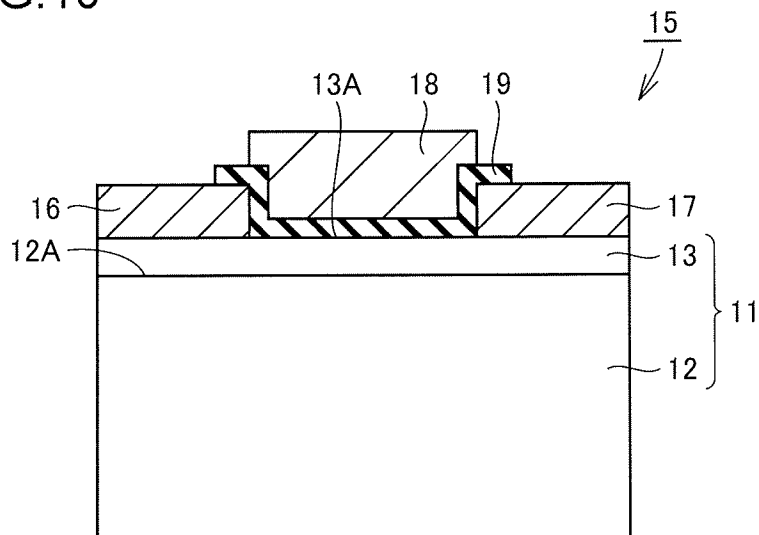
[図9]

FIG.9



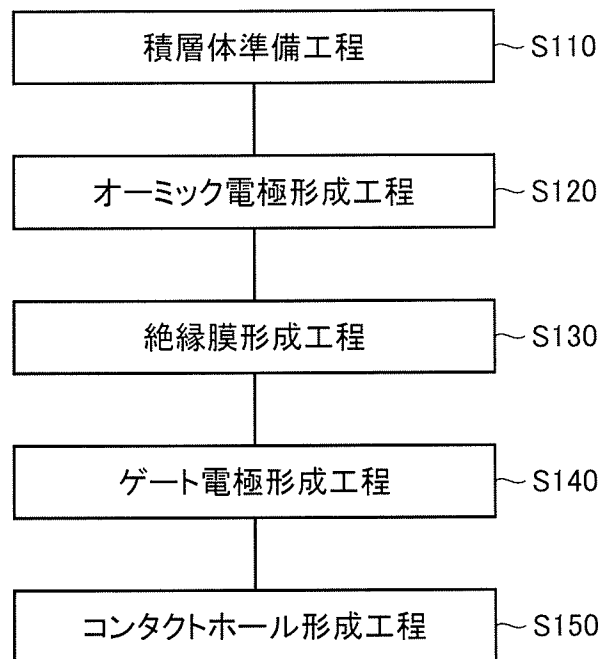
[図10]

FIG.10



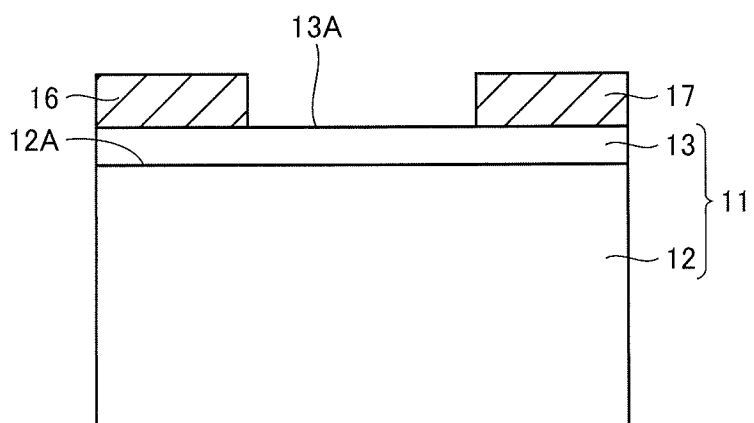
[図11]

FIG.11



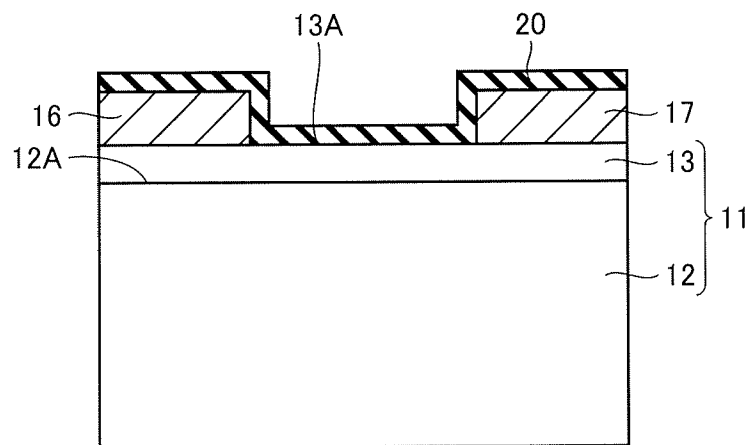
[図12]

FIG.12



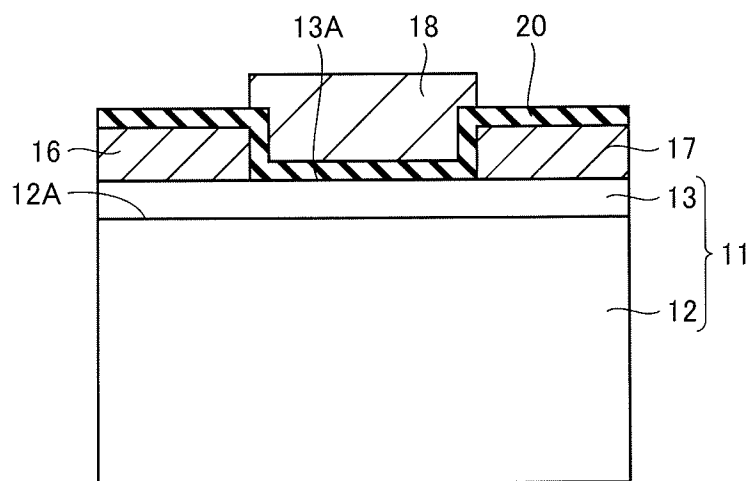
[図13]

FIG.13



[図14]

FIG.14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/037057

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. B32B9/00 (2006.01) i, B32B18/00 (2006.01) i, C01B32/184 (2017.01) i,
C01B32/188 (2017.01) i, H01L29/16 (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)

Int. Cl. B32B9/00, B32B18/00, C01B32/184, C01B32/188, H01L29/16

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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	吹留博一, 基板相互作用を援用したグラフェンのナノ構造・物性制御, 表面科学, vol. 33, no. 10, 2012, 02 August 2012, pp. 546-551, "Special Issue: Surface Science of Nano-Carbon Materials" (FUKIDOME, Hirokazu. Nanoscale Control of Structural and Electronic Properties of Graphene through Substrate Interaction. Hyomen Kagaku.)	1-9



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
24.10.2019

Date of mailing of the international search report
05.11.2019

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/JP2019/037057

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	徳光永輔, 半導体コンタクトを用いたグラフェンチャネルトランジスタの電流制御, 科学研究費助成事業研究成果報告書:1-5, JAIST, 06 June 2014 (TOKUMITSU, Eisuke. Current control of graphene channel transistors using semiconductor contacts. Grant-in-Aid for Scientific Research, Final Research Report: 1-5.)	1-9
A	JP 2015-48258 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 16 March 2015, entire text, all drawings (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B32B9/00(2006.01)i, B32B18/00(2006.01)i, C01B32/184(2017.01)i, C01B32/188(2017.01)i, H01L29/16(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. B32B9/00, B32B18/00, C01B32/184, C01B32/188, H01L29/16

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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	吹留博一, 基板相互作用を援用したグラフェンのナノ構造・物性制御, 表面科学, Vol. 33, No. 10, 2012, 2012. 08. 02, pp. 546-551, 特集「カーボン系材料の特異な表面科学」	1-9
A	徳光, 永輔, 半導体コンタクトを用いたグラフェンチャネルトランジスタの電流制御, 科学研究費助成事業研究成果報告書: 1-5, J A I S T, 2014. 06. 06	1-9

☑ 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

24. 10. 2019

国際調査報告の発送日

05. 11. 2019

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)

塩屋 雅弘

4 S

5 8 7 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3474

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 2015-48258 A (日本電信電話株式会社) 2015.03.16, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9