

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7635690号
(P7635690)

(45)発行日 令和7年2月26日(2025.2.26)

(24)登録日 令和7年2月17日(2025.2.17)

(51)国際特許分類

F I

H 1 0 F 39/10 (2025.01)

H 0 1 L 27/144 K

H 0 1 L 21/3065(2006.01)

H 0 1 L 21/302 1 0 5 A

請求項の数 5 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-162933(P2021-162933)	(73)特許権者	000005223
(22)出願日	令和3年10月1日(2021.10.1)		富士通株式会社
(65)公開番号	特開2023-53724(P2023-53724A)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43)公開日	令和5年4月13日(2023.4.13)	(74)代理人	110001519
審査請求日	令和6年4月4日(2024.4.4)		弁理士法人太陽国際特許事務所
(出願人による申告)平成30年度、防衛装備庁、安全保障技術研究推進制度、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願		(72)発明者	近藤 大雄
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72)発明者	廣瀬 真一
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		審査官	渡邊 佑紀

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスの製造方法であって、
基板上に前記膜を転写する工程と、
前記膜を部分的に覆うレジストマスクを前記膜上に形成する工程と、
酸素プラズマによるドライエッチング処理により、前記膜を前記レジストマスクと共に
等方的にエッチングする工程と、
を含み、
前記ドライエッチング処理において、前記レジストマスクのエッチングレートE1は、
前記膜のエッチングレートE2よりも高く、
前記レジストマスクのエッチングレートE1と前記膜のエッチングレートE2との比E1／E2が1.6であり、前記レジストマスクは、前記膜の厚さの1.6倍以上の厚さを有して形成される
製造方法。

【請求項2】

前記ドライエッチング処理により前記膜の端部に前記基板に対して傾斜した傾斜面を形成する
請求項1に記載の製造方法。

【請求項3】

前記基板に対して傾斜した傾斜面を端部に形成するように前記レジストマスクを形成する

請求項 1 又は請求項 2 に記載の製造方法。

【請求項 4】

前記ドライエッチング処理の後、前記膜の端部に接する導電膜を形成する工程を更に含む請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【請求項 5】

前記膜は、六方晶窒化ホウ素を含む層及びグラフェンを含む層を有する

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示の技術は、六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

六方晶窒化ホウ素（ $h-BN$ ）を含む膜を備えたデバイスの製造方向に関する技術として、以下の技術が知られている。例えば、基板の上に、グラフェンと、六方晶窒化ホウ素を含むスペーサ層とを交互に複数積層することにより受光層を形成する工程を有する光検出素子の製造方法が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2020-77780 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

グラフェンは、炭素原子が六角形のハニカム格子状に配置された 1 原子分の厚さを有するシート状の材料である。グラフェンは、バルクと比較して電子移動度が非常に高いといった特長を有することから、高周波デバイス、透明導電膜、フレキシブルデバイス及び光センサへの応用が研究されている。

【0005】

一方、六方晶窒化ホウ素（以下、 $h-BN$ と称する）は、グラフェンと同様の格子構造を有するシート状の材料である。グラフェンがバンドギャップを持たないのに対して、 $h-BN$ は比較的大きなバンドギャップを持つ絶縁体である。グラフェンと $h-BN$ とを組み合わせることで様々な応用が期待されている。

【0006】

$h-BN$ 膜は、例えば、CVD（chemical vapor deposition）により第 1 の基板の上に形成される。 $h-BN$ 膜を含むデバイスを製造する場合、第 1 の基板の上に形成された $h-BN$ 膜は、第 1 の基板とは別の第 2 の基板に転写され、所望の形状にパターニングされる。第 2 の基板に転写された $h-BN$ 膜は、第 2 の基板に対する密着性が低い。従って、 $h-BN$ 膜のパターニングをウェットエッチングによって行くと、 $h-BN$ 膜と第 2 の基板との間にエッチング液が侵入しやすく、 $h-BN$ 膜を所望の形状にパターニングすることは困難である。

【0007】

また、パターニングされた $h-BN$ 膜には、必要に応じて電極が接続される。例えば $h-BN$ 膜を受光層として使用する赤外線センサにおいては、パターニングされた $h-BN$ 膜の両端部に電極として機能する導電膜が接続される。 $h-BN$ 膜と導電膜との接触状態を良好にするために、 $h-BN$ 膜の導電膜と接触する部分となる端部は、基板に対して傾斜した傾斜面を有するようにパターニングされることが好ましい。

【0008】

開示の技術は、上記した点に鑑みてなされたものであり、基板の上に転写された $h-BN$ を含む膜の加工を適切に行うことを目的とする。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0009】

開示の技術に係る六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスの製造方法は、下記の工程を含む。基板上に前記膜を転写する工程と、前記膜を部分的に覆うレジストマスクを前記膜上に形成する工程と、酸素プラズマによるドライエッチング処理により、前記膜を前記レジストマスクと共に等方的にエッチングする工程と、を含む。前記ドライエッチング処理において、前記レジストマスクのエッチングレートE1は、前記膜のエッチングレートE2よりも高い。前記レジストマスクのエッチングレートE1と前記膜のエッチングレートE2との比 $E1/E2$ をRとしたとき、前記レジストマスクは、前記膜の厚さのR倍以上の厚さを有して形成される。

10

【発明の効果】

【0010】

開示の技術によれば、基板上に転写されたh-BNを含む膜の加工を適切に行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図1B】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図1C】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図2A】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

20

【図2B】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図2C】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図2D】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図3A】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図3B】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図3C】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図3D】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図3E】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図3F】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図3G】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

30

【図4A】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図4B】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図4C】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図5A】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図5B】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図6A】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図6B】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図6C】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図6D】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図7A】レジストマスクの膜厚がh-BNのパターニングに与える影響を調査するために行った実験の結果を示すSEM画像である。

40

【図7B】レジストマスクの膜厚がh-BNのパターニングに与える影響を調査するために行った実験の結果を示すSEM画像である。

【図7C】レジストマスクの膜厚がh-BNのパターニングに与える影響を調査するために行った実験の結果を示すSEM画像である。

【図7D】レジストマスクの膜厚がh-BNのパターニングに与える影響を調査するために行った実験の結果を示すSEM画像である。

【図8A】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【図8B】開示の技術の実施形態に係るデバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

50

【0012】

以下、開示の技術の実施形態の一例を、図面を参照しつつ説明する。なお、各図面において同一または等価な構成要素及び部分には同一の参照符号を付与し、重複する説明は省略する。

【0013】

本実施形態に係る六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスの製造方法は、基板上に六方晶窒化ホウ素を含む膜（以下、加工対象膜と称する）を転写する転写工程を含む。また、本実施形態に係る製造方法は、加工対象膜を部分的に覆うレジストマスクを加工対象膜上に形成するレジストマスク形成工程を含む。また、本実施形態に係る製造方法は、酸素プラズマによるドライエッチング処理により、加工対象膜をレジストマスクと共に等方的にエッチングするエッチング工程を含む。また、本実施形態に係る製造方法は、ドライエッチング処理の後、加工対象膜の端部に接する導電膜を形成する導電膜形成工程を含む。以下において、上記の各工程の詳細について説明する。以下の説明においては、六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスの一例である赤外線センサを製造する場合を例示する。

【0014】

（転写工程）

本実施形態に係る加工対象膜50（図4C参照）は、六方晶窒化ホウ素を含む層20A、20Bと、グラフェンを含む層30と、を有する。以下において、六方晶窒化ホウ素を含む層20A、20Bを、それぞれh-BN層20A、20Bと称し、グラフェンを含む層30をグラフェン層30と称する。グラフェン層30は、h-BN層20Aとh-BN層20Bとの間に挟まれている。転写工程は、h-BN層20A、グラフェン層30及びh-BN層20Bを、これらの各層の形成に用いた基板から別の基板へ転写する工程を含む。

【0015】

初めに、h-BN層20Aを転写する工程について説明する。シリコン基板11Aの表面に熱酸化膜（SiO₂）12Aが設けられた基板10Aを用意する（図1A）。なお、基板10Aとしてサファイア基板を用いることも可能である。

【0016】

次に、スパッタ法を用いて、基板10A（熱酸化膜12A）上に六方晶窒化ホウ素を堆積させることで、基板10A上に厚さ3nm程度のh-BN層20Aを形成する（図1B）。本スパッタ処理において、ターゲットとして六方晶窒化ホウ素の焼結体を用いることができる。基板温度は例えば25℃以上1000℃以下が好ましく、典型的には500℃程度である。スパッタ法によって形成されるh-BN層20Aは、c軸方向の積層構造が乱れた乱層構造（多結晶構造）を有する。

【0017】

なお、図1Cに示すように、h-BN層20Aは、基板10A上に形成された触媒金属膜15A上に形成されてもよい。触媒金属膜15Aは、例えばスパッタ法又は電子ビーム法を用いて、厚さ50nmの鉄を堆積させることで形成することができる。触媒金属膜15Aの材料として、コバルト又はニッケルを用いることも可能である。h-BN層20Aを触媒金属膜15A上に形成することで、より高品質なh-BN層20Aを形成することが可能である。

【0018】

h-BN層20Aの形成は、スパッタ法に限らずCVD（chemical vapor deposition）法を用いて形成することも可能である。CVDにおける材料ガスとしてジボラン及びアンモニアを含む混合ガスを用いることが可能である。また、材料ガスとしてボラジン及びアンモニアボランを含む混合ガスを用いることも可能である。処理温度は例えば1100℃である。h-BN層20Aを、CVD法を用いて形成する場合、触媒金属膜15Aの膜厚は、100nm以上5000nm以下が好ましく、500nm以上2000nm以下が更に好ましく、典型的には1000nm程度である。h-BN層20AをCVD法によ

って形成することで、スパッタ法を用いる場合と比較して、*c* 軸方向の積層構造の乱れが抑制されたより高品質な *h*-BN 層 20 A を得ることができる。

【0019】

図 1 C に示すように、*h*-BN 層 20 A が触媒金属膜 15 A 上に形成される場合、*h*-BN 層 20 A は基板 10 A とは別の基板に転写される。この場合、*h*-BN 層 20 A の表面に PMMA (Polymethyl methacrylate) 等の樹脂材料からなるレジスト 40 A を形成する (図 2 A)。

【0020】

次に、触媒金属膜 15 A を例えば塩酸を用いて溶解することで、*h*-BN 層 20 A を基板 10 A から剥離する。*h*-BN 層 20 A はレジスト 40 A によって支持される (図 2 B)。

10

【0021】

次に、*h*-BN 層 20 A の形成に用いた基板 10 A とは別の基板 10 B の表面に、レジスト 40 A によって支持された *h*-BN 層 20 A を密着させる (図 2 C)。これにより、*h*-BN 層 20 A は、基板 10 B 上に転写される。基板 10 B は、*h*-BN 層 20 A の形成に用いた基板 10 A と同様の、シリコン基板 11 B の表面に熱酸化膜 (SiO_2) 12 B が設けられた熱酸化膜付きシリコン基板であってもよい。その後、有機溶剤を用いてレジスト 40 A を除去する (図 2 D)。

【0022】

以上の各処理によって *h*-BN 層 20 A を転写する工程が完了する。なお、図 1 B に示すように、基板 10 A 上に、触媒金属膜を介することなく *h*-BN 層 20 A を形成する場合、*h*-BN 層 20 A の別の基板への転写は不要となる。

20

【0023】

次に、グラフェン層 30 を転写する工程について説明する。シリコン基板 11 C の表面に熱酸化膜 12 C が設けられた基板 10 C を用意する (図 3 A)。なお、基板 10 C としてサファイア基板を用いることも可能である。

【0024】

次に、スパッタ法又は電子ビーム蒸着法を用いて、基板 10 C (熱酸化膜 12 C) 上に鉄を堆積させることで、基板 10 C 上に触媒金属膜 15 B を形成する (図 3 B)。触媒金属膜 15 B の膜厚は、100 nm 以上 5000 nm 以下が好ましく、500 nm 以上 2000 nm 以下が更に好ましく、典型的には 1000 nm 程度である。触媒金属膜 15 B の材料として、コバルト又はニッケルを用いることも可能である。

30

【0025】

次に、CVD 法により、触媒金属膜 15 B 上にグラフェン層 30 を形成する (図 3 C)。CVD における材料ガスとして、メタン、水素及びアルゴンを含む混合ガスを用いることが可能である。また、メタンに代えてアセチレン、エチレン及びその他のアルコール類を用いることも可能である。処理温度は例えば 1000 °C である。

【0026】

次に、グラフェン層 30 の表面に PMMA 等の樹脂材料からなるレジスト 40 B を形成する (図 3 D)。次に、触媒金属膜 15 B を例えば塩酸を用いて溶解することで、グラフェン層 30 をシリコン基板 11 C から剥離する。グラフェン層 30 はレジスト 40 B によって支持される (図 3 E)。

40

【0027】

次に、先に基板 10 B 上に転写した *h*-BN 層 20 A の表面に、レジスト 40 B によって支持されたグラフェン層 30 を密着させる (図 3 F)。これにより、グラフェン層 30 は、*h*-BN 層 20 A の表面に積層された状態で基板 10 B 上に転写される。その後、有機溶剤を用いてレジスト 40 B を除去する (図 3 G)。以上の各処理によってグラフェン層 30 を転写する工程が完了する。なお、CVD 法を用いてグラフェン層 30 を形成する場合を例示したが、スパッタ法を用いてグラフェン層 30 を形成することも可能である。しかしながら、スパッタ法によって形成されるグラフェン層は、CVD 法を用いて形成さ

50

れるグラフェン層と比較して品質が低く、電子デバイスへの適用には不向きであることが多い。

【0028】

次に、h-BN層20Bを転写する工程について説明する。h-BN層20Aについて図2Bに示す状態に至るまでの各処理と同様の処理によって、レジスト40Cによって支持されたh-BN層20Bを形成する(図4A)。

【0029】

次に、基板10B上に転写したグラフェン層30の表面に、レジスト40Cによって支持されたh-BN層20Bを密着させる(図4B)。これにより、h-BN層20Bは、グラフェン層30の表面に積層された状態で基板10B上に転写される。その後、有機溶剤を用いてレジスト40Cを除去する(図4C)。以上の各処理によってh-BN層20Bを転写する工程が完了し、h-BN層20A、グラフェン層30及びh-BN層20Bがこの順で積層された加工対象膜50が基板10B上に形成される。

【0030】

(レジストマスク形成工程)

転写工程が完了した後、レジストマスク形成工程が行われる。レジストマスク形成工程は、加工対象膜50を部分的に覆うレジストマスク60(図5B参照)を加工対象膜50上に形成する工程である。レジストマスク60は、後述するエッチング工程において、加工対象膜50を所望の形状にパターニングするために用いられる。

【0031】

例えばスピンコート法により、加工対象膜50の表面にPMMA等の樹脂材料からなるレジスト材60Aを塗布する(図5A)。ここで、後述するエッチング工程におけるレジストマスク60のエッチングレートE1と、加工対象膜50のエッチングレートE2の比 $E1/E2$ をRとしたとき、レジストマスク60は、加工対象膜50の厚さのR倍以上の厚さを有するように形成される。これにより、後述するエッチング工程において、レジストマスク60が消失してしまうことを回避することができる。レジストマスク60の膜厚は、レジスト材60Aの塗布厚によって調整される。レジスト材60Aの塗布厚は、スピンコートにおける回転数によって制御することが可能である。

【0032】

レジスト材60Aの塗布後、プリベイク、露光、現像及びポストベイクの各処理を行うことで、レジスト材60Aを所望の形状にパターニングする。これにより、加工対象膜50を部分的に覆うレジストマスク60が形成される(図5B)。レジストマスク60は、その端部に基板10Bの主面に対して傾斜した傾斜面61を有していることが好ましく、傾斜面61の傾斜角は緩やかであることが好ましい。傾斜角は、例えばポストベイクにおけるベイク温度を比較的低くすることで小さくすることができる。

【0033】

(エッチング工程)

レジストマスク形成工程が完了した後、エッチング工程が行われる。エッチング工程は、酸素プラズマによるドライエッチング処理により、加工対象膜50をレジストマスク60と共に等方的にエッチングする工程である。ドライエッチング処理は、例えば既存のプラズマリアクターを用いて行うことが可能である。プラズマリアクターは、ステージをグラウンドに接続し、対向する上部電極を高周波電源に接続するダイレクトプラズマ方式を用いるものを適用することができる。この方式によればRIE(Reactive Ion Etching)方式と異なり、ステージ側にはバイアス電圧が掛からず、処理対象物にイオン入射が殆ど無い為、プラズマ雰囲気全体に処理対象物が暴露される。これにより、プラズマ雰囲気に曝されている面全体が等方的にエッチングされる。酸素プラズマによるドライエッチング処理により、加工対象膜50がエッチングされ、レジストマスク60のパターンに応じた形状にパターニングされる。

【0034】

図6A～6Cは、本エッチング工程において加工対象膜50がエッチングされる様子を

10

20

30

40

50

段階的に示す断面図である。本エッチング工程においては、加工対象膜 50 のみならずレジストマスク 60 も等方的にエッチングされる。図 6 A ～ 図 6 C に示すように、レジストマスク 60 は、加工対象膜 50 のエッチングの進行に伴って、その厚さ方向及び幅方向の寸法が徐々に目減りする。酸素プラズマによるドライエッチング処理においては、樹脂材料を含むレジストマスク 60 のエッチングレート E1 は、例えば 32 nm/min であり、h-BN 層 20 A、20 B を含む加工対象膜 50 のエッチングレート E2 は、例えば 2 nm/min である。なお、グラフェン層 30 と、h-BN 層 20 A、20 B とのエッチングレートは同じである。本エッチング工程において、レジストマスク 60 のエッチングレート E1 は、加工対象膜 50 のエッチングレート E2 よりも高い。レジストマスク 60 のエッチングレート E1 と、加工対象膜 50 のエッチングレート E2 との比 $R (= E1 / E2)$ は、 $16 (= 32 / 2)$ である。従って、先のレジストマスク形成工程において、レジストマスク 60 は、加工対象膜 50 の厚さの 16 倍以上の厚さを有して形成される。

【0035】

酸素プラズマによるドライエッチング処理により、加工対象膜 50 をレジストマスク 60 と共に等方的にエッチングすることで、加工対象膜 50 の端部に、基板 10 B に対して傾斜した傾斜面 51 が形成される（図 6 C）。すなわち、加工対象膜 50 のエッチングの進行に伴ってレジストマスク 60 の幅方向の寸法が徐々に目減りすることで、加工対象膜 50 は、端部から中心側に向けて徐々に露出していく。その結果、加工対象膜 50 の端部には、中心側に向けて膜厚が徐々に厚くなる傾斜面 51 が形成される。また、ドライエッチング処理において酸素プラズマを用いることで、シリコンをエッチングする場合に一般的に用いられるフッ素ガスを用いる場合と比較して、加工対象膜 50 のエッチングレートを極めて低くすることができる。レジストマスク 60 の幅方向の寸法を目減りさせつつ、極めて低いエッチングレートで加工対象膜 50 をエッチングすることで、傾斜面 51 の傾斜角度を極めて緩やか（例えば 10° 以下）にすることができる。また、レジストマスク 60 の端部に傾斜面 61 を形成することによって、傾斜面 51 の傾斜角度を更に緩やかにすることができる。加工対象膜 50 のエッチングが完了した後、レジストマスク 60 は除去される（図 6 D）。

【0036】

ここで、図 7 A ～ 図 7 D は、レジストマスクの厚さが h-BN 膜のパターニングに与える影響を調査するために行った実験の結果を示す SEM（Scanning Electron Microscope）画像である。レジストマスクの膜厚は、レジスト材を塗布する際のスピコート回転数によって制御した。図 7 A は、スピコート回転数が 1000 rpm の場合であり、図 7 B は、スピコート回転数が 2000 rpm の場合であり、図 7 C は、スピコート回転数が 3000 rpm の場合であり、図 7 D は、スピコート回転数が 4000 rpm の場合である。なお、図 7 A 及び図 7 B は、レジストマスクの右端近傍の画像であり、図 7 C 及び図 7 D は、レジストマスクの左端近傍の画像である。スピコート回転数が高くなる程、レジストマスクの厚さは薄くなる。本実施形態に係る酸素プラズマを用いたドライエッチングによれば、いずれの回転数においても、h-BN 膜をレジストマスクに応じた適切な形状にパターニングすることができ、h-BN 膜の端部に傾斜角が緩やかな傾斜面を形成することができた。h-BN 膜の端部に形成される傾斜面の傾斜角度は、いずれの場合も約 5° であった。以上の結果より、レジストマスク 60 の厚さが加工対象膜 50 のパターニングに与える影響は殆どないことが確認された。従って、レジストマスク 60 の厚さを、加工対象膜 50 の厚さの R 倍以上として、エッチング処理中における消失を回避すれば足りるといえる。

【0037】

（導電膜形成工程）

エッチング工程が完了した後、導電膜形成工程が行われる。導電膜形成工程は、加工対象膜 50 の端部に接する導電膜 70 A 及び 70 B を形成する工程である（図 8 A）。導電膜 70 A はソース電極として機能し、導電膜 70 B はドレイン電極として機能する。シリコン基板 11 B はバックゲート電極として機能する。導電膜 70 A 及び 70 B は、ゼーベ

10

20

30

40

50

ック効果を生じ得る互いに異なる材料によって構成される。導電膜 70 A の材料として、例えば、チタン、ハフニウム、ジルコニウム及びクロムを用いることが可能である。導電膜 70 B の材料として、例えば、白金、ニッケル、パラジウム及び金を用いることができる。導電膜 70 A 及び 70 B のパターンニングは、例えばリフトオフ法を用いて行うことができる。加工対象膜 50 の端部に傾斜面 51 が形成されることで、加工対象膜 50 と、導電膜 70 A 及び 70 B との接触面積が大きくなり、接触状態を良好にすることができる。

【0038】

導電膜 70 A、70 B の形成後、必要に応じて加工対象膜 50 の上面にトップゲート電極として機能する導電膜 70 C を更に形成してもよい（図 8 B）。以上の各工程を経ることにより、六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスである赤外線センサ 100 が完成する。

10

【0039】

以上のように、本実施形態に係る製造方法によれば、基板上に転写された h-BN を含む膜の加工を適切に行うことが可能となる。なお、本実施形態においては、加工対象膜 50 として、h-BN 層 20 A、グラフェン層 30 及び h-BN 層 20 B がこの順で積層されたものを例示したが、この態様に限定されない。加工対象膜 50 は、h-BN 層のみを含むものであってもよい。加工対象膜 50 は、開示の技術における「六方晶窒化ホウ素を含む膜」の一例である。

【0040】

以上の実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

20

（付記 1）

六方晶窒化ホウ素を含む膜を備えたデバイスの製造方法であって、
基板上に前記膜を転写する工程と、
前記膜を部分的に覆うレジストマスクを前記膜上に形成する工程と、
酸素プラズマによるドライエッチング処理により、前記膜を前記レジストマスクと共に等方的にエッチングする工程と、
を含み、

前記ドライエッチング処理において、前記レジストマスクのエッチングレート E1 は、前記膜のエッチングレート E2 よりも高く、

前記レジストマスクのエッチングレート E1 と前記膜のエッチングレート E2 との比 $E1/E2$ を R としたとき、前記レジストマスクは、前記膜の厚さの R 倍以上の厚さを有して形成される

30

製造方法。

【0041】

（付記 2）

前記ドライエッチング処理により前記膜の端部に前記基板に対して傾斜した傾斜面を形成する

付記 1 に記載の製造方法。

【0042】

（付記 3）

前記基板に対して傾斜した傾斜面を端部に形成するように前記レジストマスクを形成する付記 1 又は付記 2 に記載の製造方法。

40

【0043】

（付記 4）

前記ドライエッチング処理の後、前記膜の端部に接する導電膜を形成する工程を更に含む付記 1 から付記 3 のいずれか 1 つに記載の製造方法。

【0044】

（付記 5）

前記膜は、六方晶窒化ホウ素を含む層及びグラフェンを含む層を有する

付記 1 から付記 4 のいずれか 1 つに記載の製造方法。

50

【 0 0 4 5 】

(付記 6)

前記レジストマスクは、前記膜の厚さの 1 6 倍以上の厚さを有して形成される
付記 1 から付記 5 のいずれか 1 つに記載の製造方法。

【 0 0 4 6 】

(付記 7)

前記膜は、グラフェンを含む層が六方晶窒化ホウ素を含む層の間に挟まれた積層膜である
付記 1 から付記 6 のいずれか 1 つに記載の製造方法。

【符号の説明】

【 0 0 4 7 】

1 0 B 基板

2 0 A、2 0 B h - B N 層

3 0 グラフェン層

5 0 加工対象膜

5 1 傾斜面

6 0 レジストマスク

6 1 傾斜面

7 0 A、7 0 B 導電膜

1 0 0 赤外線センサ

10

20

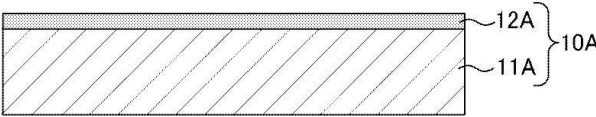
30

40

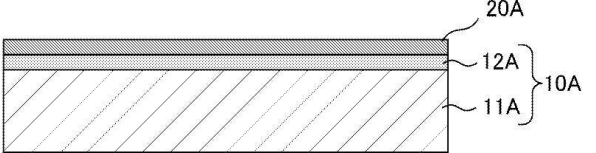
50

【図面】

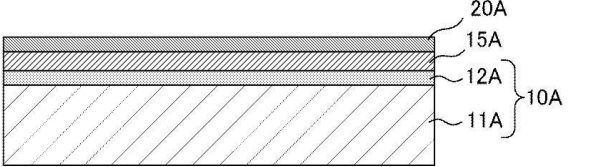
【図 1 A】



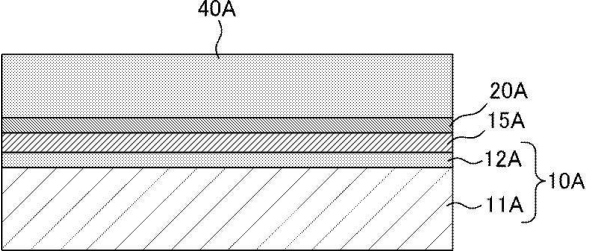
【図 1 B】



【図 1 C】

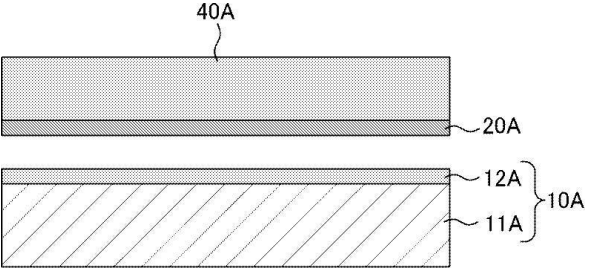


【図 2 A】

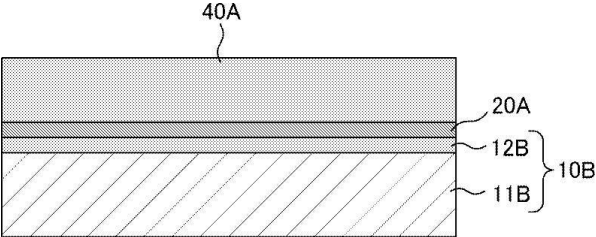


10

【図 2 B】

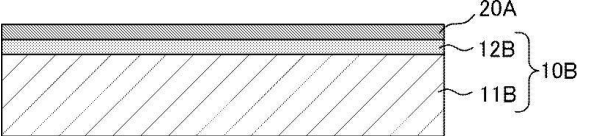


【図 2 C】

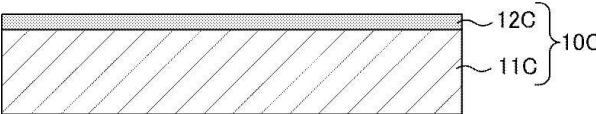


20

【図 2 D】



【図 3 A】

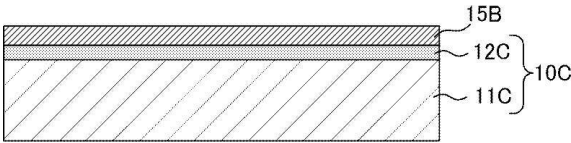


30

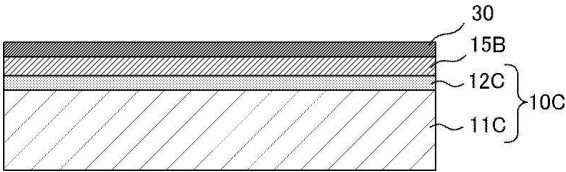
40

50

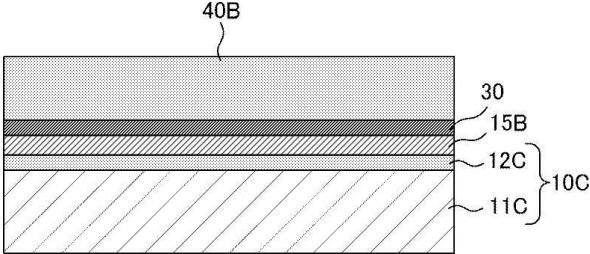
【図 3 B】



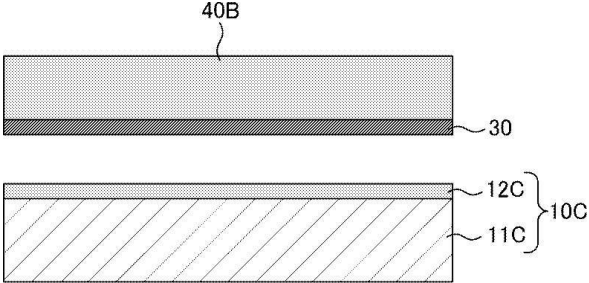
【図 3 C】



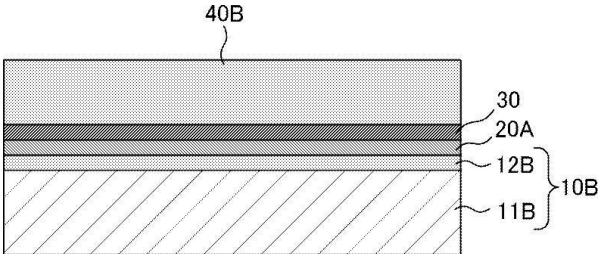
【図 3 D】



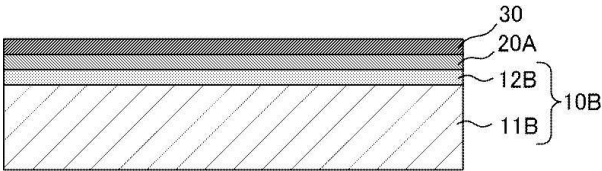
【図 3 E】



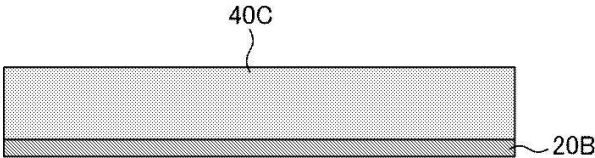
【図 3 F】



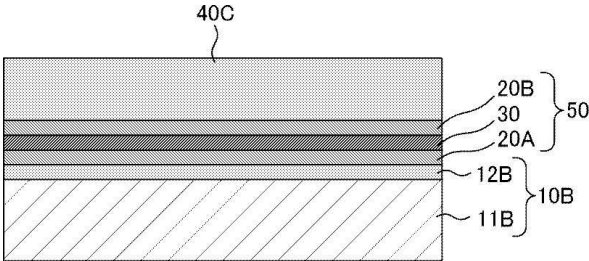
【図 3 G】



【図 4 A】



【図 4 B】



10

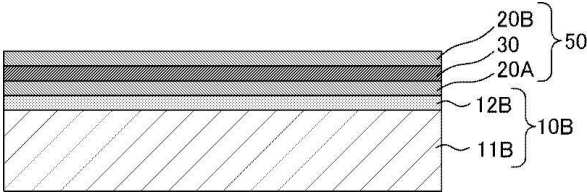
20

30

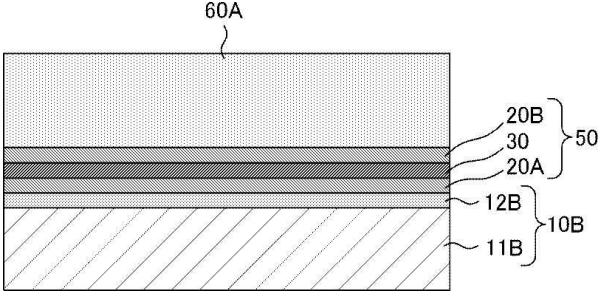
40

50

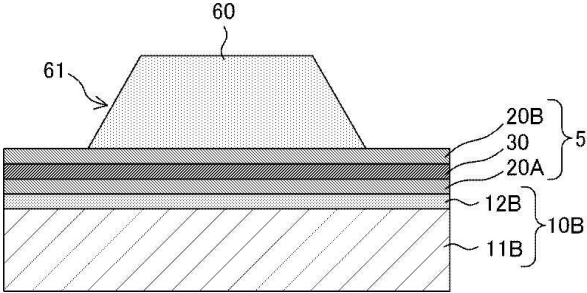
【図 4 C】



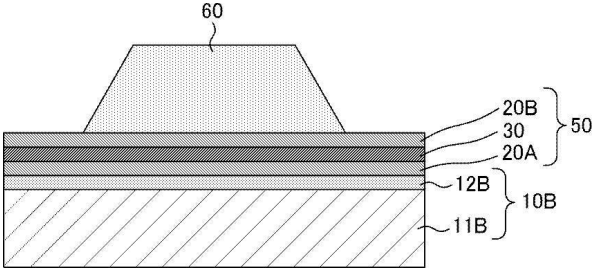
【図 5 A】



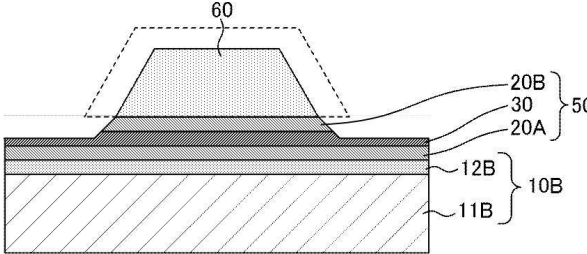
【図 5 B】



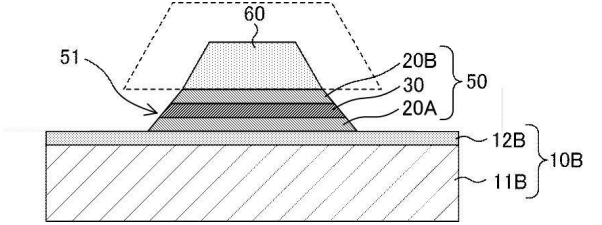
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 6 C】



10

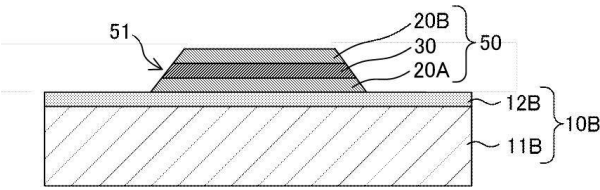
20

30

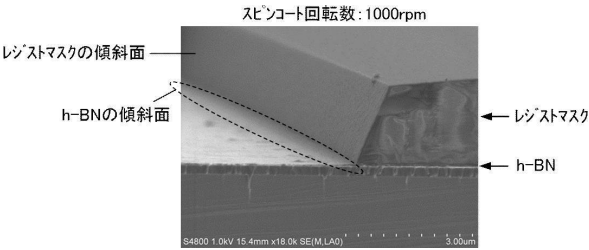
40

50

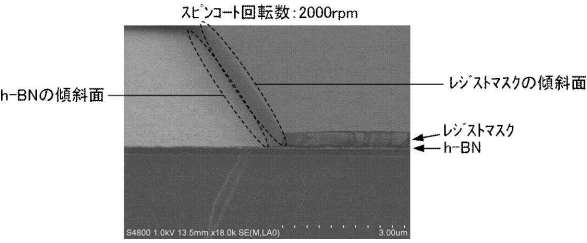
【図 6 D】



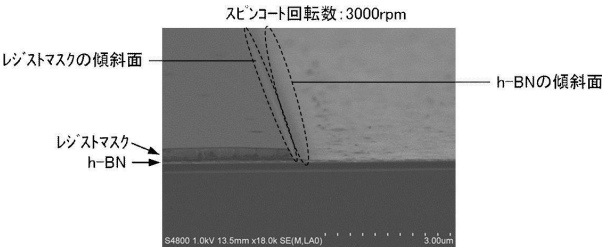
【図 7 A】



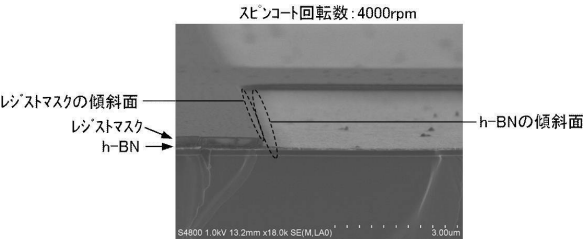
【図 7 B】



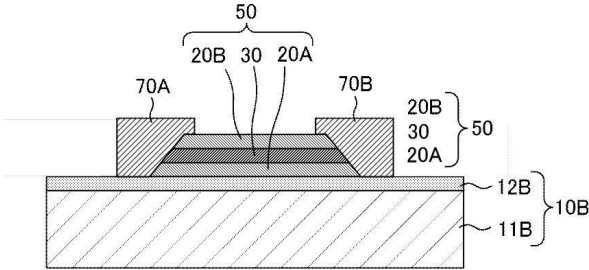
【図 7 C】



【図 7 D】



【図 8 A】



10

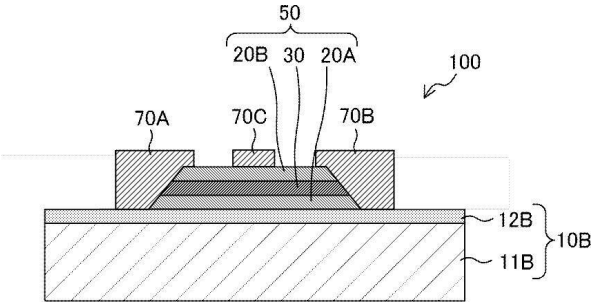
20

30

40

50

【図 8 B】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2020-077780 (JP, A)
 特開 2012-038924 (JP, A)
 特開 2019-105809 (JP, A)
 特開 2015-056636 (JP, A)
 特開 2014-188329 (JP, A)
 米国特許出願公開第 2020/0303447 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 H01L 27/144
 H01L 21/3065