

(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
2025年2月6日(06.02.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/027894 A1

(51) 国際特許分類:
C30B 29/38 (2006.01) C30B 25/20 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/005738

(22) 国際出願日: 2024年2月19日(19.02.2024)

(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 2023-123380 2023年7月28日(28.07.2023) JP

(71) 出願人: パナソニックホールディングス株式会社 (PANASONIC HOLDINGS CORPORATION)
[JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真
1 0 0 6 番地 Osaka (JP).

(72) 発明者: 隅 智亮 (SUMI, Tomoaki). 森 勇介 (MORI, Yusuke). 吉村 政志 (YOSHIMURA, Masashi). 今西 正幸 (IMANISHI, Masayuki). 宇佐美 茂佳 (USAMI, Shigeyoshi).

(74) 代理人: 山尾 憲人, 外 (YAMAO, Norihito et al.);
〒5300017 大阪府大阪市北区角田町 8 番

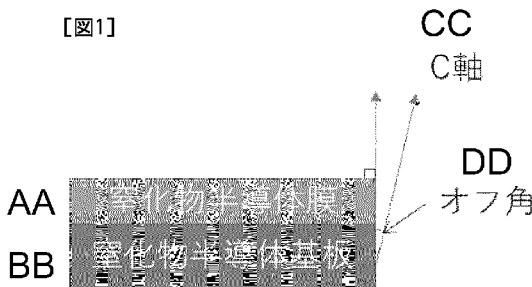
1 号 大阪梅田ツインタワーズ・ノース
青山特許事務所 Osaka (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR EPITAXIAL WAFER AND DEVICE

(54) 発明の名称: III族窒化物半導体エピタキシャルウエハ及びデバイス



AA Nitride semiconductor film
BB Nitride semiconductor substrate
CC C axis
DD Off angle

(57) Abstract: Provided is a group III nitride semiconductor epitaxial wafer in which a group III nitride semiconductor film having a very flat surface is formed on a group III nitride semiconductor doped with high-concentration impurities. The present invention provides a group III nitride semiconductor epitaxial wafer comprising a group III nitride semiconductor substrate that exhibits n-type conductivity and has a carrier concentration of 10^{20} cm^{-3} or higher and a group III nitride semiconductor film that includes an epitaxial layer epitaxially grown on the group III nitride semiconductor substrate, wherein: the group III nitride semiconductor film has a thickness of 1 to 30 μm ; and the group III nitride semiconductor substrate has an off angle of 0.38° to 0.6° between a normal line of the surface of the group III nitride semiconductor substrate on which the group III nitride semiconductor film is formed and a c axis of the group III nitride semiconductor substrate.

[続葉有]

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)）

(57) 要約：高濃度の不純物添加されたⅢ族窒化物半導体の上に、表面の非常に平坦なⅢ族窒化物半導体膜が形成された、Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハを提供する。Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、n型の伝導性を示し、キャリア濃度が 10^{20} cm^{-3} 以上のⅢ族窒化物半導体基板と、Ⅲ族窒化物半導体基板の上に、エピタキシャル成長したエピタキシャル層を含むⅢ族窒化物半導体膜と、を備え、Ⅲ族窒化物半導体膜の厚みが $1 \mu\text{m}$ 以上、 $30 \mu\text{m}$ 以下であり、Ⅲ族窒化物半導体基板は、Ⅲ族窒化物半導体膜が形成された、Ⅲ族窒化物半導体基板の面の法線と、Ⅲ族窒化物半導体基板のc軸とのなすオフ角が 0.38° 以上 0.6° 以下である。

明 細 書

発明の名称：

Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ及びデバイス

技術分野

[0001] 本開示は、Ⅲ族窒化物半導体基板と、その上にエピタキシャル成長したⅢ族窒化物半導体膜とを有するⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ及び該Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハを用いたデバイスに関する。

背景技術

[0002] Ⅲ族窒化物半導体は、半導体レーザー及び発光ダイオード等の光デバイス、並びに高周波又は高出力の電子デバイス等の分野で使用されている。これらの半導体は、シリコン系のデバイスと比較して、電力変換の際のスイッチングロスの低減が期待できることから、近年では特に注目を集めている。高周波又は高出力の電子デバイスを作製するためには、デバイス層に発生する結晶欠陥を抑えることが可能な高品質なⅢ族窒化物基板上へデバイスを作製する必要がある。

[0003] Ⅲ族窒化物結晶の製造方法は、例えば、ハイドライド気相成長法（以下、HVPE法ともいう）、アモノサーマル法、ナトリウムフラックス法、及び酸化物気相成長法（以下、OVPE法ともいう）を含む。

[0004] 基板製造方法として用いられることが最も多い、HVPE法では、単体のⅢ族原料上にハロゲン化水素ガスを導入してハロゲン化物ガスを生成させ、生成したⅢ族元素のハロゲン化物ガスを結晶成長用の原料ガスとして用いる。例えば、窒化ガリウム結晶を成長させる場合、Ga金属にHClガスを導入して塩化ガリウム（例えば、GaCl₂）ガスを製造し、塩化ガリウム含有ガスをⅢ族源として用いることで、1mm/h以上の高速成長が実施される。HVPE法では、主に、シリコン元素をⅢ族窒化物結晶に添加することで、N型の導電性を有するⅢ族窒化物結晶を得られるこ

とが知られている。

[0005] O V P E法では、酸化物原料ガスを用いることで、Ⅲ族窒化物結晶に酸素元素を高濃度に添加して、結晶を製造する（例えば、特許文献1参照）。この方法では、Ⅲ族酸化物ガスと窒素元素含有ガスとを反応させて、Ⅲ族窒化物結晶を製造する。この方法で得られた基板では、転位密度が 10^4 cm^{-2} 台の低転位密度であり、O V P E法は、高品質なⅢ族窒化物結晶を得る手段の一つである。

[0006] 上述のような方法によって製造されたⅢ族窒化物結晶を加工して、Ⅲ族窒化物基板を得ることができる。これら基板の上にⅢ族窒化物半導体のエピタキシャル膜を形成することで、デバイスを作製することができる。作製されるエピタキシャル膜では、基板の結晶欠陥の中でも転位をエピタキシャル膜に引き継ぐことが知られている。一方で、転位はデバイス動作の際のリーク原因として考えられていたことから、基板の転位を引き継がないようにするための開発が取り組まれていた（例えば、特許文献2参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：WO2015/053341A1
特許文献2：特開2010-103353号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：I. C. Kizilyalli et al., MicroelectronReliab. 55, 1654 (2015).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、近年では前述のⅢ族窒化物結晶の製造方法である、H V P E法や、O V P E法、ナトリウムフラックス法などで、基板自体の転位密度を下げる研究が進んできている。現在では、多くの場合で厚みのある結

晶を成長させることで、 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 程度もしくはそれを下回る転位密度の基板を得ることができる。デバイス形成の際の薄膜の結晶成長では、わずかに転位密度を低減できることはできるものの、基板と比べて大きく下げることが難しくなっている。そのため、特許文献2に記載されているような方法をとる必要がなくなっている。

[0010] そして、近年では、特に縦型パワーデバイスでのリークの原因として、デバイスの各層の表面が形成の際に厚み方向に揺らいでいることが原因である、とする研究が進められている（例えば、非特許文献1参照。）。これは、デバイスの各層が揺らいでしまうことや、電極形成面も揺らいでいることで、局所的な電界集中が発生することなどにより、リークが発生すると考えられている。したがって、表面が平坦なエピタキシャル膜を結晶成長させることが、デバイスでのリーク低減のために必要である可能性を示唆している。

[0011] ところで、縦型のパワーデバイスでは、基板部分にも電流が流れる構造となることが一般的である。そのため、デバイスの動作時の抵抗を低減するためには、基板部分の抵抗も低減する必要がある。前述のIII族窒化物結晶の製造方法のなかでも、OVP E法では結晶中でドナーとして働く、酸素原子を容易に高濃度にドーピング可能であり、低抵抗基板の製法として知られている。

[0012] 本発明者らは、酸素原子が容易に高濃度に添加されて、酸素濃度が $4.4 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、もしくはそれを超える濃度の、組成レベルで酸素原子が添加された窒化ガリウム結晶を得る方法を開発している。III族窒化物結晶の中でも、例えば、窒化ガリウム結晶中の分子密度は $4.4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ である。窒化ガリウムでは酸素原子は窒素原子と置換して結晶中へ取り込まれるとされていて、酸素濃度が $4.4 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ で1 at m. %とすることができ、組成レベルでの添加と言える。

[0013] 半導体結晶では、電気特性を制御するために、結晶中へ不純物を添加するが、一般的には高くても $10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度までであり、組成レベルで添加することはほとんどない。その理由として、不純物を高濃度に添

加すると、不純物の偏析などにより、結晶品質の低下や多結晶の生成が増加して、高品質な厚膜の単結晶を得ることが難しくなるためである。

[0014] また、Ⅲ族窒化物結晶では、特に組成レベルで不純物が添加された結晶を基板として用いて、エピタキシャル膜を形成した事例はほとんどない。さらに、不純物が組成レベルで添加されている結晶では、結晶の格子定数などの基本的な物性特性が本来の値からずれてしまう。一方で、エピタキシャル膜では、不純物を組成レベルで添加することはなく、比較的材料本来に近い物性特性を有する。

[0015] 例えば、エピタキシャル膜と下地の基板との格子定数のずれが大きい場合には、エピタキシャル膜に格子緩和による転位の導入がされ、また、エピタキシャル膜形成の際に、基板に形状の反りが発生してしまう。その結果としてエピタキシャル膜の表面状態の悪化につながる。すなわち、不純物濃度が極端に高い基板の上に不純物濃度が低いエピタキシャル膜を形成する際には、結晶品質を維持することが一般的には難しい。

[0016] 本開示では、高濃度の不純物添加されたⅢ族窒化物半導体の上に、表面の非常に平坦なⅢ族窒化物半導体膜が形成された、Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ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

[0017] 本開示に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、 n 型の伝導性を示し、キャリア濃度が 10^{20} cm^{-3} 以上のⅢ族窒化物半導体基板と、Ⅲ族窒化物半導体基板の上に、エピタキシャル成長したエピタキシャル層を含むⅢ族窒化物半導体膜と、を備え、Ⅲ族窒化物半導体膜の厚みが $1 \mu\text{m}$ 以上、 $30 \mu\text{m}$ 以下であり、Ⅲ族窒化物半導体基板は、Ⅲ族窒化物半導体膜が形成された、Ⅲ族窒化物半導体基板の面の法線と、前記Ⅲ族窒化物半導体基板の c 軸とのなすオフ角が 0.38 度以上 0.6 度以下である。

発明の効果

[0018] 本開示に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハによれば、リー

クの低減された動作ロスの低いデバイス形成が可能である。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本実施の形態1に係る窒化物半導体エピタキシャルウエハの一例を模式的に示す概略断面図である。

[図2]実施例において異なるオフ角を有するⅢ族窒化物半導体基板によって得られた窒化ガリウム膜表面の微分干渉顕微鏡像である。

[図3]実施例での視野角90 μm の原子間力顕微鏡像（AFM像）である。

[図4]比較例において異なるオフ角を有するⅢ族窒化物半導体基板によって得られた窒化ガリウム膜表面の微分干渉顕微鏡像である。

[図5]比較例での視野角90 μm の原子間力顕微鏡像（AFM像）である。

[図6]実施例及び比較例における表面粗さと基板のオフ角との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 第1の態様に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、n型の伝導性を示し、キャリア濃度が 10^{20}cm^{-3} 以上のⅢ族窒化物半導体基板と、Ⅲ族窒化物半導体基板の上に、エピタキシャル成長したエピタキシャル層を含むⅢ族窒化物半導体膜と、を備え、Ⅲ族窒化物半導体膜の厚みが1 μm 以上、30 μm 以下であり、Ⅲ族窒化物半導体基板は、Ⅲ族窒化物半導体膜が形成された、Ⅲ族窒化物半導体基板の面の法線と、Ⅲ族窒化物半導体基板のc軸とのなすオフ角が0.38度以上0.6度以下である。

[0021] 第2の態様に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第1の態様において、Ⅲ族窒化物半導体膜の表面の、50 μm 四方での二乗平均粗さRMSの値が10nm以下であってもよい。

[0022] 第3の態様に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第2の態様において、Ⅲ族窒化物半導体膜の表面の、50 μm 四方での二乗平均粗さRMSの値が5nm以下であり、前記Ⅲ族窒化物半導体基板の面の法線と、前記Ⅲ族窒化物半導体基板のc軸とのなす前記オフ角が

0.4度以上0.55度以下であってもよい。

[0023] 第4の態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第1から第3のいずれかの態様において、III族窒化物半導体基板のn型ドーパント元素が酸素であってもよい。

[0024] 第5の態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第1から第4のいずれかの態様において、III族窒化物半導体基板の主たるIII族元素が、ガリウムであってもよい。

[0025] 第6の態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第5の態様において、III族窒化物半導体基板における酸素濃度が $4.4 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上である、請求項5に記載のIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。

[0026] 第7の態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第1から第6のいずれかの態様において、III族窒化物半導体膜は、キャリア濃度が、III族窒化物半導体基板よりも低いエピタキシャル層を含んでもよい。

[0027] 第8の態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第1から第7のいずれかの態様において、III族窒化物半導体膜が、キャリア濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下となるエピタキシャル層を含んでもよい。

[0028] 第9の態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、上記第1から第8のいずれかの態様において、III族窒化物半導体膜の厚みが1 μm 以上8 μm 以下であってもよい。

[0029] 第10の態様に係るデバイスは、第1から第9のいずれかの態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハを用いている。

[0030] 第11の態様に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハの製造方法は、OVP E法によって、n型の伝導性を示し、キャリア濃度が 10^{20} cm^{-3} 以上のIII族窒化物半導体基板を形成する工程と、得られたIII族窒化物半導体基板の表面を研磨して、法線とIII族窒化物半導体基板のc軸とのなすオフ角が0.38度以上0.6度以下となる表面を有するIII族

族窒化物半導体基板を得る工程と、オフ角が 0.38° 以上 0.6° 以下の
Ⅲ族窒化物半導体基板の表面にⅢ族窒化物半導体膜をエピタキシャル
成長させる工程と、を含む。

[0031] 第12の態様に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハの製造方
法は、上記第11の態様において、Ⅲ族窒化物半導体基板を研磨する工
程では、研磨して得られる平面である仮想的な研磨面の法線とⅢ族窒化
物半導体基板のc軸とのなす角が 0.38° 以上 0.6° 以下の傾きを有す
るようにⅢ族窒化物半導体基板を載置して、Ⅲ族窒化物半導体基板
の表面を研磨面に平行となるように研磨して、表面の法線とc軸とのなすオ
フ角が 0.38° 以上 0.6° 以下のⅢ族窒化物半導体基板を得てもよ
い。

[0032] 以下、本開示の実施の形態に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウ
エハ及びデバイスについて、例を挙げて説明する。ただし、本開示は、以下
の説明で使用する数値や、特定の元素を用いることによるいかなる制限も受
けない。

[0033] (実施の形態1)

<Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ>

図1は、本実施の形態1に係る窒化物半導体エピタキシャルウエハの一例
を模式的に示す概略断面図である。

本開示に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハは、少なくとも
2つの層、つまり、Ⅲ族窒化物半導体基板と、その上にエピタキシャル
成長したエピタキシャル層を含むⅢ族窒化物半導体膜と、を備える。

[0034] 以下に、このⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハを構成する各部
材について説明する。

[0035] <Ⅲ族窒化物半導体基板>

Ⅲ族窒化物半導体基板は、動作時のオン抵抗を低減するために、n型
ドーパントとなる不純物が添加されていてn型の伝導性を示し、キャリア濃
度は 10^{20} cm^{-3} 以上であることが好ましい。

図1に示すように、Ⅲ族窒化物半導体基板の表面の法線は、六方晶ウルツ鉱の結晶構造を有するⅢ族窒化物半導体結晶のc軸から0.38度以上0.6度以下で傾いていることが好ましく、0.4度以上、0.55度以下で傾いていることがさらに好ましい。以下、この傾斜角度を単に「オフ角」と記す場合がある。これにより、Ⅲ族窒化物半導体基板上のエピタキシャル層を含むⅢ族窒化物半導体膜を形成した際に、表面の平坦性を保つことが容易となる。

[0036] Ⅲ族窒化物半導体基板のn型ドーパント元素は、シリコン元素、ゲルマニウム元素、及び酸素元素からなる群から選択される少なくとも一種類を含むことが好ましい。

Ⅲ族窒化物半導体基板のn型ドーパント元素は、酸素元素を含むことがより好ましい。この場合、特に、OVP E法によって基板に用いるⅢ族窒化物半導体結晶を作製する際に、酸素元素をⅢ族窒化物半導体結晶に容易に添加することが可能である。

Ⅲ族窒化物半導体基板のn型ドーパント元素として酸素元素が主たる元素である場合、酸素元素が $4.4 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上の組成レベルで添加されていることが好ましい。これにより、Ⅲ族窒化物半導体基板のキャリア濃度を 10^{20} cm^{-3} 以上とすることが容易になる。

[0037] <Ⅲ族窒化物半導体膜>

Ⅲ族窒化物半導体膜は、Ⅲ族窒化物半導体基板上へエピタキシャル成長したエピタキシャル層を含む。その電気特性は、デバイスに求められる性能によって決められるものであり、キャリア濃度や、極性についてp型もしくはn型といった、特定のものに限定されない。しかしながら、表面の平坦性については、デバイスを形成した際の、リーク電流を低減するために、表面から無作為に選択された $50 \mu\text{m}$ 四方の領域で測定した際の二乗平均粗さ(RMS)が 10 nm 以下であることが好ましく、 5 nm 以下であることがさらに好ましい。

Ⅲ族窒化物半導体膜を構成するエピタキシャル層は、1層でもよいが

、2層以上の構造であってもよい。

[0038] III族窒化物半導体膜は、キャリア濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下のエピタキシャル層を少なくとも1層は含むことが好ましい。低キャリア濃度のエピタキシャル層を含むIII族窒化物半導体膜と、高キャリア濃度の基板とが、組み合わせることで、従来実現されていなかった、低抵抗かつ高耐圧のデバイスを実現することが容易になる。

[0039] III族窒化物半導体膜は、厚みが $1 \mu\text{m}$ 以上、 $30 \mu\text{m}$ 以下である。

III族窒化物半導体膜の厚みは $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。III族窒化物半導体膜が $1 \mu\text{m}$ よりも薄い場合には、基板上にエピタキシャル層を形成する際に安定な表面が十分形成されず、基板の平坦性によっては表面が荒れてしまい易いためである。

[0040] III族窒化物半導体膜の厚みは、 $30 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。 $30 \mu\text{m}$ を超えると格子不整合の影響から、表面の平坦性の維持が困難となる場合がある。 $30 \mu\text{m}$ 以下であれば、エピタキシャル層の平坦性の維持が容易であるため、本開示の基板が非常に高いキャリア濃度であり、不純物を多く添加されているため、結晶の格子定数が純粋なIII族窒化物半導体結晶からずれているものの、表面の平坦性を維持することが可能である。

[0041] III族窒化物半導体膜の厚みは、 $1 \mu\text{m}$ 以上、 $8 \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。 $1 \mu\text{m}$ 以上、 $8 \mu\text{m}$ 以下であれば、十分に安定な表面を有する膜が形成でき、かつ、基板とエピタキシャル層の格子不整合度が大きい場合でも、十分に平坦性を維持することが可能である。

[0042] このIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハによれば、 $50 \mu\text{m}$ 四方の領域で測定した際の二乗平均粗さ(RMS)が 10 nm 以下であると共に、電子デバイスに用いた場合に、動作時の抵抗が低く、また、リーク電流の少ないデバイスを実現することができる。

[0043] <III族窒化物半導体エピタキシャルウエハの製造方法>

実施の形態1に係るIII族窒化物半導体エピタキシャルウエハの製造方法は、以下の各工程を有する。

(1) O V P E 法によって、 n 型の伝導性を示し、キャリア濃度が 10^{20} cm^{-3} 以上のⅢ族窒化物半導体基板を形成する。なお、O V P E 法によるⅢ族窒化物半導体基板の製造方法は、通常の条件によって行えばよい。

(2) 得られたⅢ族窒化物半導体基板の表面を研磨して、法線と前記Ⅲ族窒化物半導体基板の c 軸とのなすオフ角が 0.38° 以上 0.6° 以下となる表面を有するⅢ族窒化物半導体基板を得る。このオフ角が 0.38° 以上 0.6° 以下となる表面を有するⅢ族窒化物半導体基板を得る工程について後述する。

(3) オフ角が 0.38° 以上 0.6° 以下のⅢ族窒化物半導体基板の表面にⅢ族窒化物半導体膜をエピタキシャル成長させる。Ⅲ族窒化物半導体膜は、例えば、有機金属気相成長法(MOVPE法)でエピタキシャル成長させてもよい。なお、エピタキシャル成長させる方法は、有機金属気相成長法(MOVPE法)に限られない。

以上によって、Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハを得ることができる。

[0044] <オフ角が 0.38° 以上 0.6° 以下となる表面を有するⅢ族窒化物半導体基板を得る工程について>

Ⅲ族窒化物半導体基板を研磨する工程において、研磨して得られる平面である仮想的な研磨面の法線とⅢ族窒化物半導体基板の c 軸とのなす角が 0.38° 以上 0.6° 以下の傾きを有するようにⅢ族窒化物半導体基板を載置する。仮想的な研磨面は、水平面であってもよい。あるいは、水平面に限られず、鉛直面であってもよい。

なお、通常のⅢ族窒化物半導体基板では、 c 軸が法線となる c 面が表面にあらわれている。そのため、載置したⅢ族窒化物半導体基板の表面である c 面は、仮想的な研磨面が水平面である場合には、載置されている c 面は水平面に対して傾いている。そこで、表面の法線が鉛直方向に対して 0.38° 以上 0.6° 以下の傾きを有する表面の治具にⅢ族窒化物半導体基板を載置すればよい。

その後、Ⅲ族窒化物半導体基板の表面を研磨面に平行となるように研磨する。これによって、表面の法線とc軸とのなすオフ角が0.38度以上0.6度以下のⅢ族窒化物半導体基板を得ることができる。

[0045] <電子デバイス>

電子デバイスにおいて、上記Ⅲ族窒化物半導体エピタキシャルウエハを用いてもよい。これによって、動作時の抵抗が低く、また、リーク電流の少ないデバイスを実現することができる。

[0046] (実施例)

本実施例では、Ⅲ族窒化物半導体基板として、OVPE法で製造された窒化ガリウム基板を用いて、有機金属気相成長法(MOVPE法)でⅢ族窒化物半導体膜である窒化ガリウム膜を形成した。

窒化ガリウム基板は、酸素濃度が $1 \times 10^{21} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ であり、n型でキャリア濃度は $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ で、厚みは $400 \mu\text{m}$ のものを用いた。オフ角を0.383度~0.584度で変化させた。窒化ガリウム膜は、シリコンをドーパント元素として導入し、n型でキャリア濃度は $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ で、厚みは $8 \mu\text{m}$ であった。窒化ガリウム膜形成後に、表面の状態を原子間力顕微鏡(AFM)で評価し、また、 $50 \mu\text{m}$ 四方の領域のRMSの値を測定した。

[0047] 図2(a)~(f)は、本実施例において異なるオフ角を有するⅢ族窒化物半導体基板によって得られた窒化ガリウム膜表面の微分干渉顕微鏡像であり、図3(a)~(f)は、実施例での視野角 $90 \mu\text{m}$ の原子間力顕微鏡像(AFM像)である。

図2の微分干渉顕微鏡像では、(c)オフ角0.415度、(d)オフ角0.473度、(e)オフ角0.514度の場合に表面が平坦であることがわかる。また、図3の原子間力顕微鏡像においても、(c)オフ角0.415度、(d)オフ角0.473度、(e)オフ角0.514度の場合に明暗差が比較的少なく表面が平坦であることがわかる。

図2及び図3から、オフ角を0.4度以上0.5度以下であれば、エピタ

キシャル膜形成後の表面が微分干渉顕微鏡像において比較的平坦であり、さらに、原子間力顕微鏡像（AFM像）からは、RMSを5 nm以下に抑えられた平坦な膜を形成できることを確認できた。

[0048] （比較例）

比較例では、III族窒化物半導体基板として、HVPE法で製造された窒化ガリウム基板を用いて、実施例と同様にMOVPE法で窒化ガリウム膜を形成した。

窒化ガリウム基板は、n型でキャリア濃度は $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で、厚みは $400 \mu\text{m}$ のものを用いた。オフ角を $0.355^\circ \sim 0.611^\circ$ で変化させた。窒化ガリウム膜は、窒化ガリウム膜は、シリコンをドーパント元素として導入し、n型でキャリア濃度は $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ で、厚みは $8 \mu\text{m}$ であった。窒化ガリウム膜形成後に、実施例と同様に、表面の状態を原子間力顕微鏡（AFM）で評価し、また、 $50 \mu\text{m}$ 四方の領域のRMSの値を測定した。

[0049] 図4（a）～（e）は、比較例において異なるオフ角を有するIII族窒化物半導体基板によって得られた窒化ガリウム膜表面の微分干渉顕微鏡像であり、図5（a）～（e）は、比較例での視野角 $90 \mu\text{m}$ の原子間力顕微鏡像（AFM像）である。

図4及び図5から、不純物濃度の低い基板上に作成するIII族窒化物膜はいずれのオフ角においても表面の微分干渉顕微鏡像において比較的平坦であり、さらに、原子間力顕微鏡像（AFM像）からは、オフ角が 0.4° 以上の広い範囲であればRMSを5 nm以下に抑えられた平坦な膜を形成できることを確認できた。

[0050] 図6は、実施例及び比較例における表面粗さと基板のオフ角との関係を示す図である。図6に示されるように、比較例では、RMS値を5 nm以下にするためには、オフ角が 0.4° 以上であればよいことが確認できた。一方で、実施例ではRMS値を 10 nm 以下となるのは、オフ角が $0.38 \sim 0.6^\circ$ の範囲であり、RMS値を5 nm以下にするためには、オフ角を $0.$

4 ～ 0.55 度の狭い範囲に抑える必要があることが確認できた。

不純物濃度の高い基板ではオフ角が、限られた狭い領域で、平坦性の向上へ大きな効果を与えることを確認した。

産業上の利用可能性

[0051] 以上のように、本開示に係るⅢ族窒化物半導体エピタキシャルウエハによれば、平坦なⅢ族窒化物半導体エピタキシャル膜形成が可能であるため、低オン抵抗の電子デバイスのリーク電流を低減でき、信頼性の向上が期待できる。

請求の範囲

- [請求項1] n型の伝導性を示し、キャリア濃度が $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上のⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板と、
- 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板の上に、エピタキシャル成長したエピタキシャル層を含むⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜と、
- を備え、
- 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜の厚みが $1 \mu\text{m}$ 以上、 $30 \mu\text{m}$ 以下であり、
- 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板は、前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜が形成された、前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板の面の法線と、前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板のc軸とのなすオフ角が 0.38° 以上 0.6° 以下である、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。
- [請求項2] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜の表面の、 $50 \mu\text{m}$ 四方での二乗平均粗さRMSの値が 10 nm 以下である、請求項1に記載のⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。
- [請求項3] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜の表面の、 $50 \mu\text{m}$ 四方での二乗平均粗さRMSの値が 5 nm 以下であり、前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板の面の法線と、前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板のc軸とのなす前記オフ角が 0.4° 以上 0.55° 以下である、請求項2に記載のⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。
- [請求項4] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板のn型ドーパント元素が酸素である、請求項1～3のいずれかに記載のⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。
- [請求項5] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板の主たるⅠⅠⅠ族元素が、ガリウムである、請求項1～3のいずれかに記載のⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。
- [請求項6] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板における酸素濃度が $4.4 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上である、請求項5に記載のⅠⅠⅠ族窒化物

半導体エピタキシャルウエハ。

[請求項7] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜は、キャリア濃度が、前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板よりも低いエピタキシャル層を含む、請求項1～3のいずれかに記載のⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。

[請求項8] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜が、キャリア濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下となるエピタキシャル層を含む、請求項1～3のいずれかに記載のⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。

[請求項9] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜の厚みが $1 \mu\text{m}$ 以上 $8 \mu\text{m}$ 以下である、請求項1～3のいずれかに記載のⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハ。

[請求項10] 請求項1から3のいずれか一項に記載の前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハを用いた、デバイス。

[請求項11] O V P E法によって、n型の伝導性を示し、キャリア濃度が 10^{20} cm^{-3} 以上のⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板を形成する工程と、

得られた前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板の表面を研磨して、法線と前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板のc軸とのなすオフ角が 0.38 度以上 0.6 度以下となる表面を有するⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板を得る工程と、

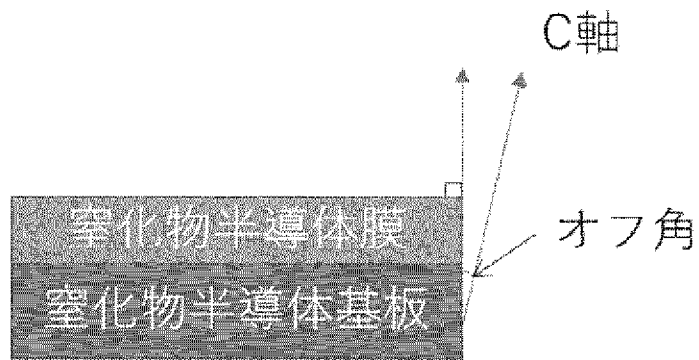
オフ角が 0.38 度以上 0.6 度以下の前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板の表面にⅠⅠⅠ族窒化物半導体膜をエピタキシャル成長させる工程と、

を含む、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体エピタキシャルウエハの製造方法。

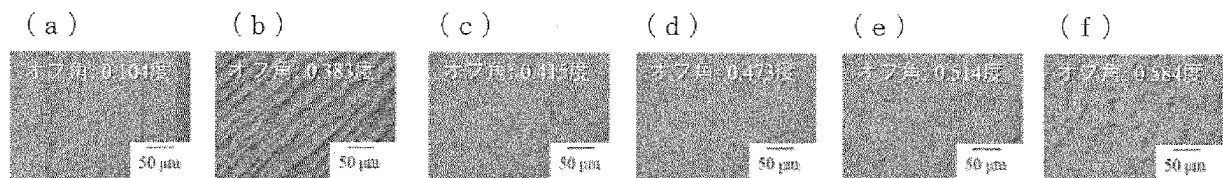
[請求項12] 前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板を研磨する工程では、研磨して得られる平面である仮想的な研磨面の法線と前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板のc軸とのなす角が 0.38 度以上 0.6 度以下の傾きを有するように前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板を載置して、前記ⅠⅠⅠ族窒化物半導体基板の表面を前記研磨面に平行となるように研磨して、表面の法線とc軸とのなすオフ角が 0.38 度以上 0.6 度以下のⅠⅠⅠ族

窒化物半導体基板を得る、請求項 1 1 に記載の I I I 族窒化物半導体エピタキシャルウエハの製造方法。

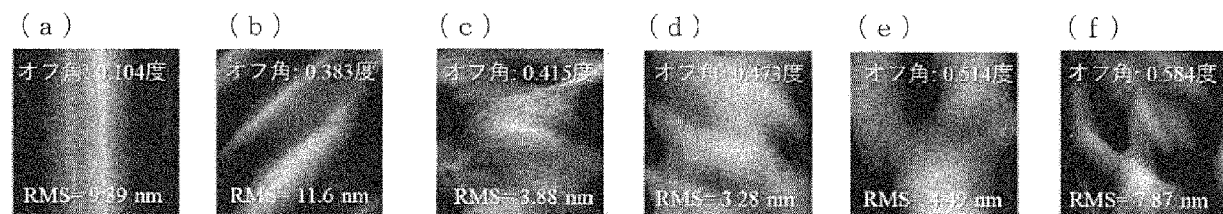
[図1]



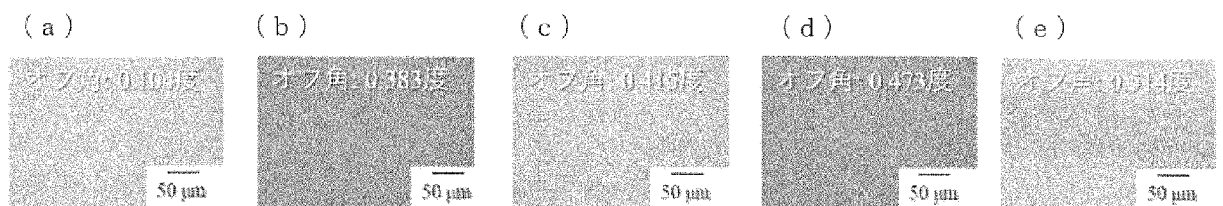
[図2]



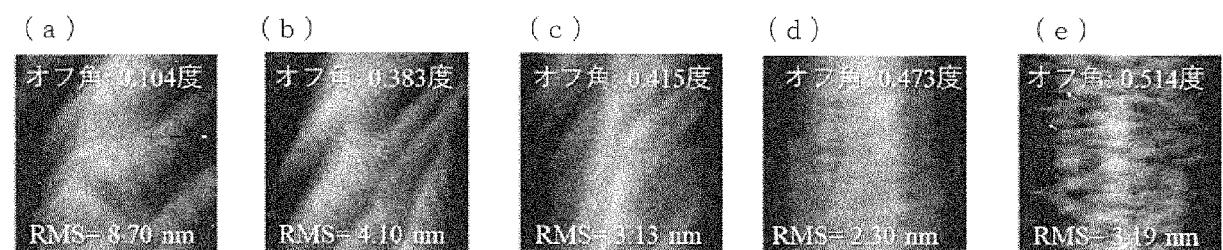
[図3]



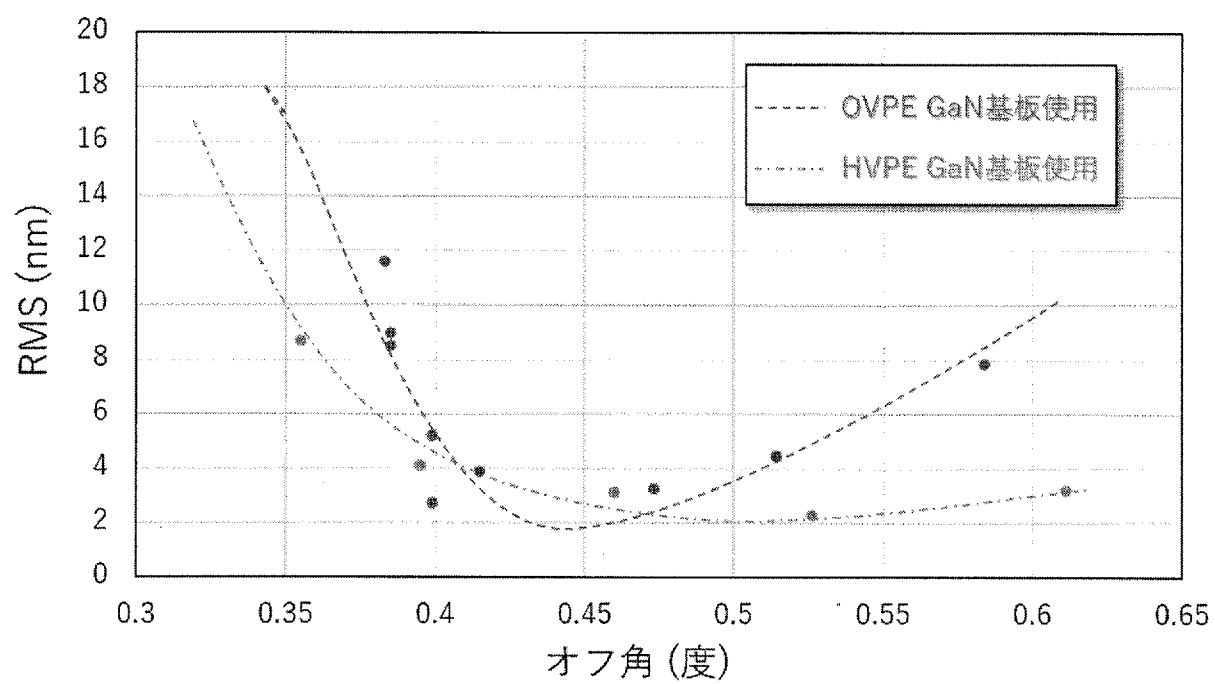
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/005738

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>C30B 29/38</i> (2006.01)i; <i>C30B 25/20</i> (2006.01)i FI: C30B29/38 D; C30B25/20 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) C30B29/38; C30B25/20 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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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 2019-197857 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 14 November 2019 (2019-11-14) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2020-7202 A (OSAKA UNIVERSITY) 16 January 2020 (2020-01-16) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2015-127298 A (RICOH COMPANY, LTD.) 09 July 2015 (2015-07-09) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2020-33253 A (SCIOCS CO., LTD.) 05 March 2020 (2020-03-05) entire text, all drawings	1-12
☐ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 12 April 2024		Date of mailing of the international search report 07 May 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/005738

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2019-197857	A	14 November 2019	US	2019/0348569	A1	
				EP	3567643	A1	
				CN	110473943	A	

JP	2020-7202	A	16 January 2020	US	2020/0017993	A1	
				CN	110714190	A	

JP	2015-127298	A	09 July 2015	US	2012/0049137	A1	
				US	2014/0369917	A1	
				EP	2423355	A1	
				CN	102383181	A	
				KR	10-2012-0021260	A	

JP	2020-33253	A	05 March 2020	(Family: none)			

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
C30B 29/38(2006.01)i; C30B 25/20(2006.01)i
FI: C30B29/38 D; C30B25/20

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））
C30B29/38; C30B25/20

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 - 2024年
日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年
日本国登録実用新案公報 1994 - 2024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 2019-197857 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）14.11.2019（2019 - 11 - 14） 全文、全図	1-12
A	JP 2020-7202 A（国立大学法人大阪大学）16.01.2020（2020 - 01 - 16） 全文、全図	1-12
A	JP 2015-127298 A（株式会社リコー）09.07.2015（2015 - 07 - 09） 全文、全図	1-12
A	JP 2020-33253 A（株式会社サイオクス）05.03.2020（2020 - 03 - 05） 全文、全図	1-12

☐ 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、一般的技术水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“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抵触するものではなく、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
12.04.2024

国際調査報告の発送日
07.05.2024

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）
山本 一郎 4G 8395
電話番号 03-3581-1101 内線 3416

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/005738

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2019-197857	A	14.11.2019	US	2019/0348569	A1	
				EP	3567643	A1	
				CN	110473943	A	

JP	2020-7202	A	16.01.2020	US	2020/0017993	A1	
				CN	110714190	A	

JP	2015-127298	A	09.07.2015	US	2012/0049137	A1	
				US	2014/0369917	A1	
				EP	2423355	A1	
				CN	102383181	A	
				KR	10-2012-0021260	A	

JP	2020-33253	A	05.03.2020	(ファミリーなし)			
