

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：31308

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05042

研究課題名(和文) 全て酸化物からなる新規ワイドバンドギャップヘテロpn接合作製のための基盤技術開発

研究課題名(英文) Development of the Basic technology to fabricate new wide-bandgap hetero pn junction based on all oxide

研究代表者

中込 真二 (NAKAGOMI, Shinji)

石巻専修大学・理工学部・教授

研究者番号：60172285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：単斜晶  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板上に形成された立方晶NiO薄膜と立方晶MgO (NiOの代用) 基板上に形成された単斜晶  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜について研究した。NiOと  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の結晶配向関係が明らかになった。すべての場合において、NiO(100)[011]//  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(100)[001] の関係が確認された。NiOと  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に基づくヘテロpn接合ダイオードが試作された。整流性、約1000Vの逆方向ブレイクダウン電圧が達成された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酸化ガリウムは次世代のパワーデバイス用材料として注目されているが、p形ができないため、デバイス構造が制限されている。p形伝導性を示す酸化ニッケルがpn接合を作るための有望な候補であり、ワイドバンドギャップのp形金属酸化物を使えるようにする価値は高い。本研究では、ヘテロ接合を作るための結晶配向性に着目し、両者がどのような方向でも高い親和性をもつことを示した。さらに、酸化ガリウムと酸化ニッケルに基づくヘテロpn接合ダイオードを実現し、その高い性能を実証した本研究の意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Cubic NiO thin films formed on monoclinic  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrates and monoclinic  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films formed on cubic MgO (substitution of NiO) substrates were studied. The crystal orientation relationship between NiO and  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was declared. For every cases, the relation of NiO (100)[011] //  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (100)[001] was confirmed. The hetero pn junction diodes based on NiO and  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were fabricated. Rectification property and reverse breakdown voltage of about 1000V were achieved in the diode.

研究分野：半導体工学

キーワード：酸化ガリウム 酸化ニッケル 結晶配向 pn接合ダイオード

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

酸化ガリウム ( $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ) は、SiC や GaN よりもさらに広い 4.9eV のバンドギャップをもち、次世代パワーデバイスへの応用について盛んに研究が行われている。2012 年以來、SiC よりもさらに高い 8MV/cm の絶縁破壊電界をもつ  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  をパワーデバイスに応用しようという機運が高まって、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  に関する基礎から応用までの研究が盛んに行われ現在に至っている。パワーデバイスにおいて材料の伝導型制御は必須であるが、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  は n 形しか得られない状況にあり、デバイス応用はショットキーダイオードか MOS トランジスタの構造に限られている。

酸化ニッケル (NiO) は 3.7eV の禁制帯幅をもち、p 形伝導性を示す数少ない酸化物半導体である。研究代表者は、この NiO に世界で初めて着目し、全て酸化物からなる NiO と  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  とによるヘテロ pn 接合に関連して、最初の成果をあげた。この NiO /  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ヘテロ pn 接合の研究は、世界初の試みであり、結晶工学的な検討はもちろん、ダイオードとしての特性評価についても、早急に研究を進める必要があった。

2. 研究の目的

独自に開発した全て酸化物からなるワイドバンドギャップ NiO/ $\text{Ga}_2\text{O}_3$  系ヘテロ pn 接合技術について、その NiO/ $\text{Ga}_2\text{O}_3$  両者間の結晶配向関係とヘテロ pn 接合ダイオードの特性を解明することを目的とする。NiO と  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の一方を基板とし、種々の基板面上に他方を成膜して、互いの配向関係を調べる。さらに、NiO/ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ヘテロ pn 接合ダイオードを作製し、そのダイオードとしての特性を測定評価するとともに、シミュレーションによる結果との比較を行なう。この成果によって将来的に、SiC や GaN を凌駕する超低損失パワーデバイス開発を目指す。

3. 研究の方法

(100), (111), (110) MgO (NiO の代用) 基板上に形成された  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  薄膜、(100), ( $\bar{2}01$ ), (010), (001)  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上に形成された NiO 薄膜を評価した。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  薄膜は酸素プラズマ中 Ga 蒸着によって、NiO 薄膜はゾル-ゲル法により形成した。X 線回折測定、断面の透過電子顕微鏡 (SEM) 像の観察によって結晶配向性を調査した。

NiO/ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ヘテロ pn 接合ダイオードの作製では、購入した  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上に Li ドープによって導電率を制御した NiO 薄膜を形成し、電極形成することで試作した。電流-電圧特性、容量-電圧特性などの基本特性の他、紫外線検出特性、高温条件下での特性、過渡スイッチング応答特性などの評価を行った。

シミュレーションでは物性パラメータが不明な状況ではあったが、NiO/ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ヘテロ pn 接合の動作や過渡応答の予測を試みた。

4. 研究成果

(1) MgO (NiO の代用として) 基板上  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  薄膜の結晶配向の解明

MgO は、NiO と同じ立方晶で格子定数も近く、基板が市販されているので、NiO の代わりに MgO 基板を用いて研究を進めた。MgO 上に単斜晶の  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  薄膜を形成した際の結晶配向については、(100) MgO 基板上に(100)配向  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  が 90° ずつ回転した 4 つのドメインができること (表 1 の No.1) まで事前の研究で判明していた。

本研究により、(111)および(110) MgO 基板上に形成した  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  薄膜の結晶配向を調べた結果、(111) MgO 基板上では ( $\bar{2}01$ )配向  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  が 60° ずつ回転した 6 つのドメインができること (表 1 の No.2)、(110) MgO 基板上では( $\bar{1}02$ )配向  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  が 180° 回転した 2 つのドメインができること (表 1 の No.3) が判明した。これには MgO 基板内の酸素原子の配置とその上に形成される  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  内の酸素原子の配置が関係していることを示した。また、立方晶基板の上に  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を形成する初期過程で、 $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$  界面層が発見された。これらの研究成果は[1,3]において学会発表および論文発表された。

表 1 MgO 基板上  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  薄膜の結晶配向

No.	MgO (NiO)基板	基板面に平行な $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の面	基板表面内の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の方向
1	(100)	$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ (100)    MgO (100)	4-fold, $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [001]    MgO <011>
2	(111)	$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ( $\bar{2}01$ )    MgO (111)	6-fold, $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [010]    MgO <110>
3	(110)	$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ( $\bar{1}02$ )    MgO (110)	2-fold, $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [010]    MgO [001]

(2)  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上 NiO 薄膜の結晶配向の解明

単斜晶である(100)  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上に(100)配向 NiO 薄膜が形成されること (表 2 の No.1) は事前の研究で判明していた。このとき NiO は面内の方向の揃った 1 種類の結晶である。

本研究では、入手可能な他のすべての  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上に NiO 薄膜を形成し、その結晶配向を

調べた。 $(\bar{2}01)$   $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上では、 $(111)$ 配向 NiO が形成され、面内の方向の揃った 1 種類の結晶 (表 2 の No.2) である。 $(010)$   $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上では、 $(0\bar{1}1)$ 配向 NiO が形成され、面内の方向の揃った 1 種類の結晶 (表 2 の No.3) である。 $(001)$   $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上では、ほぼ $(133)$ 配向 NiO が形成され、面内の方向の揃った 1 種類の結晶 (表 2 の No.4) である。ここでほぼと表現したのは、わずかに $(133)$ 面から傾いているからである。ここでも NiO の結晶配向を決めるのは、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板内の酸素原子の配置とその上に形成される NiO 内の酸素原子の配置が関係していることを示した。これらの研究成果は[2,4,5]において学会発表および論文発表された。

表 2  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上 NiO 薄膜の結晶配向

No.	$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板	基板面に平行な NiO の面	基板表面内の NiO の方向
1	(100)	NiO (100) $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ (100)	NiO [011] $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [001]
2	$(\bar{2}01)$	NiO (111) $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ $(\bar{2}01)$	NiO [011] (100) $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [001] (100)
3	(010)	NiO $(0\bar{1}1)$ $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ (010)	NiO [011] (100) $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [001] (100)
4	(001)	ほぼ NiO (133) $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ (001)	NiO [011] (100) $\parallel$ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [001] (100)

上記の表 1 と表 2 で示した MgO (NiO の代用) 基板上  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  薄膜の結晶配向と  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上 NiO 薄膜の結晶配向の解明によって、すべての組み合わせにおいて NiO (100) [011]  $\parallel$   $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  (100) [001] の関係 (図 1) を常に満たしていることが明らかとなった。このことは、どの方向でも立方晶の NiO と単斜晶の  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  がエピタキシャル関係を保って接合しうることを意味している。つまり、NiO と  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  からなる多層構造や埋め込み層などの立体構造をもつデバイスの可能性を示唆する結果である。これは、NiO と  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  からなるデバイス作製をしようとする場合の有用な情報となる。

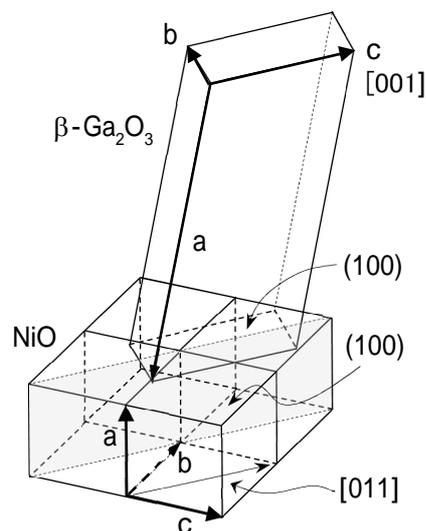


図 1 NiO と  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の結晶配向関係

### (3) NiO/ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ヘテロ pn 接合ダイオードの試作と評価

#### (3)- ダイオードの試作

ダイオードの試作において、購入した  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上にゾルゲル法により NiO 薄膜を形成して pn 接合とした。2-メトキシエタノールとモノエタノールアミンに酢酸ニッケル四水和物を混合し NiO 原料溶液とし、酢酸リチウム二水和物により Li を添加することで p 形の伝導性を制御できる。基板上に滴下しスピンコーティングと乾燥・仮焼成を繰り返した後に本焼成することで NiO 薄膜が形成される。電極は  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  側を Ti/Al/Pt/Au、NiO 側を Au とした。NiO 側を正とする場合が順方向となる整流性が得られる。電流-電圧特性については後述する。

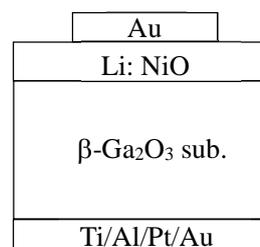


図 2 ダイオード構造

#### (3)- 紫外線検出特性

$\text{Ga}_2\text{O}_3$  基板側の電極を表面側に形成し、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  側から UV 光を照射するとフォトダイオードとして働く。図 3 は電流-電圧特性の UV 光照射強度依存性である。照射する UV 光の強度増加に伴って電流-電圧特性が負の電流方向にシフトすることで逆方向電流の増加により、300nm 付近に最大感度をもつ UV 光検出器を実現した。主に NiO 層内で光励起されたキャリアが光電流に寄与しており、接合領域の NiO 内で吸収される波長の光にとって  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  基板は窓となって接合部まで光が届く。 $\text{D}_2$  ランプと光チョッパーにより約 150 $\mu\text{s}$  幅で照射した UV 光パルスに追従して、逆方向電流が応答することが確認でき (図 4)、NiO/ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  フォトダイオードが高速で応答可能であることが示された。

この研究成果は[6]において発表された。

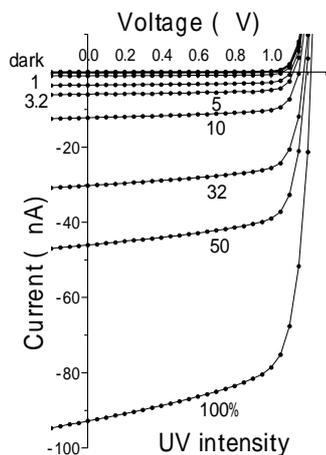


図3 電流-電圧特性のUV 光照射強度依存性

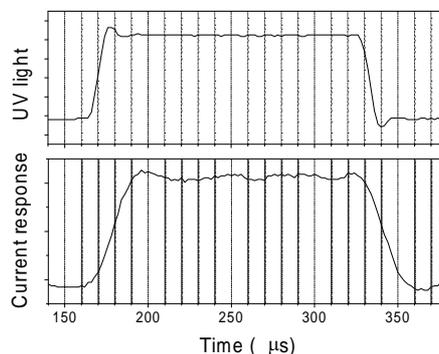


図4 UV 光応答特

(3)- 高温条件下における動作

NiO/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ pn 接合ダイオードは、ワイドバンドギャップ半導体でのみ構成されている。したがって、高温条件下においても価電子帯からの電子の励起が少なく、ダイオードとして機能しうる。本研究では、室温から 500°C の範囲で電流-電圧特性を評価し、500°C 条件下でも整流性を維持できることを示した。

図4は、順方向 10V, 4μs、逆方向 10 V, 8μs の矩形の電圧を印加した時のダイオードの電圧と電流の応答波形を示している。20°C ~ 500°C の温度増加にしたがって順方向の電流が増え、ダイオード電圧が下がっている。逆方向にバイアスされた直後に逆回復電流が流れ、高温条件下で回復時間が増加した。電圧波形から室温で 119ns、500°C で 186ns 時定数が算出された。500°C の高温条件下においても良好なスイッチングが可能であることが実証された。この研究成果は[7]において発表された。

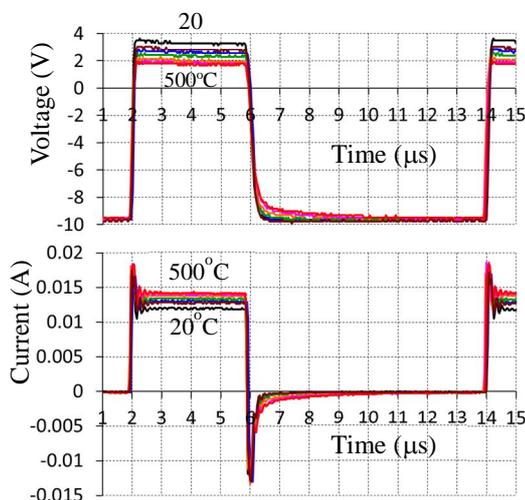


図5 20 ~ 500 条件下における電圧応答と電流応答の波形

(3)- 逆方向の高耐圧化

購入したβ-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板に NiO 層を形成することでヘテロ pn 接合ダイオードを試作してきた。当初、アンドープの n 形 β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板を用いた試作ダイオードでは、逆方向で高耐圧が得られず、順方向の抵抗の高いものしか得られなかった。低抵抗β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上に低キャリア濃度のエピタキシャル層を形成した基板を購入し、この基板上に Li ドープ NiO 層を形成してダイオードの試作を行ったところ、1000V でも 1nA 程度の逆方向リーク電流を維持しブレイクダウンしていない逆方向特性を示すものが実現できた。ただ、順方向のオン抵抗は 100mA 付近で 0.34 cm<sup>2</sup> とまだ高い。(図6)さらなる特性向上のためには、各層の導電率や厚さの制御、フィールドリング等の構造の最適化が必要であると考えている。

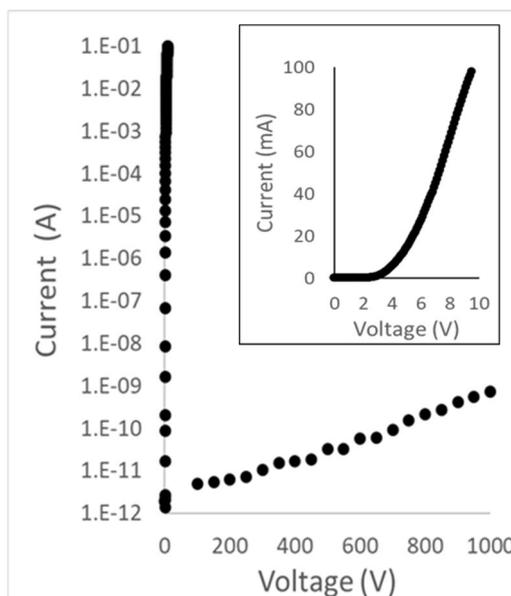


図6 順方向電流-電圧特性と逆方向耐圧特性

#### (4) NiO/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ pn 接合ダイオードのスイッチング応答特性

試作したサンプルにおいてオン電流密度約 40A/cm<sup>2</sup>、電源電圧 200V での L 負荷での逆回復測定を実施した結果、リカバリー時間は 100ns 以下、逆回復ピーク電流はオン電流の 50% 程度であり比較的高速な動作が確認できた。また逆回復電流は抵抗性電流と容量性電流の両者が流れていることがわかった。Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> はワイドバンドギャップであるため、逆回復時の少数キャリアの蓄積は顕著で無いと予測されるが、上記の結果より Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> から NiO 側に注入される電子の蓄積効果も逆回復動作に関与している可能性がある。今後はデバイスシミュレーションを駆使し詳細な動作メカニズムを追究する予定である。

#### (5) NiO/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ pn 接合ダイオードのシミュレーション

NiO/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ接合界面における欠陥準位が、同接合の順方向の伝導特性に関与していることが以前より研究代表者による実測データの解析により予測されている。本科研費研究において、欠陥準位を考慮しない接合モデルによるシミュレーションでは、順方向および逆方向電流電圧特性は、実測の結果から大きくずれる。界面での欠陥準位をモデリングするために、ヘテロ界面付近に薄い再結合促進層を設定したモデルを用いたシミュレーションでは、比較的実測に近い電流電圧特性が得られている。すなわち NiO/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ接合の特性は、ヘテロ界面での欠陥準位によって制御されている可能性が裏付けられた。今後は、更にシミュレーションの精度を上げ、同ヘテロ接合の動作をシミュレーションで解明する予定である。

#### (6) まとめ

最近、NiO/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ pn 接合ダイオードのパワーデバイスに関連した研究報告が海外から出されるようになってきた。奇しくもこの組み合わせの有効性が他所から認められた形であるが、本来なら、我々が本研究助成の成果として出すべきであっただろう。反省する次第である。

#### < 発表論文 >

- [1] Shinji Nakagomi, Yoshihiro Kokubun, "Crystal Orientation of Monoclinic  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Films Formed on Cubic MgO Substrates with a  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Interfacial Layer", *Journal of Crystal Growth*, 479, 67-74 (2017) <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2017.09.028>
- [2] Shinji Nakagomi, Takashi Yasuda, Yoshihiro Kokubun, "Crystal Orientation of Cubic NiO Thin Films Formed on Monoclinic  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Substrates", *Physica Status Solidi B*, 257, 1900669 (2019) <https://doi.org/10.1002/pssb.201900669>

#### < 学会発表 >

- [3] 中込真二, 安田隆, 國分義弘, 「(111) MgO 基板上に形成した  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜の結晶配向性」, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 7p-C17-7 (2017)
- [4] 中込真二, 安田隆, 國分義弘, 「 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上に形成した NiO 薄膜の結晶配向性」, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 20a-E201-8 (2018)
- [5] 中込真二, 安田隆, 國分義弘, 「(001)  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上に形成した NiO 薄膜の結晶配向性」, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 9p-S011-5 (2019)
- [6] 中込真二, 佐々木光, 目黒真也, 國分義弘, 「NiO/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ接合フォトダイオードの紫外線検出特性」, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 20a-E201-9 (2018)
- [7] 中込真二, 菊地賢太郎, 矢野浩司, 國分義弘, 「NiO/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ接合ダイオードのスイッチング応答の温度依存性」, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-331-1 (2018)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shinji Nakagomi, Takashi Yasuda, Yoshihiro Kokubun	4. 巻 Early view Online
2. 論文標題 Crystal Orientation of Cubic NiO Thin Films Formed on Monoclinic -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Substrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi B	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssb.201900669	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakagomi Shinji, Kokubun Yoshihiro	4. 巻 479
2. 論文標題 Crystal orientation of monoclinic -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> thin films formed on cubic MgO substrates with a -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> interfacial layer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 67~74
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jcrysgr.2017.09.028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安田隆, 後藤宗久, 中込真二
2. 発表標題 ゾル・ゲルディップ法によるNiO薄膜の作成
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会, 19p -PB8-19
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中込真二, 菊地賢太郎, 矢野浩司, 國分義弘
2. 発表標題 NiO/ -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ヘテロ接合ダイオードのスイッチング応答の温度依存性
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-331-1
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中込真二, 安田隆, 國分義弘
2. 発表標題 (001) -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 基板上に形成したNiO薄膜の結晶配向性
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会, 9p-S011-5
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中込真二, 安田隆, 國分義弘
2. 発表標題 (111) MgO基板上に形成した -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 薄膜の結晶配向性
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会、講演要旨集7p-C17-7, 「福岡国際会議場」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中込真二, 安田隆, 國分義弘
2. 発表標題 -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 基板上に形成したNiO薄膜の結晶配向性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会、講演要旨集20a-E201-8, 「早稲田大学 西早稲田キャンパス」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中込真二, 佐々木光, 目黒真也, 國分義弘
2. 発表標題 NiO/ -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ヘテロ接合フォトダイオードの紫外線検出特性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会、講演要旨集20a-E201-9, 「早稲田大学 西早稲田キャンパス」
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	安田 隆  (Yasuda Takashi)  (90182336)	石巻専修大学・理工学部・教授   (31308)	
研究 分担者	矢野 浩司  (Yano Koji)  (90252014)	山梨大学・大学院総合研究部・教授   (13501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------