

令和 3 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01315

研究課題名(和文) 酸化物半導体の新展開；ナローギャップウルツ鉱型酸化物の物質科学とデバイス化技術

研究課題名(英文) New Developments in Oxide Semiconductors; Material Science and Device Technology of Narrow-Gap Wurtzite Oxides

研究代表者

小俣 孝久 (Omata, Takahisa)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：80267640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、 $\text{CuGaO}_2$ の前駆体となる  $\text{NaGaO}_2$  薄膜の作製法としてミストCVD法とPLD法を研究した。ミストCVD法では、再現性高く薄膜を堆積する装置を新たに開発し、平均組成が $\text{Na}:\text{Ga}=1:0.91$ である平坦で均質な組織を有する薄膜の堆積に成功した。PLD法では、ターゲットと基板の距離を近づけることで、化学量論組成でかつ組織も均質な  $\text{NaGaO}_2$  薄膜の堆積に成功した。

XPSにより  $\text{CuGaO}_2$  と Al-doped ZnO のバンドアラインメントはType IIであり、光励起により生成した電子と正孔は分離されるため、太陽電池に応用可能なp/n接合であることを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

薄膜太陽電池の光吸収材料では、有害なカドミウムを含むCdTeや希少なインジウムを含むCu(InGa)Se<sub>2</sub>などのカルコゲナイド半導体の独壇場となっている。本研究では資源が豊富で安全な元素から成る酸化物半導体  $\text{CuGaO}_2$  を太陽電池へと展開するのに必要な、化学量論組成の  $\text{NaGaO}_2$  前駆体薄膜の作製に目処をつけ、薄膜太陽電池の実現に向け着実な進歩を遂げている。また、p型  $\text{CuGaO}_2$  と n型 ZnO とが太陽電池に適切なType-II型接合を作ることを明らかにしており、 $\text{CuGaO}_2$  が太陽電池材料として有望な材料であることを実験的に検証しており、学術的にも社会的にも意義ある成果をあげている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated mist CVD and PLD methods for the fabrication of  $\text{NaGaO}_2$  thin films, which are precursors of  $\text{CuGaO}_2$ . For the mist-CVD method, we developed a new deposition apparatus. By using the new apparatus, deposition of  $\text{NaGaO}_2$  thin film with nearly stoichiometric composition (average composition of  $\text{Na}:\text{Ga}=1:0.91$ ) and homogeneous morphology was successful. For the PLD method, we succeeded in depositing  $\text{NaGaO}_2$  thin film with stoichiometric composition and homogeneous microstructure by reducing the distance between target and substrate.

XPS analysis revealed that the band alignment of  $\text{CuGaO}_2$  and Al-doped ZnO is Type II, and the electrons and holes generated by photoexcitation are separated, indicating that the p/n junctions of  $\text{CuGaO}_2$  with ZnO is applicable to thin-film solar cells.

研究分野：無機材料の化学

キーワード：結晶成長 セラミックス 先端機能デバイス 光物性

### 1. 研究開始当初の背景

ITO や IGZO など  $nd^{10}(n+1)s^0$  電子配置の典型元素から成る酸化物半導体は、透明電極や透明 TFT として実用に供されるが、いずれもワイドバンドギャップがもたらす可視光に対する透明性という、光に対してパッシブな特性を応用した機能である。酸素は安全で豊富な元素であり、また、酸化物は大気中や水中で安定なので、特に可視～赤外領域での発光や受光などのアクティブな光機能を有する酸化物半導体が見出されれば、究極的な低環境負荷材料として LED や太陽電池などの光電変換素子への応用が進むことは間違いない。

LED や薄膜太陽電池への応用では、バンドギャップのエネルギーを光と直接変換可能な直接遷移型の半導体が必要となる。ウルツ鉱型および閃亜鉛鉱型構造は、直接遷移型半導体の代表構造であるが、酸化物ではウルツ鉱型 ZnO と BeO のみがそれに該当し、いずれもワイドギャップであるためその応用は紫外光領域に限定されている。このような状況の中、研究代表者はウルツ鉱型の超構造である  $\beta$ -NaFeO<sub>2</sub> 型構造を有する三元系 I-III-O<sub>2</sub> 酸化物 (図 1a) に注目し、ナローギャップ直接遷移型酸化物半導体の新物質を探索し、1.47eV の直接遷移型バンドギャップを有する三元系ウルツ鉱型  $\beta$ -CuGaO<sub>2</sub> を発見し (図 1b),  $\beta$ -CuGaO<sub>2</sub> が準安定相であるが大気中でも 300°C 以下では実際上安定である、CdTe などと同様にバンド端近傍で強い光吸収を示す、p 型伝導を示すとともに、Cu 4s および Ga 4s 状態からなる分散の大きな伝導帯のため優れた n 型伝導性も期待でき、p/n ホモ接合の形成に適した物質である、などの特徴を有することを見出している。

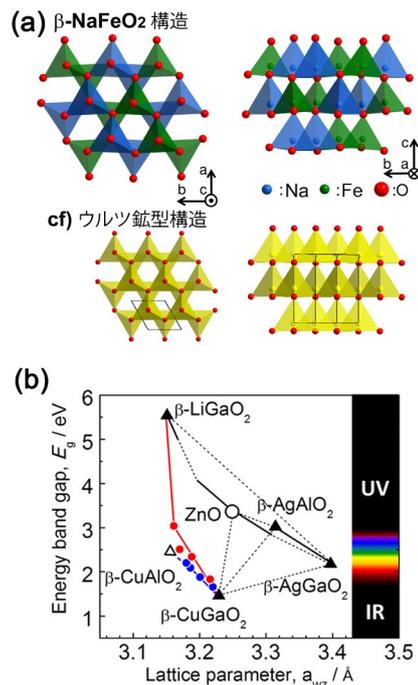


図 1. (a)三元系ウルツ鉱型構造と(b)そのバンドギャップがカバーするエネルギー

### 2. 研究の目的

本研究は前記の  $\beta$ -CuGaO<sub>2</sub> の特徴をフル活用し、薄膜太陽電池や可視光 LED の全酸化物化を最終ゴールとしている。研究の期間内においては、デバイス化に向けた  $\beta$ -CuGaO<sub>2</sub> の良質薄膜の作製に必須の前駆体  $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> の作製技術を研究した。これとともに、 $\beta$ -CuGaO<sub>2</sub> とのヘテロ p/n 接合を形成する半導体の候補である、n 型 ZnO とのバンドアラインメントを XPS から実験的に決定した。

### 3. 研究の方法

#### (1) ミスト CVD 法による $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 薄膜堆積装置の開発

2018 年度まで使用していた従来型のホットウォール式堆積装置では、同一条件で堆積しても同一の薄膜が得られないという大きな欠点があった。これに対処するため、基板背後に加熱装置を有し、供給するミストの予備加熱が可能な新たな装置を開発した。開発にあたっては、装置内に原料ガスを導入した際の流体の挙動と温度分布を、シミュレーションした。シミュレーションには COMSOL Multiphysics ver.5.5 を使用した。

#### (2) ミスト CVD 法による $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 薄膜の作製

前記(1)で開発した装置を使用し、原料溶液に Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を溶解した NaOH 水溶液、または、 $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 水溶液を使用し  $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 薄膜を堆積した。基板には(0001)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を用い、基板温度、ミストの予備加熱温度をパラメータとして堆積条件を検討した。

#### (3) PLD 法による $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 薄膜の作製

Nd:YAG レーザーの 4 倍高調波(波長 266 nm, パルス幅 7 ns, 繰り返し周波数 10 Hz)を用い、 $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 焼結体をターゲットとして使用した。ターゲット表面におけるレーザーパワー密度を 1.3 J pulse<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> 及び 2.8 J pulse<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> とした。基板には(0001)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を用いた。

#### (4) $\beta$ -CuGaO<sub>2</sub>/ZnO および $\alpha$ -CuGaO<sub>2</sub>/ZnO のバンドアラインメントの解明

$\beta$ -CuGaO<sub>2</sub> 焼結体および  $\alpha$ -CuGaO<sub>2</sub> 焼結体に 3 nm 厚の undoped および Al-doped ZnO 薄膜を成膜し、Ga 2p, Cu 2p, O1s, Zn 2p の各内殻準位と価電子帯の光電子スペクトル(XPS)を界面近傍で観察した。XPS の測定は線源に Al K $\alpha$  線(2984.2eV)を用いた。

#### 4. 研究成果

##### (1) ミスト CVD 法による $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 薄膜堆積装置の開発

検討した堆積部の構造,各構造でシミュレーションから得られた流速分布,温度分布を図2に示す。図2から明らかなように,サイドデポおよびデポダウンの構造では,供給したミストの流速は,加熱された基板による対流の影響を強く受け,基板の面内で非常に不均一となる。温度分布においては,対流の影響がより直接的に表れており,ミストの供給方向と加熱による上昇気流との方向が一致するデポアップが,基板の面内での供給ミストの流速と温度が一様で,均質な薄膜の体積が期待できることが明らかとなった。得られた知見に基づき,図3(a)に示す装置を試作するとともに,この装置構成に対してもシミュレーションを行った。図3(b)および(c)に示すように,この構造であれば流速と温度のいずれも基板の面内で一様であることが確かめられた。また,ミスト供給口にヒーターを巻き付けることで,ミストの予備加熱も可能とし,最終的には,基板温度を RT~1000°C,ミストの予備加熱温度を RT~600°Cとして薄膜の堆積が可能な装置を完成した。

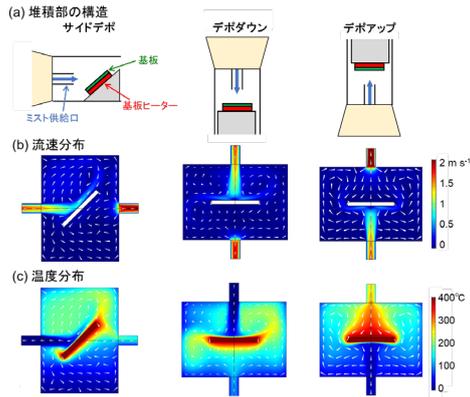


図 2. 各種構造のミスト CVD 堆積部の流速, 温度分布のシミュレーション結果

(a) シミュレーションに基づいて作製したミストCVD装置

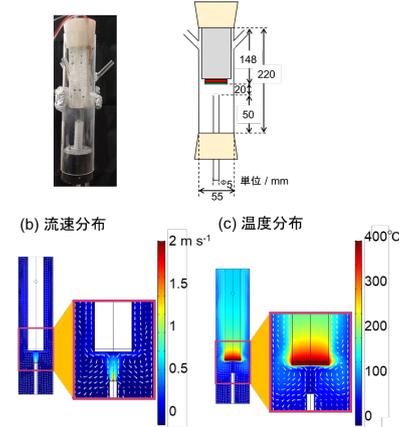


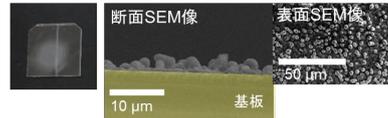
図 3. (a)作製したミスト CVD 装置と(b)その流速・温度分布のシミュレーション結果

##### (2) ミスト CVD 法による $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 薄膜の作製

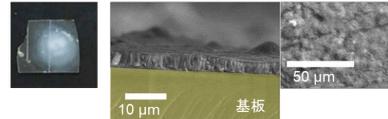
従来のホットウォール型装置での条件と同一の基板温度 400°C, ミスト予備加熱なしで, 1M-NaOH-0.057M-GaO<sub>3/2</sub> 水溶液を原料溶液として堆積した試料の写真および SEM 像を図4(a)に示す。従来装置では薄膜形態の堆積物が得られたが, 開発した装置では粒子状の堆積物となった。この条件では核生成密度が低いいため粒子状となったと推察し, 原料溶液濃度を 5 倍として堆積したものが図4(b)である。原料溶液の濃度を 5 倍とすることで, 薄膜状の堆積物を得ることに成功した。ミストを 200°C, 400°Cで予備加熱した場合の試料を図4(c)および(d)に示す。予備加熱をすることで, 膜厚が増加したものの 400°Cの予備加熱では著しく粒成長する箇所が見られた。予備加熱 200°Cの場合が平坦性の優れた薄膜が得られることが明らかとなった。堆積物の平均組成は Na:Ga=1:0.61 であり, 原料溶液中の Na, Ga の比と同一で Ga 不足の組成であった。

Ga 不足の組成を改善するために,  $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> の水溶液を原料溶液として堆積した。予備加熱 200°C, 基板温度 200°Cで行った堆積物を図4(e)に示す。図に示すように平坦で均質な薄膜を得ることができた。原料溶液の組成は Na:Ga=1:0.86 であり, 堆積物の平均組成は Na:Ga=1:0.91 となり, 堆積物の Ga 含量は原料

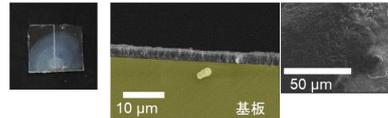
(a) 予備加熱RT, 基板400°C, 0.1M-NaOH & 0.057M-GaO<sub>3/2</sub> aq.



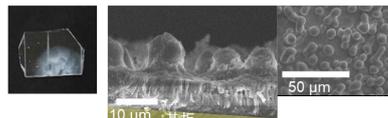
(b) 予備加熱RT, 基板400°C, 0.5M-NaOH & 0.29M-GaO<sub>3/2</sub> aq.



(c) 予備加熱200°C, 基板400°C, 0.5M-NaOH & 0.29M-GaO<sub>3/2</sub> aq.



(d) 予備加熱400°C, 基板400°C, 0.5M-NaOH & 0.29M-GaO<sub>3/2</sub> aq.



(e) 予備加熱200°C, 基板200°C, 0.5M-β-NaGaO<sub>2</sub> aq.

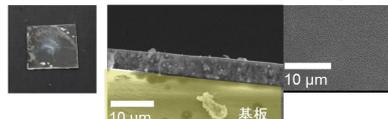


図 4. ミスト CVD 法で堆積した  $\beta$ -NaGaO<sub>2</sub> 薄膜

溶液中のそれに比べわずかに高くなっていた。堆積直後の薄膜では化学量論組成を達成するには至っていないが、ポストアニール等の処理により、蒸気圧の高い  $\text{Na}_2\text{O}$  を蒸発させることで、化学量論組成の薄膜を得る見通しがたった。

### (3) PLD 法による $\beta\text{-NaGaO}_2$ 薄膜の作製

$\beta\text{-NaGaO}_2$  をターゲットとした PLD 法による薄膜の堆積では、基板温度、酸素圧力、基板の種類いずれかを調整しても、堆積物が  $\text{Na}:\text{Ga}\sim 1:1$  の相と、 $\text{Na}$  が不足した相の 2 相に相分離していた。PLD 後のターゲットの表面組成を分析した結果、組成は初期の状態と同一であることから、レーザー照射により  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  のいずれの成分もすべてアブレーションされていることが明らかとなり、堆積物の組成が  $\text{Na}$  不足となるのは、アブレーションされた  $\text{Na}$  成分を基板上に捕獲できていないためと推察される。これを踏まえ、ターゲットと基板の距離を従来の  $40\text{ mm}$  から  $20\text{ mm}$  へと短縮した。得られた薄膜の写真と SEM 像を図 5 に示す。図 5(a) の写真の薄膜が茶色く着色した部分 (左半分; A) はプルームの中央付近で、白濁した部分 (右半分; B) は中心からずれたプルームの延長上にあたる。A, B いずれの部分も組成は  $\text{Na}:\text{Ga}=1:0.93\sim 1:0.99$  であり、化学量論組成に近い堆積物となった。着色した A の部分の SEM 像には 2 種類の異なる組織が観察され均質ではなかった (図 5(b))。これに対し B の部分の SEM 像は、均質な薄膜であることを示しており (図 5(c))、基板とターゲット間の距離を近づけることで、化学量論組成でかつ組織の上でも均質な  $\beta\text{-NaGaO}_2$  薄膜を得られることが明らかとなった。

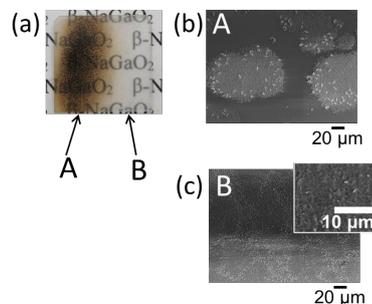


図 5. PLD 法で堆積した  $\beta\text{-NaGaO}_2$  薄膜. (a)外観写真, (b)(a)の A, および(c)B の部分の SEM 像

### (4) $\beta\text{-CuGaO}_2/\text{ZnO}$ および $\alpha\text{-CuGaO}_2/\text{ZnO}$ のバンドアラインメントの解明

本項目は当初第一原理計算で実施する計画であったが、実施中に他の研究グループから報告がなされたため、実験的に決定することとした。図 6(a) に  $\beta\text{-CuGaO}_2$  焼結体表面の、(b) に  $\beta\text{-CuGaO}_2/\text{Al-doped ZnO}$  薄膜界面の XPS をそれぞれ示す。XPS に基づいて決定した  $\beta\text{-CuGaO}_2$  と  $\text{Al-doped ZnO}$  のバンドアラインメントを図 7(a) に示す。 $\beta\text{-CuGaO}_2$  と  $\text{Al-doped ZnO}$  の価電子帯頂上 (VBM) のオフセットは  $2.71\text{ eV}$  であることが明らかとなった。この値は、報告されている第一原理計算から決定した VBM のオフセット  $2.8\text{ eV}$  と概ね一致した。これらの材料からなる界面は Type II であり、光励起された電子は  $\text{ZnO}$  へ、正孔は  $\beta\text{-CuGaO}_2$  へと流れ、電子と正孔は分離されるため、太陽電池に応用可能な p/n 接合であることが明らかとなった。

図 7(b) には  $\beta\text{-CuGaO}_2$  と  $\alpha\text{-CuGaO}_2$  のバンドアラインメントを示す。VBM のエネルギーはほぼ同じであり、オフセットの殆どは伝導帯に生じていた。これは、いずれの物質も価電子帯の上部が  $\text{Cu } 3d$  軌道によって構成されているため、そのエネルギーに違いが生じないためと推察される。一方、伝導帯下端 (CBM) は  $\beta$  相が  $\alpha$  相より約  $1\text{ eV}$  低かった。 $\alpha$  相は  $\text{Cu}_2\text{O}$  層と  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  層が交互に重なる結晶構造を有し、伝導帯を構成する  $\text{Cu } 4s$  軌道と  $\text{Ga } 4s$  軌道がほとんど混成していない。 $\beta$  相は  $\text{Cu}$  と  $\text{Ga}$  とは実際上同じ環境の位置を占有する結晶構造であるため、 $\text{Cu } 4s$  軌道と  $\text{Ga } 4s$  軌道はよく混成している。その結果、 $\beta$  相の CBM のエネルギーが下がり、 $\alpha$  相よりバンドギャップが小さくなり、かつ、大きなオフセットが伝導帯で生じたと理解された。

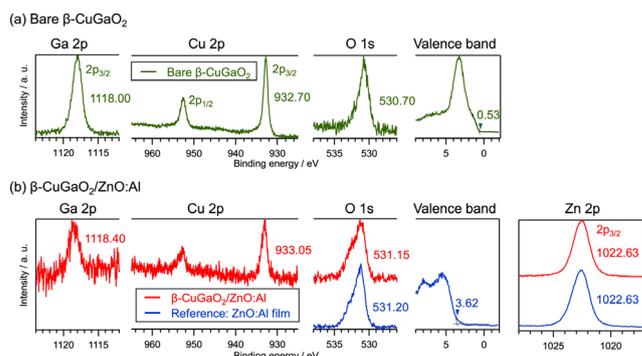


図 6.  $\beta\text{-CuGaO}_2/\text{Al-doped ZnO}$  薄膜界面の XPS

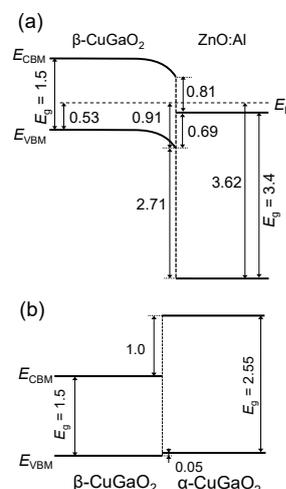


図 7.  $\beta\text{-CuGaO}_2$  と (a)  $\text{Al-doped ZnO}$ , (b)  $\alpha\text{-CuGaO}_2$  のバンドアラインメント

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 I. Suzuki, Y. Iguchi, C. Sato, H. Yanagi, N. Ohashi, T. Omata	4. 巻 127
2. 論文標題 Comprehensive first-principles study of AgGaO <sub>2</sub> and CuGaO <sub>2</sub> polymorphs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Ceram. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 339 - 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 I. Suzuki, Y. Mizuno, T. Omata	4. 巻 58
2. 論文標題 Tunable direct band gap of $\text{CuGaO}_2$ and $\text{LiGaO}_2$ solid solutions in the full visible range	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 4262 - 4267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.8b03370	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 Nagatani Hiraku, Suzuki Issei, Takemura Sayuri, Ohsawa Takeo, Ohashi Naoki, Fujimoto Shinji, Omata Takahisa	4. 巻 8
2. 論文標題 Controlling the electrical conductivity of ternary wurtzite-type and metastable $\text{AgGaO}_2$ by impurity doping	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 085203 ~ 085203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5046361	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Suzuki Issei, Kakinuma Ayako, Ueda Masato, Omata Takahisa	4. 巻 504
2. 論文標題 Flux growth of $\text{NaGaO}_2$ single crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 26 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2018.09.034	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 Suzuki Issei, Mizuno Yuki, Omata Takahisa	4. 巻 58
2. 論文標題 Tunable Direct Band Gap of $\text{-CuGaO}_2$ and $\text{-LiGaO}_2$ Solid Solutions in the Full Visible Range	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 4262 ~ 4267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.8b03370	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 Kita Masao, Suzuki Issei, Ohashi Naoki, Omata Takahisa	4. 巻 56
2. 論文標題 Wurtzite-Derived Quaternary Oxide Semiconductor $\text{Cu}_2\text{ZnGeO}_4$ : Its Structural Characteristics, Optical Properties, and Electronic Structure	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 14277 ~ 14283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.7b02379	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 SUZUKI Issei, TANEMURA Masatoshi, OMATA Takahisa	4. 巻 125
2. 論文標題 Orientation control of $\text{-NaGaO}_2$ thin film: a precursor for $\text{-CuGaO}_2$ as a thin-film solar cell absorber	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 872 ~ 875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.17157	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 該当する

1. 著者名 Suzuki Issei, Nagatani Hiraku, Kita Masao, Omata Takahisa	4. 巻 10
2. 論文標題 Fabrication of $\text{-CuGaO}_2$ thin films by ion-exchange of $\text{-NaGaO}_2$ thin films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 095501 ~ 095501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.095501	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 該当する

1. 著者名 Nagatani Hiraku, Mizuno Yuki, Suzuki Issei, Kita Masao, Ohashi Naoki, Omata Takahisa	4. 巻 121
2. 論文標題 Variation of crystal structure and optical properties of wurtzite-type oxide semiconductor alloys of $\text{-Cu(Ga,Al)O}_2$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 235103 ~ 235103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4985700	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 Suzuki Issei, Huang Binxiang, Omata Takahisa, Klein Andreas	4. 巻 3
2. 論文標題 Fermi Energy Limitation at $\text{-CuGaO}_2$ Interfaces Induced by Electrochemical Oxidation/Reduction of Cu	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 9117 ~ 9125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c01493	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 該当する

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 鈴木惇市、鈴木一誓、小俣 孝久
2. 発表標題 パルスレーザー堆積法による $\text{-NaGaO}_2$ 薄膜の作製
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木惇市、鈴木一誓、小俣孝久、喜多正雄
2. 発表標題 パルスレーザー堆積法によるウルツ $\text{-NaGaO}_2$ 薄膜の作製
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム (オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 I. Suzuki, N. Ohashi, A. Klein, T. Omata
2. 発表標題 Electronic structure and band alignment of ternary wurtzite-type oxide semiconductor, $\text{-CuGaO}_2$
3. 学会等名 The 11th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-11), (July 9-11, 2019, Tsukuba, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Suzuki, A. Klein, T. Omata
2. 発表標題 Band alignment and Fermi level shift of $\text{-CuGaO}_2$
3. 学会等名 11th International Symposium on Transparent Oxide and Related Materials for Electronics and Optics (TOEO 11)(October 7-9, 2019 Todaiji Temple Culture Center, Nara, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小俣孝久
2. 発表標題 新機能光学材料の創製
3. 学会等名 第9回電子光技術シンポジウム(機能性マテリアルの設計と実証 - 電子・光デバイスのイノベーション開拓に向けて - )(2019年12月20日, 秋葉原UDXカンファレンス, 東京)(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Watanabe, S. Suzuki, I. Suzuki, T. Omata
2. 発表標題 Development of Mist-CVD Equipment for $\text{-NaGaO}_2$ Thin-Film Deposition
3. 学会等名 An-Pang Tsai Memorial Joint Symposium of Taipei Tech and Tohoku University (November 24-26, 2019 Sendai, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Omata
2. 発表標題 Wurtzite-type and narrow-band-gap oxide semiconductor, $\text{-CuGaO}_2$ , and its derived materials
3. 学会等名 5th CWRU-Tohoku Joint Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Suzuki, A. Klein, T. Omata
2. 発表標題 XPS study of the band alignment of $\text{-CuGaO}_2$ with other oxides
3. 学会等名 5th CWRU-Tohoku Joint Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Suzuki, H. Nagatani, M. Kita, T. Omata
2. 発表標題 Fabrication of $\text{-CuGaO}_2$ Thin Films
3. 学会等名 10th International Workshop on Zinc Oxide and Other Oxide Semiconductors (IWZn02018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Suzuki, H. Nagatani, S. Takemura, M. Kita, T. Omata
2. 発表標題 Conductivity Control of Ternary Wurtzite $\text{-AgGaO}_2$ by Impurity Doping
3. 学会等名 10th International Workshop on Zinc Oxide and Other Oxide Semiconductors (IWZn02018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kita, I. Suzuki, N. Wada, T. Omata
2. 発表標題 Cu deficiency in the narrow gap oxide semiconductor Cu <sub>2</sub> ZnGeO <sub>4</sub> with wurtzite-derived structure
3. 学会等名 10th International Workshop on Zinc Oxide and Other Oxide Semiconductors (IWZnO2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Omata, I. Suzuki, S. Tsukuda
2. 発表標題 Design and synthesis of novel inorganic materials
3. 学会等名 International Symposium on "New Horizon in Advanced Materials"; Kick off Symposium of Academic Exchange Program for TAIPEI TECH-IMRAM (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹村沙友理、鈴木一誓、長谷拓、喜多正雄、小俣孝久
2. 発表標題 不純物ドーピングによる -AgGaO <sub>2</sub> の伝導性制御
3. 学会等名 資源・素材学会 平成30年度東北支部総会・春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹村 沙友理、鈴木 一誓、小俣 孝久
2. 発表標題 ミスド CVD 法による -NaGaO <sub>2</sub> 薄膜の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会、第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木一誓、大橋直樹、アンドレアス・クライン、小俣孝久
2. 発表標題 三元系ウルツ鉱型酸化物： $\text{-CuGaO}_2$ の電子構造とバンドアラインメント
3. 学会等名 38回エレクトロセラミックス研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木一誓、大橋直樹、アンドレアス・クライン、小俣孝久
2. 発表標題 ナローバンドギャップ酸化物半導体： $\text{-CuGaO}_2$ の電子構造とバンドアラインメント
3. 学会等名 平成30年度 日本セラミックス協会 東北北海道支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 喜多 正雄、和田 憲幸、鈴木 一誓、小俣 孝久
2. 発表標題 ウルツ鉱型関連構造のナローギャップ酸化物半導体 $\text{Cu}_2\text{ZnGeO}_4$ の高温相変化
3. 学会等名 第21回日本セラミックス協会北陸支部秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 一誓・竹村 沙友理・小俣 孝久
2. 発表標題 ミスT-CVD 法による $\text{-NaGaO}_2$ 薄膜の作製と $\text{-CuGaO}_2$ 薄膜へのイオン交換
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahisa Omata
2. 発表標題 Wurtzite-Type and Narrow Band Gap Oxide Semiconductor, $\text{-CuGaO}_2$ , and Its Derived Materials
3. 学会等名 The Tenth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahisa Omata
2. 発表標題 Wurtzite-type ternary I-III-O2 oxide semiconductors; new materials expanding the energy band gap range covered by oxide semiconductors
3. 学会等名 Transparent Conductive Oxides-Fundamentals and Applications 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masao Kita, Issei Suzuki, Inoue Makoto, Takahisa Omata
2. 発表標題 Crystal and electronic structure of quaternary narrow gap oxide semiconductor $\text{Cu}_2\text{ZnGeO}_4$ with a wurtzite-derived structure
3. 学会等名 2017 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹村沙友理, 長谷拓, 鈴木一誓, 小俣孝久
2. 発表標題 ウルツ鉱型酸化物半導体 $\text{-AgGaO}_2$ の伝導性制御
3. 学会等名 日本セラミック協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 喜多正雄, 井上誠, 鈴木一誓, 大橋直樹, 小俣孝久
2. 発表標題 ウルツ鉱型関連構造のナローギャップ酸化物半導体Cu <sub>2</sub> ZnGeO <sub>4</sub> の結晶構造と電子構造の解析
3. 学会等名 日本セラミック協会2018年年会
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	鈴木 一誓 (Suzuki Issei) (60821717)	東北大学・多元物質科学研究所・助教  (11301)	
研究分担者	喜多 正雄 (Kita Masao) (00413758)	富山高等専門学校・その他部局等・准教授  (53203)	
研究分担者	佃 諭志 (Tsukuda Satoshi) (00451633)	東北大学・多元物質科学研究所・講師  (11301)	

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		
ドイツ	Technische Universität Darmstadt		