

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04934

研究課題名(和文) 層状半導体材料を用いた新規薄型光支援熱電子エミッタの開発

研究課題名(英文) Development of Novel Electron Emitter for Photon Enhanced Thermionic Emission Using Thin Film Semiconductor Material

研究代表者

荻野 明久 (Akihisa, Ogino)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：90377721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：光支援熱電子発電のエミッタ開発を目的とし、CVD法により二硫化モリブデン(MoS<sub>2</sub>)薄膜を合成し、プラズマ処理による高機能化を行った。アルゴンまたは水素プラズマ処理による硫黄欠陥形成でMoS<sub>2</sub>のn型化、窒素プラズマ処理により硫黄欠陥に窒素を注入することでp型化することを示す結果が得られた。セシウム被覆した窒化アルミニウムガリウム(AlGa<sub>N</sub>)エミッタでは、AlとGaを同比率としたときに電子放出開始の閾値温度が最も低減し約330 Kでの熱電子放出を確認した。また、エミッタ温度600 Kに昇温すると発電領域での動作し、出力電圧0.14 Vが得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低温で高効率な熱電子発電の実現に向けて、二硫化モリブデンおよび窒化アルミニウムガリウム半導体による低温熱電子放出源を開発し、従来の金属熱電子源よりも圧倒的に低い300 Kでの熱電子放出を観測した。二硫化モリブデンの硫黄欠陥形成とドーピングにおいて、低温プラズマ処理は有効である。プラズマ処理技術を用いて二硫化モリブデンのバンド構造ならびに表面特性を向上させることで、可視光を効率的に電子放出に利用できる電子減が期待できる。本研究の成果は、半導体エミッタの低抵抗化、低電子親和力化について有用であり、狭真空ギャップの熱電発電器モジュールの作製において有用な知見といえる。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of development of novel electron emitter for photon enhanced thermionic emission using thin film semiconductor material, molybdenum disulfide (MoS<sub>2</sub>) thin film was synthesized by CVD method and enhanced by plasma treatment. MoS<sub>2</sub> was n-typed by forming sulfur defects by argon or hydrogen plasma treatment, and p-typed by injecting nitrogen into the sulfur defects by nitrogen plasma treatment. The thermionic emission of Si-doped aluminum gallium nitride (AlGa<sub>N</sub>) films with Cs adoption was investigated. Threshold temperatures of thermionic emission was around 300 K and it is considerably lower than the temperatures of conventional thermionic energy converter. The work function decreases as the AlN mole fraction x in the AlGa<sub>N</sub> samples is increased. According to the output characteristics of thermionic converter with AlGa<sub>N</sub> emitter, the output voltage was 0.14 V at the emitter temperature 600 K.

研究分野：プラズマ応用

キーワード：熱電子放出 二硫化モリブデン 窒化アルミニウムガリウム

## 1. 研究開始当初の背景

光または熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換する技術の筆頭として、太陽電池および熱電変換がある。太陽電池において発電に利用されない入力は大部分が熱となり温度を上昇させ、発電効率を悪化させる。未利用の熱を発電に利用するには、太陽電池と集熱器を用いた太陽熱発電の複合システムが考えられるが、太陽熱発電に必要な温度差を得るには、太陽電池を600℃程度で動作させる必要があり、極めて困難である。熱電変換においては、素子の高温部と低温部の熱的絶縁の困難性がある。これに対し、熱電子発電は高温部と低温部の温度差が小さくても高出力を維持でき、特段の冷却機構を必要としない発電システムとなり得る。

熱電子発電の研究は、1960年代から旧ソ連と米国の宇宙開発とともに発展し基本理論が確立される。旧ソ連では、タングステン電極にセシウムを付着させ効率的な熱電子放出を実証し、出力10kW、変換効率7%の発電システムを構築、人工衛星に搭載し宇宙実験を実施した。しかし、比較の仕事関数を小さくできるタングステンとセシウムの組み合わせでも、仕事関数は約2eV程度と大きく、発電には少なくとも1500℃以上の熱源が必要であり、産業利用には至らなかった。一般的なエンジンまたは工場排熱を熱源として活用するには、動作温度領域の低温化(100~600℃)が必要であり、効率的な電子放出が不可欠である。光支援熱電子発電(Photon Enhanced Thermionic Emission: PETE)は、エミッタ材を半導体とすることで熱的な効果と内部光電効果を相乗的に利用でき、従来型熱電子発電よりも低い動作温度が期待できる。2010年、米国の研究グループにより理論的な発電効率が40%に達することが示されているが、実証されていない。本研究は600℃程度の低温域熱電子発電を目指し、プラズマ表面処理技術を駆使して半導体薄膜熱電子放出源を開発する。

## 2. 研究の目的

熱電子発電はゼーバック熱電素子よりも理論上の熱電変換効率は高いが、動作温度が1500℃以上と高いため熱源と電極材が限定され、実用化は困難であった。本研究では半導体材料を電子エミッタとし、光照射による量子効果と熱的な効果を合わせて600℃程度で発電する光支援熱電子発電技術の開発を目指す。エミッタ材料としては、バンドギャップを調節できる二硫化モリブデン(MoS<sub>2</sub>)薄膜および窒化アルミニウムガリウム(AlGa<sub>0.5</sub>N)の二つの半導体材料に注目している。また、熱電子発電のエミッタとして応用するには、電子放出面の原子構造制御による実効的な仕事関数の低減が重要となる。プラズマ表面処理は多様な条件での処理が可能であり、表面の原子構造と電子放出特性を合わせて検討することで、実用上の課題を解決するための具体策を明らかにする。

## 3. 研究の方法

バンドギャップを調整できるMoS<sub>2</sub>薄膜およびAlGa<sub>0.5</sub>N薄膜の二種類の半導体薄膜を合成し、熱電子エミッタ応用に向けて薄膜特性および熱電子放出を評価した。

### (1) MoS<sub>2</sub>薄膜合成とプラズマ処理によるp型化

光支援熱電子発電に適した新規エミッタ開発のため、バンドギャップの目標値を1.8eVとしてMoS<sub>2</sub>薄膜を化学気相成長により作成し膜特性を評価した。バルクのMoS<sub>2</sub>のバンドギャップは約1.2eVであるが、単層MoS<sub>2</sub>薄膜のバンドギャップは1.8eVであるため、可視光による内部光電効果に適しており電子放出の高効率化が期待できる。本研究ではアルゴンガスを充填した反応炉内で硫黄および酸化モリブデン(MoO<sub>3</sub>)を気化させ、加熱した基板上に薄膜を堆積した。合成時の硫黄の加熱温度は200℃とし、MoO<sub>3</sub>の温度を630, 650, 700℃と変化させ、MoO<sub>3</sub>供給量を制御した。次にマイクロ波励起プラズマを用いてMoS<sub>2</sub>薄膜の表面処理を行い、バンド構造と実効的な仕事関数の制御について検討した。

### (2) セシウム吸着AlGa<sub>0.5</sub>Nの光支援熱電子放出特性の評価

熱電子放出源に半導体を用いることで熱的な効果だけでなく、光励起の効果を含めた相乗効果を期待できる。Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nのバンドギャップは、Al組成比xによりGa<sub>0.5</sub>Nの3.4eVからAlNの6.2eVの広い領域をカバーできることに加え、加熱時の化学安定性も高い。また、エミッタ表面をセシウム(Cs)で被覆することにより、熱電子放出におけるポテンシャル障壁を軽減できるため、光と熱に関係するデバイスに応用できると考えられる。本研究ではSiをドーパントとしたn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N薄膜(膜厚20nm)を、n型6H-SiC基板(厚さ340μm)上に有機金属化学蒸着によって成長させた。作製したAlGa<sub>0.5</sub>N薄膜基板をエミッタとしてSUS製コレクタと対向配置し、両電極間の印加電圧を変えてエミッタからの熱電子放出を測定した。また、アルカリ金属ディスペンサーの加熱電流I<sub>Cs</sub>を制御しエミッタおよびコレクタ表面へCsを供給し、電極表面をCsで被覆することで電子親和力を低減した。

#### 4. 研究成果

##### (1) MoS<sub>2</sub> 薄膜合成とプラズマ処理による p 型化

化学気相成長におけるガス圧力、加熱時間、加熱温度をパラメータとして MoS<sub>2</sub> 薄膜を合成した。合成した薄膜を電子顕微鏡により解析した結果、MoS<sub>2</sub> の結晶の特徴と一致する三角形の結晶が確認できた。また、ラマン分光解析した結果、MoS<sub>2</sub> の固有の振動モードである E<sub>2g</sub> モードおよび A<sub>1g</sub> モードが検出された。2つの振動モードを示すピークの波数差は MoS<sub>2</sub> の層数に依存し、層数の減少に伴い層間相互作用が低下することで波数差が減少することが知られている。ラマン分光解析から、単層および 2, 3 層程度の MoS<sub>2</sub> 薄膜の合成条件を検討した結果、20 kPa 以下のアルゴンガス雰囲気中で、前駆体となる MoO<sub>3</sub> の加熱温度により気化率を制御し、緩やかな反応とすることで一様な MoS<sub>2</sub> 薄膜の合成に成功した。

電子エミッタ応用ではエミッタの表面特性も重要となるため、MoS<sub>2</sub> 薄膜の表面にアルゴンおよび水素プラズマを照射し、表面原子構造の変化ならびに活性化について比較し評価した。プラズマ照射した MoS<sub>2</sub> 膜表面を X 線光電子分光(XPS)解析した結果、水素プラズマ照射では水素化脱硫効果により照射時間とともに硫黄原子比が減少し、全硫黄原子の約 80%において硫黄欠陥が形成された。この硫黄欠陥は各種反応における活性サイトとなると考えられる。また、

単層および数層の MoS<sub>2</sub> 薄膜を窒素プラズマで処理し膜中に窒素原子を注入した。図 1 は MoS<sub>2</sub> に窒素プラズマを照射したときの XPS スペクトルを示す。N 1s スペクトルにおいて、プラズマ照射時間とともに Mo-N 結合ピークが大きくなる一方で、S-Mo 結合ピークが相対的に減少し、MoS<sub>2</sub> を構成する硫黄の一部が窒素に置換されたことがわかる。なお、S 2p、C 1s スペクトル解析において新たな結合ピークは検出されなかったことから、MoS<sub>2</sub> の硫黄が優先的に脱離し、窒素が MoS<sub>2</sub> のモリブデンと共有結合したと考えられる。また、Mo 3d スペクトルにおいて、窒素の結合量が増加するにつれ、低結合エネルギー側にシフトした。これは結合した窒素がアクセプターとして作用し電荷移動が生じたため、フェルミレベルが価電子帯に近づき、p 型化したためと考えられる。次に、プラズマ処理による MoS<sub>2</sub> のバンド構造の変化を紫外光電子分光法(UPS)により評価した。図 2 は窒素プラズマ処理した MoS<sub>2</sub> 薄膜の UPS スペクトルの変化を示す。プラズマ処理時間の増加に伴い、薄膜の仕事関数が増加し、価電子帯の上端 E<sub>VB</sub> とフェルミ準位 E<sub>F</sub> の差が減少する傾向が見られた。これは窒素プラズマ処理により導入された窒素原子がアクセプターとして作用し p 型化したためと考えられる。ここで窒素結合量が最大となるプラズマ照射時間 10 s とした MoS<sub>2</sub> では、フェルミ準位が価電子帯側へ 0.5 eV 遷移し、n 型から p 型化していることがわかった。このとき全ての窒素プラズマ処理条件において、イオン化ポテンシャルとバンドギャップの値に変化はなかったことから、フェルミ準位が変化したと考えられる。バンドギャップおよびフェルミ準位は内部光電効果による励起効率に関係し、本研究で作成した MoS<sub>2</sub> 薄膜は光支援熱電子放出における可視光励起の効率化が期待できる。

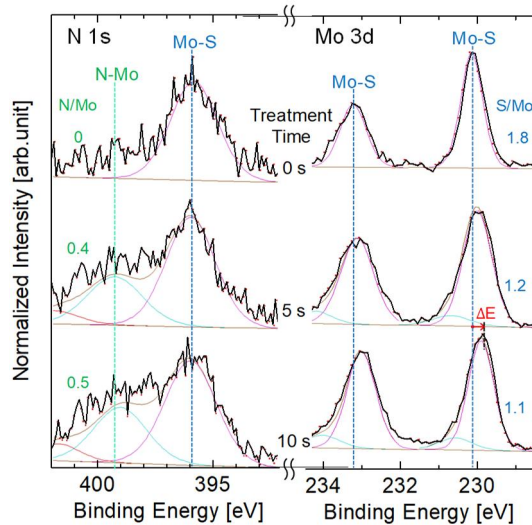


Fig.1. XPS spectra in Mo 3d and N 1s region of N<sub>2</sub> plasma treated MoS<sub>2</sub>.

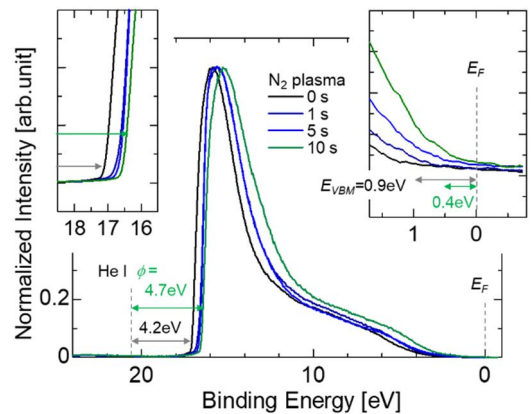


Fig.2. UPS spectra of N<sub>2</sub> plasma treated MoS<sub>2</sub>.

##### (2) セシウム吸着 AlGa<sub>n</sub>N の光支援熱電子放出特性の評価

###### ① 電子放出における AlGa<sub>n</sub>N 基板温度の影響

図 3 は昇温速度 10 °C/min で室温から 800 °Cまで Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (Al 組成比 x=0.25) エミッタを加熱したときの熱電子放出電流 J を示す。エミッタ表面に光照射を行ったときの放出電流は、エミッタ温度 T<sub>E</sub> = 100~200 °C で最大となった後、次第に減少した。これは、T<sub>E</sub> の上昇とともにエミッタ表面の Cs が脱離し、実効的な仕事関数が増加したためと考えられる。また、光を照射しないときの電子放出の立ち上がり温度は、Cs 堆積量を増やすことで 420 °C から 330 °C に低減し、熱

電子放出特性が大きく向上した。さらに昇温すると放出電流は増加した後、減少に転じた。Cs 堆積時間 30 分のエミッタでは、 $T_E = 476^\circ\text{C}$  で  $J = 1.2 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$  に達した後、Cs の脱離が加速し、 $T_E = 800^\circ\text{C}$  で  $6.9 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$  まで減少した。光照射の影響を比較した結果、温度上昇ともに光照射有無による放出電流の差は小さくなった。光照射時には光励起（不純物準位  $E_D$  から伝導帯  $E_c$ ）と熱励起（伝導帯  $E_c$  から真空準位  $E_{vac}$ ）により電子放出が生じるが、基板加熱による Cs の脱離で電子親和力  $E_{vac} - E_c$  が増大し、高温域 ( $600 \sim 800^\circ\text{C}$ ) では  $E_{vac} - E_c \gg E_c - E_D$  となったためと考えられる。

## ② 電圧-電流特性と出力電圧の最適化

図 4 は  $T_E = 600^\circ\text{C}$  に加熱したエミッタ表面に Cs を供給としたときの  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $x=0.50$ ) の熱電子放出を示す。この評価では、 $T_E$  を一定に保ちコレクタ電圧を掃引することで、熱電子発電器として動作させたときの任意の出力電圧  $V_O$  に対する熱電子放出電流  $J$  を測定した。また、測定した電圧-電流特性と理論解析結果を比較することで、発電出力が最大となる出力電圧  $V_{OM}$  を求めるとともに、理想モード特性における最適動作電圧との差から、エミッタ-コレクタ両電極間空間における電圧損失を評価できる。なお、理想モードの最適動作電圧はエミッタとコレクタの仕事関数差： $\phi_E - \phi_C$  となり、 $V_O \leq \phi_E - \phi_C$  では  $J = J_{es}$ 、 $V_O > \phi_E - \phi_C$  においては

$$J = J_{es} \exp \left\{ -\frac{V_O - (\phi_E - \phi_C)}{kT_E} \right\} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 $k$  はボルツマン定数、 $J_{es}$  はエミッタからの飽和熱電子放出電流である。式(1)から得られる理論結果と測定結果を比較し、最大出力となる出力電圧  $V_{OM}$  を概算した結果、約  $0.14 \text{ V}$  であり発電領域での動作を確認した。

図 5 は  $T_E = 600^\circ\text{C}$  で保持した  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $x=0.25, 0.50, 0.75$ ) 上の Cs 堆積量を変化させたときの  $J_{es}$  と  $V_{OM}$  を示す。 $x=0.50$  の  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  では、 $J_{es} = 12 \mu\text{A/cm}^2$ 、 $V_{OM} = 0.14 \text{ V}$  が得られ、Al 組成比の異なる他の  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  基板より高い値が得られた。 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  の UPS 解析結果から、Al 組成比の増加に伴い仕事関数が減少することがわかっており、 $x \leq 0.50$  では  $x$  の増加により  $J_{es}$  が増加したと考えられる。一方で、Al 組成比が増加すると  $\text{AlGaN}$  が高抵抗化するとの報告があり、 $x > 0.50$  の高 Al 比においては  $J_{es}$  が減少したと考えられる。また、Cs 堆積量の増加により、エミッタだけでなくコレクタの仕事関数も減少するが、加熱したエミッタ面上では Cs の脱離によりコレクタに対する仕事関数差が増加し、 $V_{OM}$  が増加したと考えられる。一般的に仕事関数の増加により  $V_{OM}$  は増加するが、UPS 測定において仕事関数が最大であった  $x=0.25$  の  $V_{OM}$  は予想に反し低い出力電圧であった。この要因を確かめるため、Al 組成比の同じ基板の結晶構造を透過型電子顕微鏡で解析した結果、成膜途中で Al 原子と N 原子の反転が見られた。電子放出測定に用いた  $x=0.25$  の  $\text{AlGaN}$  においても、結晶構造の乱れが予想され、出力特性に影響した可能性がある。

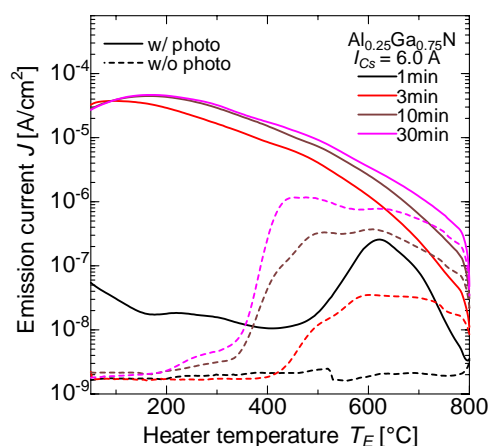


Fig.3. Electron emission current from  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ .

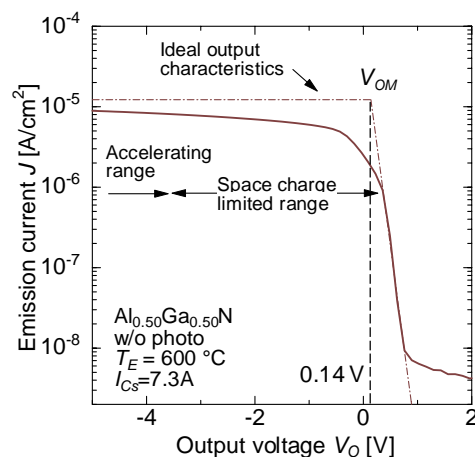


Fig.4. Thermionic emission characteristics of  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$  at  $600^\circ\text{C}$ .

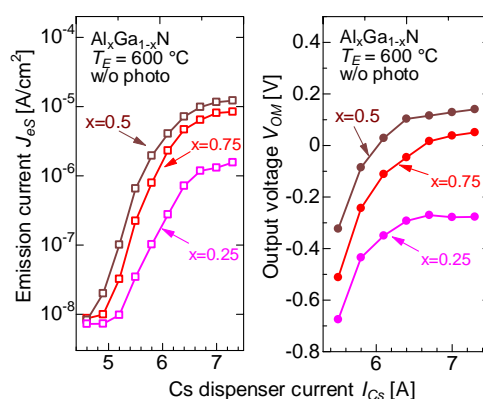


Fig.5. Saturation thermionic emission current and output voltage of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  with AlN mole fractions ( $x=0.25, 0.50, 0.75$ ) at  $600^\circ\text{C}$ .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Shigeya Kimura, Hisashi Yoshida, Hisao Miyazaki, Takuya Fujimoto, Akihisa Ogino	4. 巻 B 39
2. 論文標題 Surface polarity dependence of thermionic emission and conversion characteristics of n-type GaN cathodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Vac. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 014201-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0000710	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 Kimura Shigeya, Yoshida Hisashi, Uchida Shota, Ogino Akihisa	4. 巻 59
2. 論文標題 Thermionic emission and conversion properties of n-type AlGaN thin film cathodes grown on 6H-SiC substrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGF01-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5be4	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 Kimura Shigeya, Yoshida Hisashi, Uchida Shota, Ogino Akihisa	4. 巻 217
2. 論文標題 Surface Electronic Properties of Si Doped AlGaN and Thermionic Emission Characteristics with Adsorption of Alkali Metal Atoms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 1900719~1900719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201900719	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18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Akihisa Ogino, Syota Uchida, Shigeya Kimura, Hisashi Yoshida
2. 発表標題 Output Characteristics of Thermionic Energy Converter with AlGaN Emitter
3. 学会等名 ISPIasma2020 / IC-PLANTS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 健, 内田 翔太, 木村 重哉, 吉田 学史, 荻野 明久
2. 発表標題 Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> N/6H-SiCの光支援熱電子放出における照射光スペクトルの影響
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 都築 聖親, 荻野 明久
2. 発表標題 マイクロ波励起プラズマを用いたMoS <sub>2</sub> 薄膜の硫黄欠陥形成におけるイオン遮蔽の影響
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akihisa Ogino, Tsuzuki Masachika
2. 発表標題 Surface Modification of Molybdenum Disulfide Synthesized from Molybdenum Thin Film
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 都築 聖親, 荻野 明久
2. 発表標題 マイクロ波励起水素プラズマにより改質されたCVD成長MoS <sub>2</sub> 基底面の構造変化
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田 翔太, 木村 重哉, 吉田 学史, 荻野 明久
2. 発表標題 セシウム被覆Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> Nエミッタの熱電子放出特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 学史, 木村 重哉, 内田 翔太, 荻野 明久
2. 発表標題 アルカリ金属吸着SiドープAlGa <sub>N</sub> の熱電子放出特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeya Kimura, Hisashi Yoshida, Shota Uchida and Akihisa Ogino
2. 発表標題 Thermionic Emission Properties of n-type AlGa <sub>N</sub> Cathodes
3. 学会等名 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihisa Ogino, Masahiro Sugiyama
2. 発表標題 Effect of Plasma Treatment on Activating Basal Plane of Monolayer MoS <sub>2</sub> Synthesized by CVD
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeya Kimura, Hisashi Yoshida, Shota Uchida and Akihisa Ogino
2. 発表標題 Surface Electronic Properties of Si-Doped AlGa <sub>N</sub> and the Thermionic Emission Characteristics with Adsorption of Alkali Metal Atom
3. 学会等名 13th International Conference on Nitride Semiconductors 2019 (ICNS-13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihisa Ogino, Masahiro Sugiyama
2. 発表標題 Microwave Plasma Treatment of CVD-Synthesized Single- and Few-Layer MoS <sub>2</sub>
3. 学会等名 ISPlasma2019 / IC-PLANTS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田 翔太, 安原 弘一郎, 木村 重哉, 吉田 学史, 荻野 明久
2. 発表標題 窒化物半導体の熱電子放出特性におけるアルカリ金属吸着の影響
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichiro Yasuhara, Yosiki Nakano, Akihisa Ogino
2. 発表標題 Thermionic Emission Characteristics of Nanocrystalline Diamond Thin Film Irradiated with Microwave Excited Hydrogen Plasma
3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会/第31回プラズマ材料科学シンポジウム(SPP-36/SPSM-31)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Masahiro Sugiyama, Akihisa Ogino
2. 発表標題 Growth Control of Monolayer MoS <sub>2</sub> by CVD and Desulfurization of MoS <sub>2</sub> by MW Hydrogen Plasma
3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会/第31回プラズマ材料科学シンポジウム(SPP-36/SPSM-31)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Sugiyama, Akihisa Ogino
2. 発表標題 Rapid Desulfurization by MW Hydrogen Plasma of CVD-grown MoS <sub>2</sub> Thin Film
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Ogino, K. Yasuhara and Y. Hasegawa
2. 発表標題 Surface Investigation of Oxidized Carbon Films Prepared by Atmospheric Pressure Plasma and Low Pressure Microwave Plasma
3. 学会等名 40th International Symposium on Dry Process (DPS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Sugiyama, Akihisa Ogino
2. 発表標題 Surface Modification of Two-Dimensional Layered Molybdenum Disulfide Thin Film Using MW Hydrogen Plasma
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉山 雅浩, 荻野 明久
2. 発表標題 MoS2膜の層数制御成長と水素プラズマ処理によるS/Moの依存性
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋期学術講演会
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

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