

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00246

研究課題名(和文)真空紫外半導体光物性の学理創成

研究課題名(英文)Creating science of vacuum-ultraviolet optical processes in semiconductors

研究代表者

藤田 静雄(Fujita, Shizuo)

京都大学・工学研究科・名誉教授

研究者番号：20135536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,230,000円

研究成果の概要(和文)：真空紫外域の光機能を持つ高品質MgZnO半導体の結晶成長と詳細な光物性探索を行った。波長115nmまでの光物性観測が可能な分光システムを構築し、電子線励起による波長200nm以下での発光を得た。発光機構には励起子遷移の寄与が大きく発光素子材料としての優れた物性が明確となった一方、アイソエレクトロニックトラップの寄与があり、その制御が重要なことが判明した。MgZnO/MgOヘテロ界面はタイプI型のバンドアライメントを持つことが実験・理論の両面で明らかとなり、量子構造への展開が示唆された。伝導性制御等を合わせて真空紫外半導体の学理創成への知見を得て、真空紫外線センサの実証等応用面での進展を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

波長200 nm以下の真空紫外光を含む短波長の光は、殺菌、加工、光化学等の応用に不可欠である一方で、光源には水銀や希ガスの放電が一般に用いられている。固体による発光の実現は、脱水銀や希少資源の保護と、任意の波長での光源開発につながり、また真空紫外線センサは新たな環境観測技術を提供し、ここに本研究成果の社会的意義がある。MgZnOは真空紫外域の光機能を持つ半導体であり、発光機構、バンドアライメント、ドーピング等その光物性と応用に関する基礎的な知見を多く得て学理の創成に寄与したことに学術的意義がある。今後の真空・深紫外光の開拓に向けた貢献が期待されるところが本研究の価値である。

研究成果の概要(英文)：We investigated crystal growth and detailed optical processes of high-quality MgZnO semiconductors, which possesses optical functions in the vacuum ultraviolet region. We have constructed a spectroscopy system for observing optical properties up to 115-nm in wavelength, with which we obtained cathodoluminescence at <200 nm. Excitonic transition contributed greatly to the emission mechanism, suggesting excellent physical properties as a light-emitting material, while iso-electronic traps dominated the emission processes, whose formation and association should be controlled. The MgZnO/MgO heterointerface was classified both from experiment and theory as type I-type band alignment, suitable for quantum structure. The research results, together with knowledges on conductivity control etc., contributes to establishment of science of vacuum ultraviolet semiconductors. Evolution of application fields such as vacuum ultraviolet sensors has also been demonstrated.

研究分野：半導体物性工学

キーワード：超ワイドギャップ半導体 酸化物半導体 真空紫外光 光物性 量子構造

1. 研究開始当初の背景

短波長での発光デバイスは現在ホットな研究開発の課題となっている。長年にわたり水銀ランプがこの領域の発光に用いられ、殺菌、リソグラフィ、物性科学研究等に寄与してきたが、「水銀に関する水俣条約」により、われわれは水銀の完全撤廃の社会的責任を帯びている。また 2020 年以降のコロナ禍により、ウィルスの死滅に効果を持つ紫外～真空紫外 (深紫外) 領域の発光デバイスへのニーズが高まった。これらをけん引するのが窒化物半導体であるが、その最短発光波長は AlN のバンドギャップに対応する 210 nm に限られ、200 nm より短波長 (サブ 200 nm) の任意波長の高効率固体発光には答えられない物性限界がある。一方、酸化物半導体には、AlN より短波長に相当する 6 eV 以上の超ワイドバンドギャップを持つものが多く存在する。図 1 はわれわれが研究を進めてきた各種酸化物半導体のバンドギャップとボンド長の関係を、窒化物半導体と併せて示したものである。網掛け部分は酸化物半導体ならではの超ワイドギャップの領域で、また半導体の特徴として多重量子井戸 (MQW) 構造も実現できると予想される。

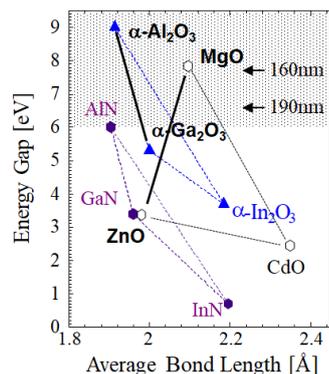


図 1. バンドギャップとボンド長。

われわれはこの観点から、MgO に近い組成を持つ岩塩構造(RS) $Mg_xZn_{1-x}O$ ($x \sim 1$) に着目して、2017 年頃から MgO 基板上への結晶成長と光物性の研究を行ってきた。原料の選択や成長条件の最適化、量子井戸構造の採用等の研究を重ね、電子線励起による発光 (CL) を紫外～真空紫外域で得ることに成功した。しかし、発光のピークがバンドギャップから予想される値より 0.7~0.9 eV 長波長にあり、発光の起源が不明など、基礎物性的な観点で未達な点が多いことが判明した。

2. 研究の目的

以上の背景をもとに、MgO をベースとした多角的な物性測定を基本として、真空紫外域における発光機構の探求が不可欠なことが明らかになった。そこで、波長 200 nm 以下の真空紫外域における光物性測定系を整備し、発光の物理の探索すること、超ワイドバンドギャップ半導体の高品質化と多層構造により機能創出の知見を得ること、また将来の電流注入型デバイスへの展開を視点に、ドーピングによる伝導性制御に向けた指針を得ること、を主な課題として、これらを総じて真空紫外半導体光物性の学理を創成することを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

結晶成長には、ミスト CVD 法を用いた。これは、各種酸化物半導体の結晶成長に柔軟に対応でき、MgZnO の組成制御に実績を持つためである。

また、波長 200 nm 以下の真空紫外域の光物性評価を行うため、新たに真空・深紫外分光システムを開発した。システムの概略を図 2 に示す。試料は真空槽内の回転式冷却ステージに貼り付けることで、6~300 K で温度変化させることができる。透過 (反射) 測定を行う際は、重水素ランプからの光を単色化して試料に照射し、透過 (反射) 光をミラー光学系により検出器に集光する。カソードルミネセンス (CL) 測定を行う際は、電子線励起による発光を分光器により単色化して検出する。S/N 比向上のため、チョッパー、ブランキング電極により信号を変調し、ロックイン検波により観測を行う。真空チャンバーとミラー光学系との間には、MgF₂ ビューポートが設置されている。分光器は、焦点距離 20 cm のクロスマウント方式の真空紫外分光器 (分光計器: KV-200) であり、刻線密度 1200 本/mm、ブレイズ波長 150 nm の回折格子が搭載されている。検出器にはソーラーブラインド型の光電子増倍管 (浜松ホトニクス: R6836) を用

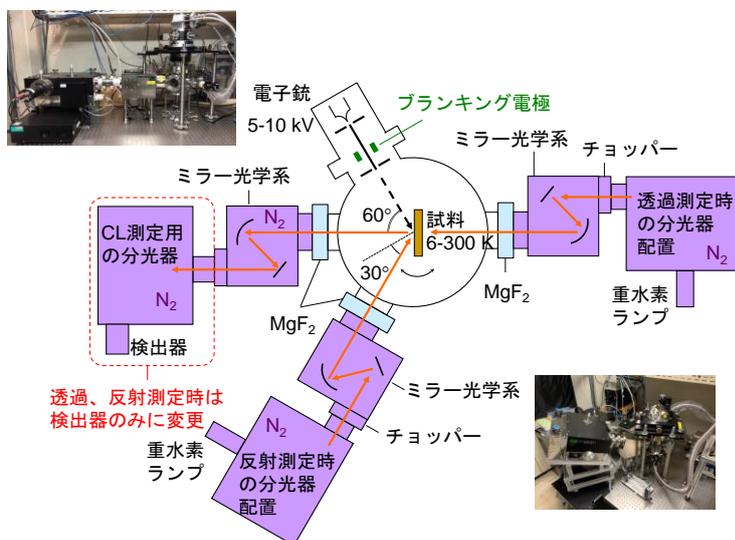


図 2. 開発した真空・深紫外分光システム。

いた。そして、光学系をすべて窒素ガスで置換することにより最短で 115 nm までの真空紫外光の観測が可能となった。同システムは、重水素ランプからの単色化された光を利用することで、真空紫外域での光電流測定が可能になる他、フォトルミネセンスやフォトルミネセンス励起スペクトル測定にも対応可能であり、真空紫外域の光物性を明らかにするための機能が全て備わった独自かつ万能なシステムとすることができる。

4. 研究成果

(1) 合成石英基板上に成長した RS-MgZnO 薄膜の発光特性

岩塩構造 MgZnO からの深紫外発光を産業応用するためには、低コスト化が必要である。そのため、安価な合成石英基板上に成膜し、その発光特性を調べた。図 3(a), (b) の表面 SEM 像に示すように、700°C では 1 μm 程度の微結晶が疎らに成長していたのに対し、750°C では 100 nm~1 μm 程度の微結晶が緻密に成長していた。また、図 3(c), (d) に示すように、SEM 観察で得られた表面形状と CL 像が類似していたことから、微結晶が発光していることが確認された。図 4(a) に 750°C で成長した試料の 6 K、300 K での CL スペクトル、(b) に室温での透過スペクトルから求めた Tauc プロットを示す。主ピークは 6 K で 5.9 eV (210 nm) 付近に現れ、高エネルギー側には、6 K で 6.6 eV (188 nm)、300 K で 6.4 eV (194 nm) にショルダーが観測された。Tauc プロットから推定された室温での吸収端は 6.67 eV で、CL のショルダーのエネルギー位置に近いことが分かった。MgO 基板上へ成膜した RS-MgZnO 薄膜では、0.7~0.9 eV 程度の大きなストークスシフトが観測されていたことから、微結晶ではバンド端に近い発光が顕著に得られることが分かった。

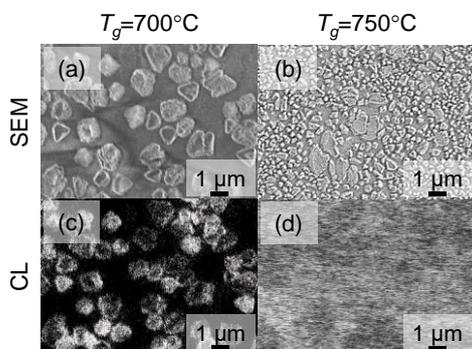


図 3. 合成石英基板上に成膜した RS-MgZnO の SEM 像とパングロ CL 像の比較。パングロ SEM-CL 像観測では加速電圧を 3 kV とした。測定は室温で行った。検出波長域は 195-800 nm に限られている。

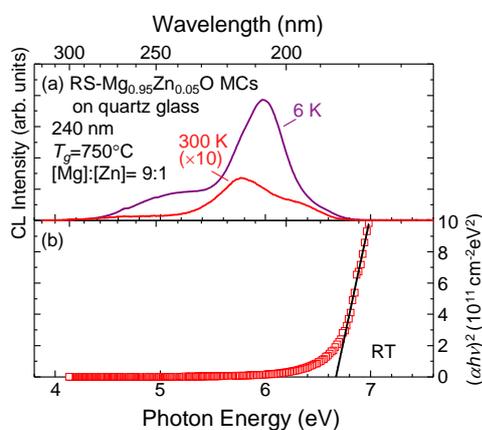


図 4. 合成石英基板上に成長した RS-MgZnO の (a) CL スペクトルと (b) 室温の Tauc プロット。

(2) MgO 単結晶の真空紫外励起子スペクトル観測

RS-MgZnO の発光機構を探る上で、終端材料である MgO の光学的特性を理解することが重要と言える。そこで、MgO 基板の光物性測定を行った。6 K での反射スペクトルと CL スペクトルを図 5 に示す。反射スペクトルには Γ - Γ 遷移での励起子反射率異常に伴う構造が明瞭に観測された。フィッティング解析から遷移エネルギーは $E_{j=3/2}=7.694$ eV、 $E_{j=1/2}=7.724$ eV となり、スピン軌道分裂 Δ_{so} は 30 meV と見積もられた。さらに水素様原子モデルに従い励起子束縛エネルギーを求めたところ、80 meV となり、MgO は励起子が安定に存在する材料であることが分かった。図 5(b) に示すように、6 K での CL スペクトルには、7.627 eV と 7.646 eV にシャープなピークが現れた。後者のピークは、これまでの殆どの報告では自由励起子 (FE) 発光と同定されていた。しかし、図 5(a) で観測した励起子遷移エネルギー $E_{j=3/2}=7.694$ eV と比べると小さいことが分かる。また、励起子遷移エネルギーの付近にショルダーがはっきりと現れている。これらのことから、ショルダーは自由励起子発光、7.646 eV の鋭いピークは束縛励起子 (BE) 発光であることが分かった。さらに、温度依存性を観測したところ、反射スペクトルには励起子反射率異常が 300 K まで観測され、300 K でも励起子発光が明瞭に現れることが分かった。以上より、MgO を起点とした RS-MgZnO 混晶は励起子遷移の寄与が大きく、発光素子材料として優れた特性を示すことが分かった。

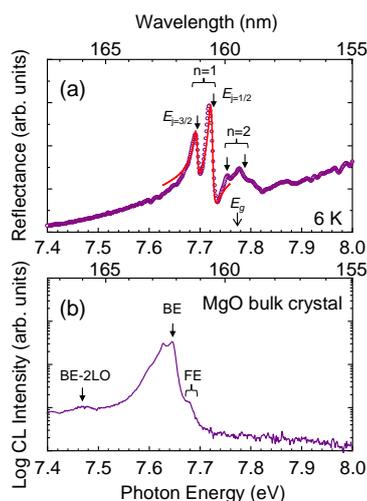


図 5. MgO 単結晶基板の 6 K での (a) 反射スペクトルと (b) CL スペクトル。

(3) Zn ドープ MgO 薄膜の CL スペクトルの観測と発光モデルの構築

RS-MgZnO に見られる大きなストークス様シフトの起源を探るため、RS-MgZnO で Zn 添加量を 1%まで、0.1%ずつ変化させた薄膜を製作し、発光観測を行った。得られた結果を図 6 に示す。MgO では束縛励起子発光が 7.65 eV 付近に観測され、Zn を 0.5%ドープすると 7.58 eV 付近まで低エネルギーシフトした。しかし、Zn ドープ量の増加と共に 6.2 eV 付近のブロードな発光帯 (Mg 空孔に起因した V 中心発光) が支配的となり、7.58~7.65 eV 付近の発光強度は徐々に減少した。一方、6.2 eV 付近のブロードな発光帯の高エネルギー側の 7.2 eV 付近には発光ショルダーが観測された。Zn ドープ量によりショルダーの位置が徐々に低エネルギーシフトしたことから、これはアイソエレクトロニックトラップ発光の兆しと判断し、図 6 のような発光モデルを提案した。発光モデルに関しては、今後も検証を行う必要があるが、これらの結果から、ストークス様シフト低減のためには、混晶組成の均一化を図ると同時に、アイソエレクトロニックトラップ形成の制御も必須であることが分かった。

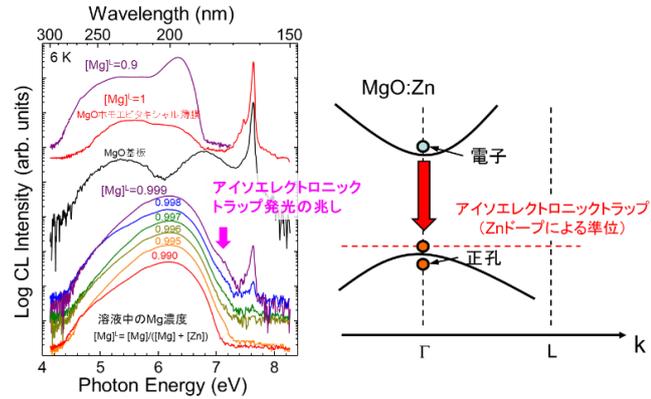


図 6. MgO ホモエピタキシャル薄膜、Zn ドープ MgO 薄膜の 6 K における CL スペクトルと発光モデル。

(4) 熱マネジメントに着目した MgZnO 薄膜のミスト CVD 成長

MgO と RS-ZnO の熱膨張係数差が、結晶のモザイクネスに影響を与えることが示唆されたため、基板温度の熱マネジメントに着目しミスト CVD 成長を行った。その結果、X 線 2θ-θ回折ピークの半値全幅、ならびにロッギングカーブの半値全幅が低減され、ストークス様シフトは 0.1~0.3 eV まで大幅に減少した。その結果、図 7 に示すように 6 K で 195.6 nm、室温で 201.2 nm での発光の観測に成功した。

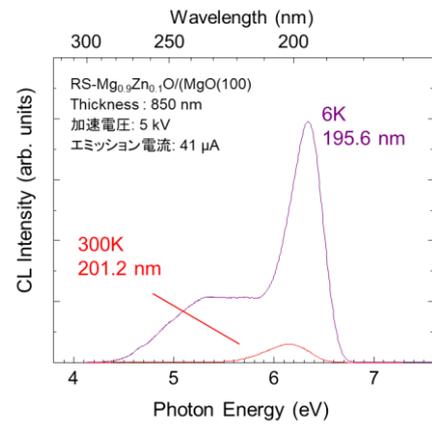


図 7. 熱マネジメントに着目しミスト CVD 成長した RS-Mg_{0.9}Zn_{0.1}O 薄膜の CL スペクトル。

(5) RS-MgZnO/MgO ヘテロ界面におけるバンドアライメント解析

RS-MgZnO/MgO ヘテロ構造を形成し、XPS 測定によりその界面におけるバンドアライメント解析を行った。Mg 組成 60%以上のほぼ全ての範囲でタイプ I のバンドアライメントを示し、RS-MgZnO/MgO 量子井戸は発光層に適したバンド構造をとることが分かった。

第一原理計算においてもこれが裏付けされた。図 8 に Mg_xZn_{1-x}O の MgO に対するバンドオフセットの計算値と実験値の比較を示す。計算では Mg 濃度(x)が減少すると伝導体のオフセット(CBO)が価電子帯オフセット(VBO)よりも大きく変化することがわかった。この傾向は共通アニオン則とは異なる結果であり、酸素空孔等の欠陥による界面ダイポールによる影響が示唆される。さらに計算によって求めた自然な配置に基づくバンドアライメントと比べると、実験では VBO と CBO の変化の傾向が逆であるということがわかった。したがって、ヘテロ接合デバイス作製時においては、酸素欠陥によるオフセット変調を利用できる可能性がある。

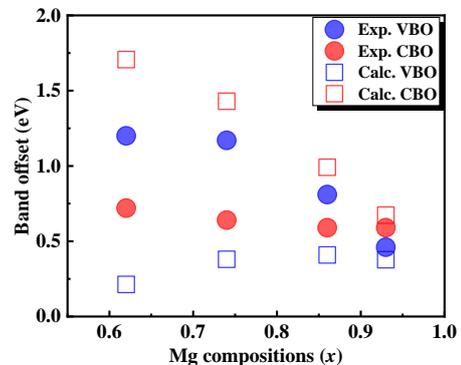


図 8. MgO に対する MgZnO のバンドオフセット値。

(6) RS-MgZnO を用いた MSM 型真空紫外線センサーの作製と受光感度評価

RS-MgZnO を用いた MSM 型真空紫外線センサーを作製し、受光感度特性を評価した。その結果、Mg 組成の増加に伴い、立ち上がり波長は 190 nm から 170 nm へと短波長シフトし、暗電流に対する光電流の比率は最大 800 程度の値が得られた。真空紫外線センサーは、地球観測衛星によるリモートセンシングに応用し、自然現象や災害予測へ寄与できるものと期待される。

(7) MgZnO へのドーピングの検討

RS-MgZnO にドーピングを行い、n 型導電性制御を試みた。Ga、In を添加した MgO 薄膜で束縛励起子発光が観測され、その解析結果から、Ga や In は MgO 薄膜中でドナー不純物として振舞うことが示唆された。また、Ga や In が関与するホール捕獲中心を介した発光も観られた。RS-MgZnO 薄膜の電流-電圧-温度測定では、昇温に伴う抵抗率の減少が観られた。MgO 基板は高抵抗であるが、Al を 0.1 mol% 添加することで、Mg 組成 60% の RS-MgZnO で、室温の抵抗率 $13.3 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ が得られた。

一方、理論的な解析により、岩塩構造の MgZnO の電子ドーピングが可能な Mg 組成を見積もった。結果は MgZnO の Mg 組成 69% 以下で n 型伝導の制御が可能であることがわかった(図 9)。これは上記実験結果を支持すると同時に、半導体と絶縁体の境界を定量的に理解する一つの指標となることが期待される。さらに他の超ワイドギャップ半導体と比較することで、経験的に電子親和力が約 1.5 eV 以上の時に n 型のドーピングができることを見出した。また p 型のドーピング限界についても同様にモデル化することで、混晶系に対するフェルミ準位の制御範囲を系統的に理解できるようになった。一方で、酸化物では正孔ドーピングが困難であるという経験的事実を支持する結果も得られた。我々のアプローチによって混晶半導体に対してもキャリア制御の可否を判断することが可能となった。

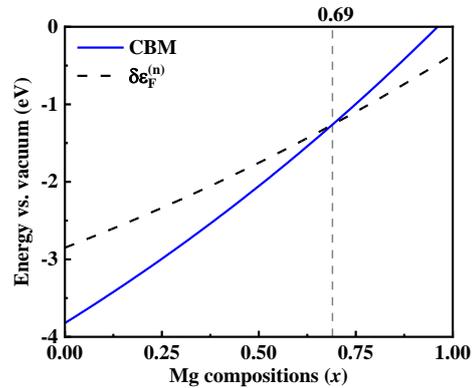


図 9. $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ の CBM とドーピング限界指標 ($\delta\epsilon_F^{(n)}$)。

(8) MgOS 混晶における p 型ドーピングの検討

ワイドギャップ半導体では p 型伝導を示す物質が少なく、その探索が必要である。そこで、MgO に対して S をドーピングにより価電子帯の制御 (valence band engineering) を行い、正孔伝導を実現できるか理論的に検証した。MgOS の S 濃度を増加させることにより、MgO に対して相対的に VBM が上昇することがわかった。経験的な基準に従うと、 $\text{MgO}_{1-x}\text{S}_x$ では $x \sim 0.25$ 以上で正孔ドーピングが容易になる事が予測された。さらに高い電子親和力 (CBM) を持つ酸化物と接触させることにより、表面電荷移動ドーピングが実現可能かを検証した(図 10)。理論的には VBM が CBM よりも高い位置にくる領域で、自発的な正孔生成が期待できる。このように MgOS は S 濃度の制御によって、p 型化が実現できることを理論的に予測した。

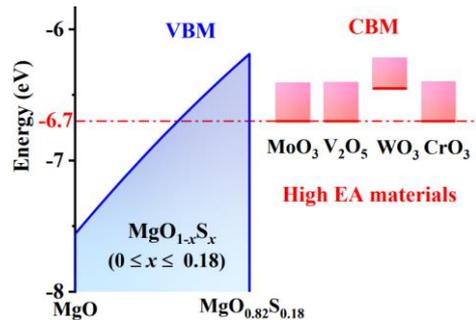


図 10. MgOS の VBM と高電子親和力物質の CBM の概念図。

(9) スピネル構造のバンドエンジニアリング

MgO と類似の深紫外発光が期待できる物質として、スピネル構造の MgAl_2O_4 のバンドエンジニアリングを第一原理計算によって検討した。正スピネル及び逆スピネル構造に対して III 族元素の Al を Ga や In に置換することで、バンドギャップが約 4~7.8 eV まで調整可能であることを明らかにした。また元素置換によるバンド構造の間接・直接遷移の変化も示唆され、新しいスピネル構造酸化物で深紫外発光受光デバイスが実現できる可能性を見出した。さらに原理的には II 族元素の置換も可能であり、他元素による混晶系スピネル構造酸化物の合成やその応用が期待できることを明らかにした。

(10) MgZnO パワーデバイスの利用検討

混晶半導体のバリガ性能指数 (BFOM) は計算に必要な絶縁破壊強度等が不明なため、明らかになっていない。そこで我々はマテリアルズインフォマティクスのアプローチと経験的な法則を組み合わせることで、混晶半導体についてもバリガ性能指数を見積もる方法を提案した。混晶半導体の場合は合金散乱による移動度の低下があるため、単純にバンドギャップを増加させただけでは高い BFOM を実現することは難しいことがわかった。本手法によって組成による BFOM の変化を系統的に理解することができ、パワーデバイス設計指針として活用が期待される。

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 Takeyoshi Onuma, Wataru Kosaka, Kanta Kudo, Yuichi Ota, Tomohiro Yamaguchi, Kentaro Kaneko, Shizuo Fujita, Tohru Honda	4. 巻 119
2. 論文標題 Identification of free and bound exciton emission of MgO single crystal in vacuum ultraviolet spectral range	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 132105(1-5)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0057718	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 Wataru Kosaka, Shoma Hoshi, Kenta Kudo, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Tohru Honda, Shizuo Fujita, Takeyoshi Onuma	4. 巻 259
2. 論文標題 Vacuum ultraviolet emission properties of rocksalt structured MgZnO microcrystals prepared on quartz glass substrates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi (b)	6. 最初と最後の頁 2100354-2100354
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssb.202100354	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 Yuichi Ota, Kentaro Kaneko, Takeyoshi Onuma, Shizuo Fujita	4. 巻 13
2. 論文標題 Natural band alignment of MgO _{1-x} Sx alloys	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 055304(1-7)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0141199	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46件（うち招待講演 6件/うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Takeyoshi Onuma, Kanta Kudo, Kyohei Ishii, Mizuki Ono, Yuichi Ota, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Shizuo Fujita, Tohru Honda
2. 発表標題 Deep UV optical properties of high-Mg-content rocksalt-structured MgZnO
3. 学会等名 Materials Research Society, 2021 Spring Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeyoshi Onuma, Wataru Kosaka, Shoma Hoshi, Kanta Kudo, Kyohei Ishii, Mizuki Ono, Yuichi Ota, Izumi Serizawa, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Shizuo Fujita, Tohru Honda
2. 発表標題 Far-UV emission around 200 nm in rocksalt-structured MgZnO
3. 学会等名 3rd International Workshop on Materials Science and Advanced Electronics Created by Singularity/2nd International Symposium on Wide Gap Semiconductor Growth, Process and Device Simulation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeyoshi Onuma, Wataru Kosaka, Hiroya Kusaka, Kotaro Ogawa, Yuichi Ota, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Shizuo Fujita, Tohru Honda
2. 発表標題 Sub-200 nm far-UV emission characteristics in rocksalt-structured MgZnO epitaxial films
3. 学会等名 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/ 15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shizuo Fujita, Kentaro Kaneko, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題 Potentials of future ultra-wide bandgap oxide semiconductors
3. 学会等名 5th International Workshop on Ultraviolet Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shizuo Fujita, Kentaro Kaneko, Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Advancement and prospects of ultra-wide-bandgap oxide semiconductors
3. 学会等名 48th Conference on Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Igari, K. Kudo, W. Kosaka, K. Kaneko, T. Yamaguchi, T. Honda, S. Fujita, T. Onuma
2. 発表標題 Radiation patterns of MgO and AlN evaluated by angle-resolved cathodoluminescence measurements
3. 学会等名 19th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-19) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Onuma, K. Kudo, K. Ishii, M. Ono, Y. Ota, K. Kaneko, T. Yamaguchi, S. Fujita, T. Honda
2. 発表標題 Deep UV optical properties of high-Mg-content rocksalt-structured MgZnO
3. 学会等名 Materials Research Society, 2021 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wataru Kosaka, Shoma Hoshi, Kanta Kudo, Yusei Igari, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Tohru Honda, Shizuo Fujita, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題 VUV emission properties of rocksalt-structured MgZnO microcrystals prepared on quartz glass substrates
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wataru Kosaka, Shoma Hoshi, Kanta Kudo, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Tohru Honda, Shizuo Fujita, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題 Emission properties of rocksalt-structured MgZnO microcrystals for VUV light emitter
3. 学会等名 20th International Symposium on Advanced Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Wataru Kosaka, Kotaro Ogawa, Hiroya Kusaka, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Shizuo Fujita, Tohru Honda, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題	Vacuum UV emission property of Zn-doped MgO films
3. 学会等名	International Conference on Light-Emitting Devices and Their Industrial Applications '22 (LEDIA '22) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Masaki Matsuda, Kotaro Ogawa, Yuichi Ota, Tomohiro Yamaguchi, Kentaro Kaneko, Shizuo Fujita, Tohru Honda, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題	Analyses of band alignment in rocksalt-structured MgZnO/MgO interface
3. 学会等名	5th International Workshop on Ultraviolet Materials and Devices (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Wataru Kosaka, Kotaro Ogawa, Hiroya Kusaka, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Tohru Honda, Shizuo Fujita, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題	Vacuum UV emission property of Zn-doped MgO films grown by mist chemical vapor deposition method
3. 学会等名	Compound Semiconductor Week 2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Takeyoshi Onuma, Kotaro Ogawa, Wataru Kosaka, Hiroya Kusaka, Yuichi Ota, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Shizuo Fujita, Tohru Honda
2. 発表標題	Realization of near-band-edge cathodoluminescence in 190 nm wavelength range by rocksalt-structured MgZnO epitaxial films
3. 学会等名	10th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS 2022) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Masaki Matsuda, Kotaro Ogawa, Yuichi Ota, Tomohiro Yamaguchi, Kentaro Kaneko, Shizuo Fujita, Tohru Honda, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題	Roles of In doped in MgZnO films grown by mist CVD method
3. 学会等名	10th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS 2022) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Hiroya Kusaka, Wataru Kosaka, Kotaro Ogawa, Kentaro Kaneko, Tomohiro Yamaguchi, Tohru Honda, Shizuo Fujita, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題	Photocurrent spectra of rocksalt-structured MgZnO films in vacuum UV spectral range
3. 学会等名	10th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS 2022) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Masaki Matsuda, Kotaro Ogawa, Yuichi Ota, Tomohiro Yamaguchi, Kentaro Kaneko, Ssjizuo Fujita, Tohru Honda, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題	Roles of In doping In rocksalt-structured MgZnO films grown by mist CVD method
3. 学会等名	21th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-21) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	T. Onuma, K. Kudo, K. Ishii, M. Ono, Y. Ota, K. Kaneko, T. Yamaguchi, S. Fujita, and T. Honda
2. 発表標題	Deep and vacuum UV emission properties in rocksalt-structured MgZnO
3. 学会等名	39th Electronic Materials Symposium (招待講演)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 Y. Ota, K. Kaneko, T. Onuma, and S. Fujita
2. 発表標題 Band alignment of MgZnO alloys and the related band offset calculations
3. 学会等名 39th Electronic Materials Symposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 工藤幹太, 石井恭平, 小野瑞生, 金子健太郎, 山口智広, 嶋紘平, 小島一信, 藤田静雄, 本田徹, 秩父重英, 尾沼猛儀
2. 発表標題 岩塩構造MgZnO薄膜における深紫外PL寿命の評価
3. 学会等名 2020年応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾沼猛儀, 工藤幹太, 石井恭平, 小野瑞生, 太田優一, 金子健太郎, 山口智広, 藤田静雄, 本田徹
2. 発表標題 酸化物半導体MgZnOの結晶成長とサブ200 nmの発光特性
3. 学会等名 応用物理学会第結晶工学分科会153回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾沼猛儀, 工藤幹太, 小野瑞生, 橘直純, 橋本真里, 石井恭平, 太田優一, 金子健太郎, 山口智広, 藤田静雄, 本田徹
2. 発表標題 殺菌応用を目指した真空・深紫外線半導体発光材料の開発
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2020年度第1回 + 第2回合同講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高坂亘, 星翔馬, 工藤幹太, 猪狩有生, 金子健太郎, 山口智広, 藤田静雄, 尾沼猛儀
2. 発表標題 合成石英基板上に成長した岩塩構造 MgZnO 微結晶の真空紫外域での発光特性
3. 学会等名 2021年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田優一, 金子健太郎, 尾沼猛儀, 藤田静雄
2. 発表標題 岩塩構造MgZnO 混晶の電子有効質量の推定
3. 学会等名 2021年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾沼猛儀, 高坂亘, 工藤幹太, 太田優一, 山口智広, 金子健太郎, 藤田静雄, 本田徹
2. 発表標題 MgO単結晶の真空紫外励起子スペクトル
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川広太郎, 高坂亘, 工藤幹太, 芹澤和泉, 金子健太郎, 山口智広, 藤田静雄, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 195nmで発光する岩塩構造MgZnO薄膜のミスT-CVD成長
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高坂亘, 小川広太郎, 金子健太郎, 山口智広, 藤田静雄, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 ZnドーブMgO薄膜の発光特性
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田優一, 金子健太郎, 尾沼猛儀, 藤田静雄
2. 発表標題 MgSxO1-x混晶のバンドアライメント
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichi Ota, Kentaro Kaneko, Takeyoshi Onuma, Shizuo Fujita
2. 発表標題 Valence band modulation in MgO1-xYx (Y = S, Se) alloys
3. 学会等名 第40回電子材料シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高坂亘, 工藤幹太, 石井恭平, 小野瑞生, 金子健太郎, 山口智広, 嶋紘平, 小島一信, 藤田静雄, 本田徹, 秋父重英, 尾沼猛儀
2. 発表標題 ミスTVD法により成長したRS-MgZnOにおける深紫外PL寿命の評価
3. 学会等名 第21回東北大学多元物質科学研究所研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田優一, 金子健太郎, 尾沼猛儀, 藤田静雄
2. 発表標題 スピネル構造MgX ₂ O ₄ (X = Al, Ga, In)混晶のバンドエンジニアリング
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田真樹, 小川広太郎, 太田優一, 山口智広, 金子健太郎, 藤田静雄, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 岩塩構造MgZnO/MgO界面における バンドアライメント解析
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川広太郎, 高坂亘, 日下皓也, 芹澤和泉, 金子健太郎, 山口智広, 藤田静雄, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 ミスT-CVD成長した岩塩構造MgZnO薄膜の室温真空紫外線発光
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高坂亘, 小川広太, 日下皓也, 金子健太郎, 山口智広, 嶋紘平, 藤田静雄, 本田徹, 秩父重英, 尾沼猛儀
2. 発表標題 時間分解PL測定による岩塩構造MgZnOの発光特性の評価
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Masaki Matsuda, Kotaro Ogawa, Yuichi Ota, Tomohiro Yamaguchi, Kentaro Kaneko, Shizuo Fujita, Tohru Honda, Takeyoshi Onuma
2. 発表標題	Analyses of Band Alignment in Rocksalt-structured MgZnO/MgO Interface Grown by Mist CVD
3. 学会等名	41st Electronic Materials Symposium
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Yuichi Ota, Kentaro Kaneko, Takeyoshi Onuma, Shizuo Fujita
2. 発表標題	Schottky barrier height for Ga ₂ O ₃ polymorphs: A simple estimation
3. 学会等名	41st Electronic Materials Symposium
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	尾沼猛儀, 小川広太郎, 太田優一, 金子健太郎, 山口智広, 藤田静雄, 本田徹
2. 発表標題	岩塩構造MgZnO の結晶成長とサブ200 nm の発光特性評価
3. 学会等名	第387回蛍光体同学会講演会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	日下皓也, 高坂亘, 小川広太郎, 金子健太郎, 山口智広, 本田徹, 藤田静雄, 尾沼猛儀
2. 発表標題	岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛薄膜の真空紫外領域での光電流スペクトル
3. 学会等名	第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 高坂亘, 小川広太郎, 松田真樹, 日下皓也, 太田優一, 金子健太郎, 山口智広, 本田徹, 藤田静雄, 尾沼猛儀
2. 発表標題 InドーブMgO薄膜の発光特性
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田優一, 金子健太郎, 尾沼猛儀, 藤田静雄
2. 発表標題 岩塩型MgZnO混晶のドーピング傾向の予測
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高坂亘, 小川広太郎, 松田真樹, 日下皓也, 太田優一, 山口智広, 金子健太郎, 本田徹, 藤田静雄, 尾沼猛儀
2. 発表標題 MgO薄膜へのInドーピングが発光特性に与える影響
3. 学会等名 第5回結晶工学 ISYSE 合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高坂亘, 小川広太郎, 松田真樹, 日下皓也, 太田優一, 金子健太郎, 藤田静雄, 山口智広, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 ミスTVD法により成膜したInドーブMgO薄膜の発光特性
3. 学会等名 第14回大学コンソーシアム八王子
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田真樹, 小川広太郎, 太田優一, 山口智広, 金子健太郎, 藤田静雄, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 InドーブMgZnO薄膜のミスTVD成長
3. 学会等名 第14回大学コンソーシアム八王子
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日下皓也, 高坂亘, 小川広太郎, 金子健太郎, 藤田静雄, 山口智広, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 岩塩構造酸化マグネシウム垂鉛MSM型真空紫外センサーの受光感度の温度依存性
3. 学会等名 第14回大学コンソーシアム八王子
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日下皓也, 高坂亘, 小川広太郎, 金子健太郎, 山口智広, 本田徹, 藤田静雄, 尾沼猛儀
2. 発表標題 岩塩構造酸化マグネシウム垂鉛薄膜の真空紫外領域での光電流スペクトル(II)
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松田真樹, 小川広太郎, 太田優一, 山口智広, 金子健太郎, 藤田静雄, 本田徹, 尾沼猛儀
2. 発表標題 ミスTVD法によるIII族ドーブ岩塩構造MgZnO薄膜成長
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田優一, 金子健太郎, 尾沼猛儀, 藤田静雄
2. 発表標題 超ワイドバンドギャップ酸化物混晶のバリガ性能指数評価
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023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	尾沼 猛儀 (Onuma Takeyoshi) (10375420)	工学院大学・先進工学部・教授 (32613)	
研究分担者	太田 優一 (Ota Yuichi) (50707099)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部 物理応用技術部電気技術グループ・副主任研究員 (82670)	

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
---------	---------