

令和 2 年 9 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01263

研究課題名（和文）超ワイドギャップ酸化物半導体量子構造によるサブ200nm光機能の創成

研究課題名（英文）Creation of optical functions below 200nm with ultra-wide band gap oxide semiconductor quantum structure

研究代表者

藤田 静雄 (Fujita, Shizuo)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：20135536

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,900,000 円

研究成果の概要（和文）：バンドギャップの大きい酸化物半導体MgZnOを開発し、電子線励起により波長200 nm以下を含む深紫外領域の発光を得ることができた。結晶成長には環境負荷の小さいミストCVD法を用い、原料の選択により結晶の高品質化を達成した。室温における発光の内部量子効率、例えばMg組成0.92のMgZnO薄膜から得られる波長217 nmの発光において約3%であり、量子井戸構造をとることで約13%と増加する。また発光波長は212 nmと短くなり、量子効果により発光効率が増したものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

波長200 nm以下を含む深紫外領域の光は、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。これを固体を用いて実現することは、脱水銀や希少資源の保護に寄与するとともに、任意の波長での光源が得られるという社会的意義がある。また、深紫外領域における半導体の光物性研究という新しい学理の開拓に研究の学術的意義がある。成長にミストCVD法を用いることで、地球環境に優しい半導体技術の開拓に寄与するところが本研究の価値である。

研究成果の概要（英文）：We developed an ultra-wide bandgap oxide semiconductor MgZnO and obtained deep ultraviolet cathodoluminescence covering the wavelengths below 200 nm. An environmental-friendly Mist CVD method was used for the growth, and appropriate choice of source materials allowed high-quality crystals. Internal quantum efficiency at room temperature was about 3% for MgZnO thin films with Mg composition of 0.92 emitting at 217 nm while was increased to about 13% with multiple quantum-well structure. The emission peak from the latter was 212 nm, which was shorter than that from the former, suggesting increased emission efficiency by quantum effect.

研究分野：半導体工学、結晶工学、光物性工学、光デバイス

キーワード：光物性 量子井戸 酸化物 深紫外

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

① 研究の学術的背景

いま、「単結晶」の酸化膜半導体を、GaAs や GaN が果たしている光・電子デバイスの領域に持ち込もうとする挑戦が加速している。その理由と動機は下記の点にあると言える。

- (i) 酸化物半導体には多くの種類があり、多様な光・電子・磁気機能を持つ。
- (ii) 成長において AsH₃ や NH₃ といった危険性の高い原料が不要で、酸素が不純物とならない。
- (iii) バンドギャップが大きく、パワーデバイスなどへの応用で省エネルギーに貢献しうる。

すなわち、成長から廃棄まで安全・安心に支えられた「Green devices with Green materials by Green processes」を達成し、持続可能社会にふさわしい材料・デバイスの進化をもたらすと期待される。

他方、デバイス応用の観点から見ると、短波長での発光デバイスは現在最もホットな研究開発の課題となっている。それをけん引するのが窒化物半導体で、GaN を用いた青色発光に引き続き、AlN による世界最短波長 210 nm の発光は大きなインパクトを与えた[1]。しかし、窒化物半導体による最短波長発光は AlN のバンドギャップに対応する 210 nm に限られる。殺菌(細菌の細胞を直接破壊)、リソグラフィ、物性科学研究に不可欠な紫外～深紫外領域の任意波長での発光が期待されている社会的要求の中で、200 nm より短波長(サブ 200 nm)の任意波長の高効率固体発光が必須となっている。しかし、窒化物半導体ではこれに答えられない物性限界がある。

現状では、サブ 200 nm の発光には水銀ランプ(185 nm)やエキシマランプ(172、146、126 nm)が用いられている。とくに水銀ランプ(185 nm)は殺菌用に多用されている。しかし「水銀に関する水俣条約」により、2021 年以降水銀製品の製造が原則禁止される。特殊用途ランプは規制対象外とされるものの、われわれは水銀の完全撤廃への社会的責任がある。エキシマランプもガスの扱いが困難でコストが高く、任意波長での発光は不可能である。

しかし、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、また半導体ならでは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。このことから、これら酸化物半導体によってサブ 200 nm の発光を実現するという着想に至った。

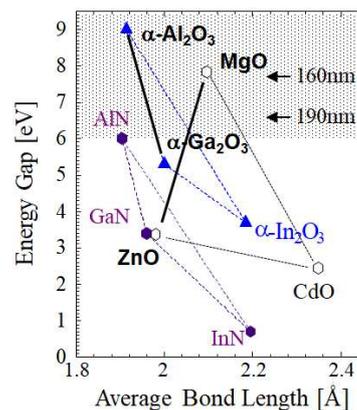


図 1 バンドギャップとボンド長。

2. 研究の目的

超ワイドギャップを特徴とする酸化物半導体とその MQW 構造により、窒化物半導体では不可能な 200 nm 以下の発光を実現する。pn 接合が困難と予想されるが、電子線励起またはプラズマ励起による発光デバイスを念頭に置く。これにより、水銀ランプに依存している 185 nm の発光を固体により実現して脱水銀に貢献するとともに、固体による任意波長での発光デバイスにより、深紫外光の応用分野を拡大する。あわせて酸化物半導体の深紫外光物性という未踏の学術分野の創成に寄与する。成長には、安全な原料が利用でき、装置が簡単な「ミスト CVD 法」を用いる。これにより、成長から廃棄までのプロセスにおける安全・安心・省エネルギーを達成し、地球環境に優しい半導体技術の開拓に寄与するところに本研究の意義がある。

3. 研究の方法

(1) 深紫外光物性測定装置の開発

深紫外光は空気中の O₂ に吸収されオゾンを形成する。この効果は波長 200 nm 以下において顕著となるため、深紫外光の光物性測定を行うには光路から O₂ を除く必要がある。本研究では、新たな光学設計をもとに、深紫外領域の光物性測定が可能な装置開発を行った。

(2) 半導体材料と結晶成長方法

波長 200 nm 以下の発光が期待される半導体として、図 1 に示した (Al,Ga)₂O₃ と MgZnO とが考えられる。本研究ではまず両者を光物性の観点で実験を通じた比較検討を行った。その結果、MgZnO がバンド端に近い深紫外発光を示したことから、こちらがより有望な材料であ

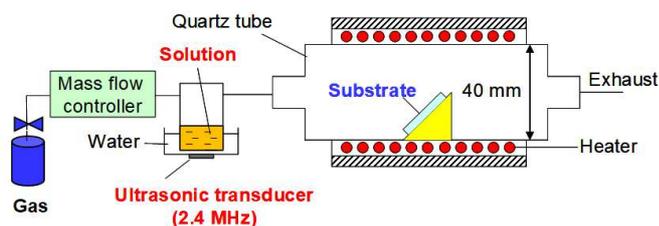


図 2 ミスト CVD 装置の例。

ると判断し、研究対象とすることにした。結晶成長は、ミスト CVD 法を用いて MgO 基板に行った。装置の例を図 2 に示す。Mg、Zn の原料には、当初それぞれの酢酸塩を用いたが、原料からの炭素(C)混入が危惧される結果が得られたため、研究の後半では塩化物を用いた。これらの効果に関しては「研究成果」の中で述べる。

4. 研究成果

(1) 深紫外光物性測定装置の開発

図 3 に開発したカソードルミネセンス (CL) 装置の構成を示す。試料から得られた発光を、フッ化マグネシウム製の窓を経て特別に設計した集光系に導き、分光器でそのスペクトルを測定する。集光系と分光器は N₂ ガスでパージし、O₂ による吸収を避けた。また、重水素ランプを光源とした透過・反射測定系を整備した。この装置を用い、波長λ>115 nm の各種スペクトル測定が可能となった。

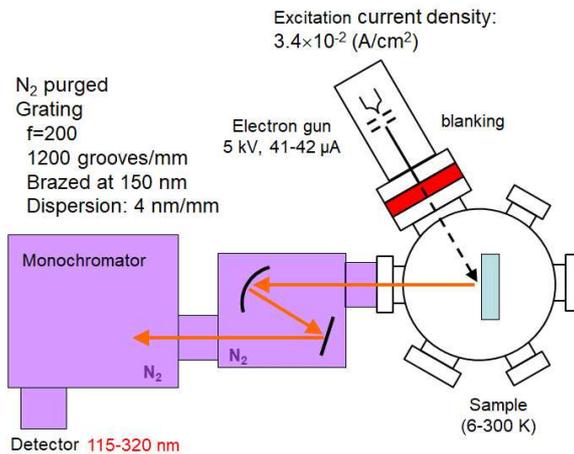


図 3 開発した深紫外光対応 CL 装置の構成。

(2) 酢酸塩を原料とした MgZnO の結晶成長とその発光特性

最初に、Mg および Zn の原料として酢酸塩 [(CH₃COO)₂Mg および (CH₃COO)₂Zn] を用いて結晶成長を行った。これらは従来のミスト CVD において原料として広く用いてきたもので、成長条件に関する知見があることから、まずこれらを原料とした成長を試みた。これら原料を酢酸 (CH₃COOH) と水の混合溶液 (体積比 1:4) に溶解させ、ミスト CVD に用いた。得られる MgZnO の組成を Mg_xZn_{1-x}O と表すこととし、Mg 組成 x は原料溶液中の Mg および Zn 原料濃度の比により調整した。基板には MgO(001)を用いた。基板温度 600 および 700°C において、0.47 ≤ x ≤ 0.92 の組成領域にわたる Mg_xZn_{1-x}O 膜が得られた。X 線回折の in-plane φ スキャンの結果、面内で 4 回対称性をもつ結果が得られ、このことから立方晶・岩塩構造の MgZnO が得られたことが支持される。

図 4 に、各種組成の Mg_xZn_{1-x}O 膜の CL スペクトルとその温度依存性を示す。ここで、DUVL (deep-ultraviolet luminescence) と記したものがバンド端近傍からの発光と考えられる。一方、図 4(a)および(c)で観測された反射スペクトルや(c)で観測されたフォトルミネッセンス励起スペクトル(PLE)と比較すると、この発光はバンド端に対してやや低いエネルギー位置にあることが示唆される。また、UVL (ultraviolet luminescence) と記したものは深い準位に起因した発光である。低温では DUVL が支配的であるが、高温になると UVL が支配的となる。また 300 K においては発光が弱く、また DUVL を明確に観測することは困難であった。

(3) 塩化物を原料とした MgZnO の結晶成長とその発光特性

酢酸塩には炭素 (C) が含まれるため、これを原料として用いた場合には MgZnO 膜中への C 混入が予想される。図 4 に示した UVL と C 不純物との関連は不明であるが、C 不純物の低減を図ることを意図し塩化物 (MgCl₂ および ZnCl₂) を原料として成長を行った。これら原料を酢酸と水の混合溶液 (体積比 1:4) に溶解させ、ミスト CVD に用いた。その結果、基板温度 700 および 800°C において MgZnO 膜が得られた。とくに短波長での発光を目指し、Mg_xZn_{1-x}O 膜の Mg 組成 x が 0.74-0.95 となる試料を準備した。

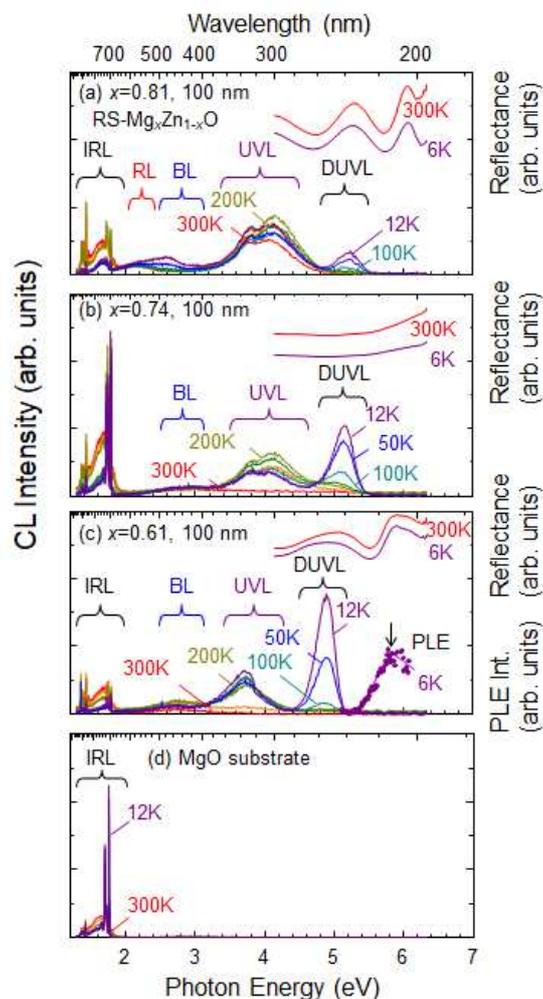


図 4 各種組成の Mg_xZn_{1-x}O 膜の CL スペクトルとその温度依存性。

図5にMgZnO表面の原子間力顕微鏡 (AFM) 像を示す。平均二乗粗さ (RMS) は0.20 nmと小さく、ステップ・テラス構造が観察される。このステップ高さは約0.4 nmで、ほぼ1分子層厚に対応する。このことから、原子レベルで平坦なMgZnOが成長することが明らかになった。

二次イオン質量分析 (SIMS) の結果、MgZnO膜中のC濃度は、原料に関わらず検出限界以下 ($<2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) であった。しかし、酢酸塩を用いて成長した試料においてMgZnO/MgO界面にCの大きな蓄積が見られ、塩化物を用いた試料ではそれが見られなかったことから、後者においてC濃度が減少したと考えた。表面AFM像は酢酸塩を用いた場合とほぼ同様のステップ・テラス構造を呈した。図6に透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察の結果を示す。(a)の回折像から、立方晶構造を持つことがわかる。また、(b)、(c)から、MgO基板の欠陥がMgZnOに引き継がれるものの、界面からの新たな欠陥発生はほとんど見られないことがわかる。

CLスペクトルを図7に示す。Mg組成 $x=0.92$ および 0.95 の $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 膜では、6Kおよび300Kともにバンド端近傍にピークを示し、図4で見られたようなUVLすなわち深い準位から

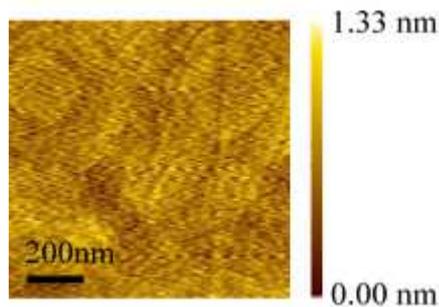


図5 MgZnO表面のAFM像。

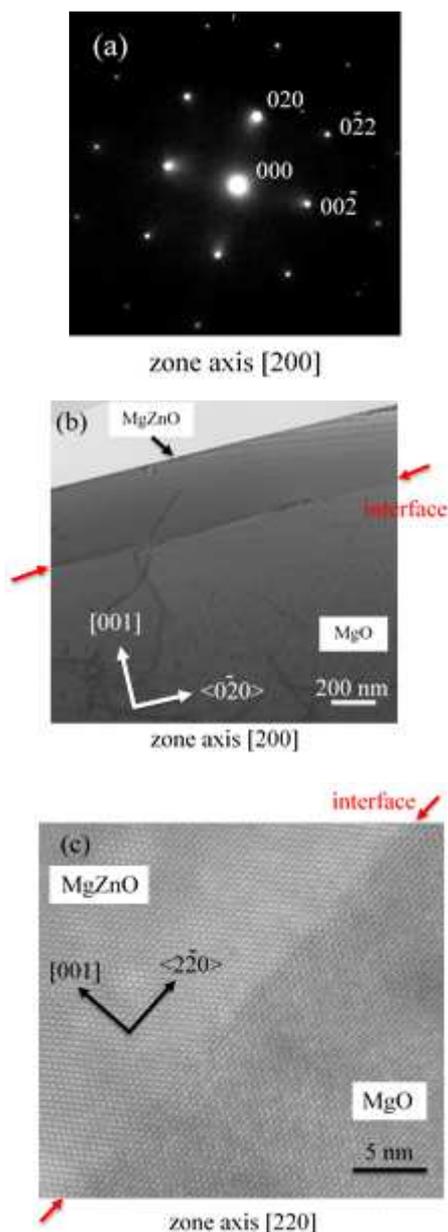


図6 TEMによる(a)回折像、(b)(c)明視野像。

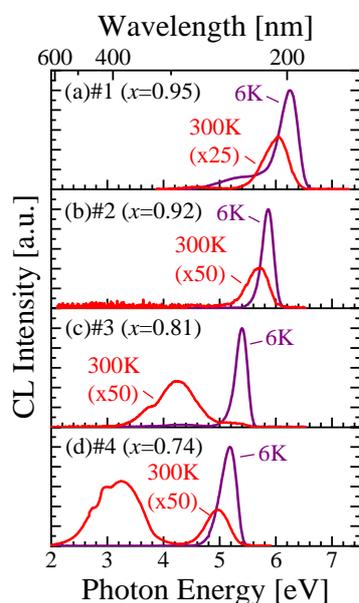


図7 塩化物原料を用いて成長したMgZnOのCLスペクトル。

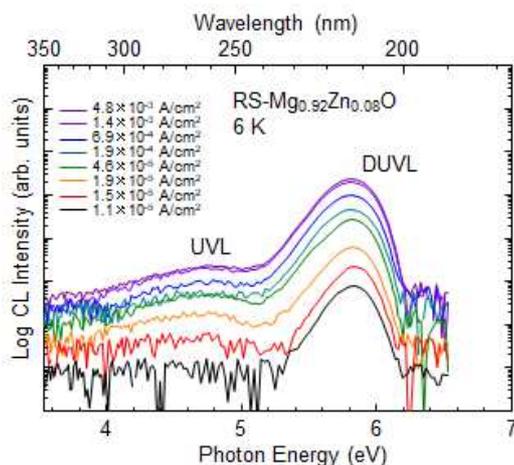


図8 $\text{Mg}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{O}$ 膜のCLスペクトルの電子線励起強度依存性。

の発光は著しく減少した (DUVL の強度に対し 1/10 以下)。このように、 x が大きくより短波長で発光する試料の方が 300K での発光特性が優れているのは、MgO 基板との格子不整合度が小さくなったためと考えられる。 $x=0.95$ の試料においては、6 K における発光ピークは 199 nm であり、300 K においてはピークが 205 nm であるものの短波長側が 190 nm まで広がったスペクトルを示した。すなわち、本研究の目標である 200 nm 以下の発光が実現できた。しかしながら、300K における発光ピークのエネルギーは、透過測定から求めたバンドギャップと比較して 0.5–0.7 eV 小さい。これは、バンド端の乱れや不純物によるためと予想され、今後さらに材料の高品質化が必要なことを示唆する。なお、発光強度の温度依存性から、低温における内部量子効率を 100% と仮定して 300K における内部量子効率を計算すると、 $\text{Mg}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{O}$ ($x=0.92$) において約 3% であった。

$\text{Mg}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{O}$ 膜 ($x=0.92$) に対し、CL スペクトルの電子線励起強度依存性を図 8 に示す。ここに見られる DUVL および UVL 発光強度の電子線励起強度依存性を図 9 に示す。DUVL の発光強度は励起強度に比例し、UVL の発光強度は励起強度の 1/2 乗に比例する。Shockley–Read–Hall (SRH) モデルを用いた解析の結果、DUVL はバンド端近傍での遷移、UVL はトラップを介した遷移であることが示唆された。このことから、塩化物原料を用いて成長した MgZnO では、C 混入が抑えられてトラップが減少したものと考えられる。なお、SRH モデルをもとにフィッティングを行って求めたキャリア生成率および発光再結合速度を、それぞれ励起強度および発光強度に対応させて図 9 に示した。

MQW 構造については、図 10 に示す構造の試料を作製した。井戸層を $\text{Mg}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{O}$ ($x=0.92$)、障壁層を MgO として、井戸層の膜厚 L を変化させた。その結果、 $L=4, 2, 1$ nm となるにつれて薄膜に比べて発光波長が徐々に短波長側に変化し、 $L=1$ nm の試料において、6 K では 0.21 eV、300 K では 0.12 eV のシフトが観察された。これは、量子効果により室温において予想される変化 0.96 eV より小さいが、構造の不均一性の可能性も考えると、MQW における量子効果を十分示唆するものである。また、 $L=2$ nm の試料では発光の内部量子効率は約 13% であり、薄膜に比べて大幅な増加が見られた。これも量子効果によるものと考えられる。

以上のように、Mg 組成の大きい MgZnO を用いて 200 nm 以下の発光を得ることができたが、このエネルギーはバンドギャップと比較して 0.5–0.7 eV 小さい。また、 MgZnO のバンドギャップも図 1 から予想されるものに比べて小さい。このあたりが、結晶の乱れによるものではないかと考えており、それが解決できればより短波長での発光につながると予想される。また、波長 207–222 nm の紫外線は、人の組織を損傷することなしに空中浮遊のウィルスを殺菌することができるという報告があり [2]、本研究の終了時期において時節柄の大きな話題となった。波長 207 nm は KrBr、222 nm は KrCl エキシマランプを用いて得られるが、本研究の結果もこの波長領域を含んでいる。

参考文献

- [1] Y. Taniyasu, M. Kasu, and T. Makimoto, *Nature* **441**, 325 (2006).
 [2] D. Welch, M. Buonanno, V. Grilj, I. Shuryak, C. Crickmore, A. W. Bigelow, G. Randers-Pehrson, G. W. Johnson, and D. J. Brenner, *Scientific Reports* **8**, 2752 (2018)

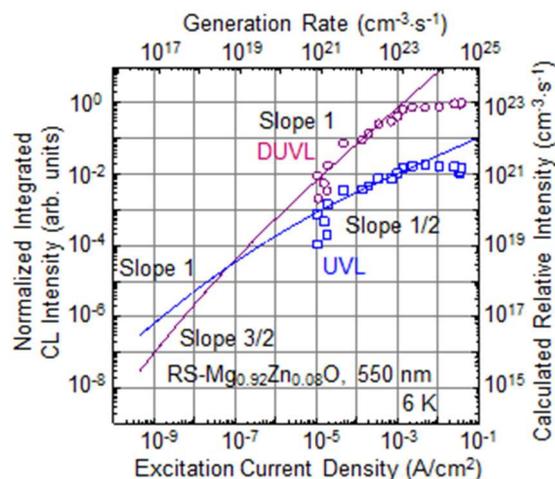


図 9 $\text{Mg}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{O}$ 膜の CL における DUV および UVL 領域の発光強度の電子線励起強度依存性。

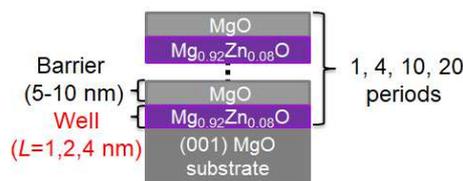


図 10 MQW 試料の構造。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 K. Ishii, M. Ono, K. Kaneko, T. Onuma, T. Honda, S. Fujita	4. 巻 12
2. 論文標題 Pure deep-ultraviolet cathodoluminescence from rocksalt-structured MgZnO grown with carbon-free precursors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 052011(1~5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab10e2	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 M. Ono, K. Ishii, K. Kaneko, T. Yamaguchi, T. Honda, S. Fujita, T. Onuma	4. 巻 125
2. 論文標題 Excitation-current-density and temperature dependences of deep UV cathodoluminescence in rocksalt-structured MgxZn1-xO films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 225108(1~5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5094684	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 T. Onuma, M. Ono, K. Ishii, K. Kaneko, T. Yamaguchi, S. Fujita, T. Honda	4. 巻 113
2. 論文標題 Impact of local arrangement of Mg and Zn atoms in rocksalt-structured MgxZn1-xO alloys on bandgap and deep UV cathodoluminescence peak energies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 061903(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5031174	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 K. Kaneko, K. Tsumura, K. Ishii, T. Onuma, T. Honda, S. Fujita	4. 巻 47
2. 論文標題 Deep-ultraviolet luminescence of rocksalt-structured MgxZn1-xO (x > 0.5) films on MgO substrates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 4356-4360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11664-018-6303-9	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22件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 T. Onuma, M. Ono, K. Kudo, K. Ishii, K. Kaneko, S. Fujita, T. Honda
2. 発表標題 DUV cathodoluminescence in rocksalt-structured MgZnO films
3. 学会等名 The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Photonics West 2020 (招待講演) (国際学会)
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薄膜の時間分解フォトルミネッセンス分光
3. 学会等名 2020年第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 T. Onuma, M. Ono, K. Kudo, K. Ishii, K. Kaneko, S. Fujita, T. Honda
2. 発表標題 Observation of deep UV cathodoluminescence from rocksalt-structured MgZnO alloys
3. 学会等名 4th International Workshop on Ultraviolet Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Fujita, S. Hoshi, K. Ishii, M. Ono, K. Kudo, T. Onuma, T. Honda, K. Kaneko
2. 発表標題 Characterization of MgZnO thin films for deep ultraviolet light emitters
3. 学会等名 19th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Onuma, M. Ono, K. Kudo, K. Ishii, K. Kaneko, S. Fujita, T. Honda
2. 発表標題 Deep UV cathodoluminescence properties of rocksalt-structured MgZnO alloys
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kudo, S. Hoshi, M. Ono, Y. Fujiwara, K. Kaneko, T. Yamaguchi, T. Honda, S. Fujita, and T. Onuma
2. 発表標題 VUV exciton emission spectra of MgO single crystals
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kaneko, K. Ishii, M. Ono, K. Kudo, T. Onuma, T. Honda, S. Fujita
2. 発表標題 Vacuum ultra violet light emission from MgZnO-based thin films and quantum wells
3. 学会等名 61st Electronic Materials Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kudo, K. Ishii, M. Ono, Y. Fujiwara, K. Kaneko, T. Yamaguchi, T. Honda, S. Fujita, T. Onuma
2. 発表標題 VUV cathodoluminescence spectra of rocksalt-structured MgZnO/MgO quantum wells
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kaneko, K. Ishii, M. Ono, K. Kudo, T. Onuma, T. Honda, S. Fujita
2. 発表標題 Growth and deep UV luminescent properties of rocksalt-structured ultra-wide bandgap MgZnO on MgO substrates
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星翔馬, 工藤幹太, 尾沼猛儀, 本田徹, 金子健太郎, 藤田静雄
2. 発表標題 MgO薄膜のホモエピタキシャル成長および光学特性
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 工藤幹太, 星翔馬, 小野瑞生, 藤原有基, 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 MgO単結晶の真空紫外線領域のカソードルミネセンススペクトル
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishii, M. Ono, T. Onuma, K. Kaneko, S. Fujita
2. 発表標題 Growth of rocksalt-structured MgZnO thin films and their optical properties
3. 学会等名 60th Electronic Materials Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Onuma, M. Ono, K. Ishii, K. Kaneko, T. Yamaguchi, S. Fujita, T. Honda
2. 発表標題 Bandgap fluctuation in rocksalt-structured $Mg_xZn_{1-x}O$ alloys
3. 学会等名 10th Int. Workshop Zinc Oxide and Other Oxide Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Ono, K. Ishii, K. Kaneko, T. Yamaguchi, T. Honda, S. Fujita, T. Onuma
2. 発表標題 Excitation density and temperature dependence of deep ultraviolet cathodoluminescence in rocksalt-structured $Mg_xZn_{1-x}O$
3. 学会等名 10th Int. Workshop Zinc Oxide and Other Oxide Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ishii, M. Ono, T. Onuma, K. Kaneko, S. Fujita
2. 発表標題 Fabrication of rocksalt-structured $MgZnO/MgO$ layered structures and their DUV light emission properties
3. 学会等名 2018 Materials Research Society Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 尾沼猛儀, 小野瑞生, 石井恭平, 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 $Mg_xZn_{1-x}O$ の吸収端の観測と電子状態計算
3. 学会等名 2018年第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野瑞生, 石井恭平, 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MgxZn1-xOにおける深紫外線カソードルミネセンスの温度および励起密度依存性
3. 学会等名 2018年第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井恭平, 小野瑞生, 尾沼猛儀, 金子健太郎, 藤田静雄
2. 発表標題 岩塩構造MgZnO/MgO積層構造の作製と深紫外発光
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ishii, M. Ono, T. Onuma, K. Kaneko, S. Fujita
2. 発表標題 Fabrication of rocksalt-MgZnO/MgO layered structure and the characteristic of DUV light emission
3. 学会等名 37th Electronic Materials Symposium
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kaneko, K. Tsumura, K. Ishii, T. Onuma, T. Honda, S. Fujita
2. 発表標題 Deep-ultraviolet luminescence of rocksalt-structured MgxZn1-xO (x > 0.5) films on MgO substrates
3. 学会等名 18th Int. Conf. II-VI Compounds and Related Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Ono, K. Ishii, T. Uchida, R. Jinno, K. Kaneko, T. Yamaguchi, T. Honda, S. Fujita, T. Onuma
2. 発表標題 Deep-UV emission properties of rocksalt-structured Mg _x Zn _{1-x} O films grown on MgO (001) substrates
3. 学会等名 36th Electronic Materials Symposium
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Ishii, T. Onuma, T. Uchida, R. Jinno, K. Kaneko, S. Fujita
2. 発表標題 Study on growth of high quality MgZnO films on MgO substrates for DUV light emission
3. 学会等名 36th Electronic Materials Symposium
4. 発表年 2017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)	
連携 研究者	金子 健太郎 (Kaneko Kentaro) (50643061)	京都大学・工学研究科・講師 (14301)	