



2024年3月18日

報道関係各位

工学院大学
株式会社オーク製作所

岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛を用いた UV-C ランプを試作 —波長 190 nm から 220 nm での発光を実証—

工学院大学（学長：伊藤 慎一郎、所在地：東京都新宿区/八王子市）と株式会社オーク製作所諏訪工場（社長：藤森 昭芳、所在地：長野県茅野市）による研究グループは、発光層に岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛を適用することで、190 nm から 220 nm の波長域で発光する UV-C ランプの構築に成功しました。

■ポイント

- 新しい超ワイドバンドギャップ半導体として注目を集める「岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛」を用いた UV-C ランプを世界に先駆けて試作し実証した。
- 波長 202 nm をピークとする UV-C 発光を観測した。酸化マグネシウム亜鉛の混晶比を変化させることで、更に短波長域のランプへの展開が期待される。
- 「水銀に関する水俣条約」により使用制限に向けた取り組みが求められる低圧水銀灯の代替光源や、環境と人にやさしい UV-C 光源として社会応用が期待される。

■研究代表者

工学院大学先進工学部応用物理学科 尾沼 猛儀 教授

株式会社オーク製作所研究開発部 芹澤 和泉 部長

■背景

波長 280 nm 以下の UV-C 光は、酸素やオゾンにより吸収されるため地表に降り注ぐ太陽光には存在しませんが、殺菌、水処理、空気清浄、微細加工、半導体プロセス、オゾン清浄、医療などに幅広く利用されています。最近では、207~222 nm の深紫外光を選択的に照射することで、人の組織を損傷することなく空中浮遊のウィルスを不活化できることが解明され、人にやさしい UV-C 光源として注目されています[1]。コロナ禍を経て、エアコン、空気清浄機などへの UV-C 殺菌灯の普及が急激に進みました。地球温暖化によるここ数十年の気候変動は、人間の生活や自然の生態系にさまざまな影響を与えており、SDGs の取り組みの一環として、新たなウィルスの襲来に備える必要性が高まっています。

殺菌用として 265 nm や 285 nm の深紫外発光ダイオードが利用されています。これらの LED は、窒化アルミニウムガリウム系の半導体を使って製作されています。窒化アルミニウムガリウムは 210 nm まで発光可能な材料ですが、実用に耐える外部量子効率(※1)が得られる波長域は 230 nm 以上に制限されています。このため波長 220 nm 以下の光源としては、低圧水銀灯やエキシマランプなどの放電ベースの光源が未だに主流となっています。前述の、人にやさしい UV-C 光源(波長 207~222 nm)も、エキシマランプが採用されています[1]。低圧水銀灯は特例として認められているものの、水銀に関する水俣条約により将来的な使用制限に向けた取り組みが強く求められています。また、低圧水銀灯やエキシマランプは、元素により得られる波長が制限されます。このような背景から、環境と人にやさしい 220 nm 以下の波長域の新たな光源の構築が求められています。

■研究の意義と成果

発光を担う材料には、新しい超ワイドバンドギャップ半導体(※2)として世界中から注目を集める「岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛」を採用しました。岩塩構造(Rocksalt structured: RS)酸化マグネシウム亜鉛(MgZnO)は、酸化マグネシウム(MgO)と酸化亜鉛(ZnO)の混晶であり、混晶比を変化させることで、発光波長を UV-C 域で自在に変化させることができます。結晶は、石英ガラス基板上へ堆積させますが、京都大学工学研究科 藤田静雄 教授、金子健太郎 講師にご助言を頂き[2]、「ホットウォール方式ミスト CVD 法」を使用しました。この方法は大気圧下で高品質な薄膜が成膜できることが特徴です。このとき、原料のマグネシウムと亜鉛のうち、マグネシウムのモル比(※3)は 95%としました。

石英ガラス製のランプバルブを製作し、ランプバルブの開口端部にフリットガラス材を用いて RS-MgZnO 多結晶膜を溶着しました(図 1)。溶着後、放電ガスとして Kr ガスを 300 Torr 封入しました。製作したランプに 9 kVp-p の電圧を印加し、誘電体バリア放電(※4)により Kr₂ エキシマ光(波長 146 nm)を発光させ、これを励起光とし RS-MgZnO 発光層から放出された光を裏面側から外部へ取り出しました。

真空紫外分光光度計(VUV-201、分光計器(株)製)を使用し、Kr₂ エキシマ励起 RS-MgZnO ランプの試作品の発光特性を調べました(図 2)。Kr₂ エキシマ光源からの漏れ光とともに、RS-MgZnO の微結晶由来の発光が観測されました。この発光のピーク波長は 202 nm でした。さらにこのピーク波長が RS-MgZnO の微結晶由来の発光であるかどうかを確かめるため、真空紫外分光システム(図 3)を使用し、ランプで使用した膜と同条件で成膜した石英ガラス基板上的 RS-MgZnO 薄膜の、室温でのカソードルミネセンス(※5)を測定しました。比較から、カソードルミネセンスの発光波長はランプの発光波長とほぼ一致していることが分かりました(図 4)。これらの結果から、RS-MgZnO を発光層とした UV-C ランプの動作実証に成功したことを確認しました。

■今後の展開

本研究の成果より、RS-MgZnO の UV-C 発光材料としてのポテンシャルの高さを示すとともに、RS-MgZnO を応用した UV-C 光源を世界に先駆けて試作し実証しました。今回はピーク波長 202 nm でしたが、岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛の混晶比を変化させることで、更に短波長域のラ

ランプへの展開を目指します。また、環境と人に優しいという利点を生かし、医工連携事業などへの展開も行いたいと考えています。

本研究成果の一部は工学院大学総合研究所プロジェクト研究、科研費(#22K04952)、並びに京都大学工学研究科 藤田静雄 教授、金子健太郎 講師らとの研究グループで実施した科研費(#20H00246)の成果として得られたものです。

参考文献

- [1] D. Welch, M. Buonanno, V. Grilj, I. Shuryak, C. Crickmore, A. W. Bigelow, G. Randers-Pehrson, G. W. Johnson, and D. J. Brenner, *Sci. Rep.* **8**, 2752 (2018).
- [2] W. Kosaka, S. Hoshi, K. Kudo, K. Kaneko, T. Yamaguchi, T. Honda, S. Fujita, and T. Onuma, *Phys. Status Solidi B* **259**, 2100354 (2022).

■講演情報

本研究成果は、2024年3月22日から25日に開催される第71回応用物理学会春季学術講演会において、注目講演に選出されました。

講演番号: 23a-31A-7

題目: 190-220 nm で蛍光する Kr_2 エキシマ励起岩塩構造 $MgZnO$ ランプの開発

所属: 1. 工学院大, 2. オーク製作所, 3. 京都大

著者: 小川 広太郎^{1,2}, 矢島 英樹², 小林 剛², 高坂 亘¹, 日下 皓也¹, 三富 俊希¹, 山口 智広¹, 本田 徹¹, 金子 健太郎³, 藤田 静雄³, 芹澤 和泉², 尾沼 猛儀¹

応用物理学会のプレスリリースは下記をご参照ください。

<https://meeting.jsap.or.jp/highlighted>

■用語解説

- (※1) 外部量子効率: LED の発光層に注入される電子・正孔数に対する外部へ放出される光子数の割合
- (※2) 超ワイドバンドギャップ半導体: バンドギャップが 4 eV (電子ボルト) 以上の半導体
- (※3) モル比: 原料の元素をモル数で表したものの割合
- (※4) 誘電体バリア放電: 絶縁体である誘電体の間に交流電圧を印加し放電する方法
- (※5) カソードルミネセンス: Cathodoluminescence: CL、物質が電子のエネルギーを受けて発光する現象

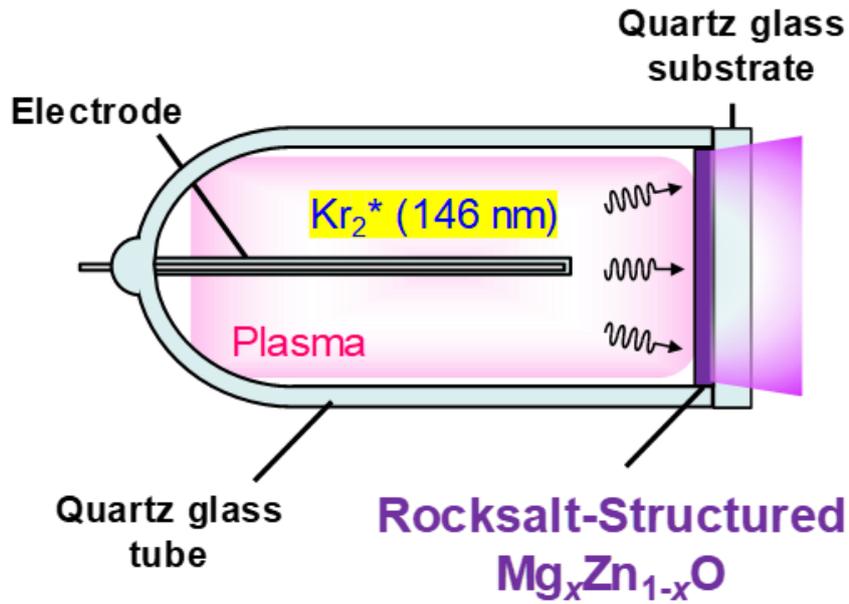


図 1. Kr_2 エキシマ励起 RS-MgZnO ランプの構造。

Rear surface



Side

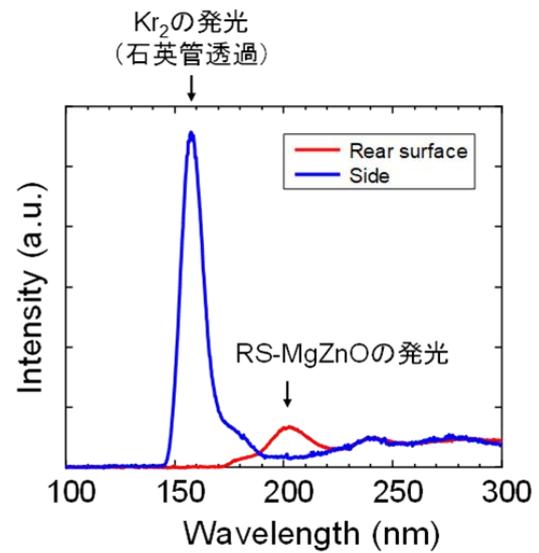
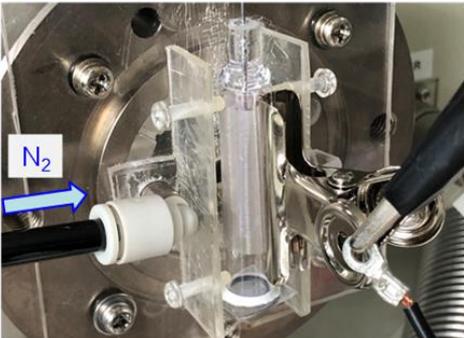


図 2. 真空紫外分光光度計による発光スペクトルの測定。グラフは、岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛の裏面より取り出した光 (Rear surface) とランプ側面から取り出した光 (Side) とを比較することで、ランプとしての発光 (岩塩構造酸化マグネシウム亜鉛の微結晶由来の発光) が得られていることを示す。

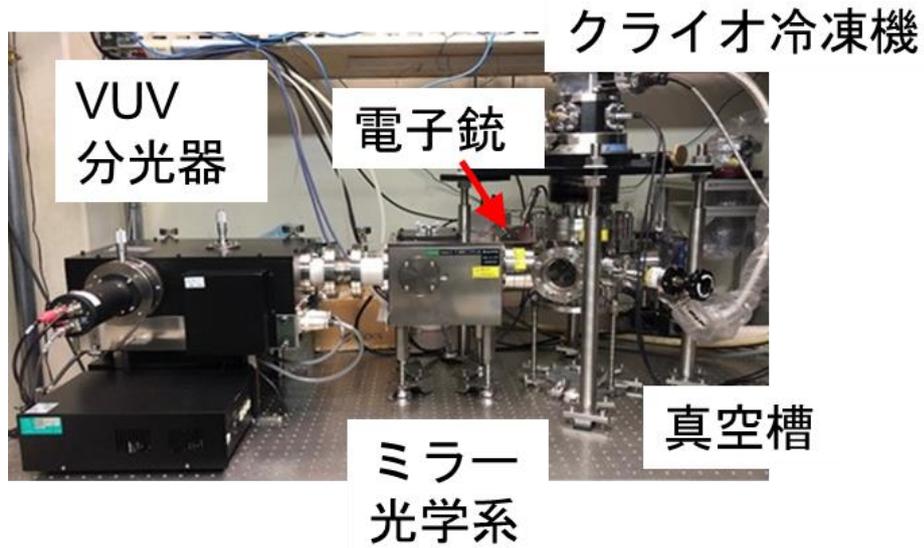


図 3. RS-MgZnO 膜の CL スペクトル測定で使用した真空紫外(Vacuum ultraviolet: VUV)分光システム。

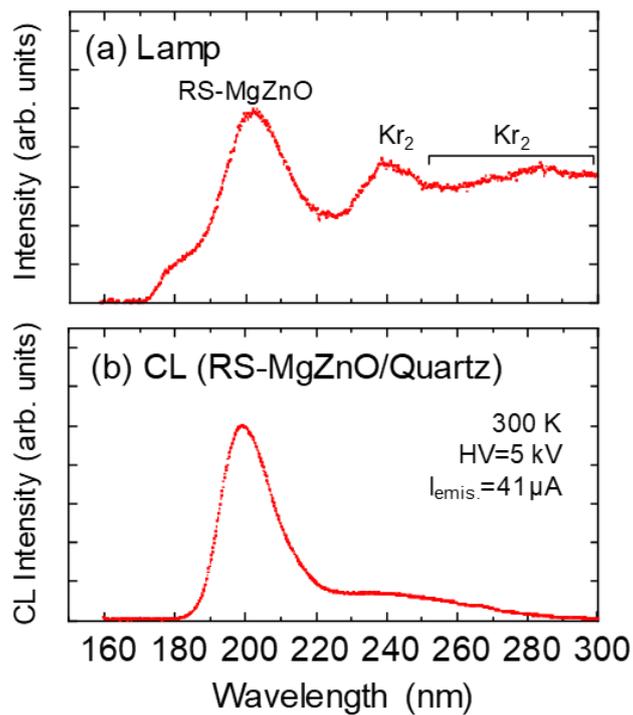


図 4. (a) Kr₂ エキシマ励起 RS-MgZnO ランプの発光スペクトルと、(b) 石英ガラス基板の上に成長した RS-MgZnO 膜の CL スペクトルの比較。

<取材に関するお問い合わせ>

工学院大学 広報課／担当：堀口 03-3340-1498、gakuen_koho@sc.kogakuin.ac.jp

株式会社オーク製作所諏訪工場 研究開発部 0266-73-8340、lamp-devp@orc.co.jp