

## 深紫外半導体レーザーの室温連続発振に世界で初めて成功 ～2025年の実用化に向けて飛躍的に前進～

### 【本研究のポイント】

- ・ 深紫外の波長域で、半導体レーザー開発の重要なマイルストーンである室温連続発振<sup>注1)</sup>を実現。
- ・ 結晶の乱れが全く発生しない半導体レーザー素子の作製に成功、レーザー発振に必要な駆動電力を従来の1/10に低減。
- ・ 電池駆動も可能なレーザー発振の成功により、実用化に向けて飛躍的に前進。

### 【研究概要】

名古屋大学未来材料・システム研究所 天野 浩 教授らの研究グループは、旭化成株式会社と共同で、世界で初めてUV-C帯域<sup>注2)</sup> 274 nmの深紫外半導体レーザー(UV-C LD)の室温連続発振に成功しました。UV-C LDは殺菌や医療を始め幅広い応用が期待される光源で、本共同研究グループは2019年、世界に先駆けてUV-C LDの室温パルス発振に成功しています。今回その技術をさらに進化させ、より実用性のある直流電源によるレーザー発振に成功しました。

本共同研究グループは、UV-C LD素子を形成する結晶の乱れがレーザー特性を劣化させることを見出し、全く結晶の乱れが発生しない素子の作製に成功しました。これにより、レーザー発振に必要な駆動電力を従来の1/10までに低減させ、電池駆動も可能な室温連続発振を実現しました。

UV-C LDの特長を生かし、医療や殺菌などヘルスケア用途、ウイルス検知や微粒子などの計測やガス分析用途、さらには金属や炭素素材、樹脂素材など微細加工が難しい材料への高精細なレーザー加工用途への応用が期待されます。

今回室温連続発振が実現されたことで、様々な応用システムへのUV-C LDの搭載が可能となり、実用化に向けて飛躍的な前進が期待されます。今後も本共同研究グループは研究を進展させ、試作品を提供できる体制を構築し、アプリケーション開拓を推進します。さらに、2025年度を目途に製品化を目指した取り組みを展開していきます。

なお、本研究成果は、アメリカ物理学協会の学術雑誌「Applied Physics Letters」に受理され、2022年11月24日17時(日本時間)に名古屋大学学術機関リポジトリで公開されました。

## 【研究背景と内容】

深紫外半導体レーザー(またはレーザーダイオード)は、ヘルスケア、計測・解析、センシング、レーザー加工の分野で期待されています。本共同研究グループは高品質 AlN (窒化アルミニウム)単結晶基板と分極ドーピング法を採用したことで、2019 年に世界で初めて室温パルス電流駆動<sup>注 3)</sup>による UV-C 帯域の深紫外半導体レーザーの発振に成功しました。

(名古屋大学研究成果発信サイト 2019 年 11 月 5 日付

<https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2019/11/post-333.html> を  
ご参照)

(旭化成ホームページニュースサイト 2019 年 11 月 5 日付

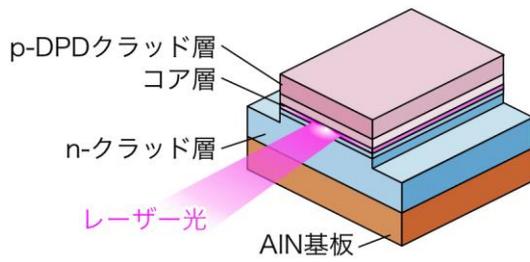
<https://www.asahi-kasei.com/jp/news/2019/ze191105.html> をご参照)

一方、半導体レーザーの実用化には、電池での駆動も可能な室温連続発振が必須とされています。本共同研究グループは、連続発振の実現のために動作電流、および動作電圧の低減に注力し、研究を進めてきました。

本共同研究グループは、従来の UV-C LD のメサストライプ<sup>注 4)</sup>の端に発生する結晶の乱れ、すなわち結晶欠陥に着目しました。メサストライプ端の結晶欠陥は共振器内部に延伸することで<sup>しきいち</sup>閾値電流密度<sup>注 5)</sup>を悪化させるだけでなく、電極設計に制限を与えることで駆動電圧を悪化させます。種々の試作、解析およびモデリングを用いた多角的なアプローチによる検討の結果、結晶欠陥の発生の原因がメサストライプにかかる応力の局所集中であることを見出しました。そこで、応力を制御するためメサストライプの構造を、従来の垂直型から傾斜型へと刷新し、結晶欠陥の抑制に成功しました(図 1)。さらに、光学設計の改良と薄膜結晶成長条件の改善も同時に行い、閾値電流密度を 4.2 kA/cm<sup>2</sup>、また閾値電圧を 8.7 V と世界最高水準まで大幅に改善しました(図 2)。これにより、レーザー発振に必要な駆動電力を従来の 1/10 に低減することが可能になりました。

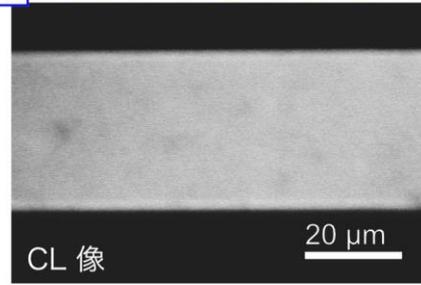
上記の成果により、半導体レーザー開発において重要なマイルストーンである室温連続発振を世界に先駆けて実現しました。作製された深紫外半導体レーザーのパッケージデバイスは室温直流電流での駆動において、連続発振光が明瞭に観測されました(図 3)。本成果は UV-C 帯域の深紫外半導体レーザーが将来的に実用化するポテンシャルをもつことを十分に示唆する結果です。

デバイスの模式図

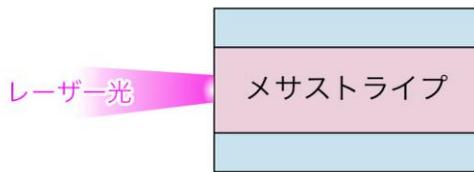


改善後

メサストライプに欠陥なし



デバイスを上から見た模式図



改善前

メサストライプ端面から欠陥

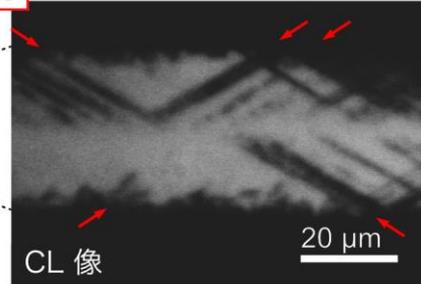


図1 メサストライプ端で観察される結晶欠陥とその制御。

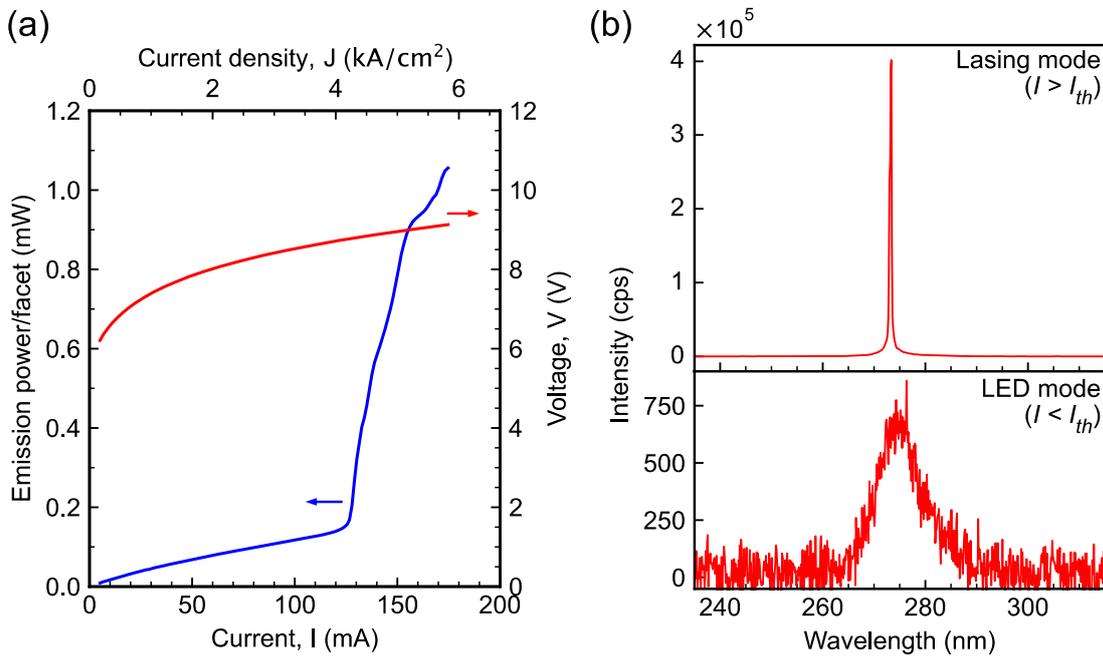


図2 作製した深紫外レーザーの電流－電圧特性および電流－発光特性と発光スペクトル<sup>注6)</sup>。閾値電流は125 mA(電流密度4.2 kA/cm<sup>2</sup>)。閾値電圧は8.7 V。閾値電流以上の電流駆動によって274 nmにシャープな発振スペクトルが確認された。

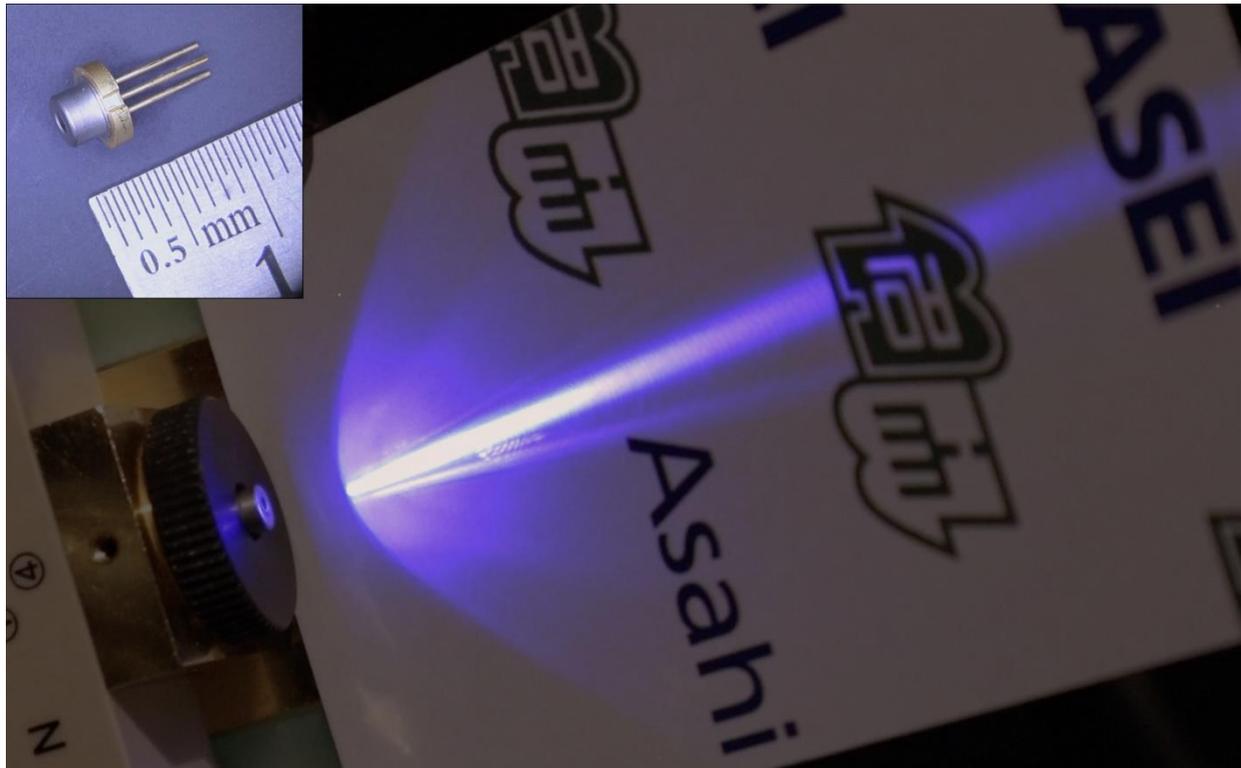


図3 作製した深紫外半導体レーザーのパッケージ写真と、連続発振光を、深紫外線が当たると光を発する蛍光塗料が塗られたスクリーンに投影した様子。

#### 【成果の意義】

本共同研究グループは、2019年に世界で初めて室温パルス電流駆動によるUV-C帯域の半導体レーザーの発振に成功し、その実現可能性を実証しました。今回の成果は、あらゆる波長域の半導体レーザーの実用化、発展において重要なマイルストーンである「室温連続発振」をUV-C帯域の半導体レーザーにおいて達成したものであり、深紫外半導体レーザーの実用化に向けて、その飛躍的な技術の進歩を示すものです。

#### 【用語説明】

注1) 室温連続発振；室温で直流電流を通電してレーザー発振させる手法。

注2) 深紫外(UV-C)；波長280 nm未満の紫外光。

注3) 室温パルス電流駆動；室温で素子にパルス状の電流を通電し動作させる手法。

注4) メサストライプ；紫外光を発生する活性層を含めた半導体多層膜構造を、光の進行方向が長辺となるような長方形型に彫り込んだ形状(図1参照)。

注5) 閾値電流密度；レーザー発振に必要な最低限の通電電流の密度。

注6) スペクトル；発光特性として波長ごとの発光強度を表現した。

## 【論文情報】

### ■論文 1 :

雑誌名 : Applied Physics Letters (アメリカ物理学協会 学術雑誌)

論文タイトル : Key temperature-dependent characteristics of AlGaIn-based UV-C laser diode and demonstration of room-temperature continuous-wave lasing

著者 : Ziyi Zhang<sup>1</sup>, Maki Kushimoto<sup>2</sup>, Akira Yoshikawa<sup>1</sup>, Koji Aoto<sup>3</sup>, Chiaki Sasaoka<sup>3</sup>, Leo J. Schowalter<sup>3</sup>, and Hiroshi Amano<sup>3</sup>

DOI : 10.1063/5.0124480 (2022 年 11 月 28 日付電子版公開)

名古屋大学学術機関リポジトリ URL : <http://hdl.handle.net/2237/0002003984>

### ■論文 2 :

雑誌名 : Applied Physics Letters (アメリカ物理学協会 学術雑誌)

論文タイトル : Local stress control to suppress dislocation generation for pseudomorphically grown AlGaIn UV-C laser diodes

著者 : Maki Kushimoto<sup>2</sup>, Ziyi Zhang<sup>1</sup>, Akira Yoshikawa<sup>1</sup>, Koji Aoto<sup>3</sup>, Yoshio Honda<sup>3</sup>, Chiaki Sasaoka<sup>3</sup>, Leo J. Schowalter<sup>3</sup>, and Hiroshi Amano<sup>3</sup>

DOI : 10.1063/5.0124512 (2022 年 11 月 28 日付電子版公開)

名古屋大学学術機関リポジトリ URL : <http://hdl.handle.net/2237/0002003985>

<sup>1</sup> : 名古屋大学 未来材料・システム研究所 (IMASS), 旭化成次世代デバイス産学協同研究部門

<sup>2</sup> : 名古屋大学大学院工学研究科

<sup>3</sup> : 名古屋大学 未来材料・システム研究所 (IMASS)