

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 乙 第 7401 号
------	--------------

氏 名 張 梓懿

論 文 題 目

UV-C波長帯深紫外レーザーダイオードの実現  
(Realization of deep-ultraviolet laser diodes in the UV-C  
wavelengths)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	未来材料・システム研 究所	教授	天野 浩
委員	名古屋大学	未来材料・システム研 究所	教授	大野 雄高
委員	名古屋大学	未来材料・システム研 究所	准教授	本田 善央
委員	京都大学	工学研究科	教授	川上 養一
委員	金沢工業大学	工学部	教授	山口 敦史

## 論文審査の結果の要旨

張梓懿氏より提出された博士論文「UV-C波長帯深紫外レーザーダイオードの実現(Realization of deep-ultraviolet laser diodes in the UV-C wavelengths)」は、電流注入により深紫外UV-C波長域のレーザー光を発するレーザーダイオード(Laser Diode: LD)の実現を目指して取り組んだ成果をまとめており、第7章より構成されている。

第1章では、電流注入によって動作するUV-C LDを実現させるという目標の設定自体の意義、実際にデバイスを作製する過程において必要な要素技術と、本論文で注目したデバイス特性の改善のための着眼点を述べている。

第2章では、LD構造の検討を進める上での基礎となる導波路構造の設計について述べている。導波路構造を設計する上では正確な光学屈折率の評価が欠かせない。特に分散型分極ドーピング(Distributed Polarization Doping: DPD)法によるp型クラッド層の作製を用いる場合、アルミニウム面のAlN基板上では屈折率分布がこれまでの他の半導体材料によるLDと逆になり、光閉じ込めに関する懸念があった。そこでAlN基板上的AlGaIn薄膜について光学屈折率を実測し、その評価結果を基にして適切な導波路設計によって光閉じ込めを最大化させ、伝搬損失の低減を図る設計を追求している。さらに光励起法による実験評価によって設計の妥当性について検証している。

第3章では、クラッド層の導電性制御について述べ、AlGaIn系材料の分極を利用した導電性制御の方法を検証している。結晶の内部分極を利用したp型導電性制御の手法として、短周期超格子(Short Period Super Lattice: SPSL)やDPDをp-クラッド層に用いたpn接合デバイスを作製し、その特性を検証している。特に本研究の最も重要な達成ポイントの一つとして、DPDを用いたp-クラッド層技術を確立できた点が上げられる。

第4章では、実際にUV-C LDデバイスの作製を行い、パルス駆動における室温レーザー発振の実証を試みている。低閾値電流密度を目指してミラー端面へ多層反射膜を実装し、端面反射率の制御が行われている。また、生産性に優れた手法としてドライエッチングと化学エッチングを併用した共振器形成方法の検証を行っている。

第5章では、デバイスの発振閾値の低減化の検討を行っている。パルス駆動実証にて作製した初期のUV-C LDは閾値電流密度が高く、直流駆動での発振は出来なかった。デバイスの発振閾値を増大させている要因の解析を行ったところ、薄膜成長の過程に起因したヘテロ接合界面や膜応力に起因した転位の発生などが問題点として見出された。これらを改善することによって閾値電流密度の低減が可能であることを実証した。

第6章では、直流駆動による室温での連続発振の実証を試みている。UV-C LDを社会実装するためには、直流駆動による連続発振が必要不可欠である。連続発振実現のボトルネックとしては閾値電流密度の他に直流駆動による発熱があり、特にワイドバンドギャップ材料を用いているUV-C LDの閾値電圧が高い点や、クラッド層の高い抵抗は駆動時の大きな自己発熱の原因となる。ここでは作製したUV-C LDについて直流駆動時の自己発熱による発振特性への具体的な影響を明らかにし、自己発熱を考慮した連続発振に必要な要件について述べている。さらに発熱を抑制するためにデバイス抵抗の改善を行い、最終的に室温連続発振に成功したことがまとめられている。

第7章では、各章のまとめおよび今後の展望について述べられている。

以上のように、本論文は世界で初めて深紫外UV-C領域で室温連続発振するレーザーダイオードを実現しており、学術的な価値は勿論、今後の我が国の半導体およびエレクトロニクス産業を牽引する可能性のある非常に重要な成果を上げていることから、産業上の価値も極めて高く、博士(工学)を受けるに充分値する内容であると判断した。