

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの中盤技術
平成28年度採択研究代表者

H28年度 実績報告書

岩谷 素顕

学校法人名城大学 理工学部
准教授

深紫外領域半導体レーザーの実現と超高濃度不純物・分極半導体の研究

§ 1. 研究実施体制

(1)「名城大学」グループ

- ① 研究代表者:岩谷 素顕 (名城大学・理工学部、准教授)
- ② 研究項目
 - ・紫外レーザーの作製および評価
 - ・物性評価・シミュレーション
 - ・分極半導体および超高濃度不純物半導体の物理の解析

(2)「三重大学」グループ

- ① 主たる共同研究者:三宅秀人 (三重大学大学院地域イノベーション学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・AlGaIn系テンプレートの高品質化

§ 2. 研究実施の概要

本研究課題では、未踏波長域である深紫外領域の半導体レーザを実現することを目標に研究を進めている。一般に、半導体レーザを実現するためには、①光学利得が得られる材料があること、②光共振器を形成すること、③レーザ発振に必要なキャリアの注入の3つが必要条件である。このうち本研究課題で取り扱うAlGaIn系材料は、既に紫外LED材料として高いポテンシャルを持っていることが実証され、200nm帯の紫外LEDがサンプル出荷されつつある。一方レーザに向けた検討は、本研究グループをはじめとした日米欧の複数の研究機関から光励起によるレーザ発振が報告されている。また必要な光励起パワー密度の値を見積もると、高性能レーザが実現されているGaInN系量子井戸活性層を用いた場合の約2倍程度であることからAlGaIn材料は高い光学利得が得られ且つ光閉じ込めが可能かの確認する段階はクリアしている。

その一方で、大きな課題が残されているのが③のキャリアの注入である。光励起によって見積もられたレーザ発振に必要な励起キャリア密度は、 10^{18} cm^{-3} 後半から 10^{19} cm^{-3} である。これまでの可視・赤外領域の半導体レーザでは、pn接合を形成し、p層・n層からそれぞれ電子・正孔を注入する手法が用いられており、ドーピング濃度を最適化して高キャリア濃度のp型半導体層およびn型半導体層を用いることによって反転分布を得るのに必要なキャリアを注入し、最終的にレーザ発振を達成してきた。一方、深紫外半導体レーザにおいては、高い自由正孔濃度を持つ高Al組成p型AlGaInを得ることが極めて難しいという課題である。これは、Al組成を増大させるとアクセプタ不純物であるMgの活性化エネルギーが増加してしまう。これは、ほぼ水素原子様モデルに有効質量補正することで説明が可能である。したがって高Al組成p型AlGaInのアクセプタの活性化率は低く、レーザ発振に必要なキャリアを注入が困難である課題が存在した。

本研究課題では、それらの問題点を解決するために、以下の3つの方法を検討し、それによって未踏波長域の紫外線レーザを実現することを検討する。

- ① AlGaIn結晶の結晶品質を向上させ、それによりレーザ発振に必要な注入キャリア密度を低減する。
- ② 分極ドーピング、超高濃度不純物半導体、トンネル接合という新しい手法を適用することによって、従来実現できないp型AlGaIn結晶の問題を打破する。
- ③ 光励起法や電子線励起法、さらには様々なデバイスシミュレータを活用することによって、上記のデバイスの学理を明らかにする。

平成28年度の取り組みとしては、紫外線レーザ実現に必要な各要素技術の最適化を進めた。具体的には、光励起法や電子線励起法によって定量的なデバイス構造の最適化を進めた。さらに、分極ドーピングの学術的な理解を進め、それらの成果を論文としてまとめ発表した (Toshiki Yasuda, Tetsuya Takeuchi, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano: Relationship between lattice relaxation and electrical properties in polarization doping of graded AlGaIn with high AlN mole fraction on AlGaIn template, Applied Physics Express, 10 025502 (2017).) 以上のように、深紫外半導体

レーザを実現する上で必要な構成要素は揃いつつある。本研究課題では、これらの課題を結晶成長、デバイスプロセス、物性デバイス評価グループに分かれて検討を行い、これを包括的かつ有機的に連携させることによって深紫外A l G a N系レーザを実現することを目的に進める。

なお、マイルストーンとして平成30年度末にUV-B領域の深紫外半導体レーザにおけるパルス発振を達成し、その後平成33年度末には連続発振の実現、さらには発振波長域をUV-C領域まで広げることが目標とする。また、博士研究員を雇用し研究の中核に参画させることで人材育成もはかる。