

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

2018年度 実績報告書
-----------------

岩谷 素顕

名城大学工学部  
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. 研究成果の概要

本研究課題では窒化物半導体材料による AlGa<sub>N</sub> 系材料による未踏領域の紫外レーザを実現することを目的として研究を進めている。さらに、ワイドギャップ半導体におけるキャリア注入法として  $10^{20}\text{cm}^{-3}$  を超える極めて高い不純物濃度を持つ半導体、さらに窒化物半導体材料が有する極めて大きな分極半導体を活用することを検討し、新たなる学理の構築をあわせて目指している。

半導体レーザを実現するためには、①低い注入キャリア密度で光学利得が得られること、②光共振器を形成できること、さらに③レーザ発振に必要なキャリアの注入が必要不可欠である。このような課題を解決するために、①高品質 AlN・AlGa<sub>N</sub> の実現、②デバイス(光学・キャリア注入)設計をはじめとした理論的な解析③分極ドーピング・超高濃度不純物半導体の適用が必要である。これらの課題に対して、名城大学／三重大学／九州大学の 3 研究機関でチームを構成し、各研究課題に対して課題の解決し、最終的に未踏領域の紫外レーザの実現をめざし研究を推進している。平成 30 年度までの代表的な取り組みを各項目ごとに列記する。

### ① 高品質 AlN・AlGa<sub>N</sub> の実現

レーザ発振を実現するためには、非発光再結合中心の低減が不可欠であり、そのためには高品質な下地層となる AlN と AlGa<sub>N</sub> の実現が不可欠である。本研究課題では、三重大学で独自に開発されたスパッタ法で形成した AlN の高温熱処理技術、さらには名城大学で開発した AlGa<sub>N</sub> の成長モード制御法によって、Al 組成が 0.5、膜厚が 5  $\mu\text{m}$ 、転位密度が  $10^8\text{cm}^{-2}$  台の高品質 AlGa<sub>N</sub> を再現性良く作製する技術を確立した。この高品質 AlGa<sub>N</sub> はレーザ発振閾値の低減に極めて有効であり、光励起法による評価によればレーザ発振に必要な閾値パワー密度が 1 桁程度の低減が可能であることが明らかになるなど優れた成果が得られた。これらの成果は、第 45 回(2018 年秋季)応用物理学会講演奨励賞(2 件:上杉 謙次郎および林 侑介)および第 46 回(2019 年春季)応用物理学会講演奨励賞(川瀬雄太)に選ばれるなど学術分野で高い評価を得ている。

### ② デバイス(光学・キャリア注入)設計をはじめとした理論の確立

レーザ発振を実現するためには、光学的な設計とキャリア注入に関するデバイス構造の設計技術が必要不可欠である。特に、本研究で実現を検討する分極半導体や高不純物半導体におけるデバイス構造においては、従来の半導体デバイスシミュレータでは対応できないため、その開発から進めた。また、Konrad Sakowski 博士(Institute of High Pressure Physics, Polish Academy of Sciences, Poland)を九大・寒川研究室に短期招聘(60 日間)し分極ドープ層を持つ構造のデバイスシミュレーションに関する共同研究を開始することや、博士学生を A. Pimpinelli 教授(Rice University, USA)および T. L. Einstein 教授(University of Maryland, USA)の下に短期(48 日間)派遣するなど、国際共同研究のプラットフォームとしての役割も担った。

### ③ 分極ドーピング・超高濃度不純物半導体の適用

①の検討で得られた高品質 AlGa<sub>N</sub> を用いた場合、電流密度が  $10\text{ kA/cm}^2$  を超える動作が実現できればレーザ発振が可能であると考えられる。一方、この波長域を実現可能な材料のバンドギャップエネルギーは約 4~5 eV に相当する。従来の電子物性工学ではバンドギャップエネルギーが 3 eV を超える材料は絶縁体に属するとされており、このような大きなバンドギャップエネルギーを持つ材料で、上述のような大電流密度は非常に困難であると考えられていた。本年の検討で、レー

ザ発振が可能な構造を用いて  $40 \text{ kA/cm}^2$  を超える大電流動作が可能であることを見出した。現在は、これらの技術を組み合わせることによって、世界最短波長紫外レーザの実現、およびこのようにバンドギャップエネルギーの大きな半導体の物理に関する理解を研究チームとして進めている。

【代表的な原著論文】

1. Kosuke Sato, Shinji Yasue, Yuya Ogino, Shunya Tanaka, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, “Light confinement and high current density in UVB laser diode structure using Al composition-graded p-AlGa<sub>N</sub> cladding layer” *Applied Physics Letters* **114**, 191103 (2019).
2. Junya Hakamata, Yuta Kawase, Lin Dong, Sho Iwayama, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Hideto Miyake, Isamu Akasaki, “Growth of High - Quality AlN and AlGa<sub>N</sub> Films on Sputtered AlN/Sapphire Templates via High - Temperature Annealing” *physica status solidi (b)* **255**, 1700506 (2018).
3. Kosuke Sato, Shinji Yasue, Yuya Ogino, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, “Electrical properties of relaxed p-GaN/p-AlGa<sub>N</sub> superlattices and their application in ultraviolet-B light-emitting devices” *Japanese Journal of Applied Physics* **58**, SC1016 (2019).

## § 2. 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 (名城大学工学部 准教授)
- ② 研究項目
  - ・紫外レーザの作製および評価
  - ・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
  - ・AlGa<sub>N</sub>系テンプレートの高品質化