

「新機能創成に向けた光・光量子科学技術」

平成 18 年度採択研究代表者

松岡 隆志

(東北大学 金属材料研究所 教授)

「温度安定性に優れた光通信用 InN 半導体レーザの研究」

## 1. 研究実施の概要

インターネットをはじめとする高度情報化社会の発展のために、通信容量の増大が望まれており、現在までに波長分割多重通信方式(WDM)が実用化されている。WDM には、uncooled laser を用いる波長間隔 20nm の低密度波長分割多重通信方式(CWDM)と、波長間隔 0.4～0.8nm の高密度波長分割多重通信方式(DWDM)とがある。前者では波長間隔の低減による高密度化のために、後者では高精度の波長制御に係わるコストの低減のために、波長の温度安定性に優れたレーザが望まれている。我々は、青色発光ダイオード用材料として知られている窒化物半導体の構成材料である InN のバンドギャップ・エネルギーが既報告値の半分以下であり赤外域にあること、および、フォトルミネッセンス測定から InN の発光効率および発光波長の温度安定性が優れていることを見出した。本研究では、この InN を発光材料とする波長 1.55  $\mu\text{m}$  の分布帰還型(DFB)レーザを実現することを目的とする。DFB レーザは、1981 年に研究代表者が長波長帯において世界で初めて発振に成功し、現在広く用いられている単一縦モード発振するレーザである。本テーマの技術課題は、InN の高品質薄膜成長技術、InN 用基板単結晶の探索、InN の物性把握、DFB レーザ用回折格子の作製、および、InN を発光層とする DFB レーザの構造設計・作製技術である。ここで提案する半導体レーザは、砒素やリンを含まないため、低環境負荷であることも大きな特徴である。

本年度は、InN 薄膜成長装置の整備、InN エピタキシャル成長用新基板結晶作製と回折格子作製に着手、InN 光学評価用極低温フォトルミネッセンス測定系の立ち上げを行った。特に、新基板結晶作製においては、導電性基板として検討しているシリサイド膜の成長に見通しを得た。

## 2. 研究実施内容

本年度は、結晶成長・デバイス化技術、新基板結晶作製技術、回折格子作製技術、および、結晶評価技術を担当する各グループにおいて、以下の成果を得た。

### 【結晶成長・デバイス化技術】

InN エピタキシャル薄膜の結晶性改善のためには、今までに報告されている成長条件の中で成長温度の高温化と高窒素圧印加を可能にするため、既に保有していた有機金属気相成長の炉を縦型から、横型に変更した。それに伴い、ガス配管も変更した。

日々の結晶評価のために、30K～室温まで試料温度を可変できるフォトルミネッセンス(PL)光学系を立ち上げた。約5年前に成長し結晶性が不十分であり、大気中に保管していたInN試料のPLの温度依存性を図1に示す。ピーク強度は通常の化合物半導体と同様に温度上昇とともに減少するのに対して、ピーク波長は通常の化合物半導体とは逆にブルーシフトした。本試料を電子顕微鏡を用いて調べたところ、試料の一部が酸化されており、応力によってこの温度特性が出現した可能性が示唆された。この結果は、従来のInNに関する報告が、酸化による影響を受けていることを示している。酸化されていない領域については、図2に示すように格子像を観察できている。なお、ここで構築したPL光学系にはピーク強度200kWのTi-sapphireレーザを用いており、次年度に計画している光励起レーザ発振実験にこの系を適用できる。

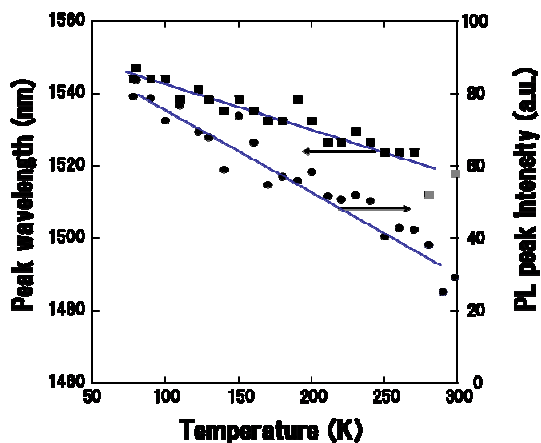


図1 InN 薄膜結晶の PL 温度依存性

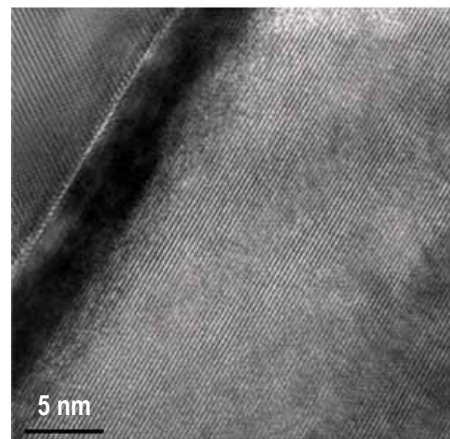


図2 InN 薄膜結晶の格子像

### 【新基板結晶作製技術】

InN 系に格子整合する新たな基板結晶の開発において、今年度は導電性基板開発の一貫としてβ相シリサイドの厚膜作製法について検討を進めた。このβ相シリサイドに相性が良く、作製が容易と考えられる同族のε相シリサイド結晶の合成を先ず実施した。具体的にはブツリジマン法により～10mmφ×20mmの多結晶インゴット育成に成功した。これを研磨して基板に用い、熔融塩不均化反応により厚さ5～20μmのβ相シリサイド多結晶膜を再現性良く得ることができた。図3に断面SEM像を示す(膜厚～20μm)。X線回折から単相であること、熔融塩組成によって成長速度が変わること、など

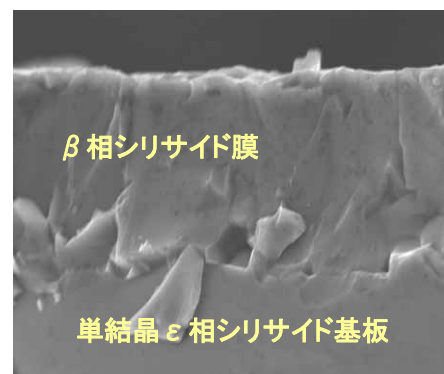


図3 断面SEM像

多くの情報を得た。また、「結晶成長・デバイス化G」により、この不均化反応により成長させた $\beta$ 相シリサイド膜では始めてPLを観測した。PLスペクトルに関しては精緻な報告がなされていないので、今後結晶評価としてそのスペクトル解析を進める。さらに、低指数面基板を用いて結晶性の向上を図る。

本研究課題においてInN系の新基板結晶の他候補とした酸化物結晶に関しては、原料とする酸化物に水分吸収の危惧があることが判ったこと、単結晶化の設備不十分のため、次年度に開始することとした。

### 【回折格子作製技術】

DFBレーザ用回折格子作製に向けて、低コスト化と高スループット化を期待できるナノインプリント法による高アスペクトパターン転写技術を目指して、既存装置の改造に着手した。特に離型時の転写パターン欠陥をなくすために、引張り圧力の微小制御機構を既存ナノインプリント装置に追加するための予備実験を行った。その実験結果をもとに圧力制御部の設計と改造部品を準備した。また、レーザ用導波路の作製技術として、プロセスの非常に容易な紫外線照射方式(UV)ナノインプリント装置を立ち上げ、転写実験を行った。UVナノインプリントの転写手順、モールド、および、Si上に形成されたレジスト転写パターンのSEM像を図4に示す。ストライプ幅100nmの良好なパターンを形成でき、今後の回折格子作製に見通しを得た。また、窒化物半導体のエッチングマスクとして検討している材料の一つであるSpin-On-Glassへのパターン転写実験を行い、モールドとしてSiCを使用することにより高温での転写が可能であることを見いだした。

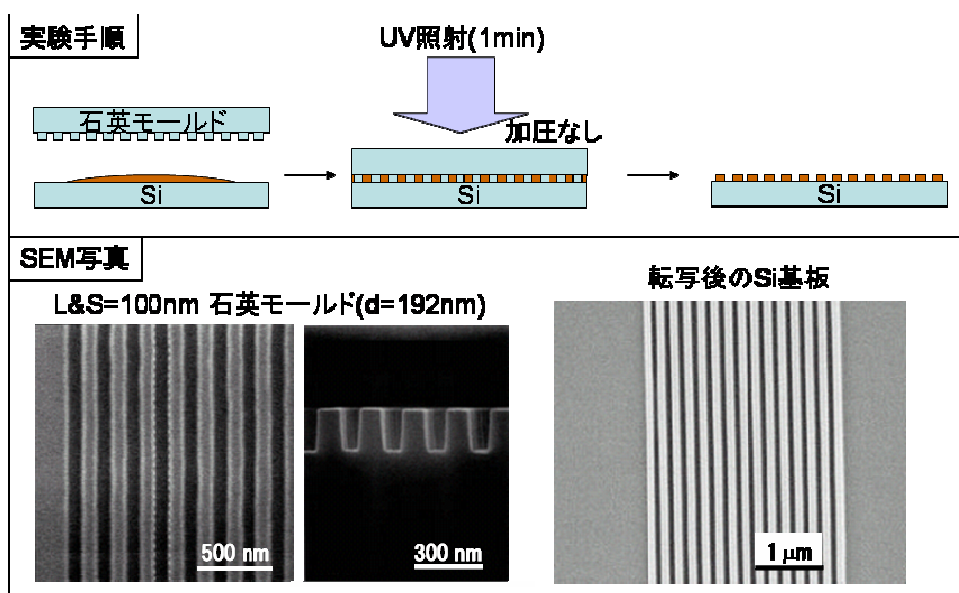


図4 UV ナノインプリント技術のプロセスと転写結果

### 【結晶評価技術】

InN からの発光を  $1.5 \sim 2 \mu\text{m}$  帯で測定可能な  $1.5\text{K} \sim 4\text{K}$  の極低温から室温まで測定温度可変

のフォトルミネッセンス(PL)評価装置を立ち上げた。サファイア基板上 InN について4K での PL 測定を行い、InN からの発光スペクトルを得た。また、レファレンス用として InGaAs の PL 測定も併せて行い半値幅 3.5meV のバンド間遷移による発光を得、測定系の立ち上げとその波長分解能も充分であることを確認した。今後、InN 結晶を用いた極低温における詳細な PL 評価を行い、その結果から InN の結晶性向上に向けてフィードバックする。

### 3. 研究実施体制

松岡 隆志(東北大学 金属材料研究所)グループ

研究項目

- ・ 高品質 InN 単結晶薄膜成長
- ・ 窒化物半導体エピタキシャル成長機構の解明
- ・ InGaN/InN/InGaN ヘテロ構造成長
- ・ InN 分布帰還型レーザの作製

中江 秀雄(早稲田大学理工学術院)グループ

研究項目:新基板結晶作製技術

- ・ InN 系に対する格子不整合~5%以下の基板結晶の開発と作製

横山 士吉/益子 信郎((独)情報通信研究機構)グループ

研究項目:回折格子作製技術

- ・ ナノインプリント技術構築
- ・ InN 分布帰還型レーザ用回折格子付き基板の作製

五明 明子(日本電気(株))グループ

研究項目:結晶評価

- ・ InN 光物性評価
- ・ InGaN/InN/InGaN 積層構造の界面評価