

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 温度安定性に優れた光通信用 InN 半導体レーザの研究

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

松岡 隆志 (東北大学 金属材料研究所 教授)

主たる共同研究者

播磨 弘 (京都工芸繊維大学工芸科学研究科 教授) (平成 21 年 4 月～平成 24 年 3 月)

中江 秀雄 (早稲田大学理工学部物質開発工学科(兼 材料技術研究所) 教授)

(平成 18 年 10 月～平成 24 年 3 月)

益子 信郎 ((独)情報通信研究機構 総合企画部長) (平成 19 年 1 月～平成 21 年 3 月)

横山 士吉 ((独)情報通信機構未来 ICT 研究センター 特別研究員)

(平成 18 年 10 月～平成 18 年 12 月)

五明 明子 (日本電気(株) ナノエレクトロニクス研究所 主任研究員)

(平成 18 年 10 月～平成 19 年 7 月)

3. 研究実施概要

本研究課題は、バンドギャップ・エネルギーの温度安定性が高いことが期待されている InN を用いて、現在の光通信において用いられる単一縦モード発振レーザである分布帰還型(DFB)レーザに関する研究である。研究開始当初のチーム構成は、「薄膜結晶成長・デバイス化技術」グループ(東北大)、「新基板結晶作製技術」グループ(早稲田大)、「回折格子作製技術」グループ(情報通信機構)、および、「ヘテロエピタキシャル成長機構の解明と結晶評価」グループ(日本電気 基礎・環境研究所)であった。各グループのミッションは、それぞれ、本研究の中心材料である InN 薄膜のエピタキシャル成長とその素子化、エピタキシャル成長において基本となる格子整合基板材料の探索と基板作製、および、DFB レーザ用回折格子の作製技術の確立である。19 年度途中で、会社都合により、日本電気 基礎・環境研究所は離脱した。InN 薄膜の物性評価を強化するために、21 年度から新たに「薄膜光学物性評価」グループ(京都工芸繊維大)を加えた。中間評価の段階で InN エピタキシャル成長に関する技術の進展が計画より遅れていたことから、本研究の最終目標であった DFB レーザの作製から 1.55 μm で発光する LED の作製に減縮した。それに伴い、研究項目を絞るため、同じ窒化物半導体である GaN エピタキシャル薄膜に回折格子を形成できる段階に至っていた「回折格子作製技術」の研究を平成 21 年度末に中止した。

「薄膜結晶成長・デバイス化技術」グループでは、気相・固相間の窒素平衡蒸気圧に打ち勝ち、エピタキシャル成長に重要なステップ成長を促進できる加圧下でのエピタキシャル成長を行うために、20 年来の窒化物半導体のエピタキシャル成長の経験を活かして、加圧型有機金属気相成長装置を開発した。成長時に気相から供給される窒素を捕獲しやすくするために、通常窒化物半導体の世界で用いられている Ga 極性と逆の N 極性成長を採用した。一般に、N 極性成長は難しいとされているが、本グループでは Ga 極性成長以上の結晶性の N 極性 GaN 成長技術を実現できていることにより、初めてこの選択が可能となった。この結果、サファイア基板上に、表面がほぼ平坦な InN 薄膜の成長が可能となった。

「薄膜光学物性評価」グループにおいて、ラマン散乱分光法の測定とその解析を詳細に行い、加圧雰囲気中で成長することによって結晶性の向上を確認した。しかし、1～2気圧成長の場合に対して、3気圧成長では成長条件によっては立方晶 InN が混入しやすいことを確認した。高品質結晶を得やすい3気圧において、原料供給比(V/III比)、膜厚依存性および成長温度依存性を調べた結果、純粋な六方晶 InN は比較的高温域で成長しやすく、さらに窒素とインジウムとの原料供給比すなわち V/III比が高いとき、成長速度が遅いとき、立方晶が混入しにくいことを明らかにした。この評価に基づいて、成長条件を吟味し、六方晶だけからなる InN 薄膜成長に成功している。

「新基板結晶作製技術」グループでは、InN に対する格子不整合が5%以下の新基板結晶材料として、研究開始当初、 β -FeSi₂とREInO₃(RE: La, Nd)を取り上げた。しかし、結晶成長上の種々の問題から、大型結晶成長の可能性を見出せなかった。これらに代えて、InN との格子不整合性1%以下を期待できるREBGeO₅(RE: La, Pr)を新たに発案し、単結晶育成を実施した。LaBGeO₅やPrBGeO₅を選定し、直径～10mm および長さ～20mm の単結晶育成に成功した。{0001}面基板を作製、InN 薄膜成長MOVPEにおける対アンモニア耐性、InN 薄膜堆積を「薄膜結晶成長・デバイス化技術」グループで検討して{0001}InN 膜の成長を確認、基板としての可能性を明らかにした。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

研究課題の目標は「温度安定が不要であり、高効率で発光し、無毒な材料からなり低環境負荷であるInNを発光材料とする通信用単一縦モード発振半導体レーザーの研究」である。研究代表者はそのために①高品質 InN 薄膜成長、②バンドギャップエネルギーの温度安定性の検証、③成長温度の異なるGaN/InN/GaN の成長技術、④InN と格子整合する単結晶基板の作成と進め、それを使った良品質のInNによるLED発光の実証を目的とした。現在までのところ、②のInN結晶の温度安定性は実証されたが、③は、未だ良品質のInN 薄膜の作成には成功していない。もちろん、加圧成長という新しい方式の開発は簡単ではなく、時間がかかることも理解できる。さらに東日本大震災に遭遇し、鍵となる研究者が帰国、研究チームから離脱するという事態に立ち至って、予定が遅れたことは残念である。ただし、研究の進展を見ると、すべてをInNの良質結晶の作成に重点をおきすぎたと言わざるを得ないところがある。

ラマン分光で判明し、その後の X 線回折で確認されたジंकブレンド型結晶の混入は、結晶作成研究者ならば、当然、あり得ることと予想する必要があった。完成された結晶育成を別にすれば、新結晶の育成では2次フェーズ結晶の存在は当然である。その確認が遅れたことは本研究の進展を遅らせた大きな原因である。

LED、LD が開発可能かどうかは、p型、n型の形成を待たなければ、InN の結晶品質だけでは評価できない。しかし残念ながら現時点では、結晶自身の品質が半導体レーザー開発のレベルに達したとは評価できない。

良質の結晶育成のためには、格子整合性の良い基板結晶が必要で、早稲田グループによる LaBGeO₅結晶の作成に成功したものの、時間を要しており、InN のエピタキシャル成長の兆しが観測されたものの、未だ、明確ではない。 β -FeSi₂の5mm 育成に見切りをつけたことや、GeO₂の蒸発の結果、LaBGeO₅の格子定数が減少するなど、問題点を見出したこと、は評価できるが、研究目的からいえば、依然として中間状態にあるといえる。

以上、全体として、本研究が確実に目的を達成できるかどうか、現時点では未確定といわざるを得ず、多くの成果を含みつつも、達成度は不足していると評価せざるを得ない。

結晶育成は困難な研究で、論文を書いて発表することの意味や受ける評価が他分野とは異なる。これらを含みおいたとしても、論文発表が少ないことは残念であると言わざるを得ない。また、引用データを見てもそれほど多いとはいえないが、だからといって本研究の価値が小さいということを必ずしも意味するわけではなく、競争者が本研究に追随する成果を出すまでには至っていないと考えられる。今後まっとうな成果が出て、InNの発光デバイスが開発されると、現在のような事態も変わると期待したい。

新材料開発のための新手法の開発を行っている点から見ると、国内特許の出願が1件では十分であると評価しにくい。一方、LBGO 結晶の育成では、新しい手法が開発され、民間企業に技術移転をしており、特許実施許諾などが交渉中であるとされている。これは実用的な研究であるので、この後、期待したい。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

研究目標が未だ未達成で、LED開発の前段階にとどまっており、現時点ではインパクトがそれほど大きいとはいえない。結晶の育成において加圧成長法が有望なことを示していることは、他の類似研究をリードし

ている。ただし、従来とは異なる成長条件であるので、条件が絞り込まれるまでは様々な問題が発生することが予想され、これらを解決して初めて研究のインパクトが発生するものなので、現時点ではその技術的インパクトを評価するには早すぎる。

当初の計画より研究の進展は遅れたが、格子整合性の良い結晶育成もできて、民間企業に技術移転をしているので、良い基板の上に良質の **InN** 薄膜結晶を育成できる可能性は多い。研究課題自身は重要なので、この後の発展に期待したい。そのためには、きちんとした研究を積み上げて、機構解明から質の向上につなげる姿勢が望まれる。

4-3. 総合的評価

研究領域の趣旨には十分合致した研究である。当初目標に比べ成果が十分とはいえないが、良質結晶成長条件の手がかりを得ており、新基板材料の結晶成長に成功するなど、この分野の研究を行っている他機関を超える成果も得られていることから、一定の評価できると考えられる。

一方で、東日本大震災による被害が大きく、評価は難しい側面もある。ただ、中間評価から東日本大震災に至る2年間の成果については、我が国を代表する拠点形成のために多額の研究費が措置されている **CREST** 研究として、幾分物足りなさを感じる。材料研究は、息の長い研究であるので、**CREST** 終了後の成果に期待したい。