

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	FAIZULSALIHIN BIN ABAS (ふあいずるさりひん びん あばす)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1316 号
○授与年月日	2019 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Indium nitride growth with in situ surface modification by RF-MBE (RF-MBE 法による in situ 表面改質を用いた窒化インジウム成長)
○審査委員 (主査)	荒木 努 (立命館大学理工学部教授) 峯元 高志 (立命館大学理工学部教授) 今井 茂 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

窒化インジウム (InN) は高速電子デバイス、長波長光デバイス、高効率太陽電池、熱電変換デバイスなど様々な用途において非常に有望な材料である。しかしながら、InN 中には非常に高密度の貫通転位が結晶欠陥として存在し、デバイス実用化を阻む最大の要因となっている。本論文では、分子線エピタキシー法 (RF-MBE: Radio Frequency Molecular Beam Epitaxy) を用いて InN の貫通転位密度を低減する成長手法について述べている。第 1 章では、窒化物半導体の特徴および InN 成長における課題を明確にし、本研究の意義と目的を述べている。第 2 章では本研究で用いた結晶成長手法である RF-MBE 法について、第 3 章では成長した InN の結晶工学的、電氣的、光学的特性の評価技術について述べている。第 4 章では、窒素ラジカル照射 InN テンプレート上への InN 再成長の結果を透過電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscopy) による転位の観察結果とともに述べている。第 5 章では各種成長条件を変化させた際の転位低減効果への影響を述べ、第 6 章で結論をまとめている。

本論文では、InN 中の貫通転位密度低減のための新しいアプローチとして、RF-MBE 成長中 in situ にて窒素ラジカル照射を適用して InN の表面モフォロジーを改質し InN を再成長させる手法を提案している。本手法を用いることで、InN の貫通転位密度を約 3 分の 1 に減少できたことを確認している。また TEM による転位観察を詳細に行い、転位密度低減が実現されているメカニズムを明らかにしている。さらに本手法の特徴でもある窒素ラジカル

ビーム照射による *in situ* 表面改質の繰返し効果についても検討し、段階的に転位低減効果が得られることも示している。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文は、InN 薄膜中の結晶欠陥（貫通転位）を低減するための新しい手法を提案するとともに、その転位低減メカニズムの解明と転位低減効果に影響を与える成長条件の検討を行っている点に特徴がある。また本論文は以下の点で高く評価できる。

(1) 従来の InN の転位低減手法は、マスクプロセスや化学エッチングなどの前処理が必要でありプロセスが煩雑であったが、本論文で提案する窒素ラジカル照射による InN 表面改質は、*in situ* で InN 成長中に行うことができ、成長プロセスの簡便化が可能である。またナノコラムや選択成長によって得られる低転位領域はサブミクロン領域に限られていたが、本手法は試料全面に適用可能であり、広範囲で転位密度の低減が期待できる。

(2) 本手法で成長した InN の貫通転位密度を TEM 観察で評価した結果、約  $2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  から  $6 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$  まで約 3 分の 1 に減少していることを確認している。デバイスの実用化にはさらなる転位密度の低減が求められるが、新しい手法による貫通転位密度低減効果を実証した意義は大きい。

(3) TEM 観察において電子線回折条件を制御することで転位観察を詳細に行い、転位密度低減が実現されているメカニズム（再成長界面で湾曲、融合、消滅）を明らかにしている。さらなる転位密度低減に有効な転位の挙動を導くための指針を示したものとして高く評価できる。

(4) 窒素ラジカル照射+InN 再成長のプロセスを繰り返すことによって、転位密度の低減が段階的に可能であることを明らかにしている。成長膜厚や温度など成長条件の最適化は必要であるが、本手法の拡張性を示すことにも成功している。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、審査委員会は本論文が本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の公聴会は、2019年2月6日（水）10時00分～11時00分ウエストウイング1階電子システム系演習室において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 FAIZULSALIHIN BIN ABAS に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、InN の優れた物性値の起源、提案技術による転位低減のメカニズム、従来の転位低減技術との比較、発光スペクトルの強度変化などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。審査委員会は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、審査委員会は、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。