

審査の結果の要旨

論文提出者 カントーンキッティクン チャイヤスイット

本論文は, "GaN/AlN Multiple Quantum Wells and Nitride-Based Waveguide Structures for Ultrafast All-Optical Switch Utilizing Intersubband Transition(サブバンド間遷移超高速全光スイッチに向けた GaN/AlN 多重量子井戸及び窒化物系導波路構造に関する研究)" と題し, 窒化物系の光ファイバ通信波長帯サブバンド間遷移(intersubband transition, ISBT)デバイスに向けた量子井戸の成長, 導波路構造の作製, 超高速全光スイッチ動作の評価検証を行った結果について英文で纏めたもので, 7章より構成されている.

第1章は序論であって, 研究の背景, 動機, 目的と, 論文の構成が述べられている. 量子カスケードレーザ等, 量子井戸のサブバンド間遷移を利用したデバイスは光エレクトロニクスに新たな可能性をもたらしているが, 光ファイバ通信に適用するためには, サブバンド間エネルギー差の大きな材料系を使う必要がある. 窒化ガリウム(GaN), 窒化アルミニウム(AlN)をベースとする量子井戸構造は, 1.3~1.55 μm 帯のサブバンド間遷移波長を実現することのできる有力候補である. 本論文の目的は, 窒化物系 ISBT 量子井戸の形成技術を確立するとともに, GaN/AlN 導波路構造を研究し, その結果をもとに窒化物系光ファイバ通信帯サブバンド間遷移超高速全光スイッチを実現することにある.

第2章は"Epitaxial growth of GaN/AlN multiple quantum wells"と題し, 本研究の基盤となる GaN/AlN 多重量子井戸構造のエピタキシャル成長について論じている. GaN バッファ, シリコンドープ GaN, GaN/AlN 多重量子井戸の有機金属気相エピタキシー(MOVPE)と特性評価について述べた後, GaN 中間層の挿入による GaN/AlN 多重量子井戸の高品質化, 分子線エピタキシー(molecular beam epitaxy, MBE)により成長された GaN/AlN 多重量子井戸の評価について論じ, 最後に MOVPE 成長と MBE 成長のヘテロ界面急峻性の比較検討を行っている.

第3章は"Measurements of intersubband absorption in GaN/AlN multiple quantum wells"と題し, 2章で作製された各種 GaN/AlN 多重量子井戸においてサブバンド間吸収を観測したことについて論じている. まず初めにサブバンド吸収の観測に用いたいくつかの計測技術について述べた後, MOVPE で成長した GaN/AlN 多重量子井戸におけるサブバンド間吸収の井戸幅依存性, 内部電界の効果, 低 V/III 比による多重量子井戸品質の向上, MOVPE 成長 GaN/AlN 多重量子井戸における最短吸収波長(2.3 μm)を記録したことについて述べている. 次に, MBE 成長 GaN/AlN 多重量子井戸サンプルにおける 1.55 μm 光吸収と低キャリア濃度の場合の光吸収の挙動について論じた.

第4章は"Fabrication and characterization of GaN-based waveguide structures"と題し, 全光スイッチの基礎として GaN をベースとした導波路構造の設計と試作について論じている. GaN をクラッドとした多重量子井戸の場合, AlGaIn をクラッドとした多重量子井戸の

場合について、リッジ導波路、ハイメサ導波路のそれぞれについて、十分な光閉じ込めを実現する構造を設計した。次に導波路を作製するドライエッチングプロセス技術を確立し、これを適用してハイメサ導波路構造を作製したことにつき述べている。さらに、作製された導波路をスーパーコンティニューム光源を用いた新たな方法で特性評価した結果について記している。その結果、MOVPE 成長による導波路では MBE 成長のものに比べ TM 偏光に対する損失が相当小さくなること、MOVPE バッファ層の上に MBE 成長でコアを形成した場合には、MOVPE 成長導波路と同程度まで TM 偏光損失を低減できること、内部電界の低下による吸収波長のレッドシフトが生じること、等がわかった。

第 5 章は "Fabrication and characterization of AlN-based waveguide structures" と題し、本研究の特徴である AlN ベース導波路構造の設計、成長、作製について述べている。まず本研究でなぜ AlN ベース導波路を提唱するかの理由について述べた後、AlN ベース導波路構造の設計について論じ、高い光閉じ込めの実現できることが示されている。さらに、MOVPE による高品質 AlN の結晶成長技術について論じた後、AlN のドライエッチング技術を確立して低損失のハイメサ導波路の作製に成功したことについて記している。

第 6 章は "Fabrication and characterization of ultrafast all-optical switch utilizing intersubband transition" と題し、本研究の目的であるサブバンド間遷移超高速全光スイッチを 2-5 章の結果をもとに作製したことについて述べている。まず MOVPE 成長 AlN 上の MBE 成長 GaN/AlN 多重量子井戸の形成と評価について記し、そのような多重量子井戸を内包する AlN 導波路におけるサブバンド間吸収を観測したことについて述べている。AlN 上に量子井戸を形成することにより内部電界が変化し、吸収波長シフトが消失した。同素子において波長 $1.3 \mu\text{m}$ 帯のサブバンド間遷移光スイッチ動作が初めて得られ、7dB の消光比が 120pJ の制御光パルスエネルギーで達成された。さらに AlN 上に成長された GaN/AlN 多重量子井戸の吸収波長を井戸・障壁層幅をチューニングして $1.55 \mu\text{m}$ 帯にあわせこみ、波長 $1.55 \mu\text{m}$ での超高速全光スイッチ動作に成功した。3dB の消光比を得るのに必要な制御光パルスパワーは 8pJ、10dB 時には 90pJ と、従来の GaN 導波路ベースの全光スイッチに勝る値を得ている。

第 7 章は結論であって、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように本論文は、窒化物系サブバンド間遷移に関し、MOVPE 結晶成長技術による GaN/AlN 多重量子井戸サブバンド間吸収の最短波長を記録するとともに、厚膜 AlN をベースとした光導波路を有する超高速全光スイッチを MOVPE/MBE ハイブリッド成長により世界で初めて作製し、 1.3 および $1.55 \mu\text{m}$ 帯におけるサブバンド間遷移全光スイッチ動作を、これまでで最小の制御光パルスエネルギーで達成したもので、電子工学分野に貢献するところが多大である。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。