

審査の結果の要旨

論文提出者 ソダーバンル ハッサネット

本論文は、"Metalorganic vapor phase epitaxy and fabrication of 1.5 μm GaN/AlN MQWs intersubband all-optical switches (1.5 μm GaN/AlN 多重量子井戸サブバンド間遷移全光スイッチの有機金属気相エピタクシーと作製)"と題し、有機金属気相エピタキシャル成長(MOVPE)による光通信波長帯でのGaN/AlN量子井戸サブバンド間遷移実現とその全光スイッチ素子への応用を目指して行った研究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。

第2章は"GaN/AlN MQWs by conventional MOVPE"と題し、通常のMOVPEでは、GaN/AlN量子井戸におけるサブバンド間遷移(ISBT)は2.4 μm までしか短波長化できないこと、その原因が高温成長による界面の劣化であること、これを改善するために成長温度を下げると今度は十分なキャリア密度を得られなくなりサブバンド間吸収自体が観測されなくなること等、従来のMOVPE技術の限界について、実験的に得られた結果を用いて論じている。

第3章は"GaN/AlN MQWs grown by pulse injection method on AlN buffer"と題し、上記の問題を解決する新たなMOVPE技術について論じている。低温成長でキャリア密度を確保するためにパルスインジェクション法が有効であることを示した後、成長温度とAlGaN中間層が与える影響を調べ、多重量子井戸界面の急峻性向上がISBTの短波長化に、GaN井戸の圧縮歪みがISBTの強化に夫々繋がることを明らかにした。また界面の急峻性と均一性がISBT吸収線幅の狭窄化に、反応炉圧力の増加がISBTの強化に夫々有効であることも分かった。これより、成長温度として800~860 $^{\circ}\text{C}$ 、圧力として100mbarが最適で、AlN障壁層は極力格子緩和させるかGaN井戸を圧縮するかした構造にし、下地となるAlGaN中間層のAl組成は多重量子井戸の平均Al組成より若干小さくした構造が最適であると結論した。

第4章は"Optimization of MQWs structure for fabrication of AlN waveguide with GaN/AlN MQWs core"と題し、GaN/AlN量子井戸をコアとする導波路を作製するに必須の上側クラッド層構造の最適化について論じている。上側クラッド層に用いる窒化シリコン膜の誘因する伸張歪みがピエゾ電界の変化をもたらすISBT特性を劣化させること、この歪みを補償するために、格子定数の小さいAlN層を量子井戸と窒化シリコン膜の間に挿入することが有効であること、その厚さおよび成長条件としては100 nm, V/III比500, 850 $^{\circ}\text{C}$ が最適であること、等を見いだした。

第5章は"Fabrication of AlN-based waveguide with GaN/AlN MQWs absorption core"と題し、前章までの結果に基づいて実際にGaN/AlN多重量子井戸コアを有するAlNベースのリッジ導波路およびハイメサ導波路を設計・試作した結果について論じている。400 μm 長の試作素子において、波長1.5 μm 帯における21dBの強いISBT吸収を達成した。さらに、光パルス幅0.4psのパルスレーザを用いてISBT吸収飽和を測定し、リッジ導波路素子において消光比14dB、挿入損失15dB、115pJの入射光パルスに対し吸収飽和量5dBを、またハイメサ導波路素子において消光比13dB、挿入損失24dB、145pJの入射光パルスに対し吸収飽和量3dBを、夫々観測した。

第6章は"Fabrication of AlN-based optical waveguide integrated with spot-size converter"と題し、導波路結合効率を高めるために水平方向のスポットサイズ変換器を集積した素子を設計、試作した結果について論じている。125pJの入射光パルスに対し5dBの吸収飽和量が得られたが、エッチング時の損傷に起因する過剰損失の影響で、前章のリッジ導波路素子の性能を上回ることができていない。しかし光閉じ込めが向上していることによって吸収飽和の立ち上がりは早く、より大きな入射エネルギー下ではリッジ導波路素子の性能を上回ることが予測された。さらなる高性能化のためには、垂直方向のスポットサイズ変換器を同時に備える必要のあることを指摘している。

第7章は結論であって、得られた成果を総括するとともに将来展望について述べている。

以上のように本論文は、有機金属気相エピタキシャル成長によるGaN/AlN量子井戸の光通信波長帯でのサブバンド間遷移の実現が困難である原因を究明し、低温パルスインジェクション成長とAlGaN中間層の導入によって1.5 μm 帯の強いサブバンド間遷移光吸収を達成し、さらに素子試作上必要な窒化シリコンクラッド層の歪みがサブバンド間遷移光吸収に及ぼす影響と解決策を見だし、最後にこれらを総合したスポットサイズ変換器付きAlN導波路全光スイッチの設計と試作を行って、実際にサブバンド間遷移光吸収飽和を観測したものであって、電子工学分野に貢献するところが少なくない。

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。