

審査の結果の要旨

論文提出者 財津 優

本論文は“Polarization Control inside Photonic Integrated Circuits Using InP Half-Ridge Polarization Converters (InP ハーフリッジ型偏波変換器を用いた光集積回路内偏波制御)”と題し、光集積回路に向けた新しい導波路型偏波変換器の提案と特性解析、設計、試作、評価を行い、新たな集積素子の可能性を検討した成果について英文で纏めたもので、8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。最近の光通信と集積フォトニクス技術の動向を述べた後、これまで報告された偏波制御デバイスについてまとめている。

第2章は“Analysis and design of photonic devices”と題し、導波路型光デバイスを解析、設計するための基礎理論について述べている。スラブ導波路解析と、有限差分法による断面固有モード解析を通じて、誘電体導波路における固有モードの概念について論じた後、ジョーンズベクトル、ストークスパラメータ、ポアンカレ球に基づく光波の偏波状態の記述方法について述べている。次に、複屈折媒質を用いた偏波変換の原理について論じている。

第3章は“Device fabrication”と題し、InPとその混晶をベースとする光デバイスの作製技術について論じている。本研究で用いる結晶成長技術（特に能動・受動素子集積化技術）、薄膜堆積技術、光および電子線リソグラフィ技術、湿式および乾式エッチング技術、リフトオフ技術について詳述している。

第4章は“InP half-ridge polarization converter”と題し、本論文の主題である非対称ハーフリッジ型偏波変換器の提案と動作原理、設計、試作、特性評価について述べている。非対称ハーフリッジとは、導波路の一方の側面がリッジ構造、もう一方の側面が深堀りハイメサ構造を有する非対称導波路のことである。基板傾斜堆積法を採用することで、自己整合的に非対称ハーフリッジ構造が形成できることを見出している。光通信のCバンド全域に相当する広い波長範囲にわたり、96%以上の偏波変換効率を実現している。さらにデバイス長を $150\mu\text{m}$ と短く設定することで、挿入損失を1.0dB以下に抑えている。この実験結果は、数値シミュレーションによる予測と極めて良い一致を示した。

第5章は“Optimization of the half-ridge structure”と題し、4章で得られた実験結果の分析を通じて、ハーフリッジ構造の最適化を行った結果について述べている。ハーフリッジ偏波変換器のリッジ側の側面にスロープを導入することで、偏波変換器の導波路幅の許容範囲を2倍に拡大できることを明らかにした。この最適化構造を確実に作製するための新規の積層構造と、乾式・湿式ハイブリッドエッチング技術を提案している。

第6章は“Integration of half-ridge polarization converters with active photonic devices”と題し、ハーフリッジ偏波変換器と半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier; SOA)を集積化した結果について述べている。受動素子と能動素子をモノリシック集積化するために、ここではオフセット量子井戸構造を採用している。素子に入射したTE偏光がSOAによって増幅され、ハーフリッジ偏波変換器でTM偏光に変換されることを実証している。1/2ビート長である $90\mu\text{m}$ の素子において、86.6%という大きな変換効率を達成した。

第7章は“Integrated polarization modulator”と題し、ハーフリッジ偏波変換器と受動導波路変調器から成る導波路型任意偏波状態合成器を提案している。電気光学効

果に基づく屈折率変調は，被変調光の偏光状態すなわち TE モードか TM モードかに依存するので，対称導波路における複屈折は外部電界により制御可能である．これを利用すると，集積レーザ光源からの TE 偏光を，二つの $1/4$ ビート長ハーブリッジ偏波変換器と，二つの対称導波路変調器によって，任意の偏光状態に変換することが原理的に可能であって，光集積回路に新たな展開をもたらすデバイスとして有望である．

第 8 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，InP 系光集積回路において，偏波を変換する新規かつシンプルな導波路型光素子を提案し，動作解析と設計を行うと同時に，その作製技術を開発して実素子を試作し，予測通りの良好な偏波変換特性と低損失性を実証した．さらに同偏波変換器と半導体光増幅器との集積素子を試作して能動素子との集積化が可能であることを示し，同偏波変換器に基づく新しい集積任意偏波合成デバイスを提案したもので，光集積回路に偏波という新たな自由度をもたらした貢献は大きい．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．