

氏名(本籍)	いけ だ なお き (茨城県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4260号		
学位授与年月日	平成19年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	AlGaAs系2次元フォトリック結晶のナノ加工プロセスと超高速全光素子への応用に関する研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	浅川 潔
副査	筑波大学教授	理学博士	秋本 克洋
副査	筑波大学教授	工学博士	山部 紀久夫
副査	筑波大学教授	工学博士	伊藤 雅英
副査	筑波大学助教授	工学博士	岡田 至崇

論文の内容の要旨

近年注目されるフォトリック結晶(PC)とは、光の半波長程度の周期的屈折率変調構造であり、光に対するバンド構造いわゆるフォトリックバンドを形成する。光の波長領域で禁制帯を有するPCは、損失なく急峻に光を曲げる光導波路を可能にするため、超小型の光集積回路への応用が期待されている。本論文は、将来の光ネットワークにおける超高速・大容量の光信号処理を目指し、2次元フォトリック結晶(2D-PC)の高精密ナノ加工技術および全光制御デバイスへの応用に関する研究をまとめたものである。対象の光波長を $\lambda = 1.3 \sim 1.55 \mu\text{m}$ 帯、導波路材料をGaAs及びAlGaAs、構造の周期を300~450nm、最小の形状サイズを50nmにそれぞれ設定し、PC導波路のナノ加工技術、および計算機シミュレーションを含む全光スイッチの設計・評価技術に関して、実用的な見地からの多くの知見を得た。

まず、高精密ナノ加工プロセスに関する研究では、第1ステップとしての電子ビーム描画において2D-PCに有効な精密近接効果補正技術と、レジスト薄膜化による最小寸法50nm以下の高解像度を有する2D-PCパターン形成技術を確立した。第2ステップとしての反応性イオンビームエッチング(RIBE)では、GaAs/AlGaAs基板に対し、プラズマ・パラメーターと加工深さ・垂直形状との関係を明らかにし、特に独自の発見であるイオン電流モニター法により垂直平滑加工の最適化が容易となる精密制御技術を確立した。ついで第3ステップとして、3次元光閉じ込めに有用なエアブリッジと呼ばれるスラブ構造に対し、これの形成に必要な選択ウェットエッチングの最適化を行った。ここでは、GaAs/AlGaAs/GaAs多層膜基板の下層AlGaAsクラッド層を平滑に除去するプロセス及び薄膜組成の最適化条件を見出すことによって、世界最小(GaAs系)の伝搬損失をもたらすスラブ導波路の形成が可能となった。

一方、超高速全光素子への応用に関する研究では、第1のデバイスとして、PCを用いた対称マッハ・ツェンダー型超小型・超高速全光スイッチ(PC-SMZ)において、構成要素の要である波長依存型方向性結合器の最適設計技術を確立した。本技術により極微小(300 μm ×600 μm)のPC-SMZを作製して超高速(20ps)、低エネルギー(100fJ)で動作する全光スイッチを実証した。第2のデバイスとして、ヘテロPC導波路型AlGaAs光双安定素子を提唱し、低群速度効果によりAlGaAsの光非線形効果を増強し、強い光閉じ込めが

発現する DFB 構造による低エネルギーでの双安定動作を実証した。第 3 のデバイスとして、2D-PC 導波路と光ファイバーの結合効率の改善を目指す平面レンズ型光結合構造を提唱し、シミュレーション解析を踏まえた設計により、従来の単純ヘキカイ端面に比べ 10dB の透過率向上、端面反射の大幅な抑制、光軸調整の容易さ等、優れた特性を実証した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

ともすれば理論計算のみに終始しがちな多くのフォトニック結晶の研究の中で、本研究は、ps レベルで動作する超小型の超高速全光スイッチ (PC-SMZ) という明確なデバイス目標のもとに、基盤技術である 2D-PC の精密ナノ加工の最適化技術を確立した。このことの直接的な貢献は、世界最小レベルの低損失導波路を実現したことであり、光集積回路技術の発展にとって重要な研究成果であると言える。また、本ナノ加工技術の確立が、PC-SMZ のデバイス実証や光双安定素子の新提案と実証に貢献したことは、今後さらに多くの新光デバイス創出の希望を世に与えるものであり、光システム・デバイス技術者には明るい将来展望が開け、大きな励みとなる。多大な時間と労力を必要とする地道なナノ加工・プロセス技術の研究開発成果が、新デバイスの創出を促すことの好例であり、材料の科学技術者が高く評価されるべきものである。

よって、著者は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。