

審査の結果の要旨

論文提出者 葉 富昌

本論文は，"Fabrication of Monolithically Integrated Interferometer Switches by Selective Area MOVPE and their All-Optical Signal Processing Applications(選択 MOVPE によるモノリシック集積干渉計光スイッチの作製とその全光信号処理への応用)" と題し，有機金属気相エピタキシー(metal-organic vapor phase epitaxy, MOVPE)選択成長に基づく 1.55 μm 帯 InP 系全光スイッチ集積回路の設計，試作および特性評価を行った結果について英文で纏めたもので，6 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．光通信の高速化にともなって，時分割多重信号分離などの処理を光領域で行う「全光信号処理技術」が重要性を増している．本論文の目的は，MOVPE における選択成長技術に依拠して，モノリシック集積化全光スイッチ回路を作製し，その全光信号処理への応用を実証せんとするものである．

第 2 章は"Selective area MOVPE for monolithic integration"と題し，光集積化のいくつかの異なるアプローチを比較した後，本研究における光集積回路作製の基盤となる選択 MOVPE 技術自体について論じている．マスク幅が段階的に変化するテストパターンを数種類用意し，選択成長を実際に行って，成長層のフォトルミネッセンス(PL)波長をマスクに挟まれた領域，マスク外側の領域のそれぞれについて横方向に，またマスクに挟まれた領域を軸方向に走査測定し，選択成長の挙動を詳細に解析した．その結果を基に選択成長パラメータの最適化を行って，全光スイッチ回路作製に必要な 4 つの異なる PL 波長を，一回の結晶成長で得ている．

第 3 章は"Design and fabrication of all-optical switch"と題し，本研究の主題である全光スイッチ回路の設計と作製について論じている．まず半導体光アンプ(semiconductor optical amplifier, SOA)とマッハツェンダー干渉計(Mach Zehnder interferometer, MZI)を構成要素とする全光スイッチ回路の動作原理について述べた後，今回の光回路で用いられる SOA，位相シフター，光プリアンプ，多モード干渉合分波器，受動導波路の設計指針を論じている．次に，これら能動および受動デバイスが各々必要とする異なるバンドギャップエネルギー領域を選択成長で一括形成するためのマスク設計と集積化のトレードオフが述べられている．続いて，実際に用いた作製プロセス，即ちエピタキシー，導波路形成プロセス，電極作製プロセスについて詳述し，さらに選択成長による光集積回路作製の収率について論じている．本研究で得られた素子収率は，この規模の光集積回路としては格段に高いものと言える．

第 4 章は"Characterization of Mach-Zehnder interferometer switches"と題し，3 章で作製された素子の静特性を中心に詳細に測定評価した結果について記している．選択成長で

形成された SOA を利得領域とする半導体レーザ並びに集積化 SOA の注入電流対光出力特性，SOA レーザのスペクトル解析，SOA レーザのアルファ因子測定，SOA のダイオード電気特性についてそれぞれ述べた後，全光スイッチ回路の電流制御光スイッチング特性が示され，そこでは 120mA で 14 の位相シフト量と最大 12dB の消光比が得られている．一方集積化位相シフターにおいては，1dB 以下の挿入損失，9mA での位相シフト，位相調整による消光比の拡大等が実証された．集積化光プリアンプの特性とそれを用いた全光スイッチング特性が続いて評価され，プリアンプにより全光スイッチ動作に必要な光パワーが 10dB 低減できることが示された．また，受動導波路の特性評価の結果から，伝搬損失は 3dB/mm とまだ大きいものの，多モード干渉カプラの分岐比のばらつきは 0.2dB 以下と良好であることがわかった．

第 5 章は "All-optical signal processing" と題し，3 章で作製された素子の動特性評価と，全光信号処理，特に光時分割多重 (OTDM) 信号の分離 (demultiplex, DEMUX) 応用および波長変換応用に関し述べている．まず超高速測定系について記した後，SOA のパルス応答とキャリア回復時間，SOA の利得・位相およびキャリアダイナミクス，スイッチング消光比とスイッチング窓幅について論じている．次に MZI 全光スイッチ回路における全光 OTDM DEMUX 動作の測定評価結果が述べられ，160Gbps から 10Gbps の DEMUX 動作が確認されている．MZI 光スイッチ回路による 20Gbps までの全光波長変換動作も実証された．続いて，より小型かつ制御信号のロスが少ないマイケルソン干渉計 (MI) 構成の全光スイッチ回路を作製し，実際に制御光パワーを 10dB 削減したことについて述べている．さらに MI 光スイッチ回路における全光 OTDM DEMUX 動作も試みられ，MI 構成では初めての 80Gbps DEMUX が達成されるとともに，並行伝搬形態によれば 160Gbps までの高速化が可能であることが実験的に検証された．最後に MI 構成による 10Gbps の波長変換動作が測定，実証されている．これらの全光信号処理性能は，同種の全光スイッチ素子の中でトップクラスと言える．

第 6 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，MOVPE 選択成長によって 4 つの異なるバンドギャップ波長領域を単一の InP 基板上に一括形成する技術を確立し，同技術を適用して SOA，位相シフター，光プリアンプ，光合分波器，受動導波路をモノリシック集積化した全光スイッチ回路を収率高く作製してその静特性を明らかにするとともに，動特性を詳細に評価して全光スイッチ回路の高速全光波長変換器および超高速光時分割多重分離器としての動作を実証したもので，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．