

論文内容の要旨

博士論文題目 「4 光波混合および偏光双安定性に基づいた全光信号処理の研究」

氏 名 森 隆

(論文内容の要旨)

光ファイバ通信の高速化に伴い、電子デバイスの速度制限や消費電力の増大を回避するために、光信号を電気信号に変換せずに処理する全光信号処理が望まれている。本研究では、次世代光ネットワークに必要な全光波長変換、全光スイッチング、全光信号再生および光バッファメモリを実現することを目的とした。

【4 光波混合を用いた全光信号処理】

半導体光増幅器(SOA)中の 4 光波混合(FWM)を用いて光時分割多重(OTDM)信号の波長変換を伴った全光スイッチングの実験を行なった。0.5 ps 幅にパルス圧縮された参照光を用いた第 2 高調波発生(SHG)相互相関測定の結果、出力信号のパルス幅は 1.7 ps であり、160 Gb/s の高速 OTDM 信号の全光スイッチングが可能であることを実証した。また、電界吸収型光変調器(EAM)の FWM 特性を測定した結果、キャリア密度変調効果に基づく離調特性が得られ、EAM の離調特性の非対称性は SOA と逆になることが判明した。

【偏光双安定面発光半導体レーザの基本特性】

2 種類の構造の面発光半導体レーザ(VCSEL)について外部からの光注入による偏光双安定スイッチング動作を確認し、偏光双安定性は特定のデバイス構造によらない一般的特性であることが分かった。また、2 つの注入光波長を独立に調整することにより従来よりも低い注入光パワーでスイッチングが可能であること、および注入同期よりも低い注入光パワーでスイッチングが可能であることを示した。そして、双安定半導体レーザにおける最小のスイッチングエネルギーと最高のスイッチング周波数の偏光双安定フリップフロップ動作を実現した。

【偏光双安定面発光半導体レーザを用いた全光信号再生】

偏光双安定 VCSEL を用いた全光信号再生のリタイミング効果を実証した。タイミングジッタを付加した入力信号に対して、VCSEL に注入するクロックパルス光のパワーを最適化することにより、タイミングジッタが低減された出力信号を得た。また、タイミングジッタの低減特性を表現可能な計算モデルを提案し、10 Gb/s の高ビットレートにおけるリタイミング動作の可能性を示した。

【偏光双安定面発光半導体レーザを用いた光バッファメモリ】

入力データを VCSEL の発振偏光状態として記録する光バッファメモリの動作を初めて実証した。また、10 Gb/s の入力信号を用いた実験にて高速動作を実現した。そして、同一波長の注入光による 2 つの VCSEL の並列スイッチング動作、および VCSEL の発振偏光状態を別の VCSEL に転送するシフトレジスタ動作を実現し、光バッファメモリの多ビット化の展望を得た。これらの成果を組み合わせると、2 次元集積化 VCSEL アレイを用いた大容量のシフトレジスタ機能付き光バッファメモリが構成できると考えられる。

(論文審査結果の要旨)

全光信号処理は、電気信号に変換せずに光信号の処理を行なうものであり、次世代光ネットワークに必要な技術として研究が精力的に進められている。本博士論文は、著者が4光波混合(FWM)を用いた波長変換を伴った全光スイッチング、偏光双安定面発光半導体レーザー(VCSEL)を用いた全光信号再生および光バッファメモリの動作を実証し、以下に示すような新規の知見や優れた技術成果を得てまとめたものである。

1. 半導体光増幅器中の FWM を用いた全光スイッチングの実験では、2つのポンプ光を使用した 1×2 の全光スイッチングの動作を確認した。出力信号は 160 Gb/s の伝送速度に十分な 1.7 ps のパルス幅であり、高速スイッチングが可能であることを実証した。また、電界吸収型光変調器の FWM 特性を測定し、キャリア密度変調効果に基づく離調特性が得られ、離調特性の非対称性について理論的に説明した。
2. VCSEL の偏光双安定スイッチングの実験では、2種類の構造の VCSEL のスイッチング動作より、特定のデバイス構造によらずに偏光双安定スイッチングが得られることを示した。また、注入光波長離調特性より、従来よりも低い注入光パワーでのスイッチングや注入同期を伴わないスイッチングが可能であることが分かった。そして、0.3 fJ の低スイッチングエネルギーと 10 GHz の高スイッチング周波数の偏光双安定フリップフロップ動作を実現した。
3. 偏光双安定 VCSEL を用いた全光信号再生の実験では、クロックパルス光の注入パワーを最適化することにより、入力信号のタイミングジッタ 2 ns (p-p) を 0.7 ns (p-p) に低減し、全光信号再生のリタイミング効果を実証した。また、計算によってタイミングジッタの低減と残留タイミングジッタを表現し、10 Gb/s でのリタイミング動作の可能性を示した。
4. 偏光双安定 VCSEL を用いた光バッファメモリの実験では、まず 1 ビットのデータを記録/再生する光バッファメモリの動作を実証し、10 Gb/s の入力信号を用いた高速動作も実現した。そして、2 ビットのデータを2つの VCSEL に並列に記録する動作と、VCSEL に記録したデータを別の VCSEL に転送するシフトレジスタ動作を実現した。これにより、2次元集積化 VCSEL アレイを用いた大容量のシフトレジスタ機能付き光バッファメモリの実現可能性を示した。

以上のように、本論文は、4光波混合を用いた全光スイッチングと、偏光双安定性を用いた全光信号再生および光バッファメモリに関するもので、得られた技術や新しい知見は学術上だけでなく工学的にも高い価値を有している。よって、博士論文審査会および最終試験の結果、審査員一同は 森 隆 の本論文が博士(工学)の学位論文として高い評価を有するものであると評価し、合格と認めた。

以上