



河口 仁司

山形大学 工学部

プロフィール：昭和50年東北大学大学院工学研究科 電子工学専攻修士課程修了、同年日本電信電話公社入社、昭和63年山形大学工学部助教授、平成4年山形大学工学部教授。専門：光エレクトロニクス。趣味：釣り。

偏光双安定面発光半導体レーザー

要旨

光通信は一層高速な領域に向かって研究開発が進んでいる。電子回路は100Gbit/sあたりに速度限界があるとみられることから、それを越える領域の開拓に向けて、光パルスをもつ多重化する光時分割多重 (OTDM) 技術の研究が活発に行われている。その中では、光3R機能 (タイミングのとり直し、波形整形、識別再生) や、全光型多重分離 (DEMUX)、全光型RZ→NRZ変換、NRZ→RZ変換などが実現すべき基本技術である。

本研究では、面発光半導体レーザー (VCSEL) の発振偏光の双安定性を用いて、DEMUXとRZ→NRZ変換、NRZ→RZ変換を実験的に実現した。又、3R機能をもつ光回路の可能性を検討した。さらに、まだ初期的段階ではあるが、半導体レーザーの発振偏光を制御することを目的に、注入電子のスピン状態の制御を検討した。

1. 面発光半導体レーザーにおける偏光双安定性の起源

図1に示すように、光導波路が正方形の断面形状をもつ面発光半導体レーザーには、電界方向が正方形の辺にそう2つ固有モードが存在する。2つのレーザー発振モードに対して面発光半導体レーザーの光学利得はほぼ等しく、2つのモードは利得飽和を通して強結合し、双安定性が生じる。フェムト秒の光パルスを外部から入射すると、入射パルス光と同一偏光のモードに偏光がスイッチし、入射パルスがなくなってもスイッチした後の偏光を保持する。従って、偏光双安定光メモリが実現できる。

半導体レーザーの偏光スイッチングおよび双安定特性は、光学利得の自己飽和係数と、相直交した偏光面を持つ光の光学利得の相互飽和係数の大きさに依存している。バルク活性層をもつVCSELでは、広い波長域にわたって双安定の条件を満足する。一方、量子井戸VCSELの場合には、電子と重い正孔の間の遷移に対応する波長付近で偏光双安定性を得やすいことが見いだされた。

2. 全光型信号処理

面発光半導体レーザーの偏光双安定性と高速スイッチング特性を用いて、図2に示す種々の光信号処理が実現できる。VCSELの発振偏光が光入力偏光と同一の偏光にスイッチングし保持されることから、全光型フリップ・フロップが実現できる。一時メモリとして光交換への応用が期待される。信号光とゲート光が同時に入力されたとき偏光がスイッチするように設定すれば、時間多重信号から必要なチャンネルをとり出す光多重分離が可能になる。このときビット長が変換できる他には見られない機能をもつ。さらにRZ (return-to-zero) 信号とNRZ (non-return-to-zero) 信号との変換も可能であり、基幹回線のような高速の回線に適したRZ信号と、LANのような低速の回線に適したNRZ信号とが自由に変換できる。さらに、信号光からクロック光を抽出し、信号光と、2つの直交する偏光をもつクロック光を面発光半導体レーザーに注入することにより、光中継器として必要とされる光3R機能 (Retiming, Reshaping, and Regenerating) への応用も期待できる。

3. InGaAs/GaAs量子井戸におけるスピン偏極電子の緩和

スピン偏極電子の注入によりレーザー発振偏光の制御を実現するためには、半導体中のスピン輸送を明らかにする必要がある。pn接合を伝導する電子のスピン緩和について検討した。試料は、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層で光励起により生成されたスピン偏極電子が、pn接合を介してInGaAs井戸層へ注入される構造になっており、井戸層ではドーピングされた正孔と発光再結合をする。拡散電位に相当する電圧を印加することにより、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層で光励起により生成された電子が井戸層へ注入される。測定により求めたスピン緩和時間は155psであった。一方、電圧を印加しない場合、すなわち直接井戸層で励起された電子のスピン緩和時間が100psであったことから、pn接合を伝導したスピン偏極電子は井戸層の正孔を枯渇させ、その結果BAPスピン緩和機構の寄与が小さくなり、スピン緩和時間が若干長くなったものと考えられる。

研究成果

学術論文

1. Y. Takahashi and H. Kawaguchi, "Polarization Dependent Gain Saturations in Quantum Well Lasers", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 36, No. 7 pp. 864-871, 2000.

国際会議（招待講演）

1. H. Kawaguchi, "Bistable Laser Diodes and Their Applications for Optical Networks", ICTON'99 (1st International Conference of Transparent Optical Networks), Th.A.1, 1999.
2. H. Kawaguchi, "All optical demultiplexing and format conversion using an ultrafast bistable laser diode", Third International Workshop on LASER and FIBER-OPTICAL NETWORKS MODELLING(LFNM'2001), Proceedings, pp. 56-60, 2001.
3. H. Kawaguchi, "Nonlinear Propagation and Four-Wave Mixing of Picosecond Optical Pulses in Semiconductor Optical Amplifiers", ICTON'01 (3rd International Conference of Transparent Optical Networks), Mo. B. 2, pp. 16-21, 2001.

国際会議

1. H. Kawaguchi, Y. Yamayoshi, and K. Tamura, "All-optical Demultiplexing using an ultrafast polarization bistable vertical-cavity surface-emitting laser", ECOC'99 (The European Conference on Optical Communication), Vol. II, pp. 268-269, 1999.
2. H. Kawaguchi, N. K. Das, and Y. Yamayoshi, "Analysis of Optical DEMUX and Phase-Conjugate Characteristics based on Four-Wave Mixing in Semiconductor Optical Amplifiers", 10th European Conference on Integrated Optics (ECIO'01), FrA 3.3, pp. 479-482, 2001.
3. H. Kawaguchi and Y. Ito, "Waveforms of Sub-Picosecond Optical Pulses Generated by Spectral Filtering", Optoelectronics and Communications Conference 2001 (OECC/IOOC 2001), OR.Thur D.5, pp. 516-517, 2001.

特許

河口仁司、「双安定性半導体レーザを用いた再生中継器」特願 2001-244302.