

平成 15 年度 卒業論文

光クロックパルス発生器の光スペクトル特性の研究

学籍番号 0012060

佐藤 佑介

電子工学科 光エレクトロニクス講座

指導教官 上野芳康 助教授

提出日 平成 16 年 2 月 27 日

## 概要

超高速光通信技術が進歩していくと同時に光通信技術で重要な基幹を担っている光クロックパルスの注目も高まっている。現在までに様々な種類の光クロックパルス発生器が報告されている。そこで本研究では、2000年代から報告され始めたリング共振器による光クロックパルスの発生を目的とした、光クロックパルス発生器のスペクトル特性についての研究を行った。

目次	
第一章 序章	1
第二章 研究の背景	2
2.1 本研究の技術分野	2
2.2 超高速光パルス源研究の推移	2
2.3 DISC(Delayed-Interference Signal- Wavelength Converter, DISC)-loop 型 パルス発生器	4
2.3.1 実験セットアップ	4
2.3.2 パルス発生の動作原理	6
2.3.2.1 対称型マッハツェンダー(Symmetric-Mach-Zenhnder , SMZ)	6
2.3.2.2 マッハツェンダー干渉計(Mach-Zenhnder Interferometer, MZI)	8
2.3.2.3 対称マッハツェンダー型波長変換器(Symmetric-Mach-Zenhnder Delayed-Interference Signal- Wavelength Converter, SMZ-DISC)	8
2.3.2.4 DISC-loop 型パルス発生器	12
第三章 本研究の目的と実験周辺機器	13
3.1 目的	13
3.2 パルス発生条件	15
3.2.1 周波数共振条件	15
3.2.1.1 リング共振器の持つ共振周波数	15
3.2.1.2 エタロンの持つ周波数	15
3.2.1.3 カルサイトの持つ周波数	15
3.2.2 レーザ発振抑制条件	16
3.2.3 DISC 全光ゲート動作条件	18
3.3 実験構成要素の動作確認	19
3.3.1 分布帰還型レーザ(Distributed Feed Back、DFB)	19
3.3.2 半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)	21
3.3.2.1 SOA モジュールのファイバー結合損失	21
3.3.2.2 SOA の利得飽和特性	24
3.3.2.3 SOA モジュール(#3)の増幅自然放出スペクトル (Amplified Spontaneous Emission, ASE)	26
3.3.2.4 SOA の反射損失	28
3.3.2.5 SOA の出力偏光特性	30
3.3.2.6 利得リプル	32
3.3.2.7 SOA の VI 特性	34
3.3.3 エタロン	36
3.3.4 バンドパスフィルター(1nm)	39

3.3.5 カルサイト	41
3.3.6 ポテンショメータ	43
3.4 測定機器からのデータ取得	45
3.4.1 光スペクトルアナライザー	45
3.4.2 デジタルストレージオシロスコープ	45
第四章 連続光の発振波長厳密制御	46
4.1 連続光の発振波長の厳密制御	46
4.2 温度コントローラの連続光発振波長制御限界	48
4.3 ポテンショメータを加えることによる連続光発振波長厳密制御	51
第五章 リング共振器によるパルス発生	53
5.1 パルス発生への実験手順	53
第六章 結論・将来展望	57
謝辞	58
参考文献	59
付録1 光スペクトルアナライザーのデータ取得プログラム	
付録2 デジタルストレージオシロスコープのデータ取得プログラム	

## 第一章 序論

現在、インターネットや移動体通信の普及などにより通信システムを行き交うデータ量が急増している。そこで、通信システムのデータ処理速度を向上させるため、光時分割多重方式を用いることによりデータ処理を全光化することによって電氣的なデータ処理速度の限界(<40Gbps)を上回る超高速なデータ処理を行うことが出来ると考えられている。そこで、本研究では単一チャネルあたりの多重度を上げることによって、超高速通信を実現させる光時分割多重技術を実現させるために必要な光クロックパルス技術を提供することを目的としている。

従来のパルス発生には、パルス発生源に大電力が必要となる。その発生したパルスが不安定である。パルス発生源としての装備・外形が大きいため、超高速光通信システムへの集積化に不向きである。以上ような問題点が存在していた。そこで、従来の問題を改善する方法として、光ロジックリング型パルス発生器が考えられた。光ロジックリング型パルス発生器を用いることにより、電力の小電力化をすることが可能となり、また装置自体の大きさも小型化をすることができるので、先に述べた電力・安定性・外形といった個々の問題点を改善させられるものと考えられる。また、このリング共振器により作り出したパルスをリング共振器内を何度も周回させることにより、高性能なパルスを発生させることが出来ると報告がされている。[1]

この光ロジックリング型パルス発生器によって作られたパルスは、3R 光信号再生[2]や多重分離(demultiplex, demux)[3]のような光通信システムにおける同期を取るための手段として使用され、全光型光通信システムの処理速度を増加させることが出来ると考えられている。

## 第二章 研究の背景

### 2.1 本研究の技術分野

全光型デバイスは現在注目を集めており、その中心にあるものは半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier, SOA)[4][5]の持つ非線形性である。この SOA の非線形性を用いることにより、今までの光通信システムでは制限されていた処理スピードを超えることが出来る。また SOA 自身がとても小さく小電力の素子であるため超ブロードバンド光ネットワークシステムのような商用アプリケーションにも集積することが出来ると期待されている。

本研究では、この非線形性を持ち合わせた SOA を使用することによるパルス発生源、リング型共振器について考えていく。

### 2.2 超高速光パルス源研究の推移

1990 年代前半はチタンサファイアモードロックレーザ (Mode Locked, ML) が研究で完成し、その性能としては、パルス幅 = 10fs ~ 5ps、周波数 = 100kHz、80MHz を持ち合わせたものとなっている。図 2.1(a)参照。

1990 年代後半には、パルス発生源として、次の二種類のモードロックレーザへと推移していった。エルビウムファイバー ML レーザ・半導体 ML レーザ。この二種類の特性としては、パルス幅 = 1 ~ 2ps、周波数 = 10 ~ 40GHz。この機器は以前のチタンサファイア ML レーザよりも小型化が進んだものであるのだが、欠点として、大電力が必要である。また、安定性に欠けるという側面を持ち合わせたものとなっている。図 2.1(b)(c)参照。

そして、2000 年 ~ は本研究でも使用している光ロジックリングへと推移している。この光ロジックリングの特性としては、パルス幅が 1ps よりも小さくすることが出来、また周波数も 10 ~ 40GHz となっている。ここでは、図 2.1(d)参照。

本研究で用いている光ロジックリングは最近発表された光ロジックリング[6]とは違うものである。さらに、本研究と同じ光ロジックリング構成をした報告[7]とも違うものとなっている。

次節でこの光ロジックリング型パルス発生器である DISC (Delayed-Interference Signal-Wavelength Converter, DISC)-loop 型パルス発生器について説明をしていく。

## 第六章 結論・将来展望

本研究による既存構成とは違った新たな DISC-loop 型パルス発生器を用いることによるパルス発生を目的とした、パルス発生器の光スペクトル特性を研究した。その結果、パルス発生を確認するまでには至っていないが、パルス発生条件うち、パルス周波数を決定するエタロンと入力連続光の共鳴、および、DISC ゲート内部のカルサイト干渉とエタロンの共鳴について個別に実験し、1550nm から 1570nm の範囲で  $\pm 0.04\text{pm}$  の安定性、1pm の制御精度を確認した。その他、新たに組み立てた DISC-Loop 型パルス発生器の全構成部品の挿入損失やループ利得の内訳を総合的に把握し、レーザ発振抑制に必要な直交偏光制御実験の結果も良好であった。そして、実際の DISC-loop 型パルス発生器を用いて、DISC ゲート動作条件を満たし、共振周波数条件を満たすことを試みながらパルス発生実験をおこない、個々の要素実験で行えたエタロンと入力連続光の共鳴、DISC ゲート内部のカルサイト干渉とエタロンの共鳴、レーザ発振抑制を満たすことを確認出来た。

現在、エタロンとリング共振器による共振周波数の共鳴条件を考慮に入れ、さらに、DISC 動作条件を観測しながらパルス発生実験を続行中である。

## 謝辞

本研究を行うにあたって、様々な方々にお世話になりました。

上野芳康助教授には、パルス発生実験を行うに際してすばらしい研究環境を整えていただきました。ゼミの際も実験の際にも、細かな説明と指導ありがとうございました。また、情報通信工学科の來住直人助教授には、SOA のスプライスの際、スプライサー等を貸していただきました。また、同來住研究室の松浦さんには、スプライスの仕方を親切に教えていただきました。同じ実験班として高山君には、実験について互いに意見をぶつけ合いながら様々な議論をし、また、GPIB 制御の際にはプログラミングの手助けをしてもらうなど、忙しい中非常にお世話になりました。さらに、理論的な立場からは、豊田さん・鈴木君・永末君には様々な意見をいただき、様々な知識を共有させていただきました。ここまで、研究に興味をもて、実験を潤滑に行うことが出来たのも、上野芳康助教授、研究室のメンバー、來住直人助教授、松浦さんのおかげです。ありがとうございました。

最後に、4年間もの長い間、経済的にも精神的にも支えてくれた両親に深く感謝します。

## 参考文献

- [1] Y. Ueno, S. Nakamura, K. Tajima, 'All-Optical Divided-Clock Extractor Using an Ultrafast All-Optical Symmetric-Mach-Zehnder-Type Semiconductor Switch Embedded in an Optical Loop' *Appl. Phys. Lett.*, vol. 39, no. 8A, pp. L803-L805, August. 2000.
- [2] H.J. Thiele, A.D. Ellis, and I.D. Phillips, 'Recirculating loop demonstration of 40 Gbit/s all-optical 3R data regeneration using a semiconductor nonlinear interferometer,' *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 3, pp. 230-231, Feb. 1999.
- [3] S. Nakamura, Y. Ueno, K. Tajima, J. Sasaki, T. Sugimoto, 'Demultiplexing of 168-Gb/s Data Pulse with a Hybrid-Integrated Symmetric Mach-Zehnder All-Optical Switch' *IEEE Photonics Technol. Lett.* Vol. 12, no. 4, pp. 425-427, April 2000.
- [4] H. Hatakeyama, T. Tamanuki, K. Mori, T. Ae, T. Sasaki, M. Yamaguchi, 'Uniform and High-Performance Eight-Channel Bent Waveguide SOA Array for Hybrid PICs' *IEEE Photonics Technol. Lett.* vol. 13, no. 5, pp. 418-420, May 2001.
- [5] T. Tamanuki, S. Kitamura, H. Hatakeyama, T. Sasaki, M. Yamaguchi, 'Spot-Size-Converter Integrated Semiconductor Optical Amplifiers for Optical Switching Systems' *IEICE Trans. Commun.* vol. E82-B, No.2, February 1999.
- [6] B. Resan, L. Archundia, P. J. Delfyett, Jr, 'Experimental characterization and numerical simulation of dispersion-managed breathing-mode semiconductor mode-locked ring laser ' *IEEE Photonics Technol. Lett.* 2003.
- [7] Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, '5-ps, 10-GHz pulse generation from an all-optical semiconductor switch embedded in a ring cavity,' *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, no. 16, pp. 2520-2522, Oct. 2001.
- [8] Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, 'Nonlinear phase shifts induced by semiconductor optical amplifiers with control pulses at repetition frequencies in the 40-160 GHz range for use in ultrahigh-speed all-optical signal processing,' *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol. 19, no. 11, pp. 2573-2589, Nov. 2002.
- [9] Y. ueno, S. Nakamura, K. Tajima. S. Kitamura, '3.8-THz Wavelength Conversion of Picosecond

Pulse Using a Semiconductor Delayed-Interference Signal-Wavelength Converter(DISC) ' IEEE  
Photonics Technolo. Lett. Vol. 10, no. 3, March 1998

[10] 平田 照二, 『わかる半導体レーザの基礎と応用』 CQ 出版社, (2001)