

平成 18 年度 卒業論文

光ヘテロダイン法による 160GHz 領域の  
周波数スペクトル計測方法の研究

学籍番号 0212014

稲田 功一郎

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 19 年 2 月 28 日

指導教員印	学科長印

## 概要

超高速な光クロックパルス発生法の研究のためにより高分解能な光スペクトルの測定が必要となる。本研究では被測定光に光を混ぜ合わせて差周波成分を測定する光ヘテロダイン法について、周波数分解能が測定光の線幅のみならず温度変動などで生じる 2 光のドリフトによっても制限される事を実証し、測定光に被測定光の変調光を用いることによりドリフトをキャンセルし、より高分解能な測定が可能となることを実証した。

## 目次

### 第1章 序論

### 第2章 研究の背景

- 2.1 研究の技術分野
- 2.2 光時分割多重 (Optical Time Division Multiplexing ,OTDM)
- 2.3 DISC-Loop 型光クロックパルス発生器
- 2.4 光ヘテロダイン法
- 2.5 自己遅延ヘテロダイン法による線幅測定

### 第3章 研究の目的

- 3.1 DISC-Loop 型光クロックパルス発生器の共振器モードの分離
  - 3.1.1 DISC-Loop 型光クロックパルス発生器の共振器モード
  - 3.1.2 従来の測定方法とその問題点

### 第4章 光ヘテロダイン法による OE 変換スペクトルの測定

- 4.1 2台の DFB-LD による OE 変換スペクトル
  - 4.1.1 DFB-LD の温度精度と OE 変換スペクトル
  - 4.1.2 DFB-LD の電源安定性と OE 変換スペクトル
- 4.2 自己遅延ヘテロダイン法による DFB-LD の線幅測定
  - 4.2.1 参照光強度変調による自己遅延ヘテロダイン法
  - 4.2.2 参照光および遅延光強度変調による自己遅延ヘテロダイン法

### 第5章 光ヘテロダイン/ホモダイン法による 40GHz 光クロックパルスの測定

- 5.1 光ヘテロダイン法
- 5.2 光ホモダイン法

### 第6章 自己遅延ヘテロダイン法による EDFA リングレーザの共振器モードの分離

- 6.1 原理
- 6.2 実験結果

### 第7章 結論

謝辞

参考文献

## 第1章 序論

現在の通信ネットワークにおいて、インターネットの普及、送受信されるファイル形式の大容量化（文字→画像→音声→動画）により通信システムを飛び交う総データ量は急激に増加し続けている。それに伴い更なる高速化を実現するため、従来の電子回路におけるデータ処理速度の限界（<40Gbps）を、光で光を制御する全光システムによって突破することが研究されている。

全光システムにおいて、光クロックパルスが必要である。半導体光増幅器（SOA）を用いた Delayed-Interference Signal-wavelength Converter(DISC)-Loop 型パルス発生器は、集積化が可能で安定性が高く省電力であるなどの特徴から現在研究が進められている[3]。これをより詳しく調べるため、光ヘテロダイン法によるスペクトル測定の分解能を向上することを試みた。

## 第2章 研究の背景

### 2.1 本研究の技術分野

近年、インターネットによる動画配信サービスの成長などにより、ネットワークを飛び交うデータ総量は増大し続けており、通信ネットワークの大容量化の需要が非常に高くなってきている。光ファイバーを使った光通信は広帯域、低減衰、無漏話、無誘導といった高品質の通信が可能であり、電気通信で実現されていたものが光ファイバを使った光通信に置き換われつつある。現在用いられている商用システムの光通信の伝送速度は 100Mb/s~10Gb/s であるが、これらはすべて光信号を電気信号に変換して、信号処理を電子回路で行っている。その際、光⇄電気信号変換過程でエネルギーの損失が起きている。さらに電子回路の動作限界周波数は半導体の電子移動度によって決まり、伝送速度が 40Gbps 以上である伝送には適さないといった欠点がある。この伝送速度以上で伝送するための全光信号処理の研究が進んでおり、100Gbps~400Gbps の伝送速度を実現している。

### 2.2 光時分割多重 (Optical Time Division Multiplexing, OTDM)

近年のインターネットの急速な発展に伴い、ネットワークに要求される伝送容量は増加の一途を辿っている。このため、ネットワークの容量を画期的に増加させる光多重通信方式の開発が求められている。現在の光ネットワークでは波長多重(Wavelength Division Multiplexing, WDM)や光時分割多重(Optical Time Division Multiplexing, OTDM)などの光多重通信方式が広く用いられている。波長多重は、与えられた波長帯域を一定の波長間隔で分割して多数のチャンネルを割り当てる方式である。光時分割多重では、同じ波長の光信号を時間で分割し多数のチャンネルに割り当てる方式である。

今後の伝送容量の増大に WDM 技術のみで対応しようとするれば、必然的にチャンネル数の大幅な増加は避けられず、それに伴って精密な波長制御や情報通信ネットワークの監視、制御技術などの問題が懸念されている。そのため、WDM 技術のみに頼らず、Tbps 級の伝送容量の OTDM 技術との適切な併用が求められている。

### 2.3 DISC-Loop 型光クロックパルス発生器

図 2.3.1 が DISC-Loop 型パルス発生器の構成図である[3]。DISC-Loop 型パルス発生器はリング共振器に分布帰還型半導体レーザ (DFB-LD) から連続光を入射することで、光クロックパルスを発生する。LD、SOA など半導体装置で構成されているため集積化が可能で安定性が高く省電力であるなどの特徴から現在研究が進められている。

## 第7章 結論

光ヘテロダイン法によるスペクトル測定において、線幅だけでなく連続光波長揺らぎが測定に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。波長揺らぎのタイムスケールは、OE 変換スペクトルを電気スペアナで測定する際に掃引時間数十 ms の連続掃引でほぼ共振器モードが分離して見える一方、一回の掃引ごとに共振器モードの位置が変化することから数 ms 程度は安定であると考えられる。

更に、自己遅延ヘテロダイン法を多モード発振する光源に用いることで、SMSR を測定できることを実証した。

DISC-Loop 出力光の成分を一本、狭帯域フィルタなどで取り出し、同様の測定を行うことで、DISC-Loop の繰り返し周波数に制限されないスペクトル測定が可能になる。この新しい測定法により、DISC-Loop 研究の更なる進展に役立つものと期待される。

## 謝辞

本研究を進めるに際し、ご指導を賜りました上野芳康助教授に深く感謝をします。様々な助言や実験の手助けをして下さった院生の坂口淳氏、大平高志氏、中本亮一氏に深く感謝します。研究室の皆様に、深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, "All-Optical Divided-Clock Extractor Using an Ultrafast All-Optical Symmetric-Mach-Zehnder-Type Semiconductor Switch Embedded in an Optical Loop," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 39, no. 8A, pp. 803-805, Aug. 2000.
- [2] 小林 聡, 「DISC-Loop 型光クロックパルス発生器の研究」
- [3] 鈴木 励, 「半導体全光偏光変換を利用した 40GHz モードロックパルス発生の研究」, 電気通信大学 修士論文, 2006 年 3 月
- [4] SATOKI KAWANISHI, ATSUSHI TAKADA, and MASATOSHI SARUWATARI 'Wide-Band Frequency-Response Measurement of Optical Receivers Using Optical Heterodyne Detection', *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, VOL. 7. NO. 1, pp 92-98, JANUARY 1989
- [5] 菊池和朗, 「半導体レーザの発振スペクトルの新しい高分解能測定法」, 信学技法, OQE80-50, 1980
- [6] L. E. RICHTER, H. I. MANDELBERG, M. S. KRUGER, AND P. A. McGRATH 'Linewidth Determination from Self-Heterodyne Measurements with Subcoherence Delay Times', *IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS*, VOL. QE-22, pp.2070-2074, NO. 11, NOVEMBER 1986