

テラビット光シンセサイザ／アナライザの研究開発（0222017） Research and Development of Terabit Optical Synthesizers and Analyzers

研究代表者

黒川 隆志 東京農工大学・大学院工学系
Takashi Kurokawa Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

研究分担者

田中洋介⁺ 塩田達俊⁺ 津田裕之⁺⁺ 井筒雅之⁺⁺⁺
坂本高秀⁺⁺⁺ 佐々木徹⁺⁺⁺⁺ 大手康義⁺⁺⁺⁺ 永沼充⁺⁺⁺⁺
Yosuke Tanaka⁺ Tatsutoshi Shioda⁺ Hiroyuki Tsuda⁺⁺ Masayuki Izutsu⁺⁺
Takahide Sakamoto⁺⁺⁺ Toru Sasaki⁺⁺⁺⁺ Yasuyoshi Ohte⁺⁺⁺⁺ Mitsuru Naganuma⁺⁺⁺⁺
東京農工大学・大学院工学系⁺ 慶應義塾大学理工学部⁺
情報通信研究機構⁺⁺⁺
NTT エレクトロニクス株式会社⁺⁺⁺⁺ 帝京科学大学理工学部⁺⁺⁺⁺
Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology⁺
Faculty of Science and Technology, Keio University⁺⁺
National Institute of Information and Communications Technology⁺⁺⁺
NTT Electronics Corporation⁺⁺⁺⁺ Teikyo University of Science and Technology⁺⁺⁺⁺

研究期間 平成 14 年度～平成 18 年度

本研究開発の概要

本研究では光における時間と空間の双対性にもとづく時空間変換の原理を利用して、テラビットの光信号波形を任意に合成・観測するための光シンセサイザ／アナライザを開発することを目指している。これまでに、超高分解能光シンセサイザ／アナライザ用アレイ導波路回折格子設計法を確立し、試作回路を利用した超高速光信号の生成、観測に成功している。また、シード光源用の広帯域かつ高安定な光周波数コム光源の構成、スーパーコンティニューム光の生成、半導体集積変調器の研究を進めた。目標とする光シンセサイザ／アナライザは超高速光技術を研究するうえでの基本ツールとして位置づけられ、次世代光ネットワークの研究を加速し、その経済化に大きく貢献することが期待される。

Abstract

The project goal is to develop an optical synthesizer/analyzer for universally generating and observing optical waveforms of Terabit signals based on time-to-space conversion technology. The high resolution arrayed-waveguide gratings were designed and fabricated for the optical pulse synthesizer/analyzer. A generation of wide-band and stable frequency comb light, super-continuum light and an integrated semiconductor modulator are also studied as a seed light source. They are expected to contribute to next generation photonic network technologies.

1. まえがき

音のシンセサイザが、汎用的装置として広く利用されているのは周知の通りである。一方光波については、光変調器を用いたパルスパターン発生器が高速通信等に開発されているが、現状の最高帯域は 40Gb/s で、価格も数千万円程度と極めて高価である。また、フェムト秒領域の超短光パルス発生技術も急速に進展しているが、このような短光パルスに任意の信号をのせて通信や情報処理に応用することは依然として困難である。それは、100GHz 以上で変調できる高速応答の素子がないことや、電気信号の帯域制限に起因する。これらの困難な問題を解決するためには、光の特徴である広帯域性と並列性を同時に利用することが不可欠である。そこで本研究では、光における時間と空間の双対性にもとづく時空間変換の原理を利用して、光シンセサイザ／アナライザを開発することとした。

この方法では、空間的に展開された周波数スペクトルを並列に操作して任意の光信号波形を合成したり、逆に時間波形を空間的に並列に展開してその波形を観測する。これまでの方法では回折格子を用いて構成する空間光学系が巨大となり、また一度に扱える時間窓がピコ秒程度に限られるなど実用とは程遠かった。研究代表者らは先端的な波長多重分波素子であるアレイ導波路格子(AWG : Arrayed

Waveguide Grating)を時空間変換に導入することを数年前に提案し、信号処理の適用領域が拡大できかつ大幅に小型化できることなど、その有用性を確認してきた。以上の経緯をふまえ 100Gb/s 以上の光信号を任意に合成・観測する技術の開発を行った。

2. 研究内容及び成果

2.1 超小型アローヘッド型 AWG

アローヘッド AWG は、微小導波路内ミラーを利用してアレイ導波路を折り曲げ、従来よりも寸法を 1/10 程度に低減した AWG である。導波路ミラーを集積したチャネル数 8、チャネル間隔 25 GHz のアローヘッド型 AWG を設計・試作した。図 1 に試作したアローヘッド型 AWG の構成図を示す。損失 7.5 dB、クロストーク -22.3 dB の値を得た。

アレイ部にミラーを設けて狭い領域で光路変換を実現することによって AWG のチップ面積を約 1/10 に低減す

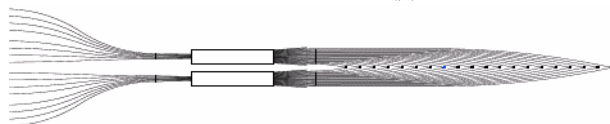


図 1 試作したアローヘッド型 AWG の構成

ることが可能である。同一寸法基板上に従来の 5~10 倍の性能を有する AWG を実現することが可能になる。

2.2 光パルスシンセサイザ

モノリシックな光シンセサイザを構成するために、多チャネルで位相変調器と振幅変調器を集積した AWG 光回路を設計・試作し、分解能 6 GHz と従来性能をはるかに超える性能を達成した。図 2 に 10 GHz 間隔、30 チャネルの光シンセサイザの回路構成を示す。振幅変調器の消光比は 20 dB、位相変調器の位相変調量は往復で 2 π 以上である。

広帯域光シード光源用周波数コム技術とモノリシック光パルスシンセサイザを結合した短光パルス発生装置を開発し、パルス列発生実験を行った。AWG の周回性を利用して、これまでの 10 GHz をはるかに凌ぐ最高 250 GHz までの高繰返し光パルス発生に成功した。スペクトルのピーク間隔を 250 GHz に広帯域に整形した結果、半値幅 0.5 ps、繰返し 250 GHz のパルス列発生を確認した。

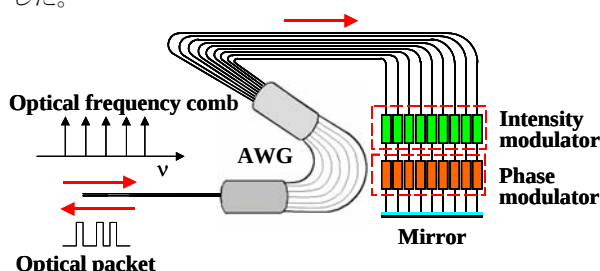


図2 位相・振幅制御 AWG 光回路

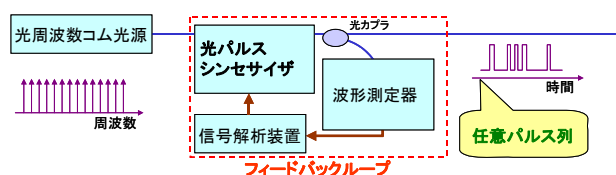


図3 パルス波形生成システム

信号解析装置で観測波形を処理し、目標波形との誤差信号を計算して、誤差信号を光パルスシンセサイザにフィードバック制御する方式のパルス波形生成システム（図3）を構築した。

これにより、ビットレート 100Gbps の 8 ビット光パケットの任意パターンを生成することに成功した（図4）。この方法で一度光パルスシンセサイザの制御信号を決定できれば、ルックアップテーブルを予め作成することができ、実時間で任意超高速光パケットを生成することが可能となる。

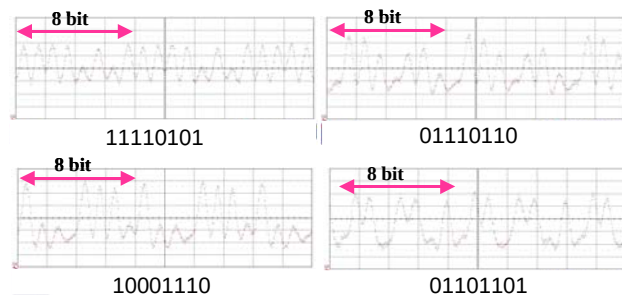


図4 100Gbps の 8 ビット光パケット

2.3 光パルスアナライザ

Si イメージセンサを用いると、二光子吸収現象により、光強度の二乗に比例した信号が測定できる。更に、マイケルソン干渉計の参照光ミラーが傾いているため、イメージ

センサが受光する信号光と参照光は、隣り合うピクセルで、伝搬時間差が一定間隔ずつ異なる。その結果、可動ミラーにより時間差を掃引することなく、強度相関波形を観測することに成功した。

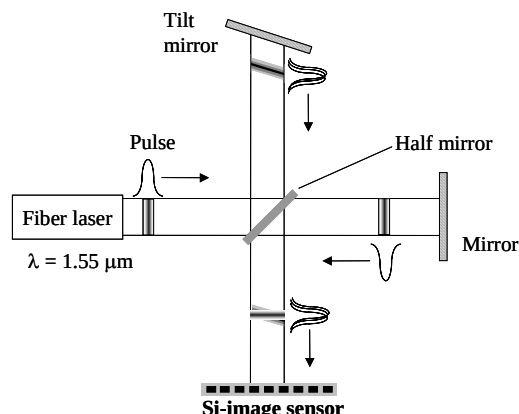


図5 光パルス波形アナライザの構成

3. むすび

本研究の開発課題である光シンセサイザ／アナライザは 1 チャネルあたり 100 Gb/s 以上の超高速伝送の実現を可能とする。また超高速光パケット、CDM、光ルーティング等、次世代フォトニックネットワークの実現に必要なとされる基本技術を達成するうえで、極めて重要な役割をはたすことが期待される。

【誌上発表リスト】

- [1] D. Miyamoto, K. Mandai, A. Aizawa, T. Kurokawa and H. Tsuda, "Waveform-controllable optical pulse generation using an optical pulse synthesizer," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 18, No. 5, pp. 721-723(2006).
- [2] H. Tsuda, and T. Kurokawa, "Analog and digital optical pulse synthesizers using arrayed-waveguide gratings for Tbit/s photonic signal processing," ECOC2005, Th1.5.5, Glasgow (Sept. 25-29, 2005).
- [3] T. Hoshi, T. Shioda, Y. Tanaka and T. Kurokawa "10-Gbps DWDM transmission using multi-frequency light source with 50-GHz channel spacing," OFC/NFOEC 2007, OMS6 p.73, Anaheim, (March 2007).

【申請特許リスト】

- [1] 津田、黒川、川西、井筒、「短光パルス発生器」、日本、2004 年 2 月 20 日
- [2] 津田、「光機能導波路、光変調器、アレイ導波路回折格子及び分散補償回路」、日本、2004 年 2 月 27 日
- [3] 黒川、日隈、市川、井筒、川西「多波長光源」日本、2003 年 8 月 29 日

【登録特許リスト】

- [1] 津田、「光機能導波路、光変調器、アレイ導波路回折格子及び分散補償回路」、日本、2004 年 2 月 27 日、特許番号：3721565 号

【受賞リスト】

- [1] T. Suzuki, K. Masuda, H. Ishikawa, Y. Abe, S. Kashimura, H. Uetsuka and H. Tsuda, IEICE Electronics Express Best Paper Award in the year 2005, "Planar lightwave circuit dispersion compensator using a compact arrowhead arrayed-waveguide grating," 2006 年 9 月 21 日