

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760039

研究課題名（和文） シングルチップ型時空間マッピングデバイスの開発とその応用

研究課題名（英文） Time-to-space mapping device and its applications

研究代表者

久武 信太郎 (HISATAKE SHINTARO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号：20362642

研究成果の概要（和文）：

2 回の電気光学偏向動作に基づくシングルチップ型時空間マッピングシステムを開発した。擬似速度整合型電気光学偏向器を用いて 5ps の時間分解能を初期のシステムにおいて実証した。応用として、光周波数コムを光ビーム形状によりデザインすることのできるシステムを提案し、実証した。デバイスの改良を行い、16.25 GHz の間隔、240 GHz の幅のガウス型光周波数コムを生成を実証した。

研究成果の概要（英文）：

We proposed and demonstrated a linear time-to-space mapping system, which was based on two times electrooptic sinusoidal beam deflection. The proof-of-concept experiments were carried out and the temporal resolution of 5 ps was demonstrated using traveling-wave type quasi-velocity-matched elec-trooptic beam deflectors. We also demonstrated the generation of an optical frequency comb with a Gaussian spectrum using a continuous-wave laser, based on spatial convolution of a slit and a periodically moving optical beam spot in a linear time-to-space mapping system. In a proof-of-concept experiment, a 16.25-GHz-spaced, 240-GHz-wide Gaussian-envelope OFC (corresponding to 1.8 ps Gaussian pulse generation) was demonstrated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：超高速光エレクトロニクス

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用光学・量子光工学

キーワード：時空間マッピング、光制御、光情報処理、偏向器、光周波数コム、パルス生成

1. 研究開始当初の背景

超高速光任意波形生成やその計測に関する技術は光通信、リモートセンシング、マイクロ波発生などの分野で非常に重要なため、精力的に研究が進められている。外部位相変調により生成される変調サイドバンド列の各成分の強度と相対位相を制御する手法に

関する研究は、1980 年代から進められており、光波の高速性を生かした任意波形生成に関する研究の多くは、このいわゆる Fourier 合成法に基づいている。この手法では、真の意味での任意波形生成のためには、line-by-line 制御の対象となるサイドバンド列に”抜け”が無いだけでなく、それら

の強度が均一である事が望ましい。また所望の複雑な任意波形生成のためには、種となる光サイドバンド列の相対位相と強度比を正確に決定した上で、複雑な Fourier 波形に相当するフィルタを計算により求める必要がある。このように、手法の発明からおよそ 20 年以上経過した現在でもまだ技術的課題が多い。

2. 研究の目的

本研究は、本研究者が独自に提案し、実現してきた超高速電気光学偏向による光信号の時空間マッピングを活用した新しい光制御手法の確立に挑戦するものである。従来から精力的に研究されてきた「光波の周波数軸を空間で制御」する手法に対し、本研究では「光波の時間軸を空間で制御」する新しい手法を提案し、今までになかったアプローチとなる光波の高速性と空間的並列性の両者を複合的に生かした光情報処理技術への展開を狙う。

3. 研究の方法

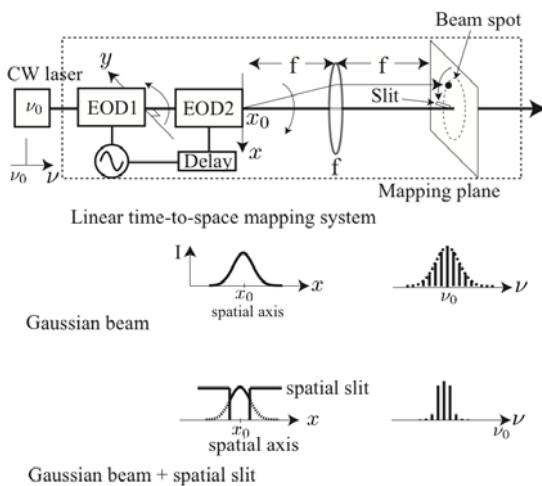


図 1. 時空間マッピングシステムの概念図。

図 1 に時空間マッピングシステムの概念図を示す。提案するシステムは 2 回の電気光学偏向に基づき、マッピング面において、円形の光ビーム軌跡を得るものである。電気光学偏向器(Electrooptic deflector: EOD)1 と、EOD2 との相対位相を調整することで、円形の光ビーム軌跡が得られる。マッピング面状での光ビームスポット形状は、EOD2 出力端でのビームスポット形状の空間 Fourier 変換に相当する。マッピング面にスリットを配すると、光パルスを得ることができるが、この時の時間波形はマッピング面状でのビーム形状に相当するため、光周波数コムのエンベロープは EOD2 出力端でのビーム形状と相似となる。つまり、EOD2 出力端でのビーム

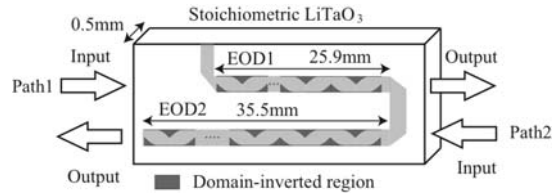


図 2. マッピングデバイス

形状を制御することで、光コムのエンベロープの制御が可能となる。

このシステムにおいてポイントとなるのは二つの EOD を用いた時空間マッピングデバイスである。円形のビーム軌跡を得るためには、EOD1 と EOD2 で同じ解像点数を実現する必要がある。

開発したマッピングデバイスを図 2 に示す。EOD は LiTaO₃ 基板に周期分極反転を施した進行波型のもので、16.25GHz で動作する。折り返し型のストリップラインとし、各アームの長さの比を調整する事で、両アームでの解像点数を等しいものとした。EOD1 の相互作用長は 25.9 mm に対し、EOD2 の相互作用長は 35.5 mm である。二つの EOD で相互作用長が異なるのは、マイクロストリップライン上での変調波の伝搬損失によるものである。基板厚さ、ストリップラインの幅はともに 0.5 mm である。

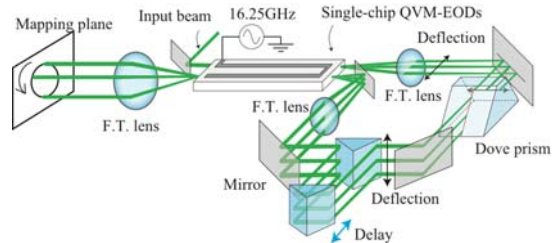


図 3. 時空間マッピングシステム。

図 3 に構築したシングルチップ型時空間マッピングシステムを示す。EOD1 を出力したビームは図中水平方向に偏向している。偏向の方向を Dove prism により縦方向に変換した後に、光学的に偏向位相を調整する構成となっている。EOD2 を出力したビームは Fourier 変換レンズを用いてマッピング面上に投影される。

4. 研究成果

図 4 にマッピング面での光の軌跡を示す。2 回の偏向動作の相対位相を変化させると、線形軌跡から楕円軌跡を経て円形軌跡と変化する様子が分かる。線形時空間マッピングは (c) に示す円形軌跡のときに得られる。

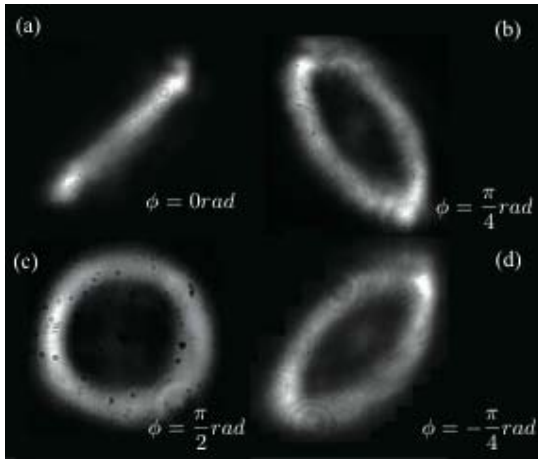


図 4. マッピング面での軌跡.

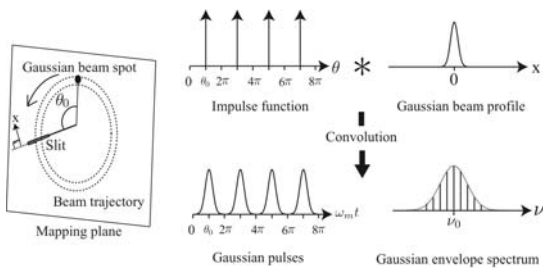


図 5. 光コム生成の原理.

構築した時空間マッピングシステムを用いた光コム生成の原理を図 5 に示す。マッピング面に十分細かいスリットが配されている。光ビームがスリットを通ると、スリットからは光パルスが出射される。このパルスの時間波形は、マッピング面上の光ビームの強度プロファイルに相似となる。そのため、このパルス列を構成する光周波数コムのエンベロープは、マッピング面上の光ビーム形状を空間 Fourier 変換したものと相似となる。

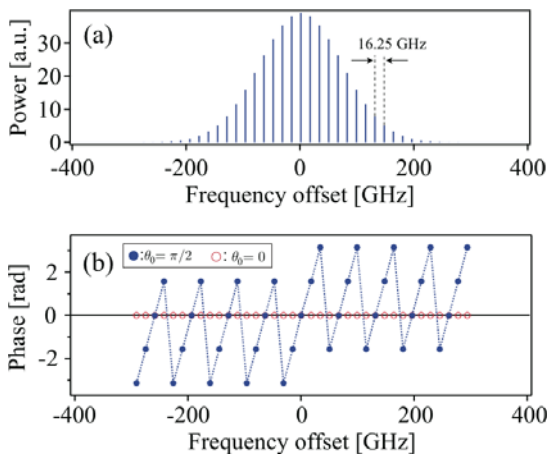


図 6. コム形状のシミュレーション結果.

図 6 に光周波数コム形状のシミュレーション結果を示す。光ビームはガウス型と仮定している。変調周波数を 16.25 GHz と設定しており、光周波数コムの間隔は 16.25 GHz に一致している。図 6(a) に示すように、光周波数コムの強度エンベロープは、光ビーム形状と同じくガウス型となっており、見込み通りの結果が得られている。図 6(b) に光周波数コムの各成分の相対位相をプロットしている。光周波数コムの各成分の位相はスリットを配置する位置に応じて変化しているが、これはパルスを抜き出す時間的タイミング変化に応じている。

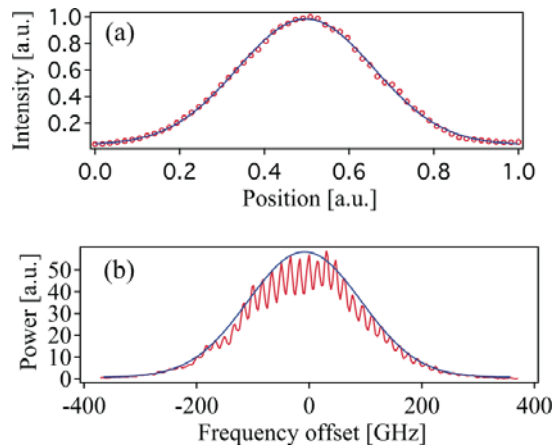


図 7. (a) マッピング面上でのビーム形状. (b) 光周波数コム形状.

図 7 に実験結果を示す。図 7(a) はマッピング面上での光ビーム形状である。赤丸は CCD カメラで観測されたデータで、曲線はガウス関数である。マッピング面上でのビーム形状はガウス関数に良く一致している。一方、図 7(b) は得られた光周波数コムである。光周波数コムの間隔は、変調周波数と同じ 16.25 GHz である。光周波数コムの幅は 240 GHz であった。得られた光周波数コムのエンベロープも同じくガウス関数で良くフィッティングされており、所期の結果を得た。

以上の様に、本研究では新しい光制御の手法を提案し、デバイス作製、システム構築、実証実験を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件) (全て査読有り)

1: "Multiplication of optical frequency shift by cascaded electro-optic traveling phase gratings operating above 10 GHz," Shintaro Hisatake, Takaaki Konishi, and Tadao Nagatsuma, *Opt. Lett.*, Vol. 36, Iss. 8, pp.1350-1352 (2011).

2: "Generation of an optical frequency comb with a Gaussian spectrum using a linear time-to-space mapping system," Shintaro Hisatake, Keiji Tada, and Tadao Nagatsuma, *Optics Express*, Vol. 18, Iss. 5, pp. 4748-4757 (2010).

[学会発表] (計 13 件) (国際会議は査読有り)

1: "Multiplication operation of an optical frequency shifter using cascaded electrooptic traveling phase grating," Shintaro Hisatake, Takaaki Konishi, Tadao Nagatsuma, CLEO/Europe-EQEC 2009, Munich, Germany (2009/6/17).

2: "Time-to-Space Mapping System Using Double Electrooptic Deflectors Fabricated on a Single LiTaO₃ Substrate with "U" Shaped Microstrip Line," Shintaro Hisatake, Keiji Tada, Tadao Nagatsuma, CLEO/IQEC 2009, Baltimore, CMLL5, Maryland (2009/6/1).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久武 信太郎 (HISATAKE SHINTARO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号: 20362642