

テラヘルツ繰り返し高安定外部同期型パルス光源の開発

高坂繁弘

古河電気工業株式会社 ファイテルフォトニクス研究所

1. 研究のねらい

超短パルス光源は、物性測定や光通信、加工などの様々な分野に応用が広がりにつつある。しかし、応用が活発に行われている領域は、既存のパルス光源を活用できる範囲に限られている。新規パルス光源の開発により、パルス光源の応用範囲がさらに広がることが期待される。

本研究の目標は、テラヘルツ領域の科学技術を開拓しうる新しいパルス光源を開発することである。目標に到達するために二つの技術開発を行う。一つはテラヘルツ程度の高い繰り返し周波数の光パルス列発生技術、一つは外部信号光に同期した光信号を発生する技術である。なお、実用の観点から、パルス光源の構成は生活環境で安定に動作する構成を採用する。これらの技術を用いたパルス光源は、テラビット級超高速通信や周波数精度が高い単色テラヘルツ波発生、コヒーレントフォノンの選択励起など幅広い分野に応用できるものと期待される。

2. 研究の成果と考察

目指すパルス光源の基本構成を図1に示す。本パルス光源は、外部同期ビート光源と光パルス圧縮部から構成される。外部同期ビート光源は、2台の半導体レーザを用いてテラヘルツ繰り返しビート光を発生し、光位相同期ループ(OPLL)技術により出力するビート光を外部参照信号光に対して同期させる。光パルス圧縮部は、光ファイバが持つ非線形性と分散性を活用し、入力したビート光のパルス幅を圧縮することで光パルス列を発生する。

本研究では目指すパルス光源を実現するために、外部同期技術と光パルス圧縮技術の開発を行った。

繰り返し周波数 1 THz のビート光を圧縮するよう光パルス圧縮ファイバを設計・作製し、テラヘルツ繰り返し光パルス発生を試みた。図2に示すように、光パルス圧縮ファイバは 15 ペアの高非線形ファイバとシングルモードファイバの縦続接続により構成され、総長は 115 m である。図2に圧縮後の光パルス列の自己相関波形を示す。時間間隔 1 ps (繰り返し周波数 1 THz に相当)、時間幅 97 fs の光パルス列が見て取れる。この時間幅はテラヘルツ繰り返し光パルスとしては最短である。この結果から、パルス圧縮部のテラヘルツ繰り返し動作が確認された。

繰り返し周波数 1 THz のビート光を外部信号に同期するよう OPLL を設計・作成し、ビート光の外部同期を試みた。図3に示すように、OPLL は大きく3つの部分から

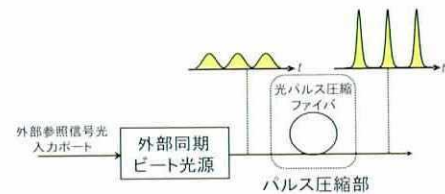


図1 外部同期型パルス光源の基本構成。

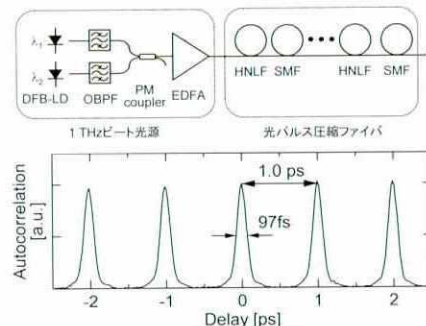


図2 1 THz 繰り返し光パルス列を発生する実験構成(上)と自己相関波形(下)。

構成される。一つは二つの半導体レーザの出力光を合波し 1 THz ビート光を発生する周波数可変ビート光源、一つは外部参照信号とビート光のタイミング誤差を検出する Si-APD を用いた全光位相比較器、一つは低速電子回路を用いたループフィルタである。OPLL 動作の様子を図 4 に示す。無制御時にはタイミング誤差信号がランダムに変動するため分布が広いが、OPLL 制御によりタイミング誤差信号の値がゼロに集中する。これは、テラヘルツビート光の同期に成功したことを示している。ビート光のタイミングジッタは 71 fs であった。この結果から、外部同期ビート光源のテラヘルツ繰り返し動作が確認された。

目指すパルス光源を実現するためのキー技術であるパルス圧縮技術と同期技術のテラヘルツ動作確認に成功した。このことは開発目標とする 1 THz 繰り返し外部同期型パルス光源の実現性が高く、パルス光源の新規応用につながる可能性が高い。

3. 謝辞

本研究の実施にあたり御指導いただきました花村榮一領域総括、領域アドバイザーの先生方に感謝いたします。手厚い御支援をいただきました吉谷川貢技術参事、千田義彦事務参事をはじめ領域事務所の皆様に感謝いたします。さきがけ研究員の小関泰之博士(現:大阪大学)の研究に対する多大な貢献に感謝いたします。最後に、研究の支援と指導をいただいた古河電工(株)の並木周グループリーダー(現:産総研)、坂野操グループリーダーに感謝いたします。

4. 主な論文

- [1] Y. Ozeki, S. Takasaka, J. Hiroishi, R. Sugizaki, T. Yagi, M. Sakano and S. Namiki, "Generation of 1 THz repetition rate, 97 fs optical pulse train based on comb-like profiled fibre," *IEE Electron. Lett.*, vol. 41, no. 19, pp. 1048-1050, 2005.
- [2] S. Takasaka, Y. Ozeki, S. Namiki, and M. Sakano, "External synchronization of 160 GHz optical beat signal by optical phase-locked loop technique," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, to be published.

5. その他

特許出願 6 件 (光パルス列の発生、タイミング制御、同期、波形測定法などに関する特許)

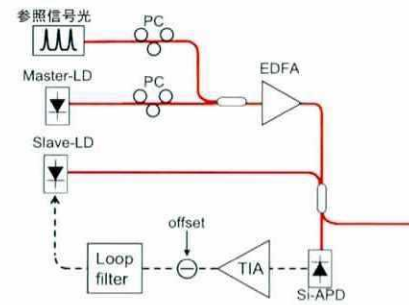


図 3 OPLL 実験系。TIA: 電流増幅器、EDFA: 光増幅器、PC: 偏波制御器。赤線は光ファイバ、黒点線は電気信号線。

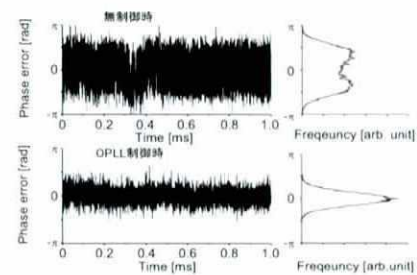


図 4 1 THz ビート光のタイミング誤差信号(左)とその頻度グラフ(右)。上: 無制御時。下: OPLL 制御時。