周波数領域光相互相関を用いた超高速光波形計測システムの基礎検討

Basic Study for Ultrafast Optical Waveform Measurement System with Frequency Domain Optical Cross-Correlation

埼玉大 ○八木 達椰, 三木 真人, 今井 颯, 多田 浩明, 塩田 達俊
Saitama Univ. Tatsuya Yagi, Masato Miki, Hayate Imai, Hiroaki Tada, Tatsutoshi Shioda
E-mail: tshioda@mail.saitama-u.ac.jp

1. はじめに

ピコ秒またはそれ以上に高速な化学反応の解析は、レーザー光を用いて行われることが多い。例えば、可逆反応を前提とするポンプ・プローブ法[1]は広く知られている。一方。不可逆反応を捉えるためには、過渡的な任意波形を計測できる方法が必要となるが、普及している自己相関器[2]や光サンプリングオシロスコープ等では、複数回計測が必要となるため、一度しか生じない不可逆反応の追跡は難しい。そこで、我々の研究室ではすでに不可逆反応観測を可能とするための連続的なパルス列の生成[3]や光周波数コムの縦モード毎の光電界ベクトルを計測する手法[4]を研究している。本講演では、それに並ぶ新たな手法として周波数領域光相関法(FDOC)を提案する[5]。周波数領域での相関値を逆フーリエ変換することによって、計測対象波形を取得でき、任意波形計測が実現できる。本稿では波形計測原理と理論実証のための波形計測実験の結果を示す。

2. 波形計測原理と実現回路

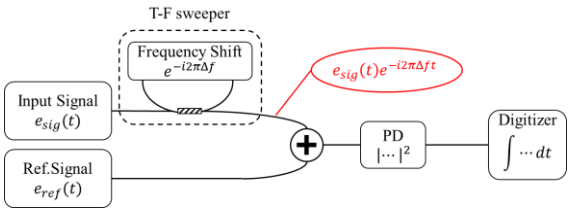

Fig.1 Proposed principle of ultrafast optical waveform measurement using frequency domain optical correlation.

入力信号$e_{sig}(t)$と参照信号$e_{ref}(t)$の周波数軸上での相関は式(1)で表される。この相関値$R_{EE}(\Delta f)$をフーリエ変換することにより、入力信号$e_{sig}(t)$が得られる。

$$R_{E_r E_s}(\Delta f) = \int_{-\infty}^{\infty} e_{ref}^{*}(t) e_{sig}(t) e^{-i2\pi\Delta f t} dt \qquad (1)$$

これを、実際に実験的に取得するための系が Fig.1 である。PD から得られる光電界信号の検出信号は式(2)のようになる。

$$I_{PD} = \left|e_{sig}(t)e^{-i2\pi\Delta f t}\right|^2 + \left|e_{ref}(t)\right|^2 + Re\left(e_{sig}(t)e^{-i2\pi\Delta f t} e_{ref}(t)\right) \qquad (2)$$

ただし、$e_{sig}(t)$は、PD でも検出できない高速信号であるため、一定値とみなされる。この検出信号が Digitizer に入力され、その出力は以下の式(3)のように積分される。

$$I_{DT} = AVE + \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} Re\left(e_{sig}(t)e^{-i2\pi\Delta f t} e_{ref}(t)\right) dt \qquad (3)$$

式(3)に示したように Fig.1 の実験系により相互相関の実関数が得ることができる。

3. 実験結果

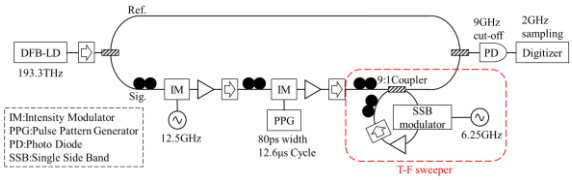

Fig.2 Experimental setup.

実験系を Fig.2 に示す。80ps 時間長 12.5GHz 正弦波の光を観測対象とした。T-F sweeper での周波数シフト量を 6.25GHz 間隔に設定し、Digitizer から相関値を 43.75GHz シフト分まで測定した。

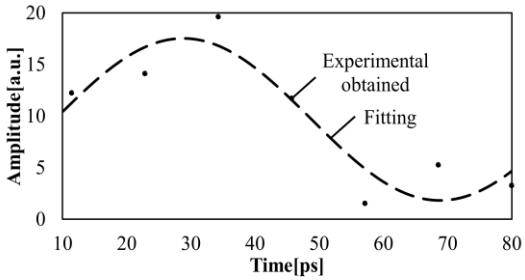

Fig.3 Experimentally obtained waveform.

実験より得られた波形が Fig.3 である。得られた波形に対して余弦波フィッティングを行った結果、フィッティング波形の周波数が 12.5GHz であった。そのため、周波数軸上での相関による波形計測の可能性が示唆された。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 16H03879 と科研費 17K19069 の助成を受けて進められた。

参考文献

[1] L. Dhar, *et al.*, *Optics Letters*, Vol. **19**, No. 9, pp. 643-645 (1994).
[2] V. Wong and IA. Walmsley, *Optics Letters*, Vol. **19**, No. 4, pp. 287-289 (1994).
[3] T. Miyamoto, *et al.*, *Optics & Photonics Japan 2015*, 30pD6 (2015).
[4] H. Tada, *et al.*, *OSA Laser Congress*, LTh4B (2019).
[5] M. Miki, *et al.*, *Proceedings of 64th Meeting on Lightwave Sensing Technology*, LST64-31 (2019).