

周波数領域光相関超高速任意光波形計測の実現に向けた 光周波数変調器特性の調査

Characteristics of SSB Optical Frequency Shifter for Ultra-High Speed Arbitrary Optical Waveform Measurement using Frequency-Domain Optical Correlation

埼玉大理工〇八木達椰, 福士海渡, 塩田達俊

Saitama Univ. °Tatsuya Yagi, Kaito Fukushi, 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、我々は新たに不可逆反応、つまり過渡的な波形に対しても適用できる手法として周波数領域光相関法(FDOC)を提案する^[3]。この手法では、周波数領域での参照・入力信号間の相関値をフーリエ変換することによって、入力信号を取得する。現在までに、相関値を利用した波形計測の可能性を実験的に確認している。そこで、本稿ではその原理と過渡波形計測に向けた基礎的な検証の結果について報告する。

2.FDOCによる過渡波形計測

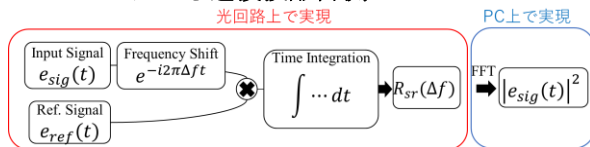


図1 周波数領域における相互相関の実現系

入力信号 $e_{sig}(t)$ と参照信号 $e_{ref}(t)$ の周波数軸上における光電界の相関値 $R_{sr}(\Delta f)$ は式(1)で表される。この相関値 $R_{sr}(\Delta f)$ 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。ここで、 Δf は相関時の周波数走査量である。

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

周波数相関を実現する方式として、時間的に信号を記憶しながら順次周波数走査を行って相関信号を発生させる光学システムを検討するとすれば、式(1)より入力信号 $e_{sig}(t)$ と参照信号 $e_{ref}(t)$ の周波数操作毎の積算時間は信号波形に対して常に一定であるか、制御されている必要がある。この場合、光ファイバーの様に光の伝搬時間に揺らぎを与える要素を取り除く必要があるが、このためには入力信号と参照信号を共通光路にすることは有効である。その一つとして、信号と参照光を伝搬光路で対向させる形態が考えられるが、伝搬する向きによって周波数シフトの特性が異なる必要がある。

3.周波数シフトデバイスの調査

上述の周波数シフトデバイスについて、本研究では光 SSB 変調器とし、図2の回路構成において光 SSB 変調器の順方向入力時と逆方向入力時の変調特性の差を得られることを、変調器の直流電圧制御をしながら検討した。光 SSB 変調器通過前のスペクトルを図3-(a)、調整した順方向、逆方向通過後のスペクトルをそれぞれ図3-(b)、(c)に示す。



図2 SSB 変調器の変調確認回路

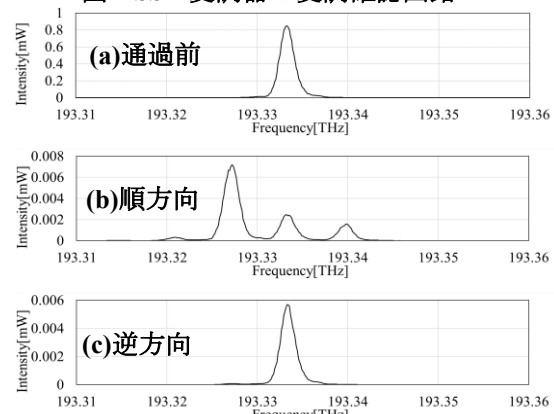


図3 調整後のスペクトル

順方向通過時は周波数シフトが見られる一方で、逆方向では変調されていない。順方向のスペクトルにおいては S/N 比(-1 次/0 次)が約 5dB となっているが、これは周波数シフト成分の強度を検出器の検出限界の下限となるように調整することで 0 次成分の影響を無視することができる。従って、光 SSB 変調器は、適当に制御することで順方向のみの周波数シフトを行うことが可能であることを示しており、共通光路を利用した周波数領域光相関を実現するためのデバイスとして利用できる可能性があることの確認ができた。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 21H01837 と科研費 20H02158 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 I.A. Walmsley, *Optics Letters*, Vol. **19**, No. 4, pp. 287-289 (1994).
- [3] M. Miki, et al., *Proceedings of 64th Meeting on Lightwave Sensing Technology*, LST64-31 (2019).