

スキャンレス光周波数コム分散計測システムの検討

Study of Scanless Optical Dispersion Spectroscopy using Optical Frequency Comb



埼玉大工 ○春日 海秀 宮本 貴幸 塩田 達俊

Saitama Univ. ○Kaishu Kasuga Takayuki Miyamoto Tatsutoshi Shioda

E-mail: tshioda@mail.saitama-u.ac.jp

1. はじめに

基礎科学分野の材料物性の解析などにおいて高速光波形を用いた材料の分散計測が重要である。しかし計測に用いられる遮断周波数の限界が制御速度を制限する一つの要因となっている。このような高速信号処理には周波数領域での信号制御が有効である。そこで本研究では周波数軸上で光の位相スペクトルを計測する手法として二波長同時ヘテロダイン検波法(Fig.1)を開発した[1-3]。さらに高速波形はその広帯域なスペクトルによる分散が波形の劣化を導くので、本研究では二波長同時ヘテロダイン検波法がもつ光周波数領域での信号処理性能を最大限に発揮するために、周波数軸上での分散値の一括計測を実現した[4]。これまでの二波長同時ヘテロダイン検波法はビート信号 $V_{DC}(\phi, L) = a_{s1}a_{s2}a_{r1}a_{r2}\cos(\Delta\phi + \beta\Delta L)$ の ΔL を Delay line で走査することで、相対位相 $\Delta\phi$ を計測していた。本研究では計測時間を速くするために、相対位相差が $\pi/2, \pi$ となるように設定した電圧値3点を同時に計測することで Delay line の走査機構を不要にするための検討を行った。

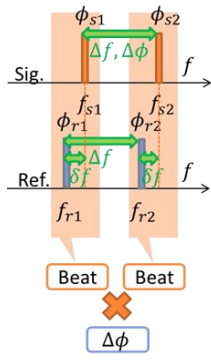


Fig.1 Principle of dual heterodyne mixing

2. 原理

 $\Delta\phi$ を用いると群遅延は

$$\tau_g = d\phi(f)/d\omega \approx \Delta\phi(f)/\Delta\omega \quad (1)$$

より、分散

$$D(f) = -\frac{f_0^2}{c} \frac{d\tau(f)}{df} \approx -\frac{f_0^2}{c} \frac{\Delta\phi_2 - \Delta\phi_1}{\Delta f_1 \Delta f_2} \quad (2)$$

が得られる。 V_{DC} は $\cos$ 関数で表される。0rad と $\pi/2$ rad, π rad の基底関数 3 値を同時に測定することで、 $\cos$ 関数の位相計測を可能とする。

3. 実験

実験系を Fig.2 に示す。DFB-LD からの出力光を 193.300[THz]に設定し、25[GHz]のマイクロ波で駆動した光周波数コム発生器(OFCG)に入力した。光周波数コム発生器は、光共振器内に導波路位相変調器を設置した構造であり、駆動するマイクロ波の周波数の間隔と同じ間隔での光周波数コムの発生が可能である。そのコムを分波し、一方を信号光(Sig.)としてサンプルとした長距離ファイバーに入力した。もう一方を参照光(Ref.)とし 148[MHz]で駆動した音響光学変調器(AOM)に入力した。音響光学変調器は音響光学効果を利用して駆動周波数分の周波数シフトを起こさせる変調器である。BPFにより6本以外のスペクトルをカットした。これは利用した AWG がスペクトル間隔 25GHz, FSR 200GHz で周回性を持っているためである。更に Delay line をそれぞれ走査し相対位相差が $\pi/2, \pi$ となるように設定して、信号光と参照光を合波した。

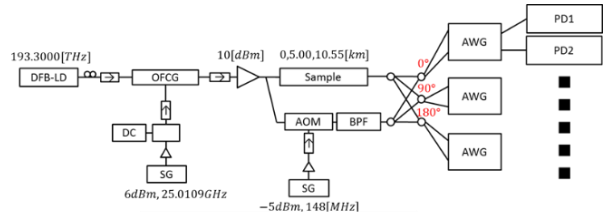


Fig.2 Experimental setup.

AWG の特性を利用し、1つの出力ポートから信号光は2本、参照光は信号光に隣接する2本のスペクトルがそれぞれ出力されるように、隣り合ったポートから入力した。Phase Detector 1, 2 (Fig.3)によりビート信号を乗算して発生した V_{DC} を DC-meter により測定し相対位相 $\Delta\phi$ を計測し、式(2)より分散値を導出した。実際の実験では0, $\pi/2$, π の出力と AWG とを付け替えて測定を行った。

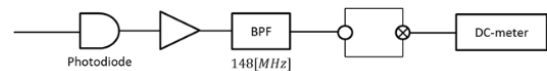


Fig.3 Dual-heterodyne mixing scheme for relative phase detection.

4. 実験結果

5km, 10.55km の石英シングルモード光ファイバーを置いた場合と、置かなかった場合で分散値の計測を行った。得られた結果を Fig.4 に示す。複数回の計測により得られた分散値のばらつきは 3.3~9.4[ps/nm]となった。サンプリングなしの実験結果よりサンプル以外の計測器固有の分散値を計測することができている。計測結果を直線近似した傾きは 17 [ps/nm/km]となった。石英シングルモード光ファイバーの分散値は文献値で 17 [ps/nm/km]とされ、本実験における結果は妥当であると言える。

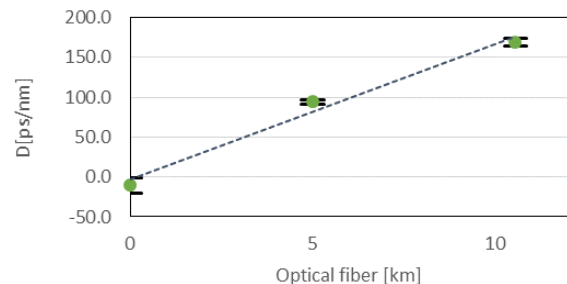


Fig.4 Result of optical dispersion measurement.

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科研費(15K13372, 25600114)と国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)のマッチングプランナー プログラム「探索試験」の支援によって行われた。

参考文献

- [1] T. Shioda, et al., *Opt. Commun.* **23**, 4733-4740 (2010).
- [2] T. Yamazaki, et al., *J. Opt. Soc. Am. B* **29** (7), 1707-1711 (2012)
- [3] T. Shioda, et al., *Opt. Lett.*, pp. 37, 3642-3644 (2012)
- [4] T. Shioda, et al., *Appl. Opt.* **51**, (27), 6586-6593 (2012)