

デュアルコム分光法を用いたコヒーレント制御による 円偏光スイッチングの特性評価

Characterization of coherently controlled circular polarization switching with dual-comb spectroscopy

電通大¹、JST さきがけ²、JSPS 外国人特別研究員³

○朱 瑞宸¹、長崎 亮太¹、加藤 峰士^{1,2}、田 昊晨^{1,3}、浅原 彰文¹、美濃島 薫^{1,*}

Univ. of Electro-Communications¹, PRESTO, JST², Research Fellow of JSPS³

○Ruichen Zhu¹, Ryota Nagasaki¹, Takashi Kato^{1,2}, Haochen Tian^{1,3}, Akifumi Asahara¹, and Kaoru Minoshima^{1,*}

*E-mail: k.minoshima@uec.ac.jp

デュアルコム分光法(DCS)は、機械的な走査を必要とせず、高分解能・高感度・高速な干渉分光を実現できることから、有望な新分光技術のひとつとして期待されている[1]。これまでに固体材料の特性評価や気体分光などにおいて有用性が示されてきたが、光コムの偏光特性を生かすことで、DCSの応用可能性が広がると期待される。例えば、近年DCSをエリプソメトリー測定や[2]、回転補償円偏光計測に適用した研究[3]などが知られている。このような背景のもと、我々は光コムの高いコヒーレント制御性を活用した新方式の偏光変調DCS[4]を提案してきた。光コムのもつ周波数パラメータ(繰り返し周波数 f_{rep} 、キャリアエンベロープオフセット周波数 f_{ceo} 、およびデュアルコムにおける周波数差 Δf_{rep} 、 Δf_{ceo})を精密に制御することによって、偏光変調DCSでは正確な偏光スイッチングを実現できる。本研究では、連続するインターフェログラム(IGM)の位相が π シフトするように $\Delta f_{\text{ceo}} = \Delta f_{\text{rep}}/2$ と設定し、IGM間の円偏光スイッチングを行った。さらに、変調された左右円偏光の振幅および位相スペクトルの変化を定量的に評価した。

実験では、光源は2台の位相同期した非線形偏波回転モード同期Erファイバコム(中心波長1560 nm、光周波数 ~ 192 THz)を使用した。 f_{rep} は ~ 56.6 MHz、 Δf_{rep} は ~ 1022 Hzであった。 f_{ceo} は2台とも ~ 21.4 MHzに設定した。Fig. 1(a)に示したように、実験システムは偏光変調コムの発生とIGM検出の二部に分けられる。まず、2台のコムのうちのシグナルコムを用いて、偏光変調コム(Polarization-modulated comb, PM comb)を発生させた。シグナルコムは、音響光学素子AOMを用いて0次と1次光コムの2つに分けられた後、偏光を直交させて重ね合わせられた。AOMに与える周波数 f_{AOM} を $3f_{\text{rep}} + \Delta f_{\text{rep}}/2$ (~ 169.9 MHz)に設定することで、2つの光コム間の Δf_{ceo} を調整し、合成光波の円偏光スイッチング条件($\Delta f_{\text{ceo}} = \Delta f_{\text{rep}}/2$ (~ 511 Hz))を実現した。生成した偏光変調コムをシングルモードファイバを経てIGM検出系に転送し、45°偏光のローカルコムと干渉させた。ウォラストンプリズムで偏光成分を分離し、2つのInGaAs検出器で縦・横偏光のIGMを同時に検出した。Fig. 1(b)は、取得した縦・横偏光のIGM(500回平均)より構築した3次元IGMであり、 Δf_{rep} レートで円偏光スイッチングが達成されていることが示された。このときローカルコムは偏光変調コムに対して45°直線偏光に調整されているため、円偏光の切り替えの様子はシグナルコム、すなわち偏光変調コムの偏光状態を直接反映している。さらに、変調された左右円偏光の振幅変化と位相差を評価したところ(Fig. 1(c), 1(d))、規格化された振幅変化は 0 ± 0.016 、位相差は $\pi \pm 0.13$ radであった。この結果は、偏光変調コムによる高精度な円偏光スイッチングが実現できたことを示唆している。本開発手法は、円二色性測定など、精密な振幅・位相スペクトル、偏光状態、3次元光波形などの情報を与える有用な分光ツールとしての発展が期待される。

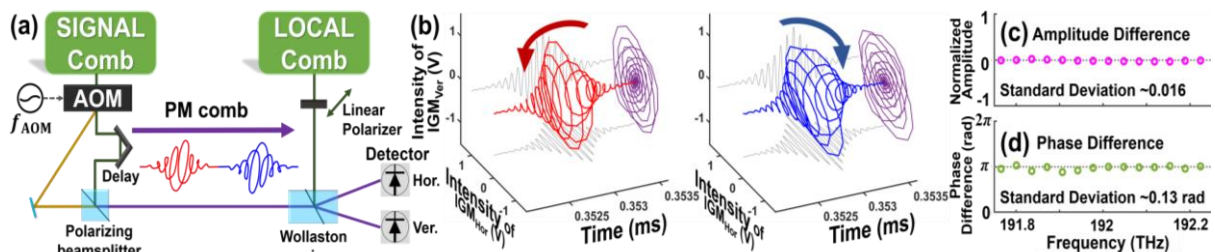


Fig. 1. (a) Experimental setup, (b) 3D-IGMs constructed from 500-time averaged vertical and horizontal IGMs, these 3D IGMs were interpolated for eye-guide (c) normalized spectral amplitude and (d) phase difference between left and right circular polarization-switched IGMs.

[1] I. Coddington, N. Newbury, and W. Swann, *Optica* **3**, 414–426 (2016).

[2] T. Minamikawa, Y.-D. Hsieh, K. Shibuya, E. Hase, Y. Kaneoka, S. Okubo, H. Inaba, Y. Mizutani, H. Yamamoto, T. Iwata, and T. Yasui, *Nat. Commun.* **8**(1), 610–617 (2017).

[3] K. A. Sumihara, S. Okubo, M. Okano, H. Inaba, and S. Watanabe, *J. Opt. Soc. Am. B* **34**(1), 154–159 (2017).

[4] A. Asahara and K. Minoshima, *Appl. Phys. Express* **12**(7), 0720114 (2019).