

周波数領域・密度行列分光法の開発

Development of frequency-domain density-matrix spectroscopy

阪府大院理¹, JST さきがけ²

上村陸¹, 森尾東¹, 大畠悟郎^{1,2}, 溝口幸司¹

Department of Physical Science, Osaka Prefecture University¹, PRESTO JST²

R. Kamimura¹, H. Morio¹, G. Oohata^{1,2}, and K. Mizoguchi¹

E-mail: s_r.kamimura@p.s.osakafu-u.ac.jp

密度行列は混合状態や量子もつれなどを記述できる, 量子力学において重要な表現手法である. 量子情報科学の分野ではこれを実験的に推定する量子トモグラフィ(QT)という方法が知られている. これまで我々は, QT を適用することで密度行列を定量化する分光法(密度行列分光法: DMS)を考案し開発してきた. また DMS を用いて, 半導体中の励起子分子に内在する偏光の量子もつれ状態のダイナミクスの測定にも成功している[1]. さらに周波数領域の重ね合わせ状態に着目し, 密度行列の定量化に向けた周波数領域・DMS の開発を進めている. 周波数領域・DMS を実現するためには, 光パルスの周波数重ね合わせ状態が基底状態として必要である. そのため今回は, 2つの周波数成分を持った光パルスの状態($|\psi\rangle = |l\rangle, |h\rangle$)とその重ね合わせ状態($|\psi\rangle = |l\rangle + e^{i\theta}|h\rangle$)を基底状態として生成し, その評価を行った. ここで θ は2つの重ね合わせの相対位相を表し, 今回は6種類の基底状態の光パルスを生成した(Fig.1).

本実験では, モード同期 Ti:Sapphire レーザー (中心波長: 約 780 nm, パルス幅: 約 90 fs) の超短光パルスから, 空間光位相変調器と回折格子を用いた 4f 分光光学系で2周波成分を抽出し, 周波数領域の基底パルスの生成を行った. この 4f 分光光学系を用いることで, 光パルスの各周波数における強度と相対的な位相を任意に制御することができる. また得られた基底パルスを定量的に評価するために, スペクトル干渉法(SI)と周波数分解光ゲート法(FROG)の2種類の測定系を用いた. 基底パルスの相対的な位相スペクトルを SI によって測定し, コヒーレントな重ね合わせ状態の有無と各周波数に対する相対位相差を確認した. また時間一周波数プロファイルは FROG を用いて評価した.

Fig.2 に, $|\psi\rangle = |l\rangle + |h\rangle$, $|l\rangle - |h\rangle$ の基底パルスに対する SI で得られた強度, 相対位相スペクトルを示す. まず(a)から明らかなように強度スペクトルはガウス関数に近い形状で現れており, 精度良く2つの周波数成分を抽出できていることが明らかである. また(a), (b)の比較から, 強度スペクトル形状をほぼ変化させることなく両基底の相対位相($\theta = 0, \pi$)を精度良く制御できていることが明確である. 加えて基底パルスを FROG で測定した時間一周波数プロファイルからも理想的な重ね合わせ状態が生成されていることが分かった. 講演ではこれらの基底パルスを分光に用いた結果についても報告する予定である.

[1] 木村崇彦, *et al.*, 日本物理学会 2020 年秋季大会

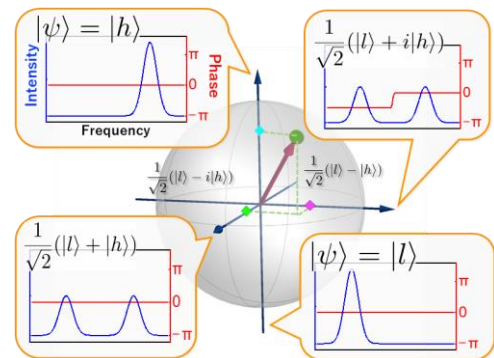


Fig.1: Schematic of the six basis of the frequency-superposed states.

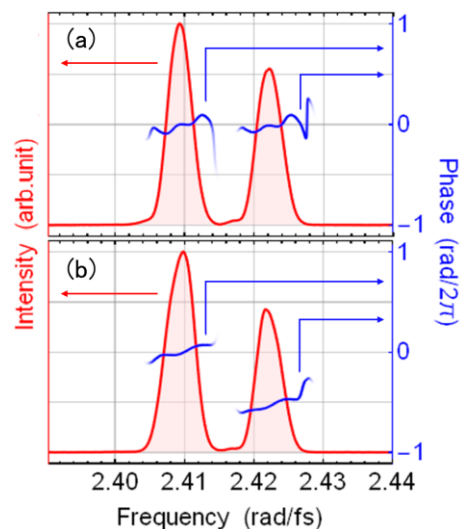


Fig.2: The intensity and relative phase spectra of the frequency superposed pulses obtained by SI. (a) $\theta = 0$, (b) $\theta = \pi$.