

スペクトル光熱顕微鏡に向けた ノイズ変調を利用したポンプ・プローブ分光計測法の開発

Development of pump-probe spectroscopy using noise modulation

for spectral photothermal microscopy

東理大理¹, 電通大² 山田 弘夢¹, 瀬戸 啓介¹, 小林 孝嘉², 徳永 英司¹

東京都新宿区神楽坂 1-3 6 号館 6305

TEL: 03-5228-8214, E-mail: 1219539@ed.tus.ac.jp

ポンプ・プローブ法では試料をポンプ光で励起し、その応答をプローブ光により測定する。試料の応答の励起波長依存性、すなわちアクションスペクトルは、一般に白色ポンプ光をモノクロメーターで波長掃引して得る。しかし波長掃引を用いる方法は、測定に時間がかかることが問題である。そこで各波長のポンプ光に対して異なる変調をかけることにより、波長掃引を必要としない測定が実現可能である。既に実現されている、各波長に異なる周波数で変調をかける方法では、光熱顕微鏡のように試料の応答が遅い場合、波長ごとに応答の位相遅れが異なるため、得られるスペクトルにひずみが生じる。この問題は、広帯域の周波数成分をもつノイズを、各波長のポンプ光に対する強度変調として利用することで解消される。ノイズによる強度変調は、波長間で相関がないが、変調周波数の帯域は同じであるため、スペクトルのひずみとして現れない。我々は、この方法によりアクションスペクトルを同時多波長で測定する技術を開発した。

ポンプ光は白色のものを用いる。このポンプ光を、ノイズ源及び変調器を用いて、波長ごとに異なるノイズで変調する。我々は、白色ポンプ光としてスーパーコンティニウム光源を用いた。この光源は強度ノイズが大きく、また異なる波長間で相関が小さい。我々は、この光源ノイズをノイズ源及び変調器と見立てた。光源ノイズは分光器を用いて計測し、プローブ光から得られる信号との相関を、出力 $\mathbf{O} = (O_1, O_2, \dots, O_n)^T$ として得る。 $\mathbf{O}$ は、波長間のノイズの相関行列 $\mathbf{C}$ と真のスペクトル $\mathbf{R} = (R_1, R_2, \dots, R_n)^T$ の積 $\mathbf{O} = \mathbf{C}\mathbf{R}$ で表される。 $\mathbf{R}$ は、 $\mathbf{O}, \mathbf{C}$ を用いて逆問題を解くことにより求められる。

我々は、原理実証としてネオジウムガラスフィルタの透過率スペクトルを測定した。試料を透過する白色ポンプ光をプローブ光と見立てて、プローブ光を用いずに測定を行った。Fig.2 より、本方法は実際のスペクトルをよく再現していることがわかる。この結果は、本方法をポンプ・プローブ計測に適用したときに、アクションスペクトルが正しく再現できることを示す。一方で、光源のノイズは光強度に対して小さく、プローブ光から得られる応答の強度が小さいため、SNRが低下する。また、本方法は逆問題を解くために、常にすべての波長間で相関を測定する必要があるため、測定する波長の数を増やすことが困難である。

現在、より実用性の高い方法として、疑似ノイズで外部から変調をかける方法を考案している。この方法ではポンプ光に深い変調をかけられるため、プローブ光から得られる信号強度が大きい。また、異なる波長間で相関がなく逆問題を解く必要がないため、測定波長の数を増やすことが容易である。講演では、この新しい方法による分光計測の実証実験について報告する予定である。

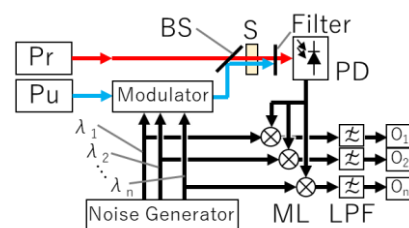


Fig.1 System for present spectroscopy. Pr: Probe Laser, Pu: Pump Laser, S: Sample, PD: Photodiode, ML: Multiplier, LPF: Low-pass filter.

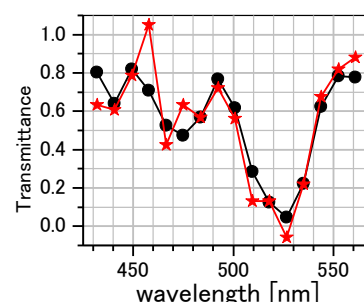


Fig.2 The transmission spectrum of neodymium glass. Black dots: true spectrum, Red stars: spectrum demonstrating present spectroscopy.