

ポンプ・プローブ法におけるマルチチャンネル分光検出のための 時分割検出法を用いた白色パルス光の強度雑音除去

Intensity Noise Cancellation of White Pulsed Probe Light Based on Time Division

Discrimination for Multi-Channel Spectroscopy in Pump/probe measurement

東理大¹, 電通大² ◦瀬戸 啓介¹, 小林 孝嘉², 徳永 英司¹

Tokyo Univ. Sci.¹, Univ. Electro-Commun.², ◦Keisuke Seto¹, Takayoshi Kobayashi², Eiji Tokunaga¹

E-mail: seto@rs.tus.ac.jp

化学構造に敏感な分子振動を高速に観測できる典型的な誘導ラマン分光法では、プローブパルス光(Pr)と強度変調されたポンプパルス光を試料に照射し、Prの強度変調として信号を得る。このようなポンプ・プローブ法においてはPrの強度雑音が信号雑音比(S/N)を支配する。スーパーコンティニウム白色プローブ光をマルチチャンネル分光計測すると誘導ラマンスペクトルを取得できるが[1]、強度雑音が大きく、長い積算時間を要する。我々は強度雑音を除去するため、Fig. 1 の様な光学系を構築してきた。すなわち、Pr に対し、1/4 パルス繰り返し周期分だけ光学遅延させた参照光(Rf)を重ねて観測すると、試料計測による Pr の強度変調がパルス繰り返し位相変調に変換される。一方、強度雑音はPrとRfで共通なため位相を変調しない。従ってPrとRfを重ねた光を、パルス繰り返し信号を参照として位相検波するとS/Nが改善される[2]。

しかし、実際は光検出素子や回路素子の特性で、光強度が揺らぐと、光検出パルス信号が現れる時刻が揺らぐ位相雑音でS/Nが劣化する。そこで、我々はFig. 1の光学系において、光学遅延をパルス繰り返しの半周期とした。すると半周期毎にPrとRrによるパルス状の検出信号を生じる。これらパルスをFig. 2のように、光源のパルス繰り返しに同期させて弁別し(時分割)、差分をとった。差分により、PrをRfに共通である光源の強度雑音は打ち消される。一方、試料計測による強度変調はPrにのみ生じるので、差分により打ち消されない。この方法では、PrとRfに対する検出ゲインが位相雑音に対して堅牢なため、S/N劣化が軽減される。

Fig. 3にPrの強度変調に換算した雑音密度スペクトルを示す。平均光パワーはPrとRfを合わせて1 μ W、増倍率1でのアバランシェフォトダイオードの感度は0.35 A/Wである。 $4 \times 10^{-5} / \sqrt{\text{Hz}}$ の強度雑音(赤線)が、本方法を適用すると青線のようにショット雑音(ピンク線)の1.6倍程度まで削減されることが分かる。[1] K. Seto et al., *Rev. Sci. Instrum.* **84**(8) (2013) 083705.

[2] K. Seto et al., *J. Opt. Soc. Am.* **A32**(5) (2015) 809-821.

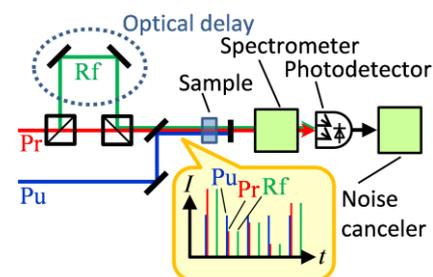


Fig 1. Optics for time division noise cancellation. Pr, Rf: White probe and reference pulse beams, Pu: pump beam.

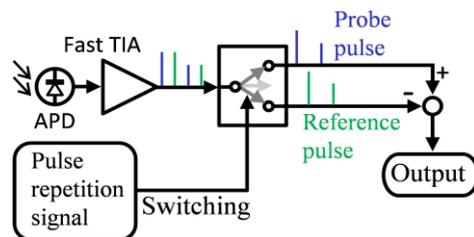


Fig 2. Block diagram of time division noise canceller. APD: avalanche photodiode, Fast TIA: fast transimpedance amplifier.

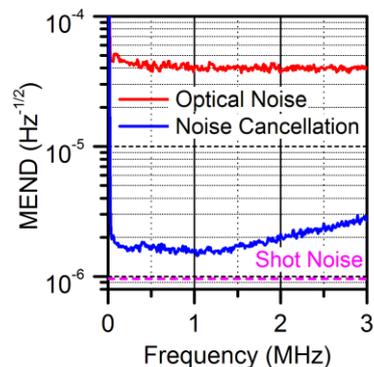


Fig 3. Modulation equivalent noise density (MEND) with 1- μ W optical input. Optical noise was cancelled to 1.6 times of the shot noise.