

白色プローブ・参照パルス光の時分割検出後の差分による 強度雑音除去における広帯域・高ダイナミックレンジ化

Enhancement of Bandwidth and Dynamic Range in Differential Noise Cancellation for White Pulsed Light based on Time Division Detection of Probe and Reference Pulses

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

過渡吸収分光や誘導ラマン分光など、ポンプ光から試料が受けた刺激をプローブ光の強度変調で検出するポンプ・プローブ法においては、信号雑音比がプローブ光(Pr)のノイズに支配される。我々は、フォトニック結晶ファイバーで生成した、ノイズが大きな白色 Pr のノイズキャンセル法を開発してきた[1]。

光源ノイズは参照光(Rf)を用意し、Pr から減算すると削減できるが、白色光の場合は、波長毎にノイズが異なる。従って Rf と Pr のノイズ相関を同一にするため、同じ特性での分光が必要である。光学系を Fig. 1 に示す。Pr を分割して Rf を用意する。このとき Rf にパルス繰り返しの半周期分の遅延光路を与えて、再び Pr と重ねる。本研究のように 76 MHz パルス繰り返しの場合、この光路長はおよそ 2 m である。ポンプ光は Pr とのみタイミングを合わせて試料へ入射する。試料透過後の Pr と Rf を同一の分光器へ導入し、各波長成分を同一のアバランシェフォトダイオード(APD)とパルスを区別できる高速なトランスインピーダンスアンプで検出する。このように分光器を共通とすることで Pr と Rf の分光特性が揃えられる。光検出信号には Pr と Rf のパルスが交互に現れるが、光源のパルス繰り返しと同期させたダイオードスイッチで Pr と Pf パルスを時分割分離し、差分してノイズをキャンセルする。

1 μW 入射時のノイズスペクトルを Fig. 2(a)に示す。低周波では概ねショット雑音限界である(青線)。しかし、高周波では特性が悪化した。これは差分時に Rf の方がパルス繰り返しの半周期だけ遅延しているのが原因であることが理論曲線(桃線)から示唆される[1]。Fig. 2(b)は 0.2 - 1 MHz の低周波領域で平均したノイズの光入力パワー依存性である。低パワーでの特性悪化は APD の過剰雑音に由来する。2 μW までは概ねショット雑音限界だが、それ以上では特性が悪化した。これは APD 中で Pr の光電荷が緩和する前に Rf が入射したときの非線形性に由来する可能性がある。

そこで本講演では、受動遅延回路により Pr と Rf の差分タイミングを揃え広帯域化を図る。さらに APD の受光面積を大きくし、空間電荷密度を下げることでダイナミックレンジの改善を試みる。

[1] K. Seto et al. *J. Phys. Commun.* **4**(12) (2020) 125009.

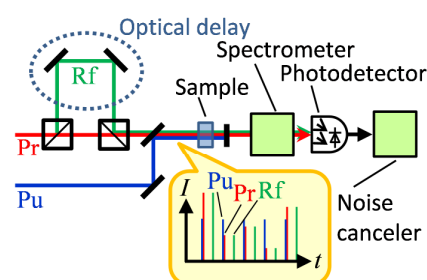


Fig 1. Optics for time division noise cancellation. Pr, Rf: White probe and reference pulse beams, Pu: pump beam.

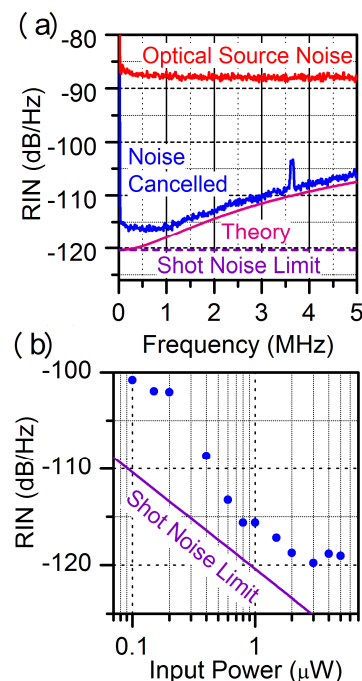


Fig 2. Noise cancelling performance. (a) Noise spectra with 1 μW input power, (b) input power dependence of noise averaged over 0.2 - 1 MHz.