

ポンプ・プローブ分光計測の位相検波法によるノイズキャンセル法における強度雑音から位相雑音へのクロストークとその対策法

Crosstalk from intensity noise to phase noise in noise cancellation method by phase detection method for pump/probe spectroscopy and its countermeasure

東理大理¹ °瀬戸 啓介¹, 垂水 崇¹, 徳永 英司¹

Tokyo Univ. Sci.¹, °Keisuke Seto¹, Takashi Tarumi¹, Eiji Tokunaga¹

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

ポンプ・プローブ計測法とは、試料に光（ポンプ光）で刺激を与え、その刺激をもう一つのプローブ光の強度変化として測定する方法である。プローブ光の強い背景光上の微小な強度変調を計測するため、プローブ光源の強度雑音が信号雑音比をほとんど支配する。強度雑音は、光源の参照光をプローブ光から減算することでキャンセルできる。発表者らは繰り返しパルス光光源に適用可能な、プローブ・参照光を共通の光検出素子で検出する方法を開発してきた（図 1）[1]。パルス繰り返しの 1/4 周期だけ遅延させた光を参照光とする。試料計測により、プローブ光の強度が変調されるが、参照光を重ねて検出すると、パルス繰り返しの位相変調として検出される。一方で、光源の強度揺らぎは位相を変調しないので、パルス繰り返し信号（光源の同期信号）を位相の参照とする位相検波により信号雑音比が向上する。本方法は共通の光路を可能にし分光後の分光特性を共通にできるため、マルチチャンネル分光計測に有利である。

しかしながら光検出信号がパルス光強度に依存して偏移すること（強度位相クロストーク）がある。図 2 は 76.3 MHz 繰り返しパルス光を観測した時の PIN フォトダイオード(a)とアバランシェフォトダイオード(APD)(b)におけるクロストークである。正符号は位相進みを表し、140 mV_{pp} 出力を基準にして示してある。PIN では出力が大きい程位相が遅れ、APD では逆に進むことが分かる。他にも、回路素子の歪特性などによりこのクロストークを生じる。このクロストークは強度雑音を位相雑音に変換し、位相検波法の限界要因となる。

このクロストークは、位相の参照である同期信号の位相を、クロストークによる光検出信号の位相偏移と同じように変位させることでキャンセルすることができる（図 3）。位相変調された同期信号を補償同期信号と呼ぶ。補償同期信号は、光検出信号の瞬時振幅に相関させて位相変調することで生成でき、同期信号に光検出信号を加算するなどして生成することができる。

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

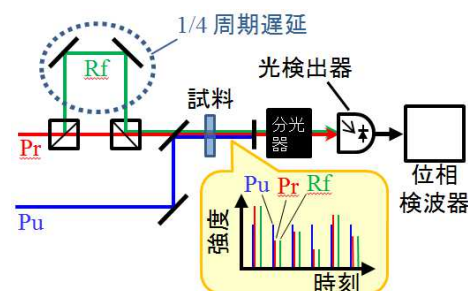


図 1. 位相検波法によるノイズキャンセル、Pr:プローブ光、Rf:参照光、Pu:ポンプ光

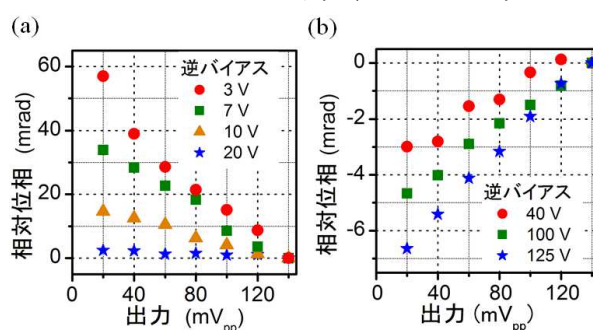


図 2. 光検出素子における強度位相クロストーク (a)PIN フォトダイオード、(b)APD

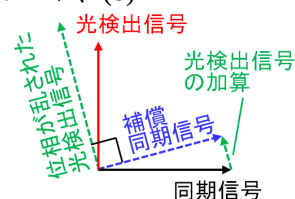


図 3. 強度位相クロストークの補償