

ポンプ・プローブ分光計測のための雑音打消し位相検波法における ブートストラップ法によるフォトダイオードの接合容量打消しの効果

Junction Capacitance Cancellation of Photodiode by Bootstrap Method in Noise

Cancelling with Phase Detection Technique for Pump / probe Spectroscopy

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

誘導ラマン散乱法などのポンプ・プローブ分光計測法では主にプローブ光(Pr)の強度雑音が信号雑音比(S/N)を支配する。我々は白色プローブ光を用いた誘導ラマン分光法を開発してきたが、Prの強度雑音によるS/N劣化が問題になった。そこで、パルス繰り返し1/4周期だけ遅延を与えた参照光(Rf)を用意し、PrとRfを重ねて検出した信号(C)の位相検波法による雑音打消し法を開発してきた(図1)。PrとRfの検出信号の複素振幅を図2に示す。Rfは1/4周期遅延されているので、位相が $\pi/2$ 遅れている。試料計測により、Prの強度が変化すると、Cの位相が変調される(図2(a))。一方、光源の強度雑音はPrとRfで共通なので、Cの位相を変調しない。Cのパルス繰り返し位相検波により、S/Nが向上する。

しかし、実際は強度雑音が一部、位相雑音に変換され、これが本方法の限界になることが分かった。分光後の微弱なパルス光を検出する際の熱雑音の寄与を抑えるために、本方法ではアバランシェフォトダイオード(APD)を用い、さらに高い負荷インピーダンスが得られる並列共振回路で光電流を電圧に変換する(図3)。共振回路の容量には、APDの接合容量(C_D)が含まれる。 C_D は入射光強度で変動するため、光強度雑音に応じて共振周波数(f_R)が変動する。この f_R の変動が位相雑音を引き起こす。そこでAPDのアノード電位の変動をカソードへ正帰還し、APDに印加される電圧を一定に保つことで C_D の変動の効果を打ち消すブートストラップ法(図3青線)を適用し、効果を検証した。抵抗値 R_f は零にすると C_D を完全に打ち消せるが、発振を引き起こす。言い換えると、 C_D を完全に打ち消すことはできない。ノイズスペクトルを図4に示す。入射光強度は $1\mu\text{W}$ である。受光径 1mm のAPDと、より C_D が小さな 0.5mm のAPDを用いた。500kHz以上でほぼ散弾雑音限界となった。特に、 0.5mm のものでは残留した C_D が無視できることが分かる($\sim 2\text{MHz}$ 以上の減少は位相検波回路の帯域を超えたことによるゲイン減少に起因する)。講演ではさらに共振回路のQ値の影響や500kHz以下のノイズについても検討する予定である。

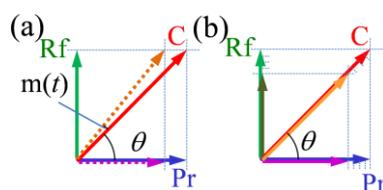


図2. 複素振幅 Pr, Rf; プローブ・参照パルス光, $m(t)$; 試料計測による位相偏移

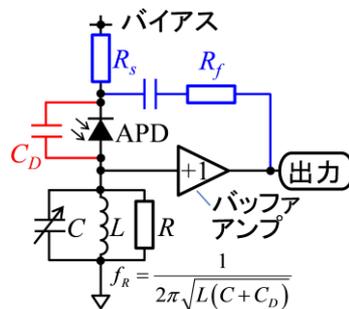


図3. 並列共振回路を用いた光検出回路とブートストラップ法によるAPDの接合容量(C_D)打消し(青色)

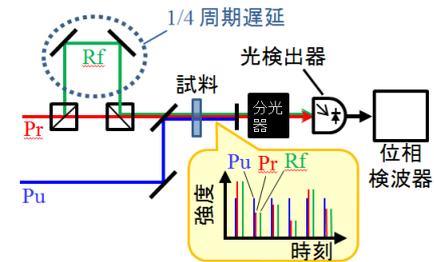


図1. 位相検波法による強度雑音除去光学系 Pr, Rf: 白色プローブ・参照パルス光, Pu: ポンプ光

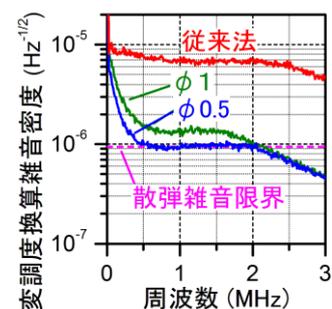


図4. ブートストラップ法の効果、 $\phi 1$, $\phi 0.5$; APDの受光径 1mm と 0.5mm