

パルス繰り返し位相検波によるプローブ光ノイズキャンセルにおける 光検出電流の低インピーダンス受けによる位相ノイズ削減

Phase Noise Reduction with Low Impedance Reception of Optical Current in Probe- Light-Noise Cancelling with Pulse-Repetition-Phase Detection Technique

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・プローブ法ではプローブ光(Pu)の強度雑音が信号雑音比(S/N)を制限する。我々は白色プローブ光を用いたポンプ・プローブ分光法におけるノイズキャンセル法(パルス位相検波法)を開発してきた。パルス繰り返しの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、分光後に検出する(Fig. 1)。試料計測により、Prの強度が変化すると、検出信号のパルス繰り返し位相が変調される。一方、光源の強度雑音はPrとRfで共通なので、位相を変調しない。従って、パルス繰り返しの位相検波により、S/Nが向上する。

しかし入射光強度が変動すると位相が変動する効果で、強度雑音が位相雑音を引き起こすことが判明した。これまで、熱雑音の寄与を抑えるために、光電流を増倍できるアバランシェフォトダイオード(APD)を用い、高い負荷インピーダンスが得られる共振負荷で、APDからの光電流を電圧に変換していた。共振負荷にはAPDの接合容量(C_D)が結合する。しかし、 C_D が入射光強度で変動するため、位相が変動する。そこで本研究では光電流をインピーダンスが低い電界効果トランジスタ(FET)のソースに注入し、ドレインから出力させた(Fig. 2)。ドレインから出力される光電流を共振負荷で電圧に変換し、出力を得た。このように光電流を低インピーダンスで受けると電圧降下が小さくなり、APDに印加される電圧がほとんど変動しなくなる。すると、 C_D を通して流れる光電流がほとんど零になり、共振負荷と C_D が分離される。

Fig. 3に位相検波後のノイズスペクトルの入射光強度依存性を示す。~1 MHzにノイズが最小のディップが現れた。このディップは入射強度が大きほど低ノイズで、かつ高周波シフトした。4.7 μW 入射したときにAPDのゲインを下げ、1 μW 入射時と出力振幅が同じにすると、ディップが1 μW 入射時と同じ位置に低周波シフトした。また、APDのゲインと入射光強度を一定にして、共振器のゲインを下げても低周波シフトすることが分かった。従って、このようなディップを生じる、すなわち最適な周波数以外で位相雑音が引き起こされる原因は、ドレイン電圧の変動にあると考えられる。本講演では、トランスで光電流を増やし熱雑音の寄与を減らしつつ、トランスインピーダンスアンプでドレインからの光電流を受けドレイン電圧の変動の抑圧も試みる。

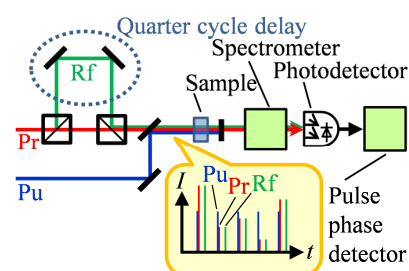


Fig 1. Optics for phase detection noise cancellation. Pr, Rf: White probe and reference pulse beams, Pu: pump beam

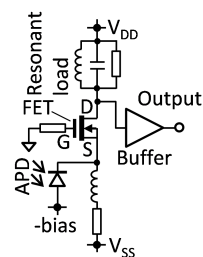


Fig 2. Photo-detector circuit for low impedance reception of phot-current

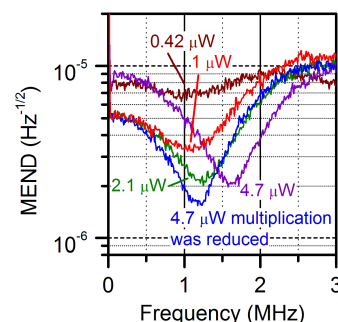


Fig 3. Phase noise spectra reduced to modulation equivalent noise density (MEND)