

Si-APD 二光子吸収応答による距離計測 —変調信号の位相掃引による短時間高精度計測—

Distance measurement using two-photon absorption process in Si-avalanche photodiode
—High-precision and short-time measurement by sweeping the phase of modulation signal

農工大工, °山田 祥規, 根本 昌弥, 田中 洋介, 黒川 隆志

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., °Yoshiki Yamada, Masaya Nemoto, Yosuke Tanaka, Takashi Kurokawa

E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

1. はじめに

我々は Si-APD の二光子吸収応答を利用したレーザ距離計測を検討している。本手法は、複雑で高価な高周波受信回路を用いずに、広範囲の距離について精密測定が可能である。そのため、光ファイバの破断点検出[1]や距離変位計測[2]などへの応用が期待できる。これまで、本測定では複数の反射点検出ができるよう、プローブ光と参照光の強度変調周波数を広範囲に掃引し、Si-APD の二光子吸収電流から強度相関を計測した。しかし、反射点が 1 点でおおよその距離が既知の場合は、変調信号の周波数は固定し、位相掃引のみで反射点までの距離測定が可能となる。これにより、制御系の簡素化や、測定時間の短縮化が期待できる。本発表では、その原理確認結果について報告する。

2. 原理と実験

図 1 に実験系を示す。波長 1.5 μm 帯の 2 台の LD から出射光をそれぞれプローブ光、参照光とし、LiNbO₃ 強度変調器(LNIM)により同一周波数 f_0 で強度変調する。このとき、光信号一周期の長さ Λ は c/nf_0 である。2 台の LNIM に入力する RF 信号の位相差を掃引すると、Si-APD の出力する二光子吸収電流は正弦波状に変化する。図 1(a)で、 $\Lambda/2$ が測定距離 AR より大きければ、A 点を反射点とした場合と R 点を反射点とした場合とで出力電流が最大値をとる位相の差 Φ から AR 間の距離 ΔL が

$$\Delta L = \frac{\Phi c}{2\pi n f_0} \quad (1)$$

と求まる。変調周波数 f_0 は最初低い周波数を用いれば、おおよその距離測定が行える。その後、高い変調周波数を使えば高精度な測定となる。その際、最初の距離測定結果を基に式(1)の Φ を $\Phi+2m\pi$ に置き換える。本実験では、図 1(b)の様にプローブ光路の AB 間に約 2.4m の光ファイバを挿入して原理確認を行った。RF 信号(910 MHz)の位相差 θ_m を -270 ~ 270 deg. まで 90 deg. ステップで掃引し、各 θ_m に対し 30 点平均をとって光電流を求めた。測定結果の正弦関数によるフィッティングから位相差 Φ を求め、距離 ΔL を導出した。フィッティングの R 値は 0.99 で、正弦波状の電流変化が理論どおり得られていた。

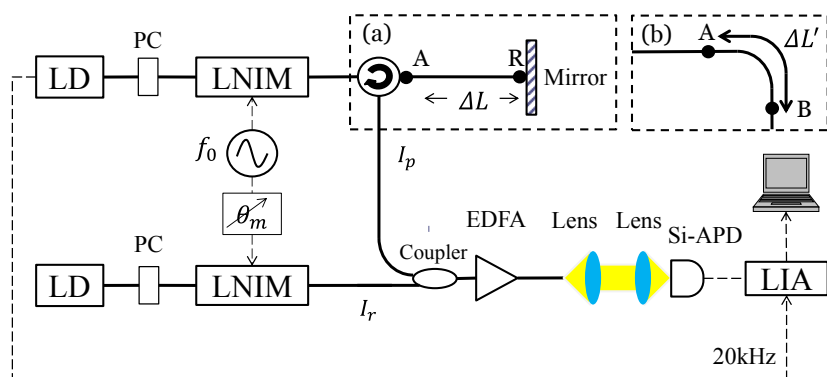


Fig.1. Si-APD 二光子吸収応答を利用した距離計測

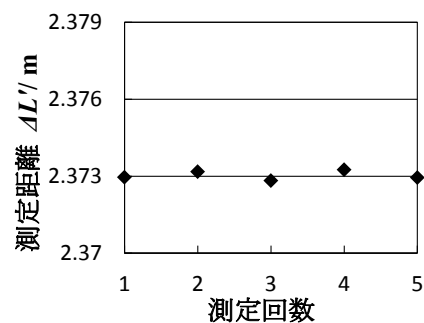


Fig.2. 測定結果(AB 間 2.4m)

図 2 に 5 回距離計測を行った結果を示す。この測定では、式(1)の Φ は $\Phi+22\pi$ と置き換えた。AB 間に光ファイバを挿入していないときのプローブ光路と参照光路の距離差は、平均値 0.161m(標準偏差 1.84×10^{-5} m, 相対不確かさ 1.15×10^{-4})であった。この値を引いて求めた AB 間距離の平均値は 2.37 m(標準偏差 1.56×10^{-4} m, 相対不確かさ 6.58×10^{-5})であった。測定時間は約 60 秒であり、これまで数 10 分を要した従来手法と同等な精度での測定がより高速に行えた。

3. まとめ

Si-APD の二光子吸収応答を利用した距離計測において、強度変調信号の位相掃引による手法を検討した。測定精度の評価基準である相対不確かさは 6.58×10^{-5} 、測定時間は 60 秒で、高精度を維持しつつ測定時間の短縮が実現した。

参考文献

- [1] Y. Tanaka, Y. Kudo, T. Hirasakura, T. Kurokawa, *Meas. Sci. and Tech.*, Vol.26, 025205, 2015.
- [2] Y. Tanaka, S. Tominaka, T. Kurokawa, *Appl. Opt.*, vol. 54, no. 28, pp. E35-E40, 2015.