# 27p-A2-10 Si 受光素子の二光子吸収応答を利用した距離変位計測のダイナミックレンジ拡大

Dynamic range extension of distance displacement measurement using

two-photon absorption process in Si photodetector

農工大院工, 〇工藤 美実,鈴木 大地,柏木 謙,田中 洋介,黒川 隆志

Tokyo Univ. of A&T, <sup>°</sup>Yoshimi Kudo, Daichi Suzuki, Ken Kashiwagi, Yosuke Tanaka, Takashi Kurokawa E-mail: 50012645113@st.tuat.ac.jp

## 1. はじめに

Si-APD の二光子吸収応答を利用した距離変位計測は、原 理的に数 mm~数 km の広いダイナミックレンジがあり、高精 度な測定が可能である[1]。一方、光ファイバの反射点測定等 で 10 km 以上遠方の変位を計測する場合、反射光の減衰に より S/N が劣化し、信号検出が困難になる。本発表では、ロッ クインアンプ(LIA)で S/Nを向上させることにより、約 100 km 遠 方での変位計測が可能なことを検証したので報告する。

#### 2. 原理

Si-APD は可視光に対して高感度だが、近赤外光には感度 がない。しかし、波長 1.5  $\mu$ m 付近の高強度な光を Si-APD に 照射すると、二光子吸収応答により、光強度の2乗に比例した 光電流が生成する。Si-APD の二光子吸収応答を利用した距 離変位計測では、Fig. 2 のように波長 1.5  $\mu$ m 帯の 2 つの光  $E_1$ 、  $E_2$  をそれぞれ信号光、参照光とする。これらは波長が数 nm ずれており、互いに干渉しない。また、信号光と参照光には、 同じ周波数v<sub>m</sub> で強度変調をかける。信号光は測定対象で反 射し、参照光は参照光路を伝搬し、それぞれ共に Si-APD に 集光される。2 つの光の光路長差を $\Delta L$  とすると、Si-APD から の光電流は、

$$i_p = \left\langle \left| E_1 + E_2 \right|^4 \right\rangle \propto \cos \left[ \frac{2\pi n \Delta L v_m}{c} \right] \tag{1}$$

となり、信号光と参照光の強度相関を与える。但し、n は屈折率、c は光速である。変調周波数  $v_m$ を掃引すると、光電流は  $\Delta L$  に反比例した周期で正弦波的に変化する。したがって、電流変化の周期から、距離差  $\Delta L$ を測定できる。

長距離伝搬により信号光が大きく減衰すると、直流バイアス 成分の暗電流が大きく影響することで二光子吸収応答が得ら れなくなる。光増幅器で減衰補償をしても、信号光が微弱であ るとS/Nが劣化し、式(1)の強度相関信号が観測できなくなる。 そこで、本研究ではLIAによる同期検波を併用し、直流バイア ス成分の大幅な除去を実現することで、微弱な信号光に対応 する。LIAでは通常-30 dB以上の雑音抑圧が可能である。利 得 20 dBの光増幅器とLIAを併用し、信号光路に 0.2 dB/km の光ファイバを使用した場合、100 km以上の長距離化が期待 できる。

#### 3. 実験

Fig. 1 に波長 1.5 µm のレーザ光を Si-APD に集光した際の 二光子吸収特性を示す。Si-APD の温度は 5 ℃ に制御した。 光電流を直接観測した Fig. 1(a)に対し、LIA で同期検波した Fig. 1(b)では、暗電流雑音が除去され、二乗特性が観測され る光パワーの範囲が少なくとも 10 dB 拡大している。

Fig. 2 に距離差測定の実験系を示す。信号光に波長 1549 nm、参照光に波長 1552 nm のレーザを用い、それぞれ外部 変調器により強度変調をかける。変調周波数は、800 – 900 MHz の範囲を 10 kHz ステップで掃引する。信号光は LN 出射時-5 dBm、参照光は LN 出射時-1 dBm である。信号光は 約 1 km の光ファイバを伝搬し、出射端のミラーで反射される。 戻ってきた信号光は、可変減衰器によりパワーを変えられるようにした。信号光と参照光はカプラで合波された後、EDFA で 14 dBm まで増幅され、Si-APD に入射する。一例として 1 km の光ファイバから戻ってきた信号光パワーPsを-30 dBm とした際の二光子電流をFig. 3 に示す。変調周波数掃引による正弦 波形が、LIA 使用時には観測されたが、不使用時は観測でき ていない。Fig. 4(a)に LIA を用いて計測した二光子電流波形

のフーリエスペクトルを示す。信号光パワーP<sub>s</sub>が-40 dBm まで 減衰した際も距離差に対応した鮮明なスペクトルが観測され ている。Fig. 4(b)に LIA 併用時のフーリエスペクトルの S/N を 光増幅器のみの場合と共に示す。LIA 使用時は、信号光パワ ーが低下しても S/N がほぼ一定に保たれることがわかる。

### 4. まとめ

受光素子の二光子吸収応答を利用した距離変位計測において、LIAの併用を検討した。本手法では、信号光の伝搬損 失が40 dB 近いときにも高い S/N が維持されることから、100 km 遠方の距離変位測定への応用が期待できる。

本研究の一部は科研費(22560413)の助成による。







Fig. 2 Experimental setup for distance measurement.



Fig. 3 Two-photon current measured (a) with LIA and (b) w/o LIA for optical input of -30dBm.



Fig. 4 (a)Fourier spectra corresponding to the path length difference and (b) their S/N. 参考文献

[1]Y.Tanaka et al., JJAP, vol.46, no. 8A, pp. 5331-5337, 2007.