Si-APD 二光子吸収応答を利用した距離計測と多点 FBG センサ応用

Distance measurement based on two-photon absorption process in Si-avalanche photodiode and its application to multi-point fiber Bragg grating sensor

農工大工 [1], 国立天文台 [2], ○宮澤弘将 [1], 根本 昌弥 [1], 山田 祥規 [1], 田中 洋介 [1], 黒川 隆志 [2,1]

Tokyo Univ. of Agri. & Tech. [1], National Astronomical Observatory of Japan [2],
○Hiromasa Miyazawa [1], Masaya Nemoto [1], Yoshiki Yamada [1], Yosuke Tanaka [1], Takashi Kurokawa [2,1]
E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

レーザを使った距離計測技術は，光ファイバの破断点・損失箇所の検出などに幅広く利用されている．様々な手法が研究されている中で，我々は，Si-アヴァランシェフォトダイオード(APD)の二光子吸収応答を用いた距離測定を研究してきた [1,2]. この手法は， Si-APD の二光子吸収電流からプローブ光，参照光の光強度相関を求めて距離測定を行う．これまでに 7 mm～50 km までの広範囲にわたる測定を実現している．また，測定誤差も数 m の測定に対して数 10 μm を達成している．今回の研究では，この二光子吸収法による距離測定と光ファイバ回折格子（FBG：fiber Bragg grating）を組み合わせ，各 FBG までの距離変化と FBG 反射スペクトルを同時に取得するシステムを提案する．一般に，多点型 FBG センサでは，反射中心波長の異なる FBG を用いる．これに対し，提案手法では反射中心波長が同じ FBG を用いても，複数の FBG までの距離を測定できる．更に，各 FBG の反射スペクトルを分離して検出できる．

提案システムの原理確認のため，Fig. 1 のように反射損失がやや大きいコネクタと FBG からなる試験ファイバを用いた実験系を構築した．波長 1550nm，および 1552nm のレーザ光をそれぞれプローブ光，参照光とし，同じ周波数 f_m で強度変調を行った．また，プローブ光にはロックイン検波のため，20 kHz で強度変調をかけた．プローブ光は，物理長で約 1 m 離れた FBG とコネクタの 2 箇所で反射する．その後，プローブ光と参照光はカプラで合波され，Si-APD に入射する．一般に波長 1.55 μm の光に対し Si-APD は感度を示さないが，二光子吸収応答により，入射光強度の二乗に比例した二光子吸収電流を出力する．その結果，ロックイン検波により，

$$i_{LIA} \propto const + cos\left\{2\pi f_m \frac{n}{c}\left(L_p - L_r\right)\right\} \tag{1}$$

で表される二光子吸収電流が検出される．但し，c は光速，n は屈折率，L_p, L_r はプローブ光と参照光の伝搬長である．式(1)より強度変調周波数 f_m を掃引するとプローブ光と参照光の光路長差に反比例した周期で出力電流が変化する．今回は 800 MHz ~ 4 GHz の範囲を 2MHz ステップで掃引した．掃引ステップ 2 MHz は理論測定光路長 15 m，掃引幅 3.2 GHz は理論空間分解能 9.4×10^{-2}m を与える．Fig. 2 に 10 回の測定結果をまとめる．コネクタと FBG による反射を分離して測定ができ、両者の平均光路長差は約 3.2m となった．この測定の相対不確かさ（標準偏差/平均）は 10^{-4} オーダーで，高い精度での測定が行えた．今後は，中心波長が同じ複数の FBG を用い，距離差測定と FBG 反射スペクトルの同時測定を行う．本手法は，従来の多点型 FBG センサの密度を上げ，更に FBG 間の距離変化の正確な測定を実現する。将来的に橋梁，ビル，飛行機等の大型構造物に対する構造ヘルスモニタリングへの応用が期待される．

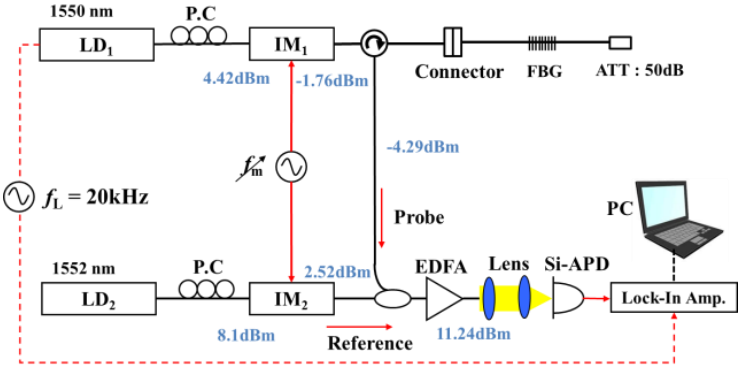

Fig.1 Si-APD 二光子吸収応答を用いた FBG 計測

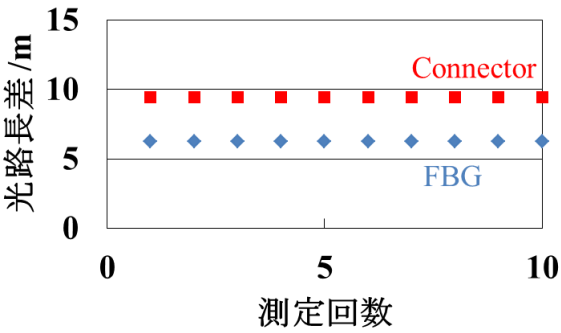

Fig.2 反射点距離差測定結果

参考文献
[1]山田 他，第 63 回応物春季講演会，20p-H116-4，2016 年 3 月
[2]根本 他，第 77 回応物秋季講演会，16p-C32-3，2016 年 9 月