ヘテロダイン検出による時間分割多重 FBG センシング

Time-division multiplexed sensing of nearly identical fiber Bragg gratings based on a heterodyne detection technique

北里大理 [1],　○黒田 圭司 [1,*], 浜田 心路 [1]
Department of Physics, School of Science, Kitasato University[1], ○Keiji Kuroda[1]*, Komichi Hamada[1],
* E-mail: kkuroda@kitasato-u.ac.jp

Fiber Bragg Grating (FBG)は温度や歪みセンサーとして活用されている。昨年の講演会で単一低反射率 FBG の高感度検出に向けたヘテロダイン検出技術の応用について報告した[1]。本講演では時間分割多重化(TDM: Time-Division Multiplexing)に向けて直列接続された同一波長 3FBG の検出について報告する。光源は DFB-LD (Distributed Feedback Laser)アレイを用い、直接変調によって波長 1.5 μm、パルス幅 300 ns のパルスを発振させ 3dB カプラーで等分割する。一方を信号光として用いるが 3FBG からの反射の時間的なオーバーラップを避けるため強度変調器を用いて 30ns パルスに切り出し、サーキュレーターを透過後 FBG に入射される。FBG からの反射光は偏波コントローラーによって偏光を調整した 300 ns 参照光と再び 3dB カプラーで混合される。カプラーからの二つの出力は差動検出器によって検出される。用いた FBG のスペックは中心波長 1531±0.1 nm、バンド幅(FWHM) 0.2±0.1 nm、反射率 1%であり 4.5m 間隔で配置されている。

図 1(a)の上段に典型的な干渉波形を示す。幅 30 ns のビート信号が約 45ns の遅延時間で 3 つ検出されており、それぞれ 3 つの FBG からの信号である。DFB-LD に直接パルス電圧を印加することでパルス発振させているが、このとき熱が発生しその拡散で実効的な共振器長が変わり時間的な周波数シフトが起きる。微弱な信号パルスの反射を参照光とヘテロダイン検出する事により光路長差で決まる周波数を持つビート信号が検出される。また信号光と参照光の振幅をそれぞれ E_{Sig}、E_{Ref} とした場合、ビート信号の振幅は $2|E_{Sig}E_{Ref}|$となり直接強度検出した場合に比べて S/N 比が 30dB 以上改善される。図 1(a)の中段と下段は参照光の偏光を変えた時で、それぞれ FBG1 と FBG3 の信号が消えている。これより反射光は伝搬中に偏光方向は変化しているが、直線偏光は保たれていると考えられる。よって上段のデータでは 3 つの FBG からの反射がほぼ等しい振幅で検出されているため、参照光の偏光状態が円偏光に近くなっていると考えられる。図 1(b)は LD の温度により波長を変化させたときの FBG1 のビート信号である。FBG 反射率を反映して振幅ΔV が変化しているのがわかる。測定から得られるビート振幅は反射光強度の 1/2 乗($2|E_{Sig}E_{Ref}|$)に比例するので図 2 ではΔV^2 をプロットしている。実線はガウス関数によるフィッティングの結果であり実験データをよく再現している。フィッティングにより得られた中心波長と FWHM はそれぞれ FBG1(1530.80nm, 022nm)、FBG2(1530.80nm, 0.22nm)、FBG3(1530.84nm, 0.23nm)でありスペックとよく一致している。図 2 の Inset は FBG1 スペクトルのログプロットで 20dB 以上の S/N 比が得られている。本方法では原理実証のため FBG 数は少ないが、1%の低反射率 FBG を用いているのでより多数の直列 TDM システムへの拡張が期待できる。

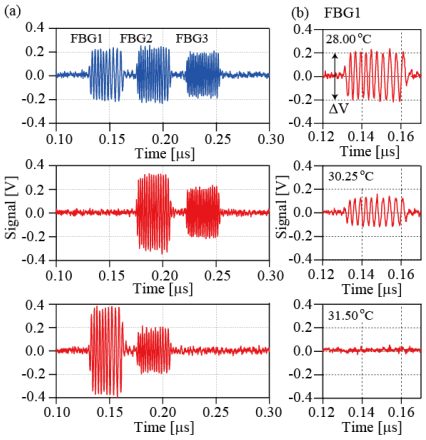

Figure 1. (a) Typical beat signals observed with different polarization states of the reference pulse. (b) The interference signals seen at temperatures of 28.00 °C, 30.25 °C, and 31.50 °C for FBG1.

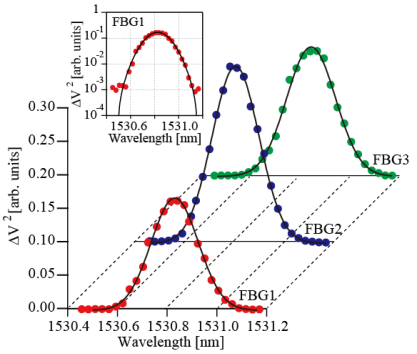

Figure 2. Wavelength dependence of the square of the beat amplitude, ΔV^2. The black lines are fitted results.
Inset: The FBG1 spectrum plotted on a logarithmic scale.

[1] 黒田圭司, 平井あかり, 林昶忻,　第 68 回応用物理学会春季学術講演会 (オンライン) 17p-P03-5