

光ファイバのたわみ振動を用いた高速波長走査光源

井砂亮一 小山大介 中村健太郎 上羽貞行
東京工業大学 精密工学研究所

1 はじめに

レーザ光等の偏向走査を行う光スキャナには様々な方式があるが、高周波数で大偏向角走査を行うのは難しい。そこで我々は、たわみ振動する光ファイバを用いて、高周波走査可能な光スキャナを提案し、その偏向角について検討を行ってきた^[1]。この方式では、振動による光ファイバ端部での変位と傾きの効果以外に、振動応力による光ファイバ内部での屈折率変調効果に加わり、42 kHz で $\pm 10.5^\circ$ の偏向角で出射光を走査可能であることを確認している。本報では、本方式を応用した高速波長走査光源を実現したことを報告する。

2 波長走査光源の構造と原理

提案する波長走査光源の構造を Fig. 1 に示す。Littrow 型の分光部と増幅媒体である半導体レーザからなる外部共振器型半導体レーザ構造をとっている。半導体レーザ素子の片側端面には無反射コーティングが施されており、光ファイバと結合されている。光ファイバ出力端からコリメート用レンズと回折格子で構成される分光部に向かって光が出射する。光ファイバは偏波コントローラ (PC) 付きのシングルモード光ファイバとし、回折格子での回折効率の大きい S 波を出射する。回折格子は、溝本数 600 lines/mm、ブレード角 28.41° のブレード・グレーティングを用い、入射角と一次回折角が等しくなる Littrow 型配置となっている。回折格子では光の波長に応じて回折角度が変わる。ここで、回折格子への入射角度を変化させることにより、半導体レーザへ戻る光の波長が変化する。半導体レーザでは、この戻り光の波長でレーザ発振し、発振光はもう一方の端面から出射し、アイソレータを透過後、シングルモード光ファイバに出力される。

3 走査方法

レンズに光を出射する光ファイバ先端部分を圧電振動子を用いて片持ち梁モードでたわみ振動させ、回折格子への入射光角を掃引し、レーザ側へ戻る光の波長を変化させる。圧電振動子は、86 kHz 付近で共振するステップホーン付きボルト締めランジュバン振動子 (BLT) を用い、ホーン先端を光ファイバに

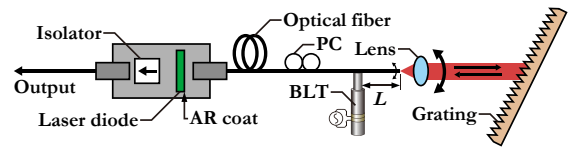


Fig. 1 Experimental setup of the wavelength swept light source using the optical scanner based on bending vibration of the optical fiber.

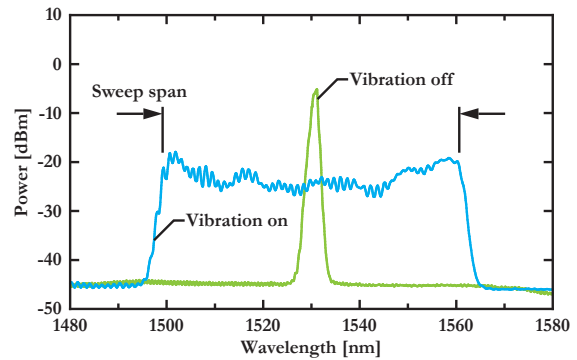


Fig. 2 Spectrum shapes of the swept light source output.

接着している。この周波数で光ファイバも共振させるために、Bernoulli-Euler の梁の横振動の共振周波数の式^[2]

$$f_n = \frac{(\beta_n L)^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (1)$$

を用いて光ファイバ長 L を 5 次モードで共振する 8.2 mm とした。なお、 EI は曲げ剛さ、 ρ は密度、 A は断面積、 $\beta_n L$ は周波数定数である。このとき、半導体レーザの出力について光スペクトラムアナライザで光スペクトルの時間平均値を測定すると Fig. 2 となった。振動させないときの発振スペクトルも合わせて示す。正弦波振動のためスペクトルの中央部分の出力が小さく表示されている。

4 波長走査特性

4.1 レンズの曲率による掃引幅の変化

光ファイバの共振周波数 83.6 kHz で駆動したときの振動子先端の振動変位に対する光ファイバ先端の振動変位を LDV (laser Doppler velocimeter) を用いて測定した結果を Fig. 3 に示す。このときの半導体レーザの出力を光スペアナで観測し、光ファイバ先

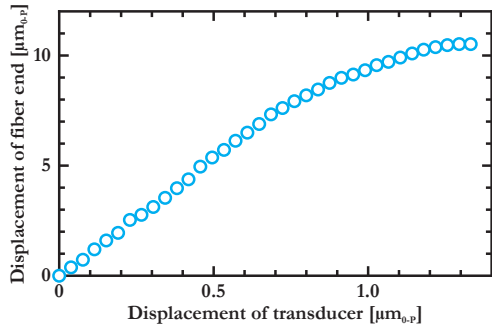


Fig. 3 Displacement of the fiber end vs displacement of the transducer at 83.6 kHz.

端変位に対する波長掃引幅を測定した結果を幾何光学計算から見積もった値とともに Fig. 4 に示す。コリメート用レンズとして直径の異なるボールレンズ（屈折率 1.77）と 20 倍の対物レンズを用いた場合について測定を行なった。振動させない状態での発振スペクトルの線幅と光出力を Table 1 に示す。どのレンズを用いたときも掃引幅は線幅の 60 倍程度で一定であり、掃引幅と線幅はトレードオフの関係になっている。より曲率の小さなボールレンズを用いた方が偏向角は大きくなり、掃引幅も大きくなるが、コリメート性が悪くなるため発振線幅が広がり、光出力も小さくなった。直径 1 mm のボールレンズを用いたときで、線幅 1.1 nm で 70 nm の掃引幅を得た。今回の測定では、振動子と光ファイバの共振周波数にずれが生じており、光ファイバ先端で十分な変位が得られなかった。共振周波数の調整により、より大きな掃引幅を得ることが可能であると考えられる。線幅は光ファイバ端面かボールレンズに反射防止コーティングをすることによって、より小さくできると考えられる。また、従来得られていた振動応力による屈折率変調効果^[1]は小さかった。この点については光ファイバの種類の影響などの検討が必要である。

4.2 発振波長の時間的变化

波長多重された光信号を波長ごとに異なる出力ポートに導くアレイ導波路格子 (AWG) を用いて波長走査時における発振波長の時間的な変化を測定した。0.8 nm 間隔で通過中心波長の異なる 32ch の出力をもつ AWG に半導体レーザの出力光を入力し、各出力ポートからの出射光を PD で受光し、オシロスコープで観測した。PD の出力と圧電振動子への印加電圧の時間位相を測定することにより、波長走査光源の出射波長と時間の関係がわかる。9.57 kHz で 51.40, 29.24 nm を波長走査したときの測定結果を Fig. 5 に示す。図中の曲線は光スペアナで測定した掃引幅を正弦波状に走査した場合の理論値である。

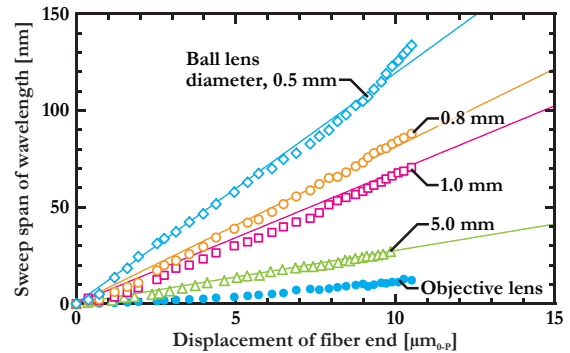


Fig. 4 Sweep span vs displacement of the fiber end.

Table 1 Comparison of line width and optical power.

		FWHM [nm]	Power [dBm]
Ball lens	0.5 mm	2.2	-12.3
	0.8 mm	1.5	-7.1
	1.0 mm	1.1	-4.9
	5.0 mm	0.36	0.2
Objective lens		0.24	5.1

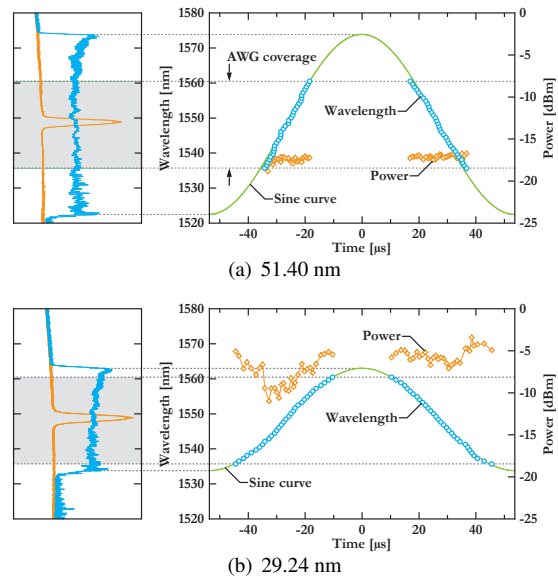


Fig. 5 Time domain measurements of the wavelength sweep.

振動子を正弦波駆動させているが、出射波長も正弦波状に時間掃引されているのがわかる。

5 まとめ

光ファイバのたわみ振動を用いた高速波長走査光源を提案した。83.6 kHz で掃引幅 70 nm の波長走査を実現した。

参考文献

- [1] R. Isago *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **45**, 4773-4779, 2006.
- [2] K. F. Graff, "Wave Motion In Elastic Solids," Dover Publications, Chap. 3, 1991.