

体積ブラッググレーティングを用いた直接検波ドップラーライダー用 受光部の検討

Receiving system with volume Bragg grating for a direct detection Doppler lidar

柴田泰邦, 長澤親生, 阿保真
Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa and Makoto Abo

首都大学東京
Tokyo Metropolitan University

Abstract: We had developed an incoherent Doppler lidar (ICDL) technique using a Fiber Bragg Grating (FBG) at the 1.5 μm band as a wind detection device. The ICDL can be measured with high range resolution of several meters. However, the coupling loss between a telescope and the FBG which consisted of a single mode fiber cannot be disregarded. In order to improve this loss, we propose to take advantage of a volume Bragg grating (VBG) instead of the FBG. The VBG is a diffractive grating produced by refractive index modulation in the volume of a photosensitive material. In this paper, the experimental results of the wind sensitivity and thermal shift of the VBG are reported.

1. はじめに

我々は直接検波ドップラーライダーのドップラーシフト検出部に Fiber Bragg Grating (FBG) フィルターを用いた方式を開発し、波長 1.57 μm 、出力 6 mJ (500 Hz) の OPA/OPA 光源を用いて高度 6 km までの風向風速測定に成功した^{1,2}。この FBG フィルターはシングルモードファイバーで構成されているため、受信望遠鏡で受信した光をファイバーのコア径 10 μm 内に集光させる必要がある。実際には、シングルモードファイバーへの結合損失が 8 割以上あり、この損失改善が精度向上の課題であった。近年、空間利用可能な大口径の体積ブラッググレーティング (VBG : Volume Bragg Gratings) が開発された。半値全幅 1 nm、回折効率 97 %、口径 12 mm x 12 mm のフィルターが標準品として製品化されており、温度による波長シフト量は 5 GHz/°C 程度と FBG の 70 GHz/°C より一桁小さい利点がある。そこで、ドップラーシフト検出用素子として VBG が利用可能か検討した。

2. VBG の利点

図 1 に VBG 回折効率特性の概略図と VBG の原理図を示す。一般的な多層薄膜ノッチフィルタは、ブラッグ波長では互いに干渉して高い反射率を有するのに対して、他の波長では相殺的に干渉して低い反射率となる。多層薄膜ノッチフィルタの波長選択性は膜内の層の特性及び数によって決まる。通常、厚さ 20 mm、100 層までが限度であり、フィルター半値全幅 0.2 nm を達成しているが、層の均質性はフィルターの表面の 10 % 程度にすぎない。一方、ホログラフィックフィルタ技術は何千もの層を均質に形成することが可能であり、この技術を用いたものが VBG である。VBG は、多層相対物よりも厚く均質なノッチフィルタが可能であり、100%に近い高い回折効率と高い波長選択性が利点である。また、光ファイバーのコアに紫外レーザー光を集光して回折格子を形成する FBG と異なり、大口径であることも利点である。VBG をドップラーライダーの受光部に使用する場合、回折特性のスロープ部分に波長同調したレーザーを大気に放射し、受信部の VBG 透過光と回折光の強度変化から風速を測定することができる。このため、急峻なスロープ、つまり高分解能な波長選択性が可能で、空間結合可能な VBG は FBG と比較して多くの利点がある。さらに FBG 方式では、FBG への入射光と FBG からの反射光を分けるため、光サーキュレータを用いていたが、そこで生じた漏れ光の影響が無視できなかつた。VBG 方式ではこの光サーキュレータが不要になるため、システム誤差要因が少なくなる利点がある。

3. VBG の風速測定感度

狭帯域 VBG ノッチフィルター（中心波長 532.27 nm、半値全幅 0.2 nm、回折効率 99 %以上、開口部 10 mm×10 mm）を試作し、視線風速当たりの回折効率変化であるドップラー感度 [%/(m/s)]と波長シフト量の温度依存性 [GHz/°C] を調べた。VBG は可視から近赤外領域で製作可能であるが、直接検波ドップラーライダーに利用可能な波長（光源）の中で、最もドップラー感度の高くなる波長 532 nm を選択した。図 2 に実験のブロック図を、図 3 に VBG の回折特性を示す。図 3 からドップラー感度は 0.063 %/(m/s) @ 532 nm で、FBG 方式 (0.093 %/(m/s) @ 1.57 μm) の約 2/3 であったが、結合効率による損失がないためシステム全体の効率は改善する。また、波長シフト量の温度依存性は 11.2 GHz/°C で、FBG 方式の 1/6 以下と小さい。この初期解析結果をもとに、今後アイセーフを考慮したドップラーライダーシステム全体の設計を行う。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 24560526 の助成を受けている。

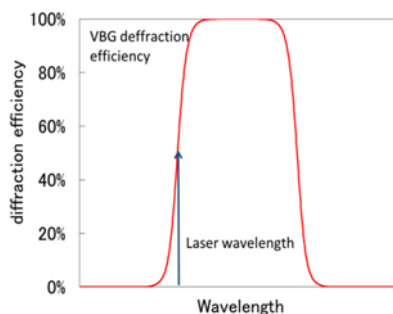


図 1 VBG 回折効率特性と VBG の原理図

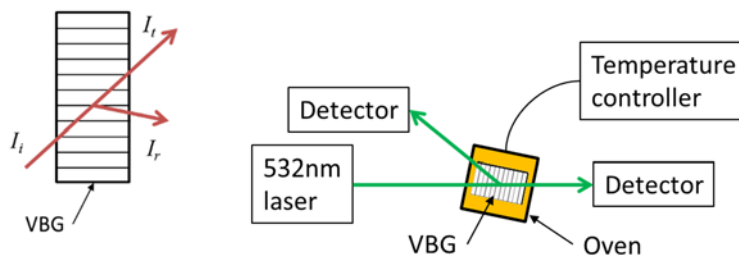


図 2 ドップラー感度測定実験のブロック図

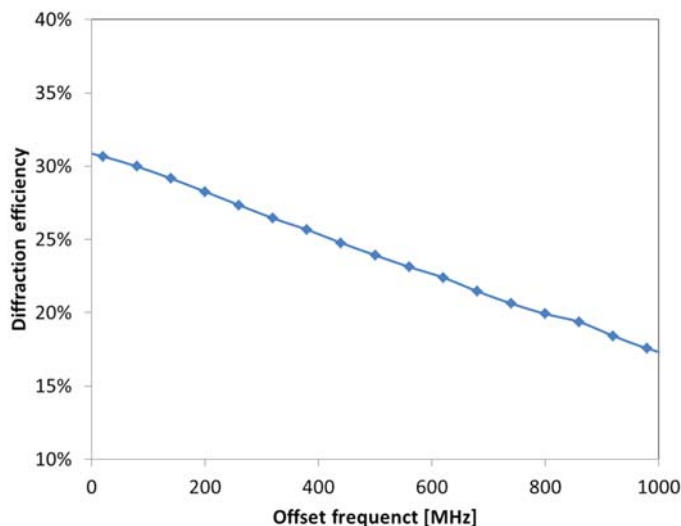


図 3 VBG 回折特性

【参考文献】

1. 柴田他, レーザー研究, Vol.39, pp.622-623, 2011.
2. 柴田他, 2013 年 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-P2-1, 2013.