

Ar⁺レーザーを用いた ファイバーブラッググレーティングの作製

量子・物質工学科 植田研究室
檜皮 健二

1. 背景・目的

ファイバーブラッググレーティング(FBG)とは、ファイバー中に紫外光を用いて周期的な屈折率変化を生じさせ、反射機能を持たせたものである。この反射機能を利用すると、ファイバーのみでの共振器を組むことが可能であり、共振器の低損失化、小型化につながる。

今日では、光通信(1.5 μm 帯)で FBG 技術が使用されているため、1.5 μm 帯での FBG 需要は多く、量産化されている。しかし、その他の波長域では需要が少ないため量産化されていない。

我々の研究室では、様々な波長のファイバーレーザーを研究しており、自ら FBG を作製することは研究の幅を広げることにつながる。よって、1~2 μm 帯の FBG 作製を目標とする。

2. 原理

2.1 FBG

反射光の波長は、図1のようにブラッグ波長を λ_{Bragg} 、屈折率を n_{eff} 、グレーティング周期を Λ_g とすると

$$\lambda_{Bragg} = 2n_{eff} \Lambda_g \quad (1)$$

で表される。

屈折率変化の周期を作り出す方法として Phase mask を用いる場合と、二光束干渉法を用いる場合がある。今回は Phase mask を使って実験を行った。

また、一般的に FBG を作製するとき用いる紫外光は 250nm 以下のものを使用するが、今回は 257.25nm の紫外光を用いて実験を行った。

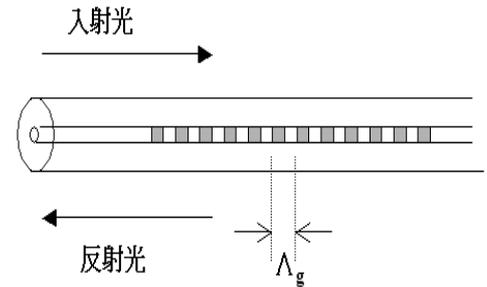


図1 FBG

2.2 Phase mask

次に、図2のような Phase mask の特徴を示す。

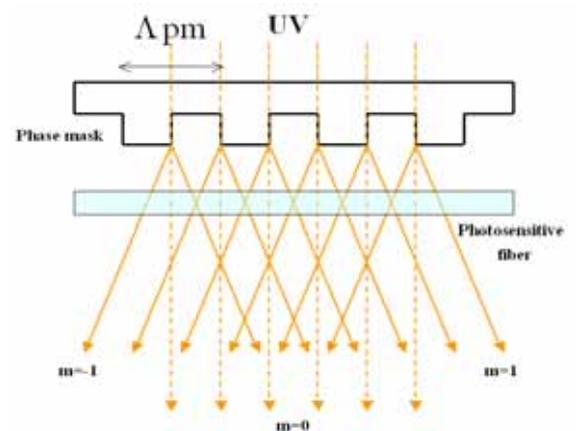


図2 Phase mask

Phase maskの周期を Λ_{pm} とすると、この Phase mask で作製した FBG の反射波長は

$$\lambda_{Bragg} = N n_{eff} \Lambda_{pm} \quad (2)$$

で表される。

Phase mask のメリットとしては、比較的簡単に FBG を作製でき、安定した特性を得られ、量産性に優れている。一方、デメリットとしては、反射波長を表す式から

かるように、反射波長は μm に依存するため、Phase mask の設計で決まってしまう。そのため、ほしい反射波長を得るには、それぞれの Phase mask を用意しなくてはならないため、コストがかかってしまう。さらに、設計外の紫外光を用いると、零次光が出てきてしまうのが問題である。

2.3 二光束干渉法

二光束干渉法を図3に示す。

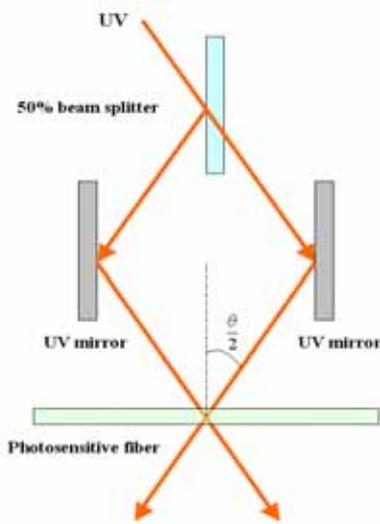


図3 二光束干渉法

二光束干渉法で作られたFBGの反射波長は

$$\lambda_{\text{Bragg}} = \frac{n_{\text{eff}}}{n_{\text{uv}}} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3)$$

で表される。

この方法では、反射波長が入射角 $\theta/2$ に依存するため、任意の反射波長を得ることは可能だが、干渉の制御が難しく不安定なものになってしまうのが問題である。

3. 共振器内第二次高調波発生装置

FBG 作製に使う紫外光を得るために図4のような共振器内第二次高調波発生装置を作成した。

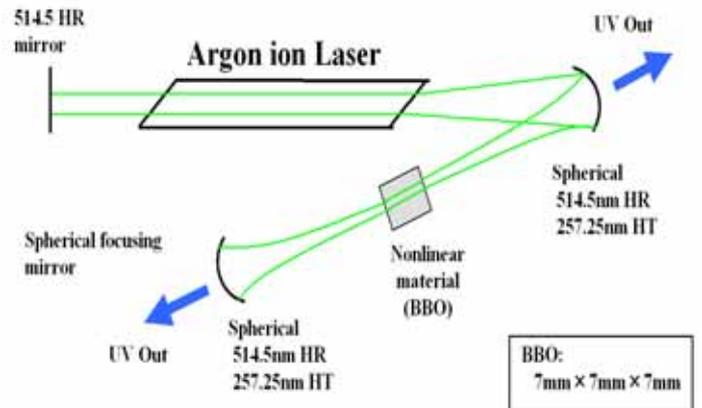


図4 共振器内第二次高調波発生装置

Ar^+ レーザーは、元々514.5nmで15W程度の出力があるものを使用した。これは、共振器内では、514.5nmのPowerは百数十Wと見込まれる。よって、製品の共振器を故意に崩し、凹面ミラーを新たに2枚用いることによって自前の共振器を作り、共振器内に非線形光学結晶(BBO)を設置可能にしたものである。これより、共振器内のPowerを利用する事によって、514.5nmの第二次高調波である257.25nmの紫外光を高出力で得られる。

4. 第二次高調波出力結果

共振器内第二次高調波発生装置(図4)を作製し、その第二次高調波の出力を図5に示す。

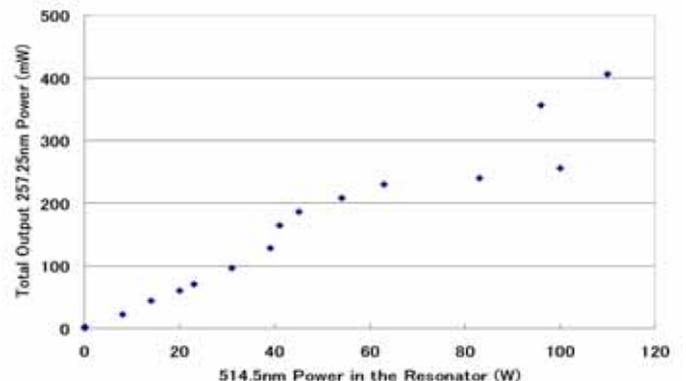


図5 第二次高調波出力

紫外光は凹面ミラー 2 枚の両方から出てくるので、その合計を Total Output とする。

今回の装置では、最大で 400mW の紫外光 (257.25nm) が得られた。ただし、実際に使用できる Power は、その半分であり、最大で 200mW となる。この結果は FBG を作製する上で十分な紫外光の出力が得られた。

5 . FBG 作製装置

第二次高調波発生装置(図 4)から出てきた光は 514.5nm の緑光と 257.25nm の紫外光が混じった状態で出てくる。514.5nm の光は FBG 作製にはまったく関与しないため放置してもかまわないのだが、ここでは、紫外光を扱いやすくするために、緑光と紫外光を Dichroic mirror(M₄,M₅,M₆)を用いて緑光を省き(図 6)、分けた紫外光を用いて FBG 作製を行った。このとき使用したファイバーは 30-weight%Ge-doped fiber を使用し、Phase mask は λ_{pm} が 1069.6nm で 266nm の紫外光用に設計されたものを使用した。

Phase mask の大きさは 1cm × 1cm であり、このときビーム径は 1mm × 35mm 程度であったので、phase mask を最大限使用して FBG を作製できたと仮定する。

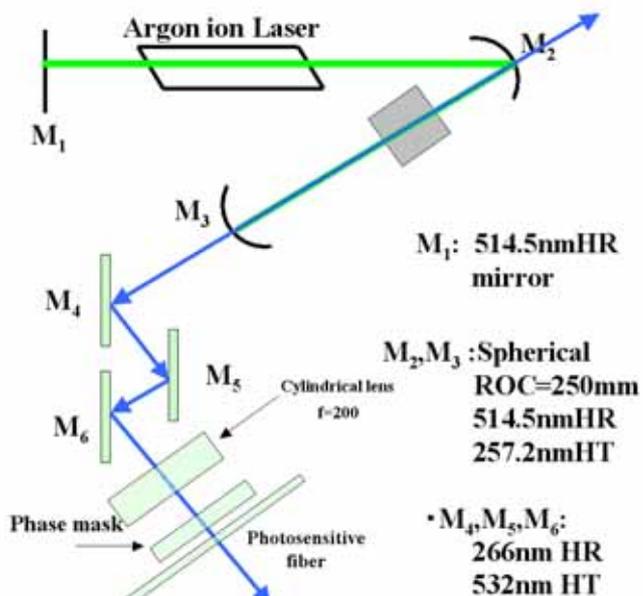


図 6 FBG 作製装置

この装置で FBG を作製した場合予想される反射波長は式(2)より $N=1$ 、 $n_{eff}=1.444$ 、 $\lambda_{pm}=1069.6nm$ とすると $\lambda_{Bragg}=1554.5nm$ と予想される。

6 . FBG 透過・反射率測定

図 6 の様にして作製した FBG がどれだけの反射率を持つかを測定した。測定方法は図 7 に示す。

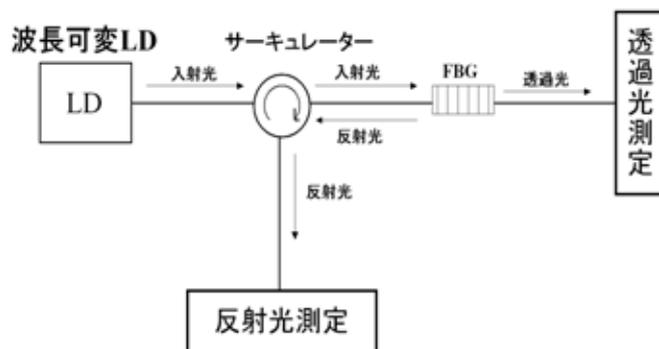


図 7 透過・反射光測定

波長可変 LD とサーキュレーターを用いることによって透過光と反射光を同時に測定することが可能となる。測定結果より出された、透過・反射率を図 8 に示す。

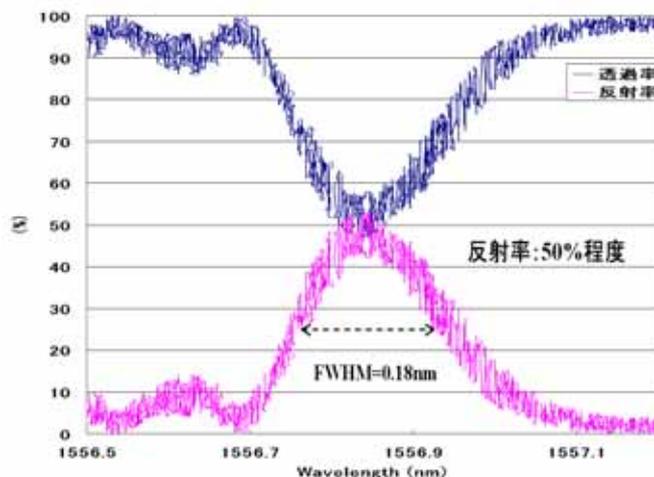


図 8 透過・反射率結果

図 8 より、半値全幅(FWHM)が 0.18nm で反射率が 50%程度の FBG が作製できたということがわかった。また、予想より 2nm ほど

ずれたが、ほぼ予想通りの反射波長が得られた。

7. 屈折率変化

反射率測定の結果より、紫外光をファイバーに照射することによって生じた屈折率変化を見積もることができる。作製できたFBGのグレーティングの長さをL、反射波長を λ_{Bragg} 、反射率を R とすると

$$n = \frac{2 \lambda_{Bragg} \tanh^{-1}(\sqrt{R})}{L} \quad (4)$$

と表される。

今、グレーティングの長さ $L=1\text{cm}$ 、反射波長を図8より $\lambda_{Bragg}=1556.85\text{nm}$ 、反射率 $R=0.5$ として式(4)に代入して計算すると

$$n=8.7 \times 10^{-5}$$

となった。但し、このときファイバーに照射した紫外光(257.25nm)のエネルギーは $480\text{J}/\text{cm}^2$ であった。この結果は予想のオーダーとほぼ一致する。

8. まとめ

今回の実験で、凹面ミラーを用いた共振器内第二次高調波発生装置を完成させ、最大 400mW の紫外光(257.25nm)を得られた。それに伴い、FBG作製に必要な紫外光(257.25nm)を得られた。さらに、その紫外光を用いて反射率50%程度のFBG作製に成功した。

9. 展望

今後は、30-weight%Ge-doped fiber に対して、どれだけ紫外光のエネルギーを与えると、どれだけ屈折率変化が起こるかを解明する必要がある。

また、円筒凹面ミラーを用いた共振器内第二次高調波発生装置の作製を目指す。現在の共振器内第二次高調波発生装置では非

線形光学結晶(BBO)の破壊が著しいと思われるので、1枚の凹面ミラーと2枚の円筒凹面ミラーを用いることによって、非線形光学結晶(BBO)でビームを楕円型に集光させる。これは、非線形光学結晶(BBO)の破壊を押さえるだけでなく、低強度の514.5nm光で高出力の257.25nm光が期待できる。

次に、二光束干渉法を用いることによって1~2 μm 帯のFBG作製を目指す。

参考文献

- 1) 霜田光一,「レーザー物理入門」,岩波書店
- 2) Amnon Yariv,「光エレクトロニクス基礎編」,丸善
- 3) Raman Kashyap, "FIBER BRAGG GRATINGS", ACADEMIC PRESS 1999
- 4) D.S. Starodubov, et.al, Opt.Let.,22,(1997),pp1086
- 5) Turan Erdogan, J.Lightwave Tech. 15,(1997),1277
- 6) Yoichi Taira, Proc. of CLEO'93, pp634