

# 最近の技術から

## SBN 単結晶のファイバ化技術

八木 生剛・杉山 泰之

NTT 境界領域研究所 〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根 162

### 1. はじめに

フォトリフレクティブ (以下 PR と略) 結晶をホログラフィックメモリに応用しようとする試みがなされてから久しいが, 最近のレーザーや光空間変調器等の進歩に呼応して, 再び注目を集めるようになってきた. PR 結晶を単結晶ファイバ化して用いるという提案も, こうした動きの一つである.

単結晶ファイバを用いることのメリットは, 1) ファイバ側面で参照光を折り返すことで干渉距離を延ばすことができること, 2) バルク単結晶に比べて比較的簡単に短時間で良質の結晶を得られること, 3) ファイバを束ねて大容量化を図るとき, ファイバ間でのクロストークがないこと, 等である. 最初の提案は, Stanford 大の Hesselink のグループによるもので, Ce をドーパした SBN ( $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ) を用いて, 1988 年に発表された<sup>1)</sup>. SBN は, タングステンブロンズ構造の強誘電体で, Ce を添加することで光感度が特に高くなることが知られている<sup>2)</sup>.  $\text{SBN}_{75}(x=0.75)$  と  $\text{SBN}_{60}(x=0.6)$  がよく用いられているが, 後者が結晶成長が容易なコングルーエント組成であり, 本稿の議論では  $\text{SBN}_{60}$  のファイバ化に留める.

なお, SBN に限らず PR 材料のファイバ化のメリットは, メモリ用途にとどまらない. あまり高い空間分解能を必要としない用途 (オプティカルファネル<sup>3)</sup>等) ならば, 光ファイバとしての本来の働きによって, 高い光強度で相互作用長を長くできることから, デバイスの高速化にも有利である.

さて, 一次の電気光学効果を用いている以上, 光感度や結合係数等の PR 特性は, レーザー光の偏波方向や入射方向と結晶方位との相対関係に強く依存せざるを得ない. したがって, ファイバを結晶のどの軸方向に引き上げるかが, 非常に重要となってくる. 本稿では, Hesselink らによるものと同じ c 軸成長ファイバと併せて, より高い光感度を望める a 軸成長ファイバの成長について述べる.

### 2. レーザー溶融ベDESTAL法 (LHPG 法)

図 1 に LHPG 法<sup>4)</sup> による単結晶ファイバ成長の原理を示す. 炭酸ガスレーザー光をロッド状の母材 (直径  $D_1$ ) の先端に集光し, 溶融する. 溶融部に種結晶を接触させ, 引き続いて種結晶を引き上げる (速度  $V_2$ ) と同時に母材を押し上げながら (速度  $V_1$ ) 供給する. こうして種結晶の下に任意の太さのファイバ状単結晶 (直径  $D_2$ ) を成長させていくことができる. 以上が基本的な LHPG 法の原理である. この方法は, 坩堝を必要とせず, また, 加熱領域が狭いので固液界面での温度勾配が大きく, 非常に速い結晶成長速度 (~数 mm/min) を達成できるので, 単結晶ファイバの成長に適した方法である.

通常, 成長方向を決定するのは種結晶の方位であり,

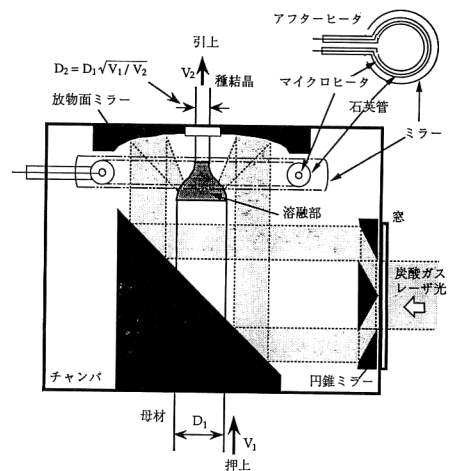


図 1 LHPG 法の原理

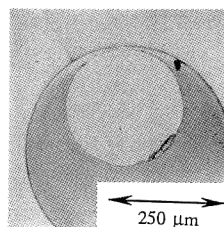


図 2 c 軸成長ファイバの断面図

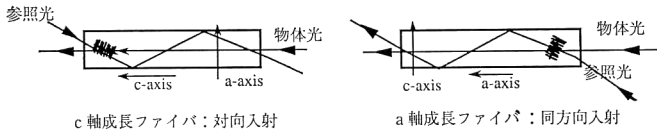


図 3 記録再生光路図

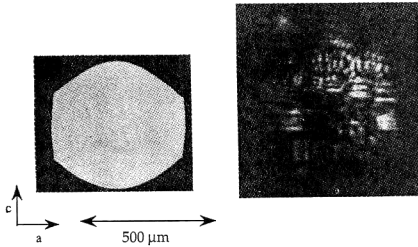


図 4 a 軸成長ファセット型ファイバの断面図と再生像

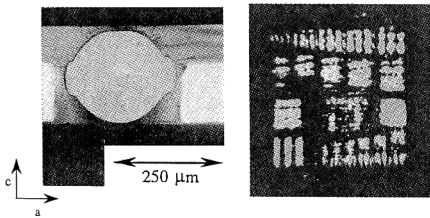


図 5 a 軸成長リッジ型ファイバの断面図と再生像

表 1 各ファイバの特性

	c 軸成長ファイバ	a 軸成長ファイバ	
		ファセット型	リッジ型
感度 (mJ/cm <sup>2</sup> )	400	17	200
回折効率 (%)	1.2	1	5

引き上げ軸と種結晶の a 軸が一致していれば a 軸成長ファイバが、c 軸ならば c 軸成長ファイバが得られる。バルク結晶の成長に用いられるチョクラルスキ法では、a 軸方向に SBN を引き上げるのは困難であるが、LHPG 法では所望の軸方向に成長させることができ、大きなメリットとなっている。

我々はこの基本的な LHPG に加えて、溶融部の直上のレーザー光路を遮らない位置にアフターヒーターを配置し、ファイバの冷却速度を制御することで、ファイバ中の歪みを解放することを試みている。

### 3. ファイバの断面形状と光学特性

図 2 は c 軸成長ファイバの断面図で、断面形状はほぼ円形になる。成長は比較的容易で、また、ファイバ中の歪みも小さく、再生像の画像品質は比較的良好<sup>1)</sup>。しかし、主に効く電気光学定数  $r_{13}(\approx 50 \text{ pV/m})$  や性能指

数  $Q=n^3r/\epsilon(\approx 1.4)$  が小さく、かつ、レーザーを対向入射させるため (図 3)、グレーティングピッチが狭くなり、限界電場による制限によって、空間電場も大きくできない。したがって、光感度や飽

和回折効率が小さく抑えられてしまうことになる。そこで、それらを改善するために a 軸方向への成長を試みた ( $r_{33}\approx 200 \text{ pV/m}$ ,  $Q\approx 3.1$ )。結晶成長条件の違いによってさまざまなタイプのファイバが得られるが、詳しくは文献 5) を参照していただきたい。図 4, 5 にファセット型とリッジ型のファイバについてその断面形状と再生像を示す。ファセット型では、光感度は高い (表 1) が写真に示すとおり、再生像品質が悪い。これは、ファセット型ではコアが存在し、物体光を歪めてしまうためである。コアによる散乱のため回折効率も低い。また、残留歪みも大きく、クラックを生じやすい。一方、リッジ型では再生像品質にはかなりの改善がみられるが、ファセット型に比べて感度が悪い。感度の差は、成長中の酸素の取り込み量の差に起因する Ce イオンの価数の違いによるもので、適当な還元を行うことで改善できると考えている。

### 4. む す び

LHPG 法と SBN 単結晶ファイバの特性について概説した。SBN に限って言えば、現在、数 cm 角のバルク単結晶を得られるようになっており、使う側からは選べるオプションが増えてきている。しかし、光の閉じこめ等、ファイバならではの性質に加え、LHPG 法の速い結晶成長速度を考える時、材料やドーパント探索の高効率化にも有効で、今後とも、PR 単結晶ファイバの重要性は増しこそすれ減ずるものではない。今後は、インコングルエント材料のファイバ化等、成長可能な材料を増やしていきたい。

### 文 献

- 1) L. Hesselink and S. Redfield: "Photorefractive holographic recording in strontium barium niobate fibers," *Opt. Lett.*, **13** (1988) 877.
- 2) R.R. Neurgaonkar and W.K. Cory: "Progress in photorefractive tungsten bronze crystals," *J. Opt. Soc. Am.*, **3** (1986) 274.
- 3) B. Fischer and M. Segev: "Photorefractive waveguides and nonlinear mode coupling effects," *Appl. Phys. Lett.*, **54** (1989) 684.
- 4) M.M. Fejer, J.L. Nightingale, G.A. Magel and R.L. Byer: "Laser-heated miniature pedestal growth apparatus for single-crystal optical fibers," *Rev. Sci. Instrum.*, **55** (1984) 1791.
- 5) Y. Sugiyama, I. Hatakeyama and I. Yokohama: "Growth of a-axis strontium barium niobate single crystal fibers," *J. Cryst. Growth*, **134** (1993) 255.

(1994年3月29日受理)