液晶位相格子を用いた光制御—光熱スイッチの開発

非会員 西山 達*

非会員 保坂 佳正*

正員 大谷 幸利**

非会員 梅田 倫弘**

Optically Controlled Photothermal Switch by the Use of a Liquid Crystal Phase Grating

Itaru Nishiyama*, Non-member, Yoshimasa Hosaka*, Non-member,

Yukitoshi Otani*, Member, Norihiro Umeda**, Non-member

We propose an optically controlled photothermal switch using a liquid crystal phase grating (LCPG) fabricated by an atomic force microscope nanostroking method. In our experiment, the optically controlled photothermal switching of LCPG was worked at 0.5 Hz with the waveform rise time of less than 150 ms. These results show that this device can be effective as various diffraction optical components.

キーワード：液晶，ラビング，分子配向，位相格子，光熱スイッチ

Keywords : Liquid crystal, Rubbing, molecular orientation, phase grating, photothermal switch

1. 緒言

近年，液晶は様々な光学デバイスに応用され，液晶位相格子（LCPG）を使用した光スイッチング素子などが報告されている^{(1)~(4)}。アゾ色素やメチルレッド（MR）などの染色による非線形光学効果を利用したスイッチングなどの報告もあるが，多くの光スイッチング素子は高電圧を使用し，作製方法も複雑である⁽³⁾⁽⁴⁾。そこで，我々が提案した原子間力顕微鏡（AFM）による AFM ストロッキング法を用いて LCPG を作製し⁽⁵⁾，MR の光吸収による熱相転移を利用した ON-OFF スwitching を行い，その特性を調べた。

2. 液晶位相格子によるスイッチングの原理

図 1 に MR 染色された LCPG を用いた光制御による光熱スイッチングの原理を示す。加熱レーザー（HL）が LCPG に入射していない時には，入射レーザー（IL）は LCPG によって回折される。しかし，HL が LCPG に入射すると，HL の光エネルギーの一部が MR によって吸収され，光熱変換により液晶の温度も上昇する。ネマティック液晶の分子配向は，温度により結晶相—液晶相—等方相と変化するので，温度上昇した LCPG は相転移し，等方相となる。したがって，LCPG パターンは消滅し，IL は回折されず直進光（0 次光）のみとなる。また，HL を入射させない時には，自然冷

Fig. 1. Principle of optically controlled photothermal switching by LCPG+MR

却によって互変相転移が生じるので，再び LCPG パターンが現れ，IL は回折される。すなわち，HL の ON-OFF により，液晶相—等方相の相転移が可逆的に生じ，LCPG パターンの消滅—出現が生じるので，回折光の OFF-ON による光熱スイッチが実現できる。

3. 液晶位相格子の作製

〈3・1〉 液晶位相格子の作製 液晶位相格子の作製方法について以下に示す。基板には，LX-1400（日産化学工業製）のポリイミドを成膜したガラス基板（EHC 製）を使用し，液晶には，室温で液晶相，35.6℃で液晶相—等方相に相転移する 4-cyano-4'-hexyl biphenyl（6CB, K-18 Merck 製）のネマティック液晶を使用した。液晶溶液は，MR を混合した 2-ブトキシエタノールと 1 : 1 の体積比で希釈して液晶混合溶液を作製し，80℃に保たれた基板上に液晶混合溶液 10 μl を滴下して，スピコート法で 1 μm 程度に薄膜化した。

液晶薄膜内で液晶分子を配向させるために，AFM（SPI 3700, SII 製）に先端径 10 nm の Si₃N₄ カンチレバー（Si-AF01, SII 製）を取り付け，液晶中をコンタクトモードで走査する

* 東京農工大学大学院 工学府 機械システム工学専攻
〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588
** 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院
〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16
2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588

Fig. 2. LCPG (a) polarization microscope image fabricated by AFM and (b) an image of diffracted light

Fig. 3. Light intensity of diffracted light distribution by LCPG

AFM ストローキング法を使用した⁽⁵⁾。格子パターンは、AFM に組み込まれているプログラムによってカンチレバーを走査させ、 $150 \times 150 \mu\text{m}$ の領域に作製した。格子パターンの作製パラメータには、格子間隔、格子内での走査密度、AFM プローブチップの走査速度および荷重の 4 つのパラメータを設定し、変化させた。作製した格子パターンは、ローラーラビング基板のラビング方向に対して直角方向に、格子間隔を $5 \mu\text{m}$ 、走査密度を $4 \text{ line}/\mu\text{m}$ 、 $25.5 \mu\text{m}/\text{s}$ 、荷重を 0 nN で 2 回繰り返して走査させた。作製したパターンを直交ニコル状態の偏光顕微鏡で観察した結果を図 2(a)に示す。

〈3・2〉 回折パターン 図 2(a)より、AFM ストローキングされた液晶分子は、分子の長軸がローラーラビング方向に対して直角方向に配向するため、AFM ストローキングされていない液晶分子と屈折率差が生じ、位相格子となる。そこで、この格子パターンに He-Ne レーザーを照射し、そのパターンをスクリーンで観察した。その結果を図 2(b)に示す。さらに、ピンホール型光検出器をスクリーンに沿って走査させ、光強度を検出した結果を図 3 に示す。図 3 より、中心より左側では、4 次の回折光も検出され、LCPG として使用できることを確認した。

4. 光制御—光スイッチ

作製された LCPG を使用して、光制御による回折光のスイッチングを試みた。その実験装置構成を図 4 に示す。HL には、波長 532 nm 、出力 50 mW の Nd:YAG レーザーを使用し、Shutter によって 0.5 Hz で強度変調を与え、LCPG の基板裏側から照射させて、その反射光をフォトダイオード (Detector 1) で検出した。また、IL には、波長 633 nm 、出力 10 mW の He-Ne レーザーを使用し、LCPG に入射させて 1 次回折光を光電子増倍管 (Detector 2) で検出し、その時間変化を記録した。

その結果を図 5 に示す。図 5 より、HL の ON-OFF によ

Fig. 4. Experimental setup of all-optical switching

Fig. 5. Switching characteristics of optically controlled photothermal switch

て、IL の 1 次回折光が反転してスイッチングしていることが分かる。また、図 5 の一次回折光の波形から、 150 ms 以下の立ち上がり時間で動作することが分かった。この結果より、液晶の相転移を利用した光制御による光熱スイッチが可能であることがわかった。

5. 結 論

6CB の液晶を用いて、液晶位相格子を作製した。この素子を使用して、メチルレッドの光吸収と液晶の相転移を利用した光制御—光熱スイッチを試みたところ、 150 ms 以下の立ち上がり時間で動作が可能であることがわかった。今後加熱レーザーの照明領域や LCPG の微小化によってスイッチング速度の改善やデバイスの小型化による性能向上が期待できる。

(平成 18 年 10 月 24 日受付, 平成 19 年 1 月 12 日再受付)

文 献

- (1) C. V. Brown, Em. E. Kriezis, and S. J. Elston : "Optical diffraction from a liquid crystal phase grating", *J. Appl. Phys.*, Vol.91, No.6, pp.3495-3500 (2002-3)
- (2) T. Sasaki and H. Ono : "Liquid crystal phase grating using photoregulated photocrosslinkable polymer liquid crystals", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.87, pp.16112-1-16112-3 (2005-10)
- (3) I. C. Khoo, S. Slussarenko, B. D. Guenther, M. -I. Shih, P. Chen, and W. V. Wood : "Optical induced space-charge fields, dc voltage, and extraordinarily large nonlinearity in dye-doped nematic liquid crystal", *Opt. Lett.*, Vol.23, No.4, pp.253-255 (1998-2)
- (4) H. Ren, Y. -H. Fan, and S. -T. Wu : "Prism grating using polymer stabilized nematic liquid crystal", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.82, No.19, pp.3168-3170 (2003-5)
- (5) I. Nishiyama, N. Yoshida, M. Ebisawa, A. Takayanagi, Y. Otani, and N. Umeda : "2005 Direct alignment of nematic liquid crystal molecule using atomic force microscope nano-rubbing", *Proc. SPIE* **6050** 605013-1-7 (2005-12)