

## 液晶を用いた光波制御デバイスの開発

安達 雅 浩\*<sup>1</sup> 松 延 剛\*<sup>1</sup> 堀 将 季\*<sup>2</sup> 小 山 洋 太\*<sup>3</sup>  
下 村 一 郎\*<sup>4</sup> 米 谷 匡 弘\*<sup>4</sup> 森 田 貴 彦\*<sup>5</sup> 矢 澤 亮\*<sup>6</sup>  
後 藤 英 和\*<sup>7</sup> 田 中 正 道\*<sup>8</sup> 高 濱 健 吾\*<sup>9</sup> 山 下 幹 雄\*<sup>10</sup>

### [要 旨]

紫外光から可視光領域に渡る広帯域波長の光の位相を制御可能な空間位相変調器及び波面制御素子の開発を行い、液晶の複屈折性を利用した光位相変調器の要素技術を確立し、300nm～1,000nmにおいて $2\pi$ ラジアン以上の光の位相シフトが可能であることを確認した。また、レンズや収差補正に必要な波面制御素子については、デバイス化のための電極材料、パターンニングを検討し、紫外線領域で動作可能な液晶レンズを試作したので報告する。

### 1 はじめに

液晶ディスプレイは、液晶を2枚の偏光フィルターで挟んで、液晶に加える電圧をデジタル的にON/OFFすることでバックライトの光を透過/遮断し視覚的な画像を作り出すことが可能<sup>1)</sup>であるが、液晶に加える電圧をアナログ的に可変することで光の位相制御が可能であり、時間的・空間的に光波制御を行うことができる<sup>2)</sup>。これは液晶の複屈折性を利用した光位相変調器もしくは、波面制御素子として用いられており、特に可視光領域においては商品化もされている。しかし、近年はブルーレイディスクに代表される情報メディア

の高密度化のための紫外光の利用や、超短パルスレーザーの超広帯域スペクトル位相制御への要求が高まっており、紫外光領域において動作する液晶材料の開発が求められている<sup>3)~5)</sup>。そこで我々は、紫外光から可視光領域、さらに近赤外光領域において動作する液晶材料を入手できたことから、この材料を用いた空間位相変調器と波面制御デバイスの試作を行った。空間位相変調器は、300nm～1,000nmにおいて $2\pi$ ラジアン以上の光の位相シフトが起こるかどうかの確認を行い、波面制御素子については、液晶レンズ形状の試作を行い、評価を行った。

- \* 1 応用技術課 主任研究員
- \* 2 応用技術課 副主査
- \* 3 応用技術課 技師
- \* 4 株式会社大日本科研
- \* 5 株式会社システムロード
- \* 6 立命館大学
- \* 7 ユアサ化成株式会社
- \* 8 東洋レーベル株式会社
- \* 9 高濱研究所
- \* 10 北海道大学名誉教授 (京都府中小企業特別技術指導員)

### 2 空間位相変調器の動作確認

#### 2.1 材料評価

今回入手した紫外光領域で透過する液晶材料及び液晶配向膜の評価を行った。目標となる300nm以上においては透過性が高く、十分使用可能であることが確認できた。図1に示すように、この材料は300nm以下においては、バンドパス特性を有し、光波制御に用いる光スペクトルを選択的に用いる必要があることが確認できた。

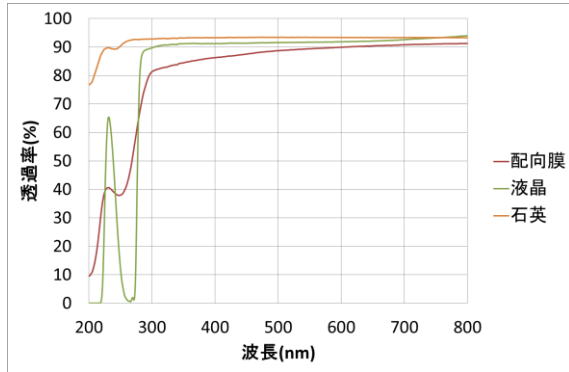


図1 液晶材料及び液晶配向膜の透過特性

また透明電極として用いられるITO（酸化インジウムスズ）及びPEDOT(高分子透明導電膜)の透過特性を図2に示す。400nm以下においては、ITOよりもPEDOTの方が透過特性において優れていることが確認され、経年劣化の影響・レーザーのダメージ等の信頼性が確認されれば、紫外領域におけるPEDOTの有用性が期待できる。

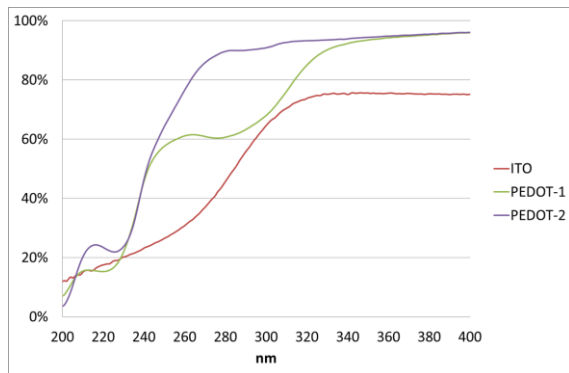


図2 ITO及びPEDOTの透過特性

## 2. 2 空間位相変調器1セル評価

2. 1で評価した材料を用いて図3に示すような1セル液晶での空間位相変調器の試作を行った。図4にセルの構造を示し、空間位相変調器の位相シフト量の評価測定外観図を図5に示す。図5は空間位相変調器の両側に偏光子を配置し、片側を固定し、片側を90°回転しながら印加電圧による位相シフト量の測定を行った。

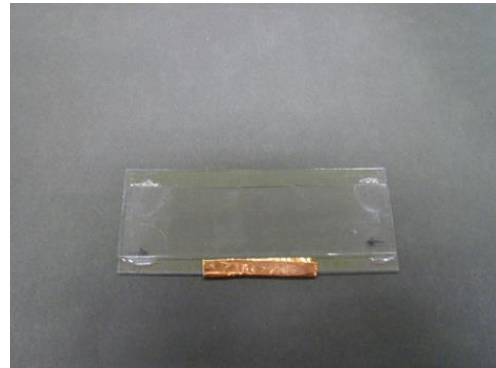


図3 1セル空間位相変調器

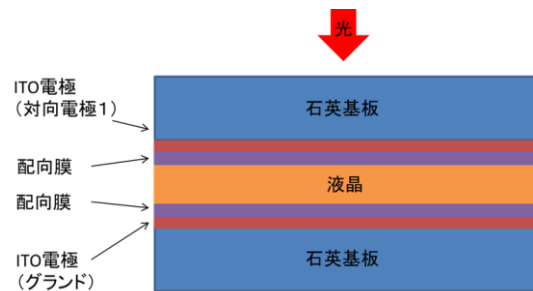


図4 1セル空間位相変調器構造



図5 空間位相変調器位相シフト評価系

図6に250nm、400nm、600nm、800nm、1,050nmにおけるそれぞれ可変電圧による位相シフト量を測定した結果を示す。位相シフト量の目安として、1波長分のシフト量となる $2\pi$ （ラジアン：rad）を確保できているかどうかを示しているが、最も厳しい条件となる長波長側（1,050nm）において $2\pi$ （rad）の位相シフトが可能であることを確認した。この液晶セルを16セルに拡張し、ドライバーを実装したものを図7に、各電極の評価系を図8に、実際の電極の通電状態を図9に示す。16CHの

液晶セルは1ピクセルと同様に、1,050nmにおいて $2\pi$  (rad) 以上の位相シフト動作を行うことが確認された。

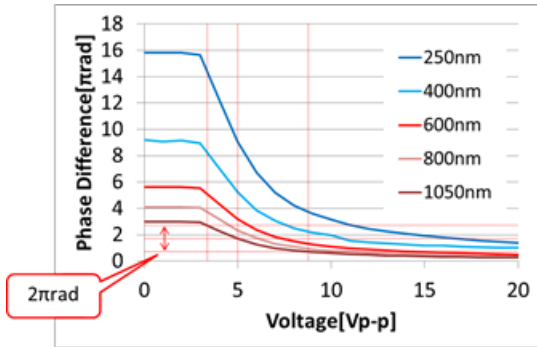


図6 電圧印加一位相シフト量評価結果

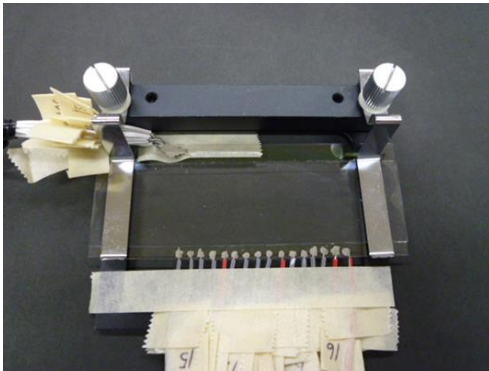


図7 16CHセル空間位相変調器外観

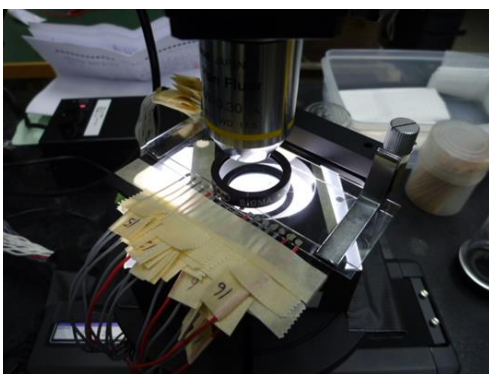


図8 16CHセル空間位相変調器評価系

緑色  
パターン無し

紫色  
パターン有り  
通電箇所



図9 通電状態の電極外観

### 2.3 波面制御素子（液晶レンズ）の動作確認

同様に2.1で評価した材料を用いて図10に示すような液晶レンズの試作を行った。図11にレンズのパターンを示し、図12にレンズの構造を示す。透明電極にはPEDOTを用い、レンズ部分はPEDOTの絶縁膜化により実現した。またPEDOT及びPEDOT絶縁化膜への液晶配向膜は付けずに、直接ラビングを行うことで液晶を配置することができることを確認した。図11、図12におけるV1、V2は、抵抗分圧により、V1:0~20Vp-p、V2:0~2Vp-pを印加した。

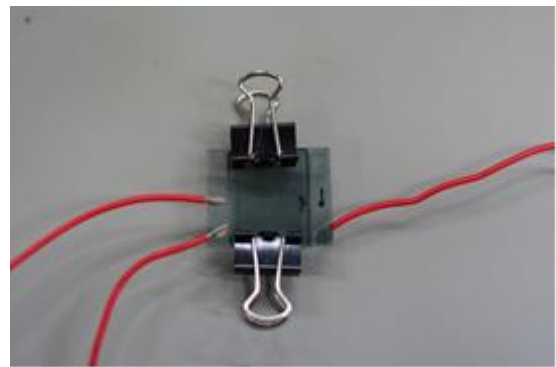


図10 試作した液晶レンズ

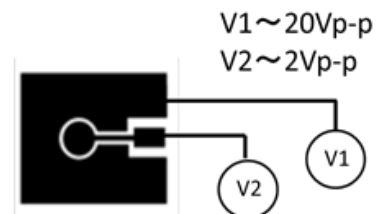


図11 液晶レンズパターン及び印加電圧

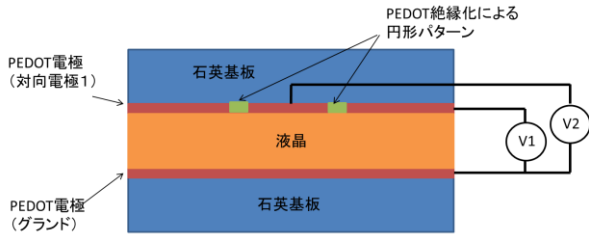


図12 液晶レンズ構造図

試作した液晶レンズに電圧印加状態によるパターンの比較評価を行った写真を図13、図14に示す。

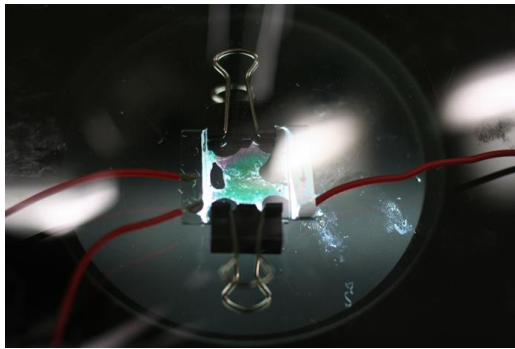


図13 印加電圧0V時(OFF時)

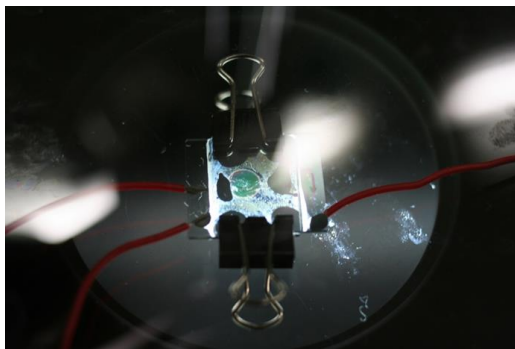


図14 印加電圧20V時(ON時)

電圧のON/OFFにより、液晶レンズの円形パターンが追従して表示/非表示されていることが確認できる。この円形部分に635nmの半導体レーザーを透過させながら、電圧のON/OFFを行うことで、ビームが偏向していることから、波面制御素子として動作していることが確認された。

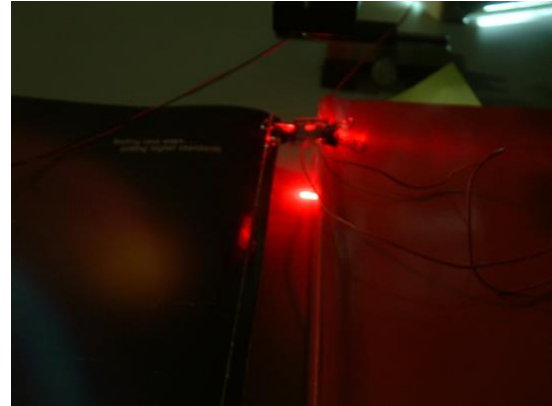


図15 印可電圧20V時(ON時)

### 3 まとめ

紫外光領域から可視光領域、近赤外光領域まで動作可能な液晶を用いた空間位相変調器の要素技術の開発を行い、300nm~1000nmにおける液晶セルの動作を確認した。今後は多波長に対応可能な100CH以上の多セル化に拡張可能であることを示唆するものである。また、同様の液晶を用いた波面制御素子をPEDOTの導電化・絶縁化によるマルチレイヤ構造で実現可能であることを確認した。またPEDOTへの液晶配置には、プレチルト角のコントロールを要しない場合、液晶配向膜を省略可能であることがわかった。今後はPEDOTの信頼性評価を行い、オール有機材料での波面制御素子の可能性を見出していく。

#### (謝辞)

液晶波面制御素子の作製についてご指導をいただきました秋田大学の河村希典準教授に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 吉野勝美、尾崎雅則 共著：“液晶とディスプレイ応用の基礎”、コロナ社(1994年)
- 2) Mikio Yamashita, Keisaku Yamane, and Ryuji Morita, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, 12, 2

- (2006)
- 3) Kouji Hazu, Yaro Sekikawa, and Mikio Yamashita, OPTICS LETTERS, 32, 22 (11.2007)
- 4) 山下幹雄、山根啓作、森田隆二、応用物理、76、2(2007年)
- 5) 山下幹雄、中原純一郎 共著：“光一宇宙・生命と極限技術のフロンティア”、大東印刷工業 (2013年)