

最近の技術から

液晶空間光変調器

黒川 隆志

NTT 光エレクトロニクス研究所 〒243-01 厚木市森の里若宮 3-1

1. はじめに

液晶は低電圧で大きな屈折率変化が得られ2次元形状も作りやすいことから、並列光情報処理用のデバイス構成しやすい。特に強誘電性液晶 (ferroelectric liquid crystal: FLC) は従来のネマチック液晶より約3桁速い応答速度とメモリ性を持つ点で極めて魅力的な材料である。本稿では強誘電性液晶を用いた空間光変調器の最近の研究と光情報処理への応用について紹介する¹⁾。

2. 空間光変調器の動作と機能

空間光変調器 (spatial light modulator: SLM) は、入力信号が電気か光かによって、電気アドレス形と光アドレス形に大別される。電気アドレス形空間光変調器は、時系列な電気信号により個々のピクセルに対応した多数の光ビームを変調または偏向でき、光スイッチやニューラル素子への応用が試みられている。一方、光アドレス形空間光変調器では、入力信号は画像のまま光で書き込まれ、別の光によって読み出される。すなわち、画像を撮像し、その像を光ビームによって読み出せるため、いわば書き換え可能な実時間フィルムとしての機能をもつ。画像光の波長変換、インコヒーレント・コヒーレント変換、光増幅やラッチが可能となる。これまでさまざまな空間光変調器が検討されているが、応答速度、分解能、メモリ機能等の点でまだ十分な特性をもつに至っていない²⁾。最近、高速応答、双安定性の特長をもつ強誘電性液晶 (FLC) を用いた空間光変調器の研究が注目を集めている。

3. 強誘電性液晶空間光変調器

強誘電性液晶の特長は、①ネマチック液晶に比べて応答速度が2, 3桁速い(高速性)、②正負の電圧に応じて二つの配向状態をとる(双極動作)、③電圧を切ってもその配向状態を維持する(メモリ機能)、等である。ここではこれらの特長を活かした双極動作可能な空間光変調器 (bipolar-operational SLM: BSLM) の例を紹介する。

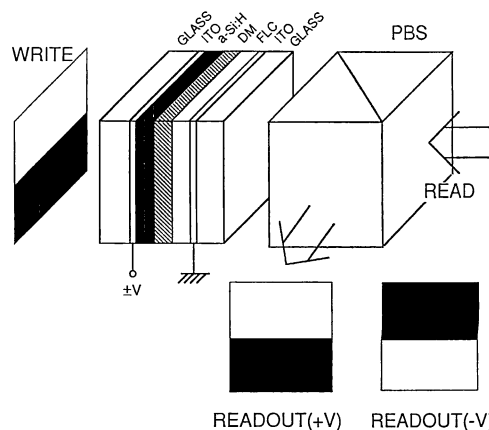


図1 BSLMの構造と動作

この空間光変調器は、印加電圧の極性によってポジ・ネガ両画像を読み出し、画像のメモリ機能ももっている³⁾。

BSLMの構造を図1に示す。透明電極をコートした2枚のガラスの間隙にアモルファス・シリコン光伝導層、誘電体ミラー、FLCが積層されている。電圧パルスがBSLMに印加したとき、書き込み光パターンは光伝導膜の作用によってFLC上への2次元的な電圧分布に変換される。あらかじめ全面のFLCが光学的にオフ状態へ配列されていると、書き込み光照射により電圧パルスがしきい値を越えた領域のみがオン状態へ配向が変化する。電圧パルスと書き込み光が取り除かれた後も、書き込まれた画像はそのままメモリされる。FLCの配列の変化は偏光光学系で像を読み出す。以上説明した動作において、印加する電圧パルスの正負を変えることによりポジ・ネガの両画像が読み出される。BSLMの代表的特性は、感度 $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、応答時間 $70 \mu\text{s}$ 、コントラスト $60:1$ 以上、分解能 $135 \text{lp}/\text{mm}$ 、有効面積 12mm^2 である。

4. 光情報処理への応用

BSLMは印加するパルス電圧の極性を変えるだけで

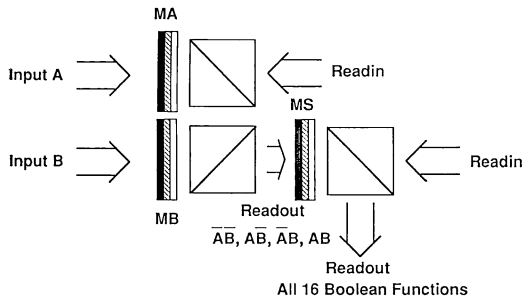


図2 画像演算光学系の構成

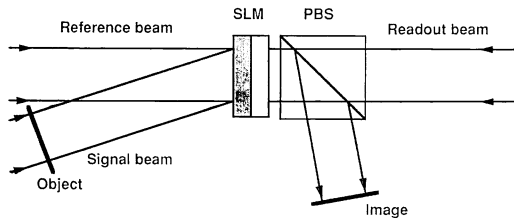


図3 実時間ホログラムの記録再生光学系

ポジ・ネガの読み出し像を選択できるので、画像間の並列デジタル演算が可能になる。図2に示されるような画像演算系において、画像が入力される二つの空間光変調器の印加電圧の組み合わせを制御して、プログラマブルな画像論理演算が実行できる。この画像演算の特長は、外界の物体像を実時間で直接空間光変調器に撮像し、さらにその像を光のまま処理しうる可能性にある。このとき通常のテレビ信号のフレーム周波数の制限がなく、この素子においても1000フレーム/秒の画像演算が可能となる。この応用として、画像の暗号・復号化や動き抽出などの検討が行われている。

BSLMは200lp/mm以上の分解能を持つため、感度、応答速度に優れた実時間ホログラムとして動作する⁴⁾。図3のような光学系で、1秒間に500フレーム以上の速度でフレネル・ホログラムの記録再生実験が行われた。移動物体のスペックル計測や光スイッチングへの応用が検討されている。また参照光を記録面に垂直に入射することにより、位相共役像の生成も確認されている。この応用として、光ファイバによる直接画像伝送が提案されている⁵⁾。これは1本の多モード光ファイバ中に直接画像を伝送しようとするもので、伝搬中に生ずる位相歪を位相共役鏡で補償する。図4のような光学系で画像の伝

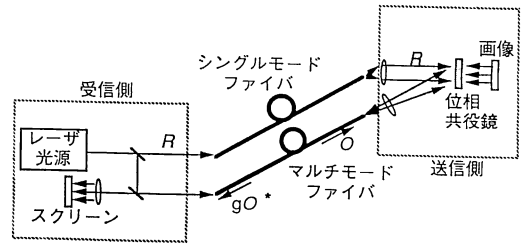


図4 直接画像伝送系

送が確認された。この方法は従来の導波光学系と自由空間光学系のそれぞれの利点を活かした新しい光インターコネクションの可能性を示している。

5. まとめ

液晶空間光変調器にはさまざまな特長があるが、光情報処理への応用上次の点が重要である。

- ① 高感度、高分解能である。これは直接外界の物体を撮像し、光画像のまま処理できる可能性を示している。
- ② 実時間のホログラム、位相共役鏡としても動作する。これは従来のアナログ光処理や光計測技術に柔軟性をつけ加えることができる。

文 献

- 1) T. Kurokawa and S. Fukushima: "Ferroelectric liquid crystal spatial light modulators and their applications: A tutorial," *Opt. Quantum Electron.*, **24** (1992) 1151-1163.
- 2) J.A. Neff, R.A. Athale and S.H. Lee: "Two-dimensional spatial light modulators: A tutorial," *Proc. IEEE*, **78** (1990) 826-855.
- 3) S. Fukushima, T. Kurokawa, S. Matsuo and H. Kozawaguchi: "Bistable spatial light modulator using a ferroelectric liquid crystal," *Opt. Lett.*, **15** (1990) 285-287.
- 4) S. Fukushima, T. Kurokawa and M. Ohno: "Real-time hologram construction and reconstruction using a high-resolution spatial light modulator," *Appl. Phys. Lett.*, **58** (1991) 787-789.
- 5) S. Fukushima and T. Kurokawa: "Parallel interconnection through an optical fiber using phase conjugation mirror acceptable for optical data pattern," *IEEE J. Quantum Electron.*, **29** (1993) 613-618.

(1993年3月19日受理)