最近の技術から

液晶空間光変調器

間　多　　均*

東京農工大学工学部　〒184 小金井市中町 2-24-16

1. まえがき

液晶デバイスは表示素子としてすでに技術的に完成の域に達していると考えてもよい．駆動電圧がたかだか数10V であり，消費電力も非常に小さい．このような特徴に加えて動作モードの種類が多く，目的に合わせてモードが選択できることも表示素子として発展してきた理由となっている．

一方，空間光変調器としては Hughes 社の Grinberg らのグループが 1975 年にテレビ画面の投映表示用変調器として報告[1]して以来，あまり進展はなかったようだ．しかし，光による情報処理の研究が進むにつれて空間光変調器の重要性が注目されてきた．この数年は，随所で空間光変調器としての液晶が再認識され，目ざましい進展を見せている．

本解説では，昨年6月 OSA により開催された Spatial Light Modulators and Applications Topical Meeting と国内での春季・秋季応用物理学会講演会および液晶討論会での報告をもとに最近の液晶空間光変調器の研究動向を紹介する．

2. 光アドレス型

この型の空間光変調器は液晶層に光導伝体を組み合わせたデバイスである．基本的な動作原理は Hughes 社の空間光変調器とまったく同様であり，誘電体鏡を利用した反射型の研究が主流となっている．光伝導体として初期には CdS が用いられていたが，現在は特性を改善するためいろいろな材料が検討されている．高分解能化を実現するため単結晶 Si や a-Si を使用してコントラストが 20:1 で 30 lp/mm 程度の空間分解能が得られている[2]．さらに高速応答を実現するために GaAs も実験されており，14 lp/mm の空間分解能が報告されている[3]．

空間光変調器としては分解能の向上が重要課題であり研究もその方向のものが多い．光導伝体と液晶層のインピーダンス整合がデバイス開発の鍵となっており，**図1**に示したようにショットキー接合を利用した高分解能でダイナミックレンジの広い空間光変調器も報告されている[4]．今後の一つの開発方向として注目に値しよう．

反射型の空間光変調器だけではなく，透過型も開発されている．光導伝体として BSO を利用し，短波長の光で長波長の光を制御する方式である[5]．長波長の光は光導伝を起こさず，BSO を透過するからである．長波長の光のコントラストは以外と高く，約 20：1 程度である．全体的な透過率が低い問題点はあるが，反射型では構成不可能な新しい応用が期待される．

3. 強誘電性液晶

液晶は応答速度の遅いことが大きな欠点である．しかし容易に2次元化できる利点から空間光変調器としては都合がよい．そのため応答速度を速くする試みが続けられている．その一つの解決法として強誘電性液晶が挙げられる．表面安定化強誘電性液晶 (SSFLC) モードの開発者である Clark のグループがこのモードで空間光変調器を開発した[6]．電気アドレス型で応答速度は 5 μs，フレーム周期 30 ms の 230×230 マトリクス型変調器を試作している．可視光でのコントラストは 8.5：1 であるが，He-Ne レーザー (633 nm) では約 105：1 もの値が得られている．このコントラストで 5 μs の応答時間ならば，コントラストを若干犠牲にすることで空間光変調器の一つの目標でもある 1000×1000 の分解能も可能であろう．

強誘電性液晶と a-Si を光導伝体として組み合わせた光アドレス型の空間光変調器も試作されており，応答速度は 250 μs とネマティック液晶にくらべるとそうとう高速である[7]．しかもほぼ 10：1 のコントラストが得

* 現在：帝京大学理工学部　〒320 宇都宮市長岡町西北山 1189-4

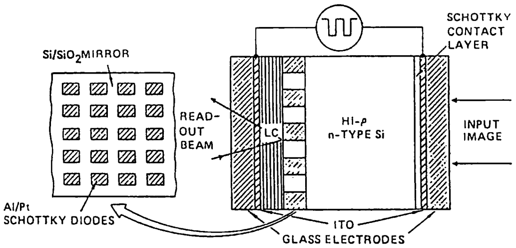

図 1　ショットキーダイオードを用いた空間光変調器

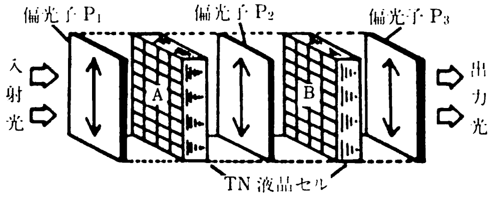

図 2　波長多重を利用した並列光演算

られている．バイアス電圧が 5 V と低いため，より高い電圧を印加すればさらに速い応答が期待できよう．

4. そ　の　他

光のもつ性質を有効に活かすためには，たんに空間並列性だけでなく，それ以外の光のもつ特徴をうまく利用すべきである．たとえば図 2 の構成で偏光子 P_1 と P_3 をカラー偏光板とすることにより同一素子上で波長により異なった演算が実行できる[8]．波長多重性をうまく利用した例である．

応答速度の問題は常に液晶についてまわる．強誘電性液晶は確かに高速であるが，配向性のよい素子を安定に作製するのが困難であり，この課題が克服されないかぎり一般の使用は難しい状態である．そのためにネマティック液晶ではアクティブマトリクス方式等が利用されている．この方式は必然的に電気アドレス型のドットマトリクスとならざるをえない．光アドレス型で高速化する方法としてコレステリック液晶を使うことが提案されている[9]．フレクソエレクトリック効果により印加電圧 10 V で応答速度は 200 μs と強誘電性液晶にも匹敵できる程度の値が得られている．またコントラストも十分高く，データからの判断では優に 10：1 以上と見積ることができる．

5. む　す　び

液晶は空間光変調器としての製品が存在しないため，ここでは紹介できなかったが市販の液晶テレビを応用した研究が多いようである．電気的な書込みができるため基礎的なシステムの動作の確認が容易だからである．しかし，最終的には光で書込みができないと光コンピューティングは実現が難しい．

実用的な空間光変調器を実現するには液晶が最も有力であるといわれている．液晶空間光変調器を開発するには液晶独特の技術的問題点があり，液晶の専門家の参加が不可欠である．最近になってようやくその兆しが見え始めてきた．より多くの液晶研究者が空間光変調器の研究に着手するためには，魅力あるアーキテクチャの提供が望まれ，その意味でも光コンピューティングの研究者の努力に期待したい．

最後に Topical Meeting の貴重な資料を快くご提供くださった浜松ホトニクスの原勉氏に深謝いたします．

文　　献

1) A. D. Jacobson, J. Grinberg, W. P. Bleha, L. J. Miller, L. M. Fraas and D. D, Boswell: "A new television projection light valve," *Symp. Dig. Tech. Papers, SID* (1975) p. 26.
2) K. Sayyah and M. S. Welkowsky: "High performance single crystal silicon liquid crystal light valve with good image uniformity," *Tech. Dig., SLM* (1988) p. 15.
3) D. Armitage, J. I. Thackara and W. D. Eades: "Photoaddressed liquid crystal spatial light modulators," *Tech. Dig., SLM* (1988) p. 7.
4) U. Efron, W. E. Stanchina, I. D. Rouse, W. Y. Wu, N. W. Goodwin, P. G. Reif, S. T. Wu and M. S. Welkowsky: "A Shottky diode liquid crystal light valve," *Tech. Dig., SLM* (1988) p. 2.
5) 滝沢國治，岡田正勝，菊池　宏，會田田人："双安定型空間光変調器(I)解析"，応物春季予稿集，30p-ZF-3(1988) p. 734；菊池　宏，滝沢國治，岡田正勝，會田田人："双安定型空間光変調器（Ⅲ）偏光特性"，応物秋季予稿集，4p-P-9 (1988) p. 711.
6) L. A. Pagano-Stauffer, M. A. Handschy and N. A. Clark: "Ferroelectric liquid crystal spatial light modulator: materials and addressing," *Tech. Dig., SLM* (1988) p. 147.
7) 久野嘉則，国岡　聡，高橋信一，栗田正一，栗山博之："a-Si 光起電力素子を用いた強誘電性液晶ライトバルブ"，第 14 回液晶討論会講演予稿集，2B116 (1988) p. 90.
8) 浜野　広，内田龍男："液晶を用いた並列光論理演算素子"，第 14 回液晶討論会講演予稿集，2D 304 (1988) p. 208.
9) J. S. Patel: "Microsecond switching in cholesteric liquid crystals," *Tech. Dig., SLM* (1988) p. 31.

(1989 年 1 月 24 日受理)