

液晶を用いたサイドローブ抑圧型超解像素子

橋本 信幸

携帯電話やノートパソコンの普及にともない薄型、低電力、コスト、量産性にすぐれる液晶表示素子は必要不可欠の物となった。他方、固体結晶と比べ半波長電圧がわずかな数ボルトで、CMOS-LSIで直接駆動可能な液晶は光波面制御素子として大きな可能性を秘めている。ここでは液晶素子による偏光と位相制御を用いることでサイドローブを抑圧可能な超解像技術について解説し、試作した液晶が回折限界光学系においても十分に機能することを報告する。

1. 偏光を用いた超解像¹⁾

幾何光学的に無収差で設計された光学系の解像限界は波動光学的な回折限界で決定される。ここで光学系の瞳中心近傍に遮蔽マスクを置くことで10~40%程度細い光スポットを得ることが可能で、広い意味での超解像として知られている²⁾。しかし強いサイドローブが発生し3つ山の光スポットとなり、実用への妨げのひとつとなっていた³⁾。ここでは偏光と位相をうまく利用することでサイドローブ抑圧可能な光学系の基本動作を示す。

図1は偏光を用いた超解像の基本原理を表した図である。Y軸方向に直線偏光した光波Aが偏光変調素子で変調され、周辺部を通った光はY軸方向の直線偏光Bに、中心部を通った光はX軸方向の直線偏光Cとなる。ここでA, B, Cはそれぞれ光波の複素振幅を表すとする。集光レンズの焦点Pにおける光スポットを振幅で考えたのが図2(a)である。Aはまったく変調を受けなかったときの回折限界スポットで、Cは瞳中心部を通った光束の回折限界スポットである。AとCは直交した直線偏光のため振幅の状態では互いに独立である。そのためAからCを引いたものがBによりつくられる光スポットとなり回折限界より細いスポットとなっていることがわかる。ここで振幅が負になった部分が強いサイドローブで、超解像が起きたメインローブと比べ位相が反転したことを表す。

図2(b)は実際に観測される強度スポットである。遮蔽

による超解像と異なるのはCの成分が強度として足されることで、点線に示すように第1暗環の強度がゼロにならない。これは遮蔽超解像より光利用率が高いことを示す。次にメインローブとサイドローブの偏光ベクトルを示したのが図3である。メインローブはBとCの合成で、サイドローブは位相反転のため-BとCの合成となる。したがって互いの位相が整合していれば合成ベクトルは方位の異なる直線偏光となり、検光子でサイドローブとメインローブの成分をおよそ独立に取り出すことが可能である。

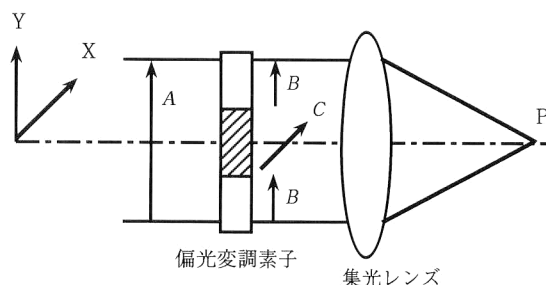


図1 偏光変調素子を用いた超解像。

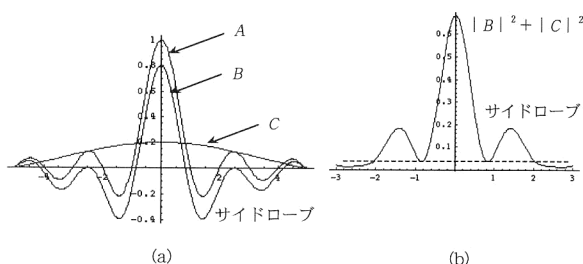


図2 (a) P点における振幅分布と、(b) 強度分布。

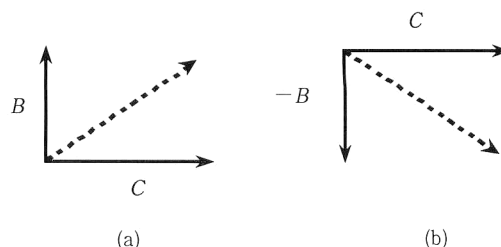


図3 (a) メインローブの偏向ベクトルと、(b) サイドローブの偏向ベクトル。

シチズン時計(株)技術研究所(〒359-8511 所沢市下富 840)
E-mail: hashimoto@citizen.co.jp

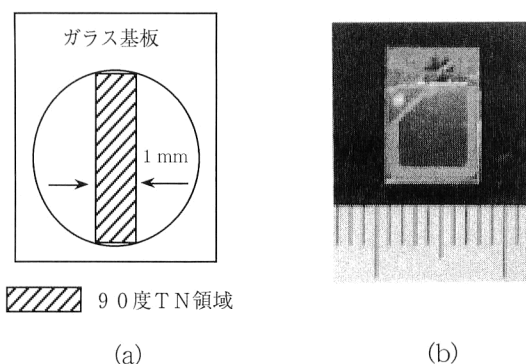


図4 (a) 液晶超解像素子の構造と, (b) 写真.

表1 液晶超解像素子の仕様.

基板厚	0.5 mm
セルサイズ	7×10 mm
有効エリア	4 mmφ (最小)
Δn	0.148
ギャップ	8.5 μm
液晶モード	90度 TN および平行配向

2. 液晶超解像素子

前述した偏光変調素子は2重配向した液晶素子により実現可能である。図4に試作した液晶超解像素子の構造と写真を、表1にその仕様を示す。中心部分が90度TN構造で波長650 nm程度の光に対し理想的な旋光性を示し、入射直線偏光の方位を90度回転する。周辺部は平行配向され入射直線偏光の方位は保存される。また1次元の超解像素子としたので90度TN領域は長方形で幅は1 mmである。このとき互いの光路長は液晶分子長軸の屈折率を n 、液晶層厚を d とすると、ともにおよそ nd である。

この素子を用いた実験結果を図5に示す。光学系として光源波長670 nm、光束径4 mm、焦点距離300 mmのレンズを用いた。図5(a)は液晶素子を入れない回折限界スポットで、図5(b)は液晶素子を入れたスポットである。半値幅で約25%程度細くなった1次元の超解像楕円スポットとなり、かつ強いサイドローブが発生し第1暗環もゼロとなっていない。図5(c)、(d)は液晶素子の直後に検光子を設置しその方位を適当に調節した結果である。サイドローブが抑圧された超解像スポットが得られている。またサイドローブのみを取り出すことも可能であることがわかる。ここで液晶に透明電極を介して数ボルト程度の電圧

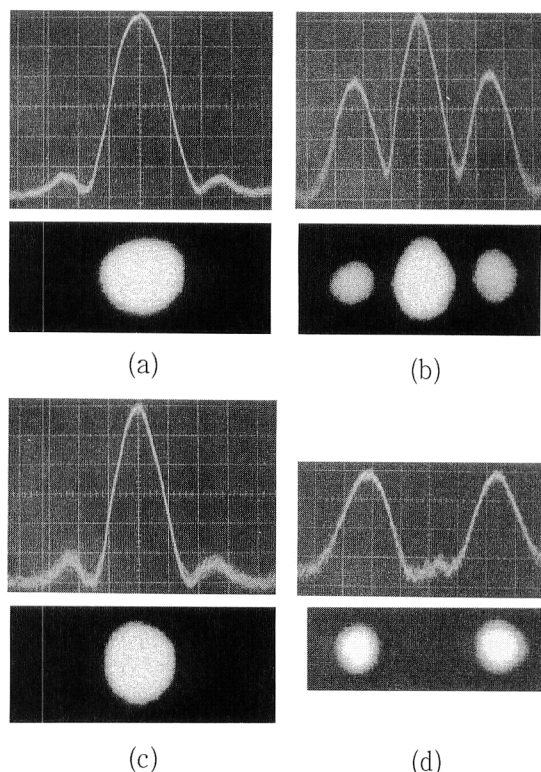


図5 (a) 回折限界スポット, (b) 液晶素子による超解像スポット, (c) 検光子によりサイドローブ抑圧したスポットおよび, (d) サイドローブのみを取り出したスポット.

を加えると、分子長軸は電界の方向にそろって並ぶホメオトロピック構造をとる。その結果、旋光性が失われ単なるガラス基板と同等となる。したがって電圧を加える前後で、超解像と通常解像を切り替え可能である。

また市販のDVD-ROM用のピックアップに挿入し光スポットを調べたが、通常解像と20%程度の超解像を切り替え可能であった。将来的には光ディスクやレーザープリンターの高密度化、顕微鏡等への応用が期待される。

文 献

- 1) 橋本信幸, 田島栄一, 大澤誠一, 諸川 滋: 光学シンポジウム講演予稿集'99, pp. 55-58.
- 2) 河田 聡: 超解像の光学 (学会出版センター, 1999).
- 3) Y. Yamanaka, Y. Hirose, H. Fujii and K. Kubota: "High density recording by superresolution in an optical disk memory system," Appl. Opt., **29** (1990) 3046-3051.

(2000年8月2日受理)