

液晶アクティブ光学素子と光学システムへの応用

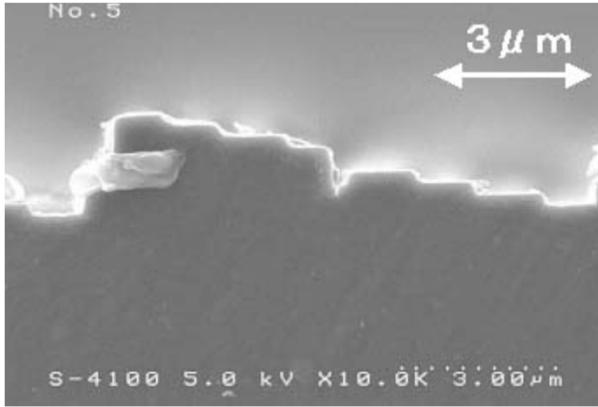
橋本 信幸

hashimotono@citizen.co.jp

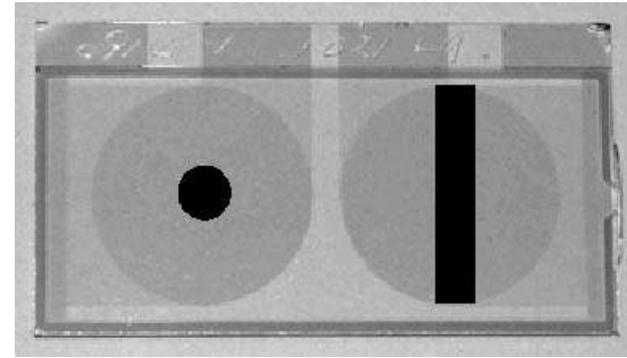
シチズンホールディングス（株）開発部・開発室

- 1 : はじめに
- 2 : 液晶位相制御素子と実用化例
(偏向素子、収差補正素子)
- 3 : 液晶偏光制御素子と応用例
(顕微鏡、Null干渉)
- 4 ; まとめ

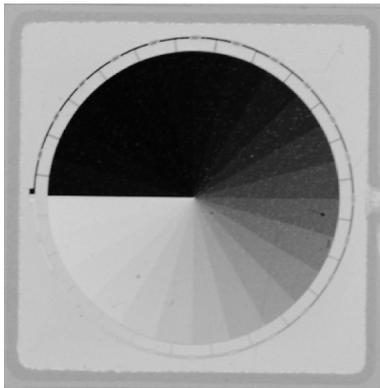
【1】



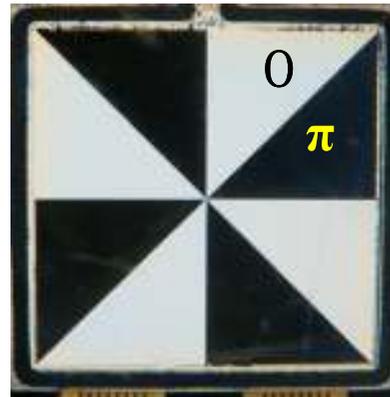
DOE內在素子



配向分割素子



螺旋位相素子

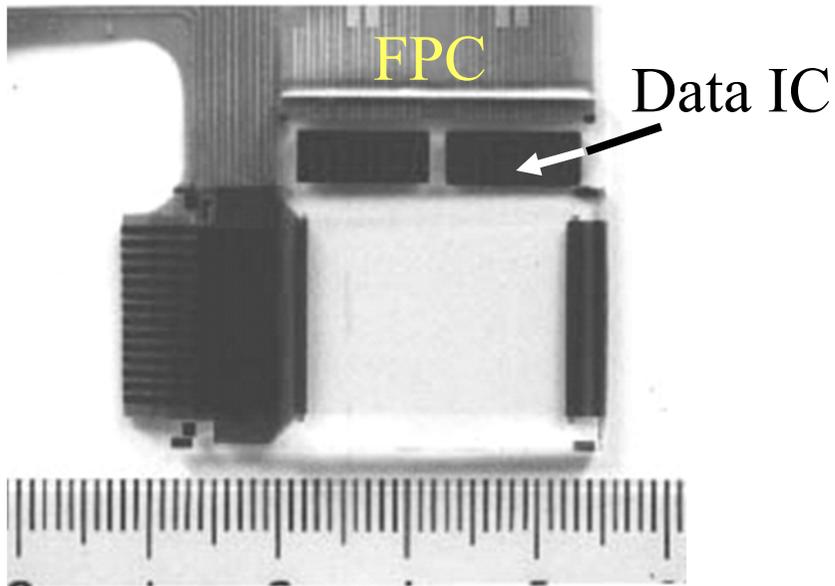


0,π變調素子



透過型LCOS

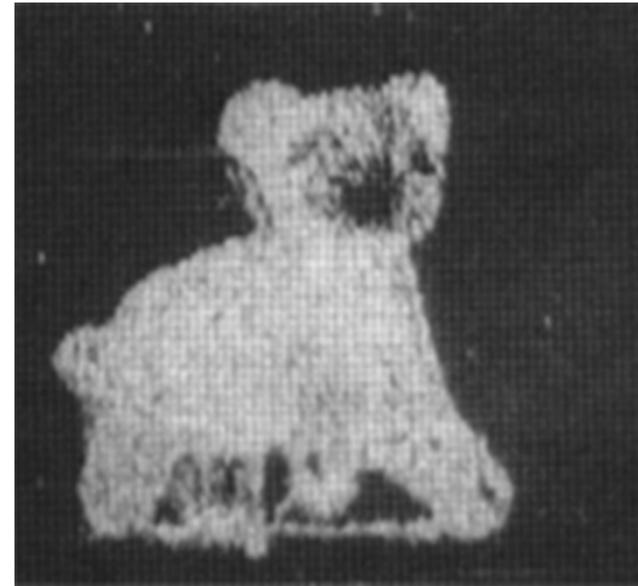
[2]



10 mm

LCTV-SLM (Transparent)

$640 \times 240 (30 \times 60 \mu m)$



Holographic 3D image

N. Hashimoto et. al SPIE 91

Fig. LCTV-SLM and 3D holographic image reconstruction

【3】

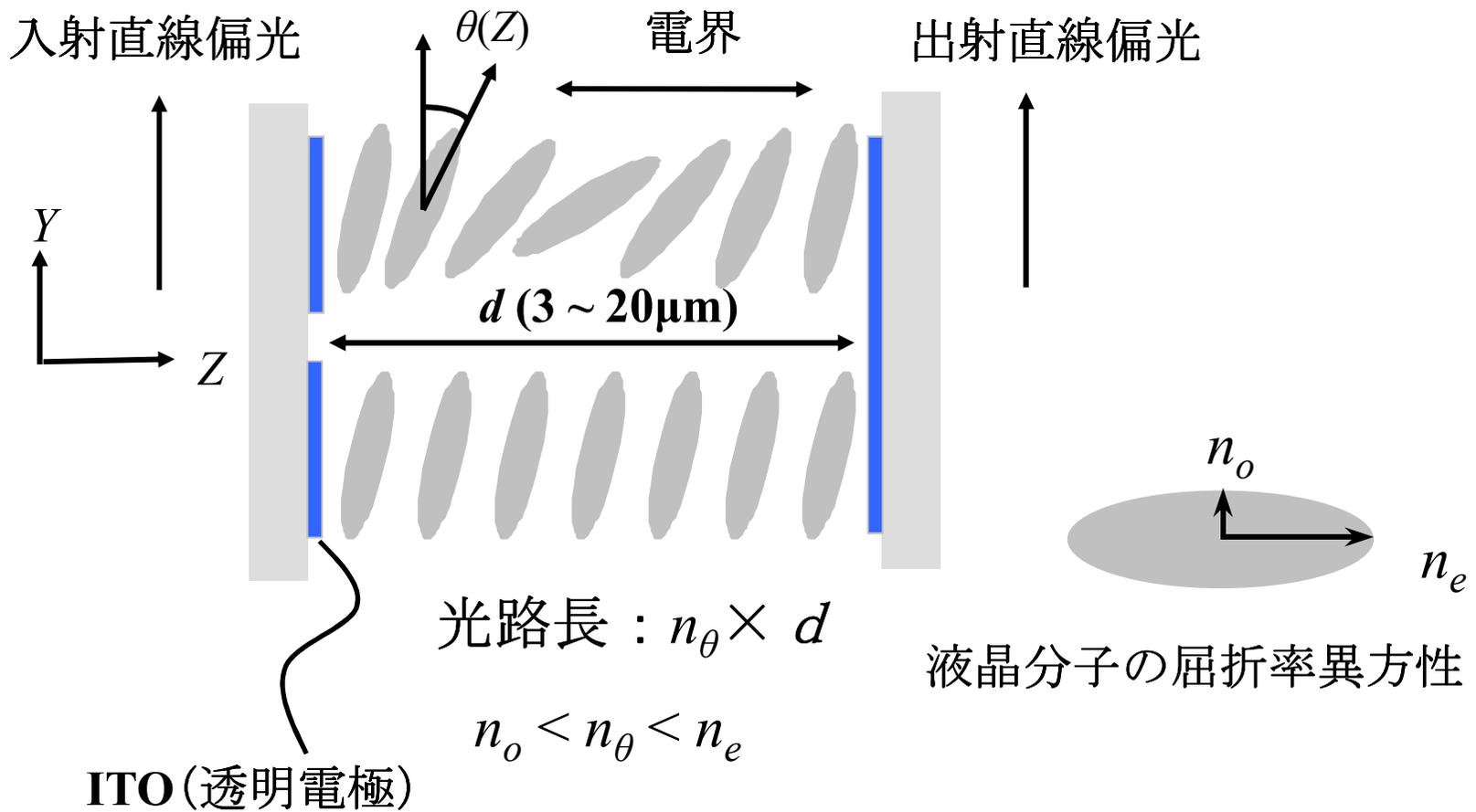
表 アクティブ光学素子の特徴比較

種別	パワー	応答性	高次波面	回折素子	無偏光	偏光制御	コスト
液晶	△	△	◎	○	△	○	○
メカ	◎	○	△	×	◎	×	◎
MEMS	◎	○	△	△	◎	×	△
結晶	×	◎	△	△	×	△	×
液体	○	○	△	×	◎	×	△

液晶は平均的に優れた特性を示す。駆動電圧も数V。

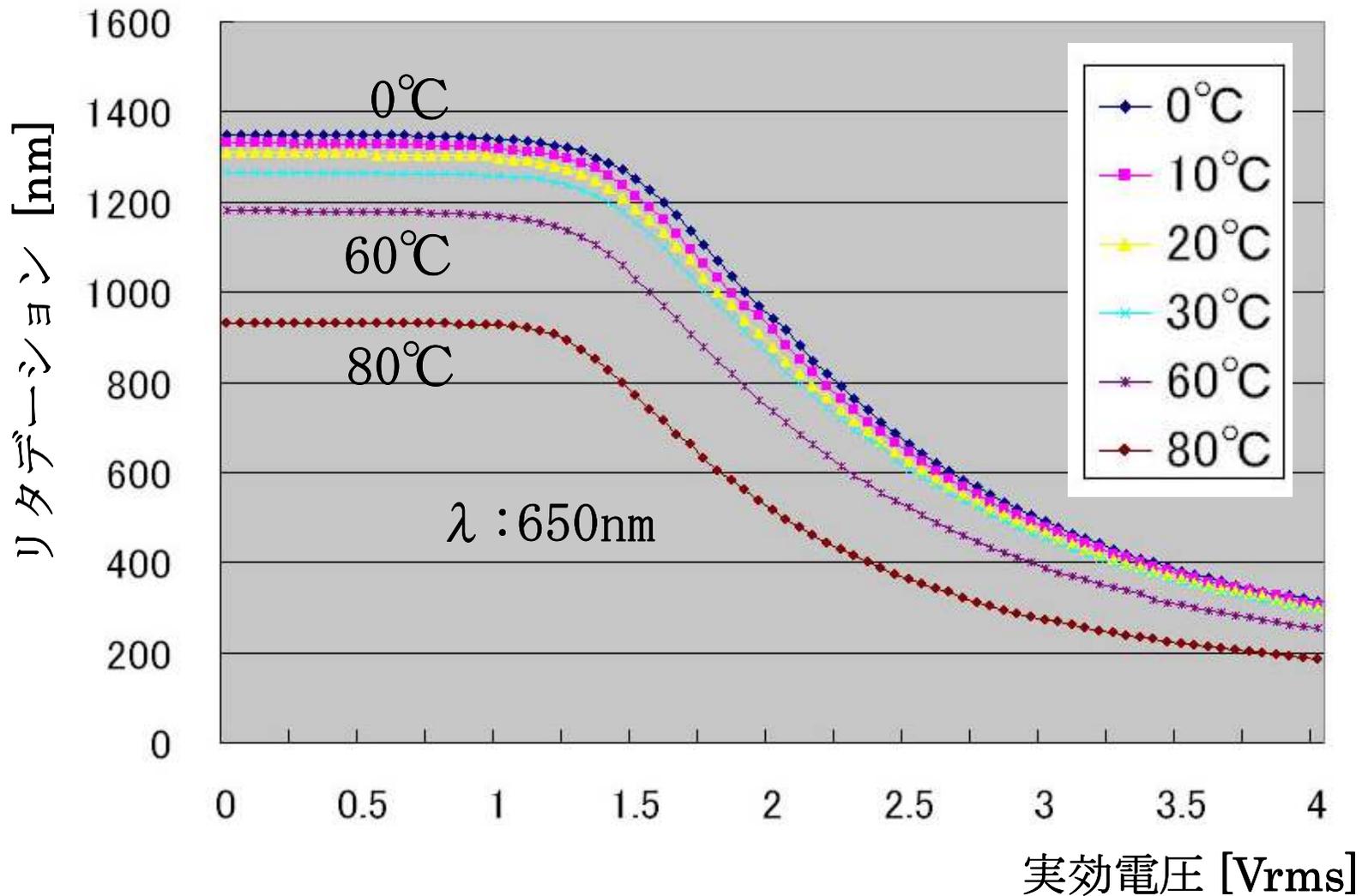
液晶位相変調素子とその特徴

【4】



平行配向液晶による直線偏光の位相変調原理

【5】



(セルギャップd : 6.5 μ m, 液晶 $\Delta n (n_e - n_o)$: 0.2)

液晶素子の位相変調特性例

【6】

表 応答速度の一例(単純駆動、セルギャップ $6.5 \mu\text{m}$)

	立ち上がり	立ち下がり
フル変調 (0°C)	40 ms	50ms
(25°C)	14	15
中間調 (0°C)	170	180
(25°C)	40	50

単位 [ms]

液晶素子の応答速度はセルギャップ d の2乗に反比例

【7】

代表的な液晶の可視光域の波長分散例

波長	450	550	650
屈折率 (ne)	1.8	1.75	1.727
屈折率 (no)	1.542	1.526	1.517

液晶は可視光域での分散は大きいですが波長が1000nm以上では分散はなくなる。液晶を駆動するさいは、透明電極の透過率が問題。400nm以下ではバンドギャップによる吸収が、1000nm以上ではプラズマ共鳴による反射が大きい。目安として液晶光学素子の透過率は400nmは90%、450~800nmは95%、1000~2000nmは60~80%程度（無反射コート使用）。

【8】

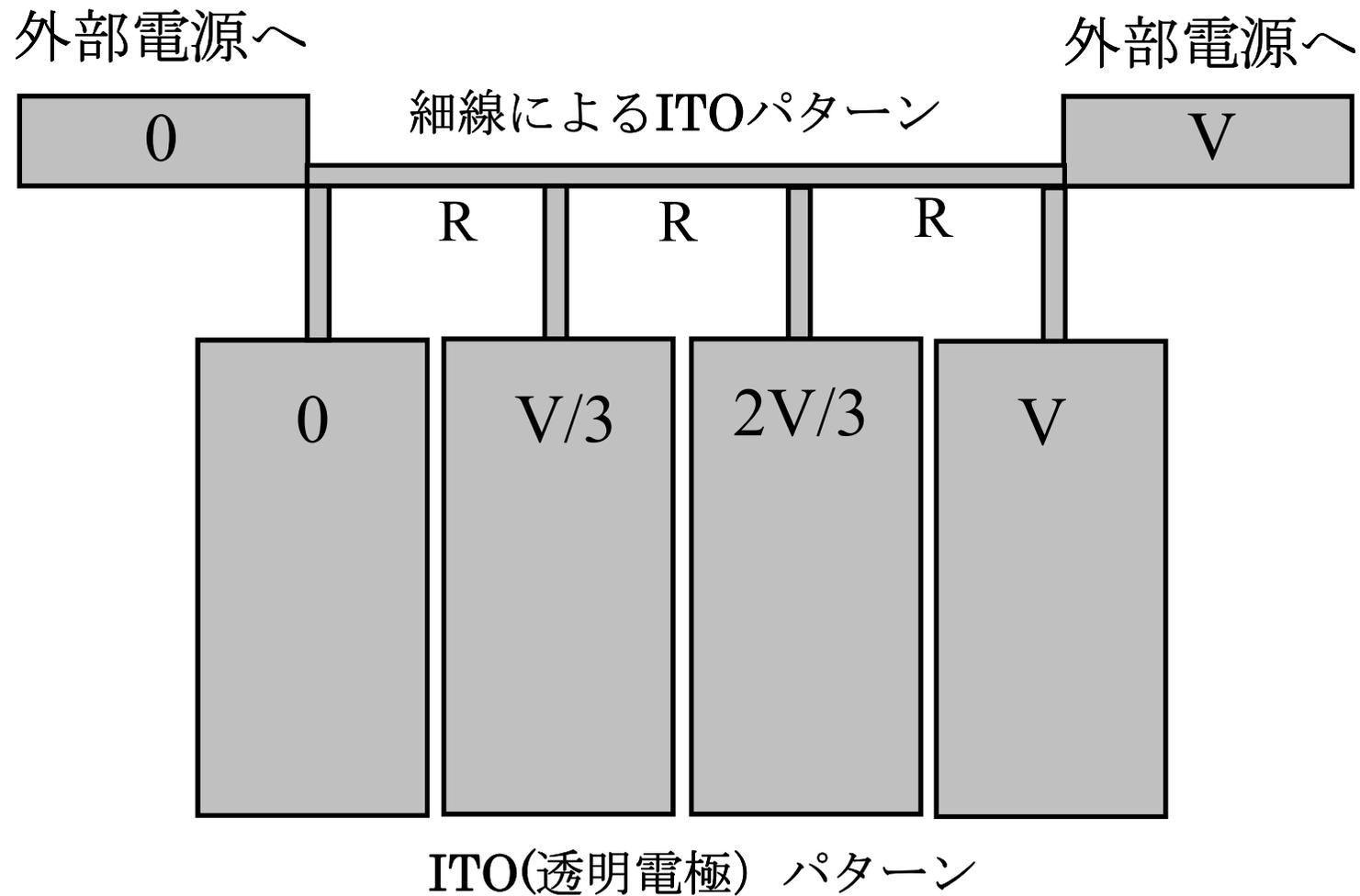
液晶を含む材料の屈折率波長分散データサイト
<http://refractiveindex.info/?group=LC&material=E7>

テラヘルツ領域における液晶の屈折率の論文

<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap/97/7/10.1063/1.1877815>

Jun. Li et. al., Journal of Applied. Physics. **97**, 073501(2005)

【9】

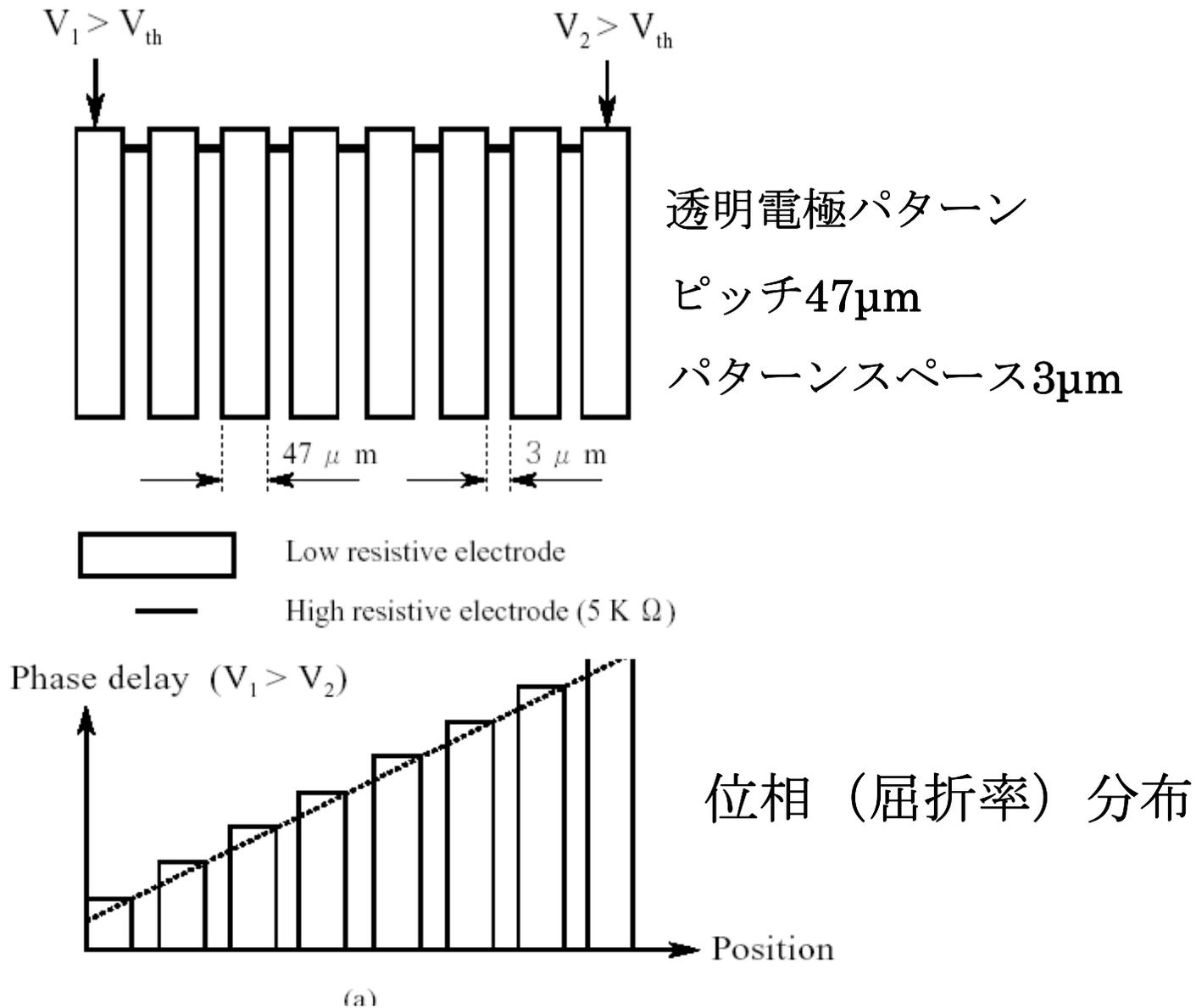


細線ITO（抵抗線）から等間隔に電極を引き出せば分割電位を作成できる

細線ITOの抵抗分割による任意電位の発生

可変プリズムと収差補正への応用

【10】

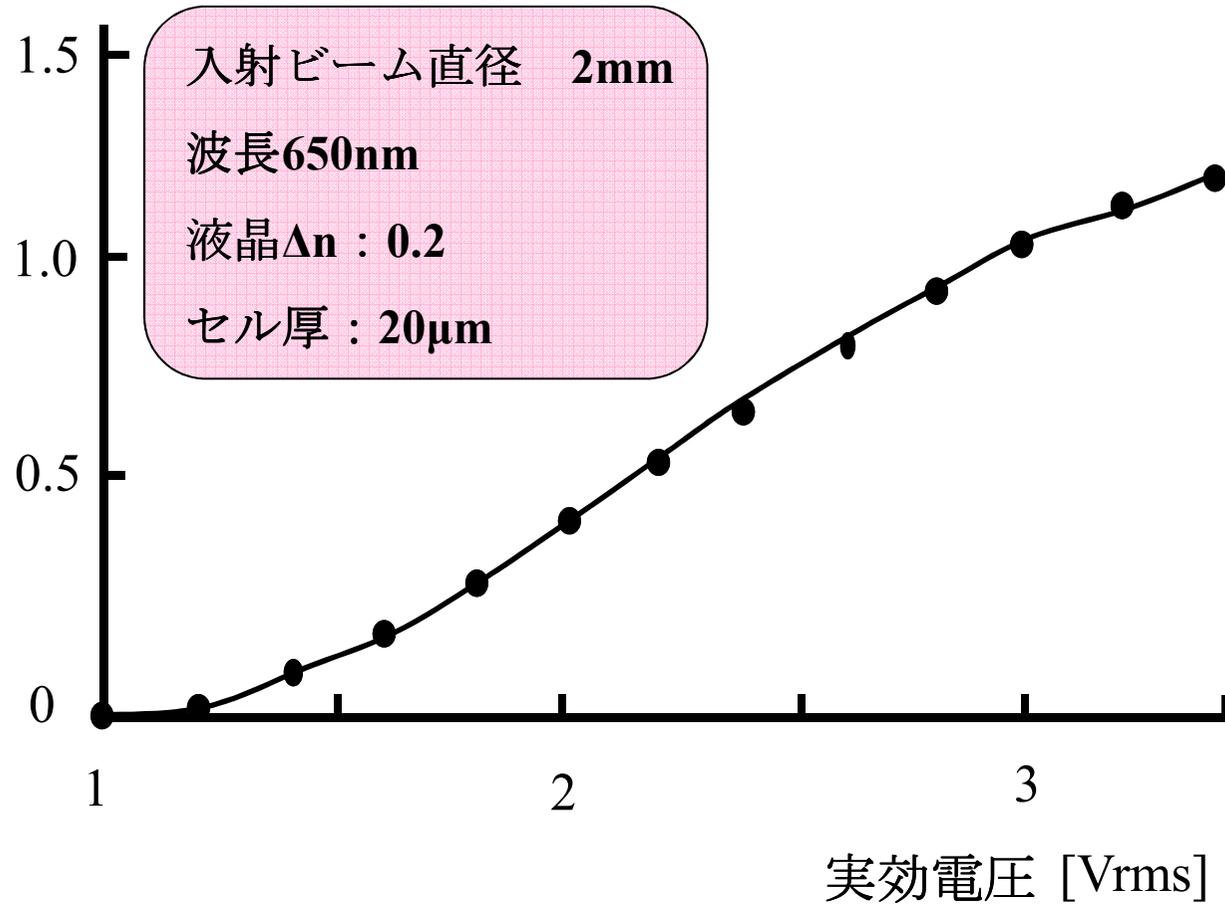


階段状の電位分布を与えれば階段状に近似したプリズムが作成できる

液晶光偏向素子のITO形状と位相変調

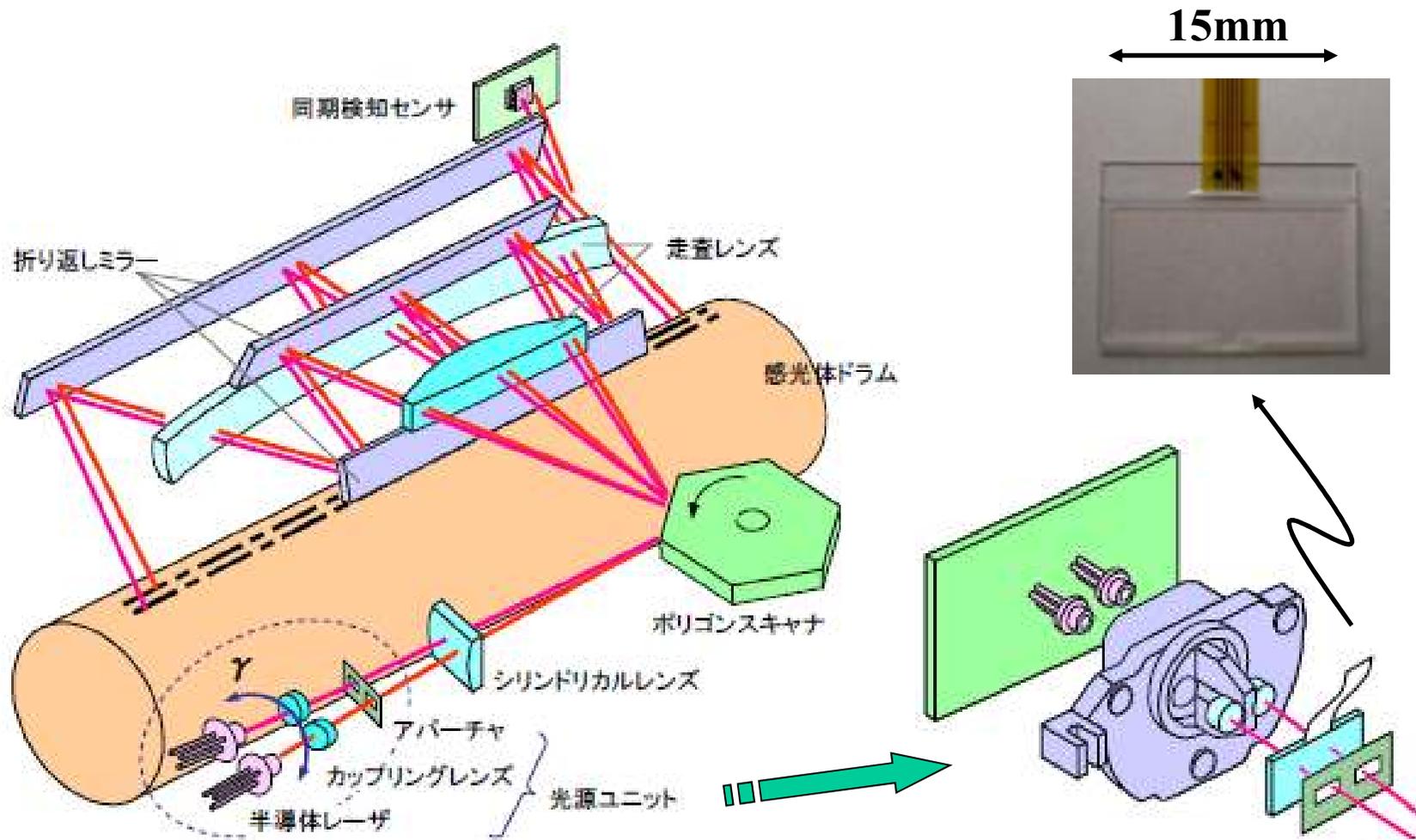
【11】

偏向角 [mRad]



液晶光偏向素子の電圧対偏向角特性

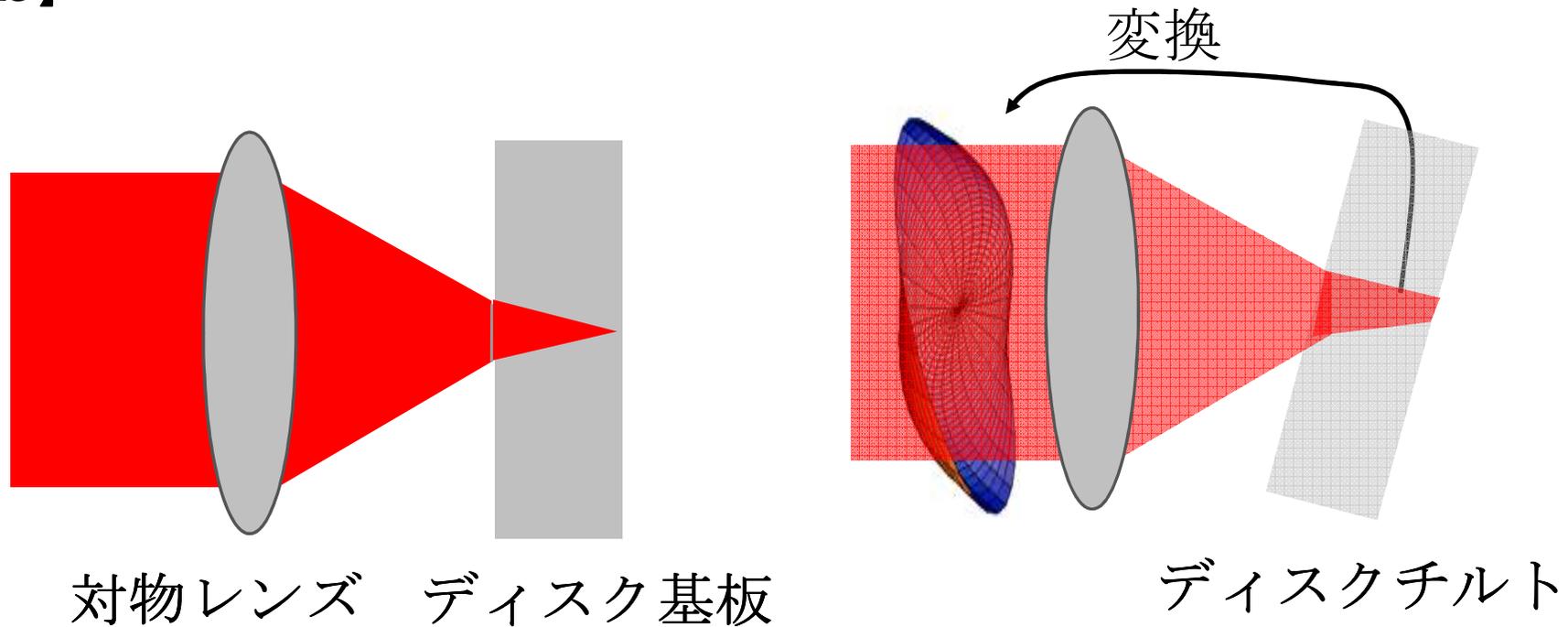
【12】



解像度切り替え用液晶偏向（プリズム）素子

リコー技法No.36 (2010)より

【13】



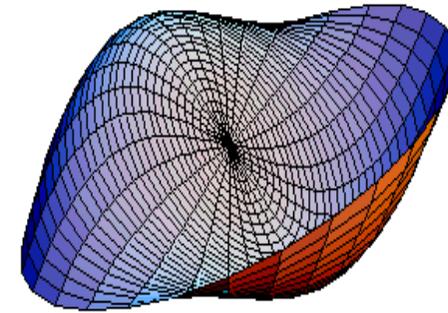
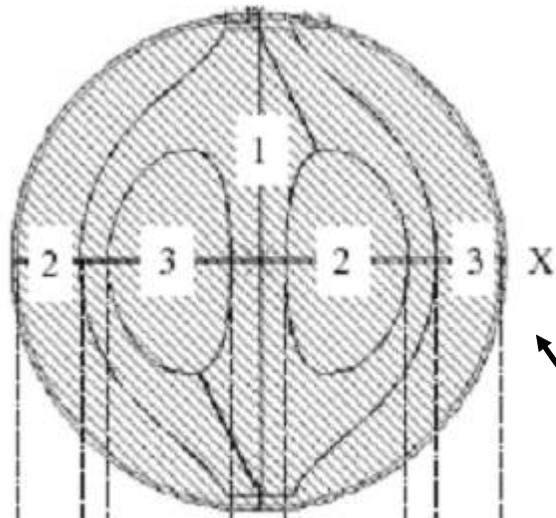
$100m\lambda rms/deg.$ (DVD:NA=0.65, $t = 0.6mm$)

DVDではディスク基板が1度傾くと約 $100m\lambda rms$ の3次コマ収差が発生する。入射瞳面で相殺波面（位相）を発生させれば収差補正可能で補償光学の一種といえる

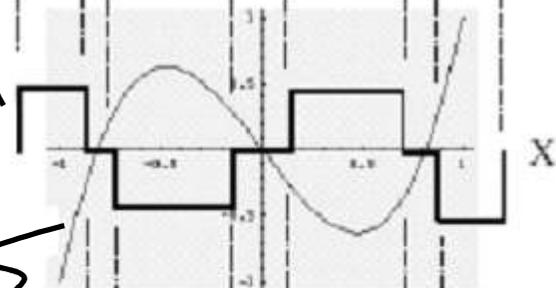
ディスクチルトと3次コマ収差

【14】

コマ収差を近似した電極図

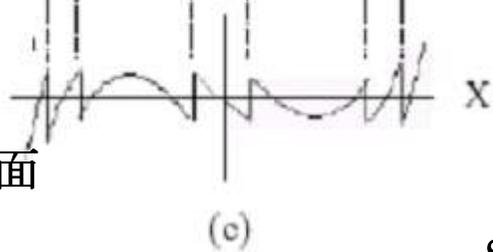


補正波面B

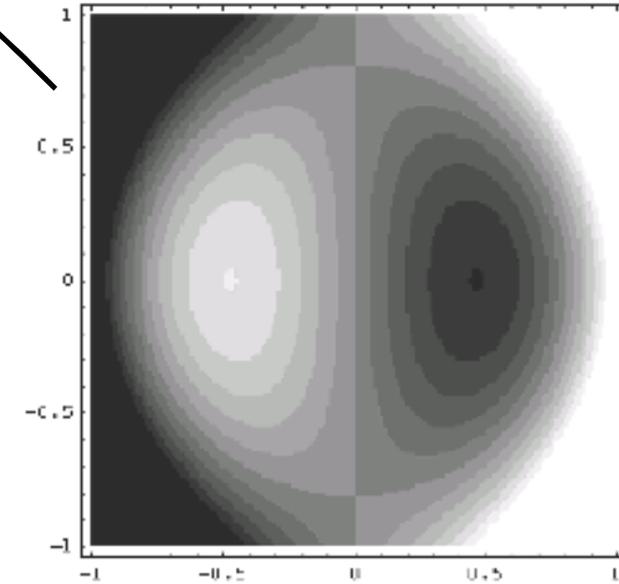


収差波面A

残存収差波面



A-B

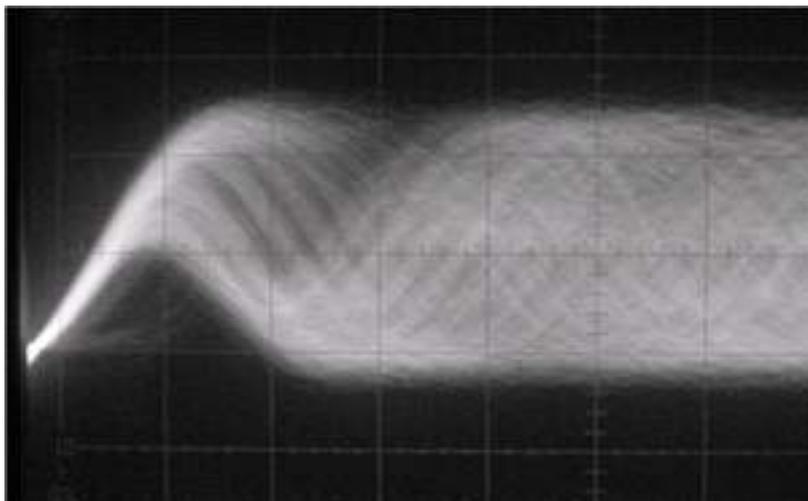


濃淡図

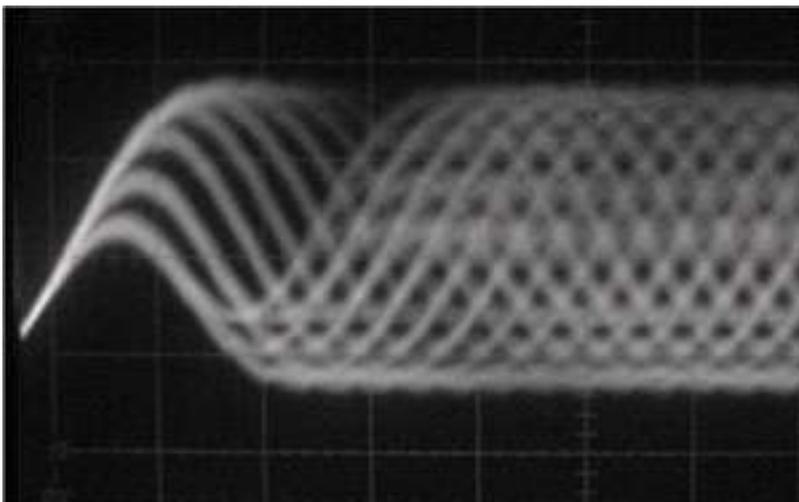
コマ収差波面

コマ収差とその近似補正

S. Ohtaki, N. Murao, M. Ogasawara and M. Iwasaki:
Jpn. J. Appl. Phys., 38 (1999)

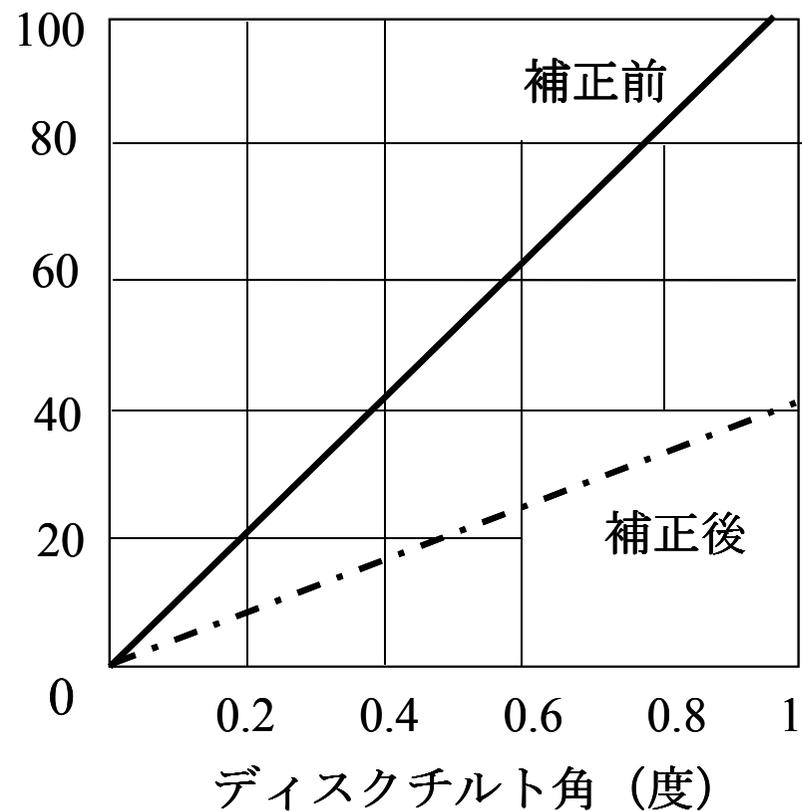


スキュー1度 液晶チルトサーボオフ



スキュー1度 液晶チルトサーボオン

波面収差 (RMS)



DVD NA:0.65, t = 0.6 mm

DVDのRF信号波形(アイパターン)

【16】

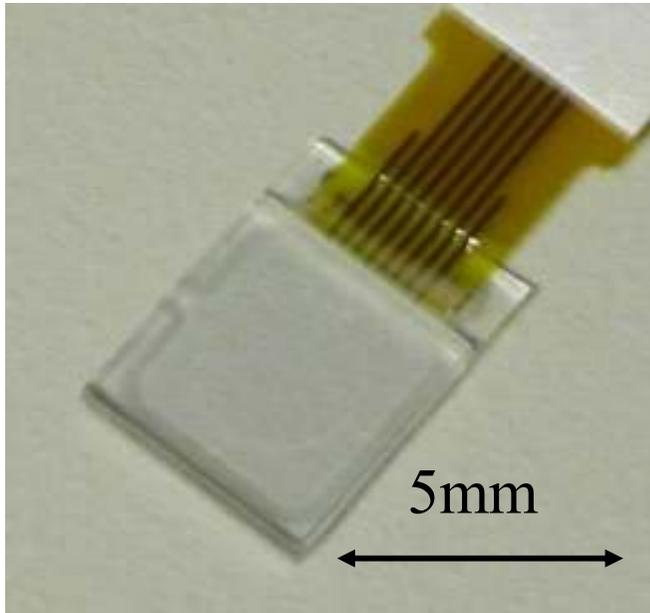


表 液晶収差補正素子の仕様例

ガラス厚	0.3mm (総厚 0.6mm)
液晶モード	平行配向
Δn	0.205 (650nm)
セルギギャップ	6.5 μm
透過率	95%以上 (λ : 650nm)
平坦度	$\lambda / 10$ 以上
動作温度	- 20°C ~ 85°C
応答時間	700ms以下 (-20°C)

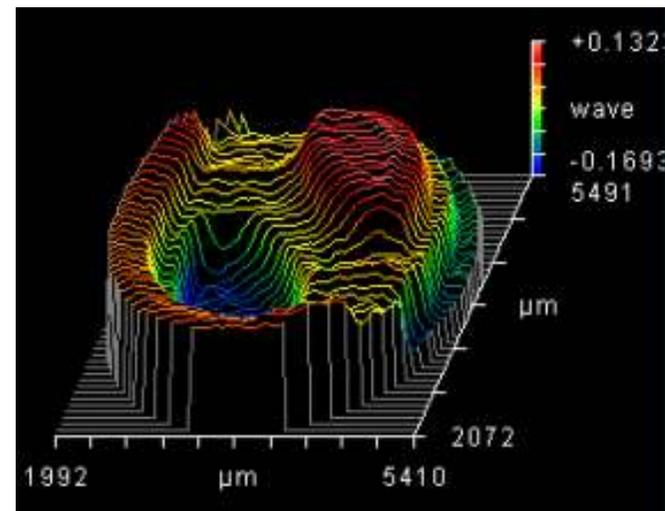
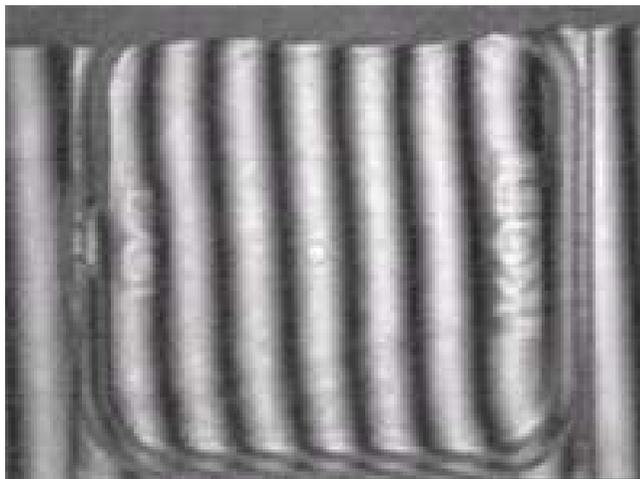
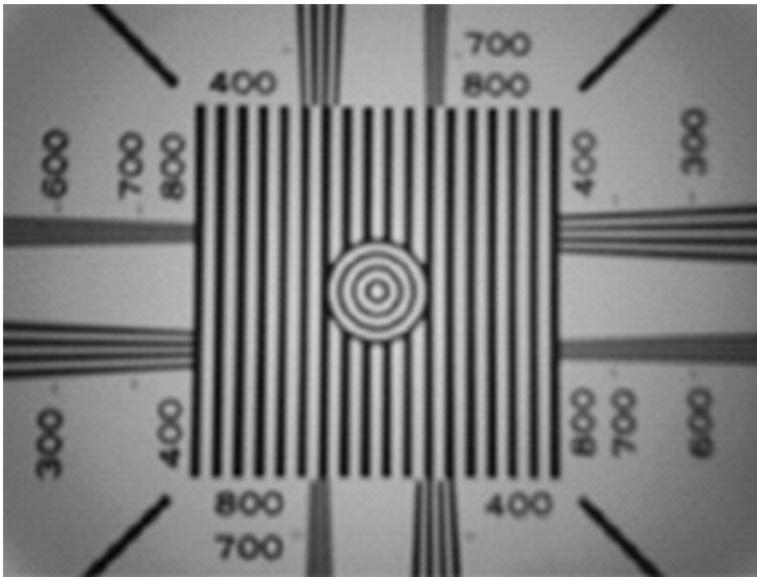
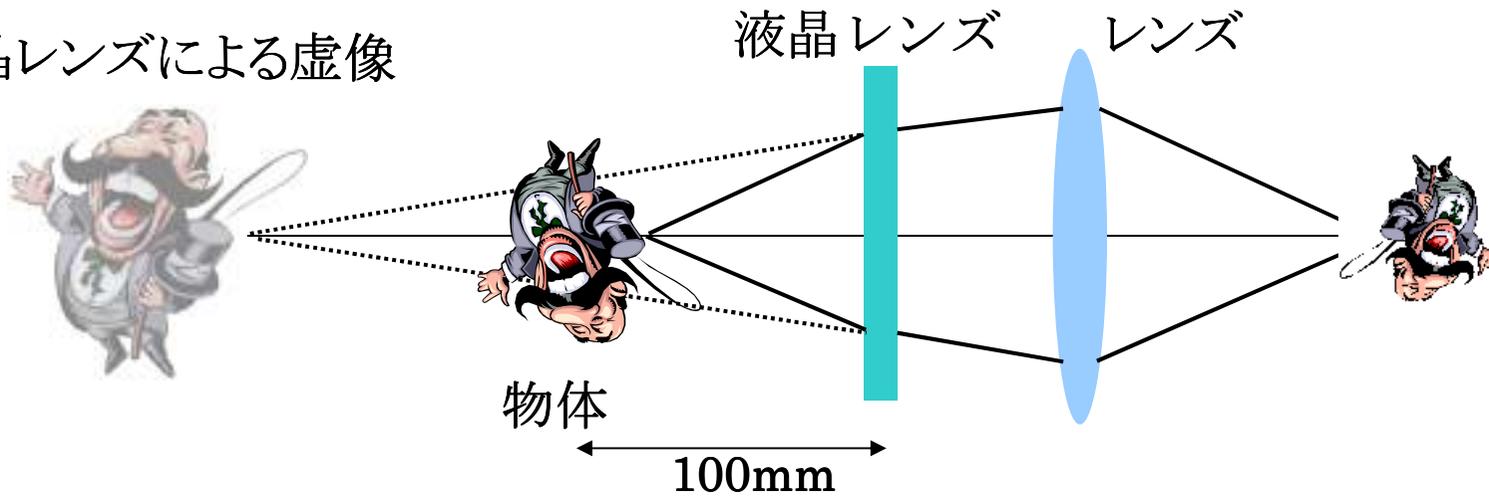


写真 液晶光学素子とその平坦性

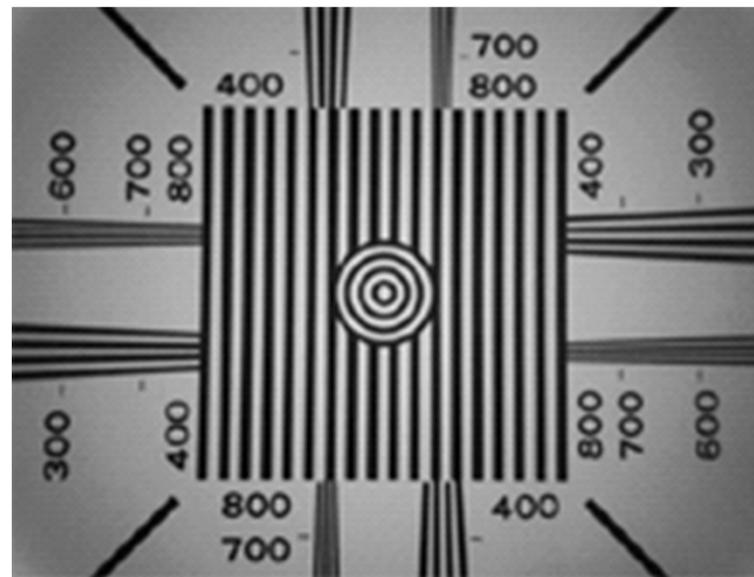
発生3次コマ波面 (干渉計による測定)

【17】

液晶レンズによる虚像



液晶AF off

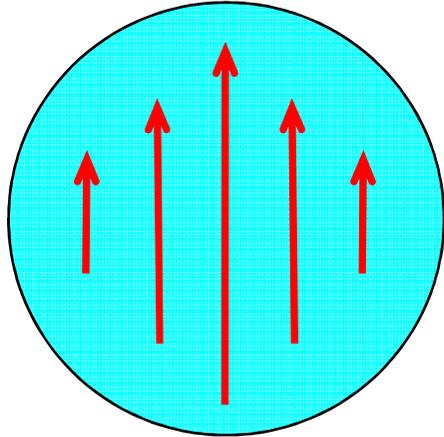


液晶AF on

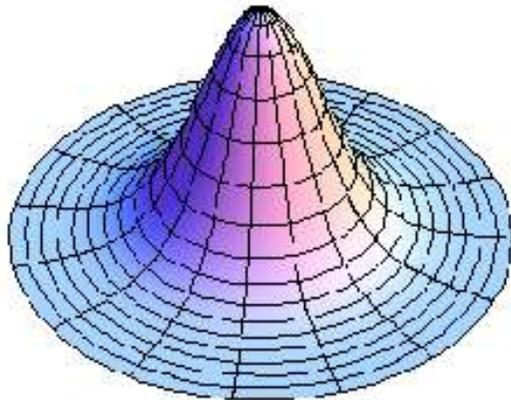
液晶分布屈折率型レンズを用いたオートフォーカスシステム

液晶位相変調素子によるラゲールガウスベクトル
ビーム生成と超解像顕微鏡への応用

【18】



直線偏光

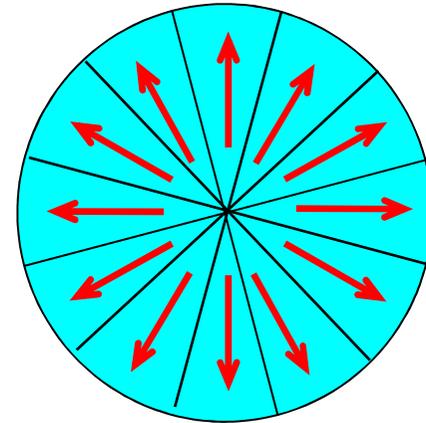


ガウス強度分布

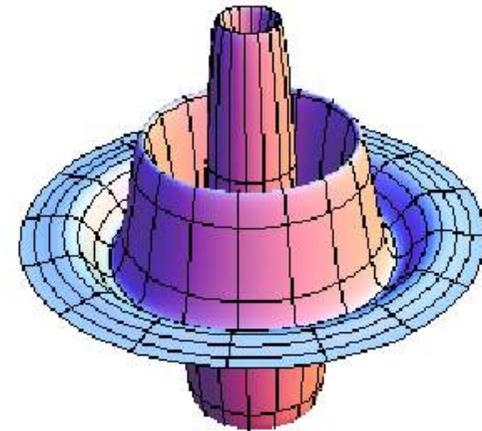
従来



両者を電氣的に
切り替え



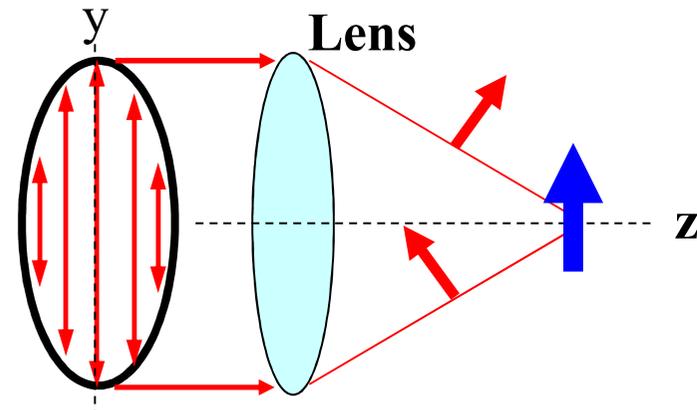
ラジアル偏光



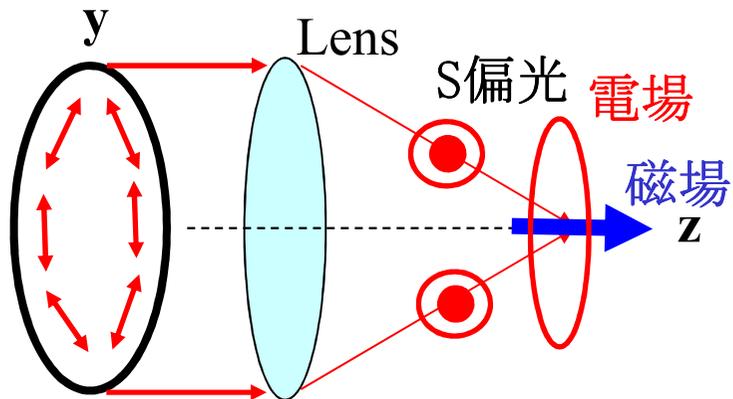
高次ガウス強度分布

本研究

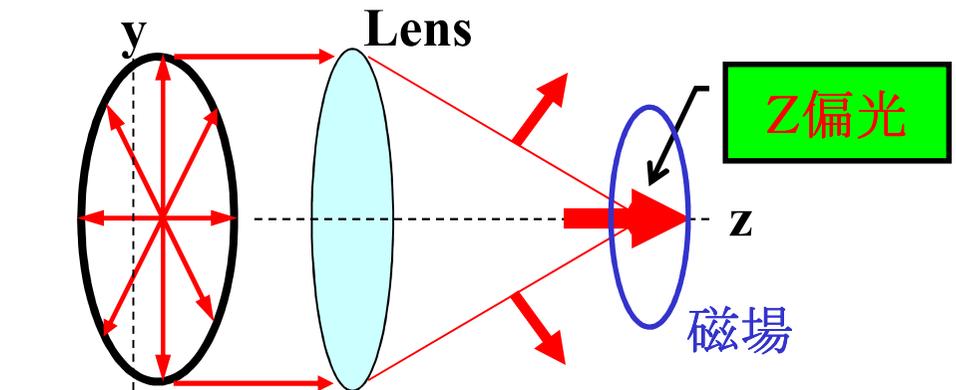
【19】



直線偏光



アジマス偏光



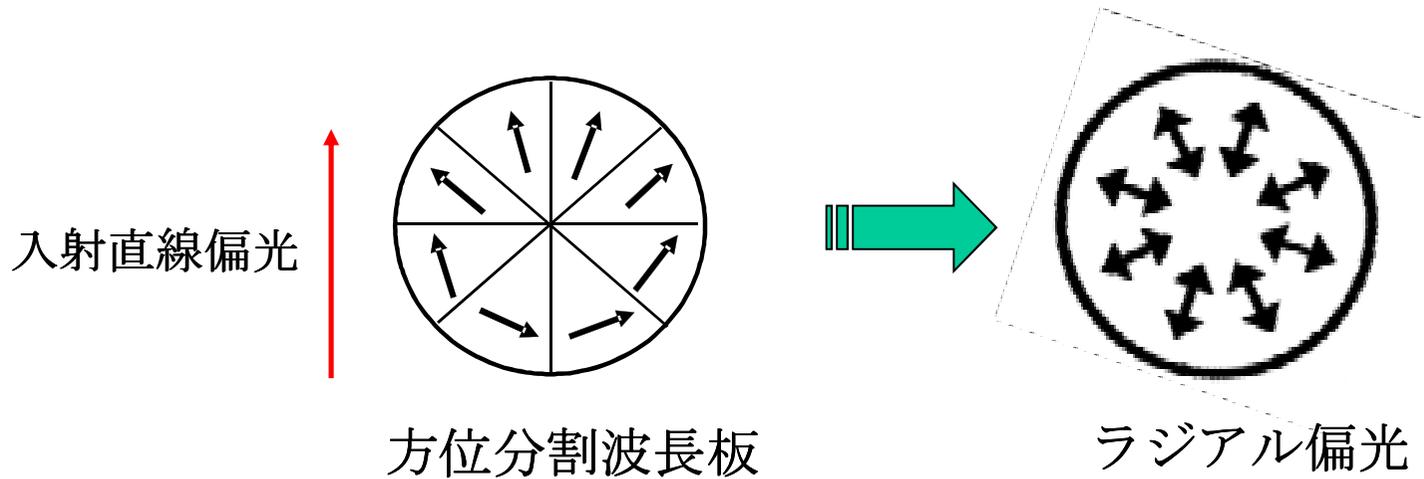
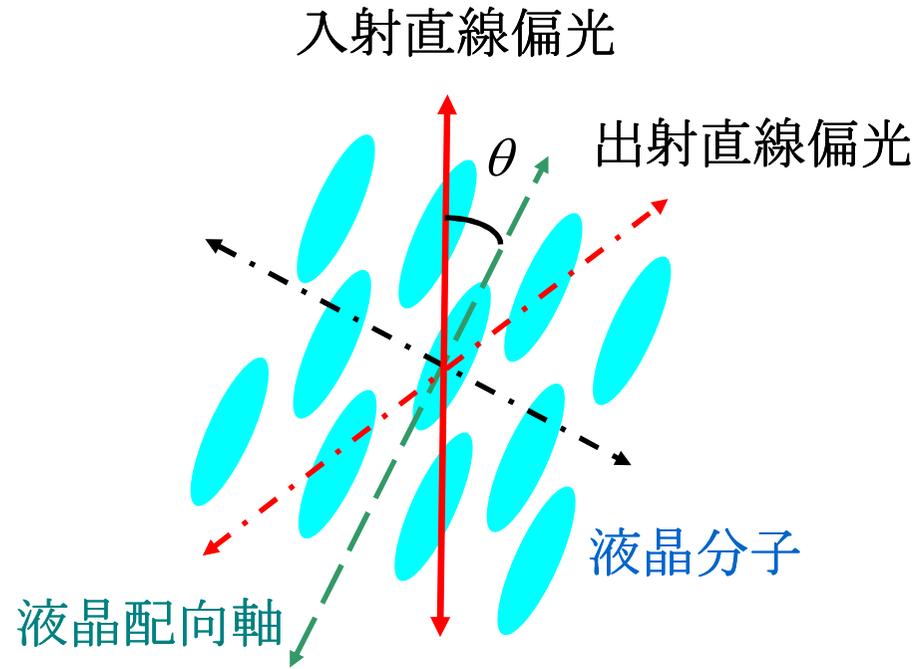
ラジアル偏光

P偏光

空間的な偏光分布を持つ光 → ベクトルビーム

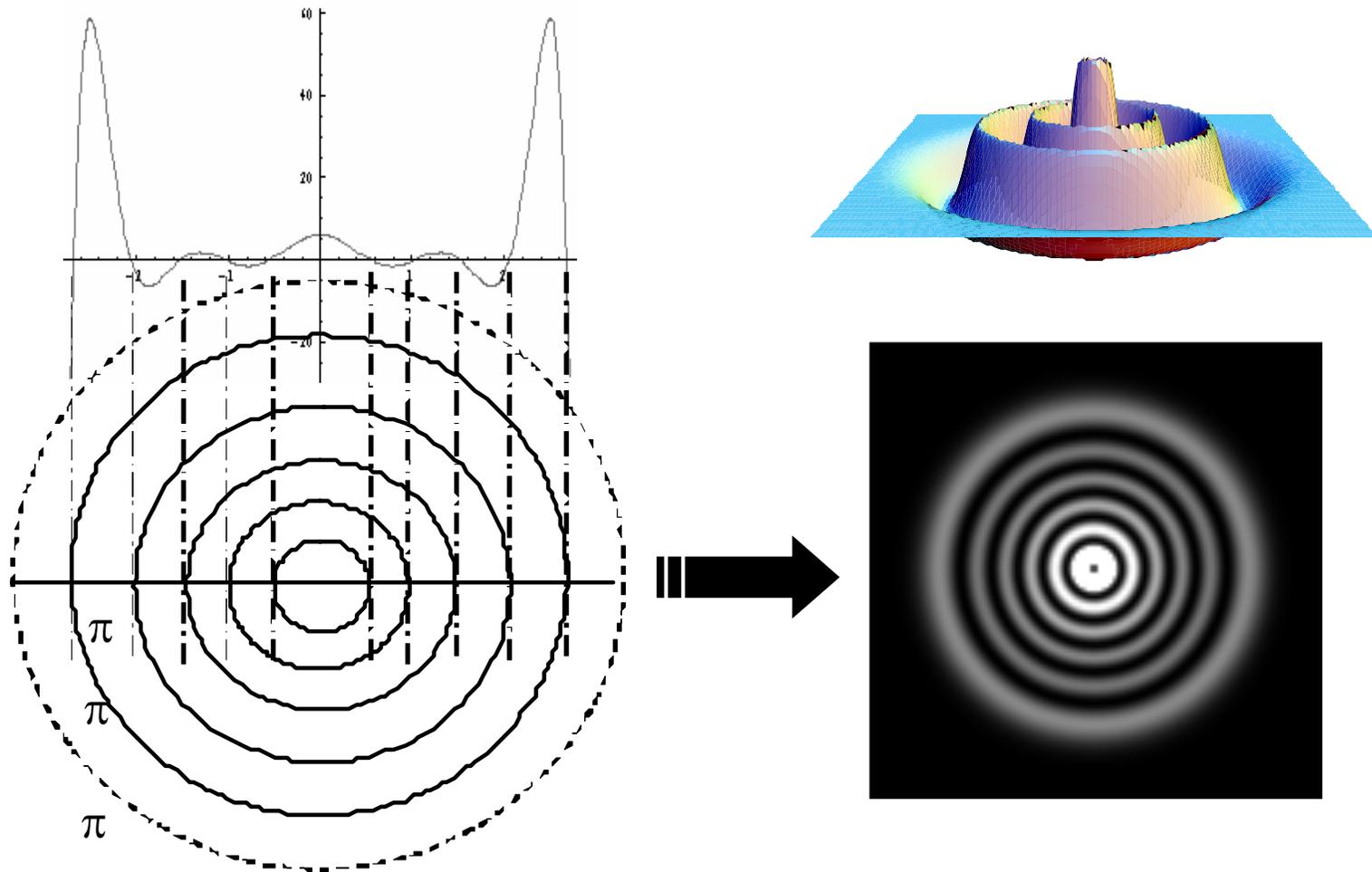
各種偏光の集光特性

【20】

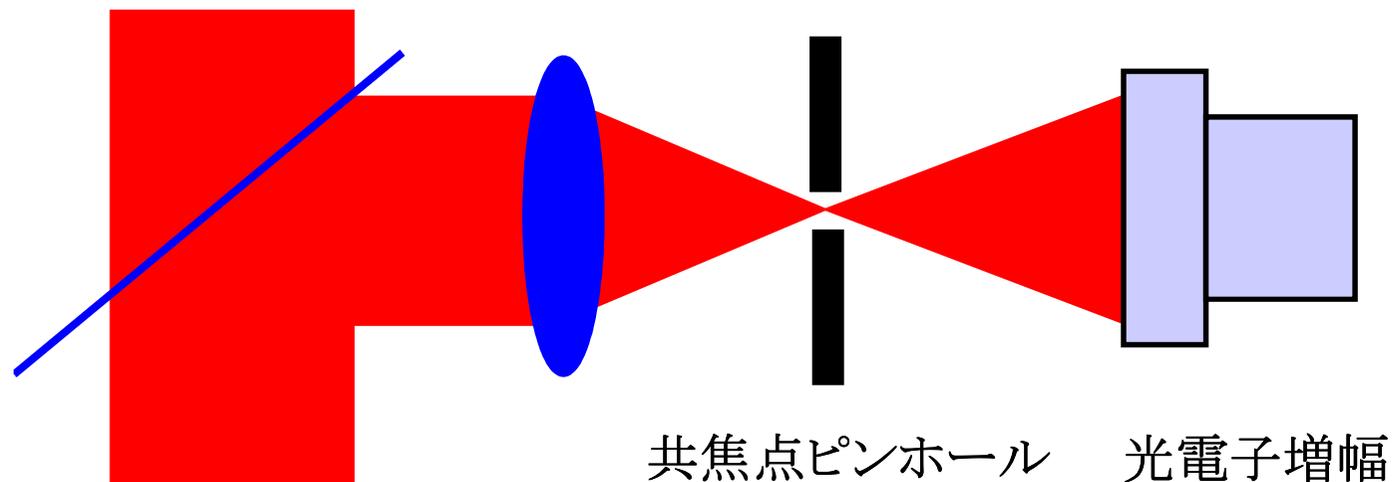


軸方位分布を持つ半波長板に直線偏光を入射

【21】



ラゲールガウス関数を0、 π で近似する液晶ITOパターン



共焦点ピンホール 光電子増幅

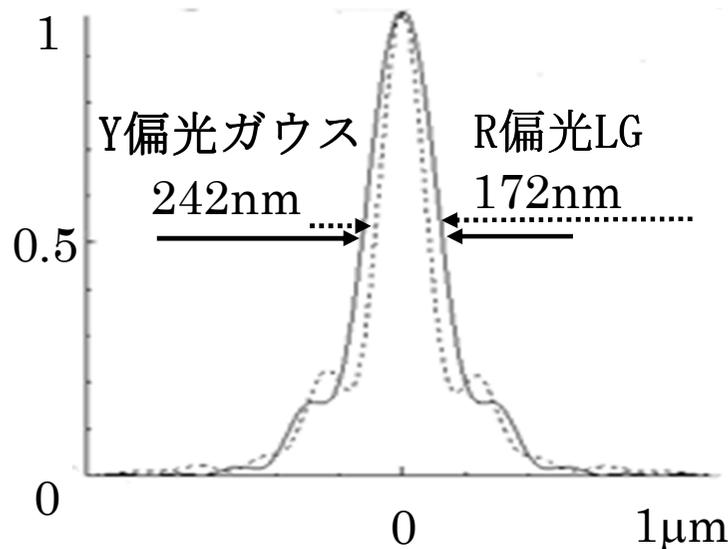
液晶偏光モードコンバーター

輪帯位相変調素子

ラジアル偏光発生素子

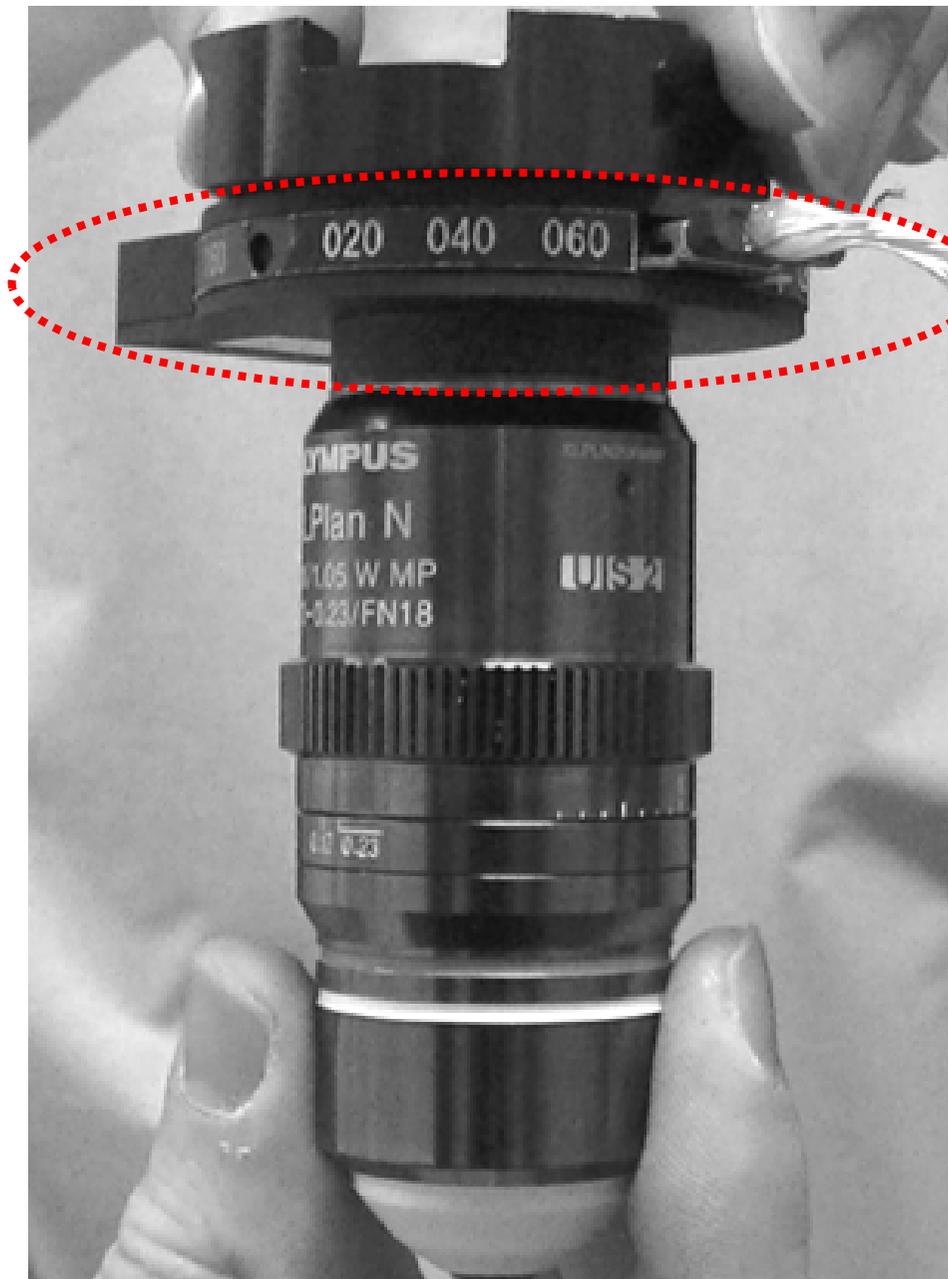
対物レンズ

試料



NA:1.2, 波長488nmにおけるシミュレーション
(対物レンズの収差も考慮)

液晶偏光モードコンバーターを用いたレーザー共焦点顕微鏡



液晶偏光モードコンバータ

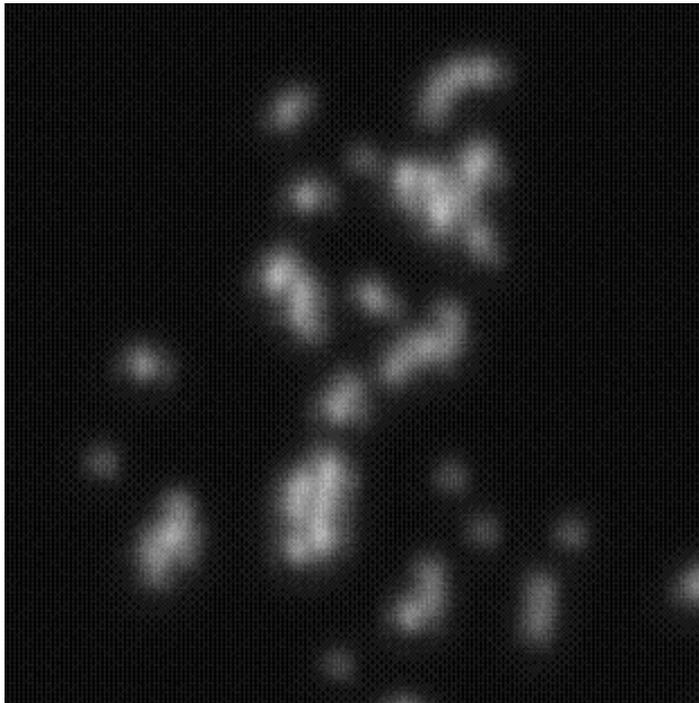
【24】

観察例

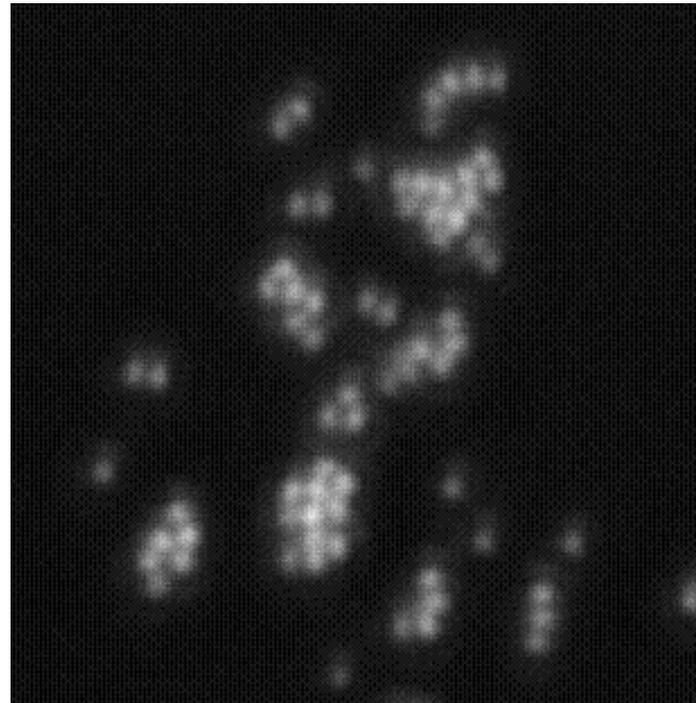
試料：標準蛍光ビーズ(粒径173nm)

レーザー波長：473nm

対物レンズ：NA1.2



液晶LGベクトルビームオフ



液晶LGベクトルビームオン

Rayleigh limit

$$0.61 \frac{\lambda}{NA}$$

≒ 240nm



≒ 170nm

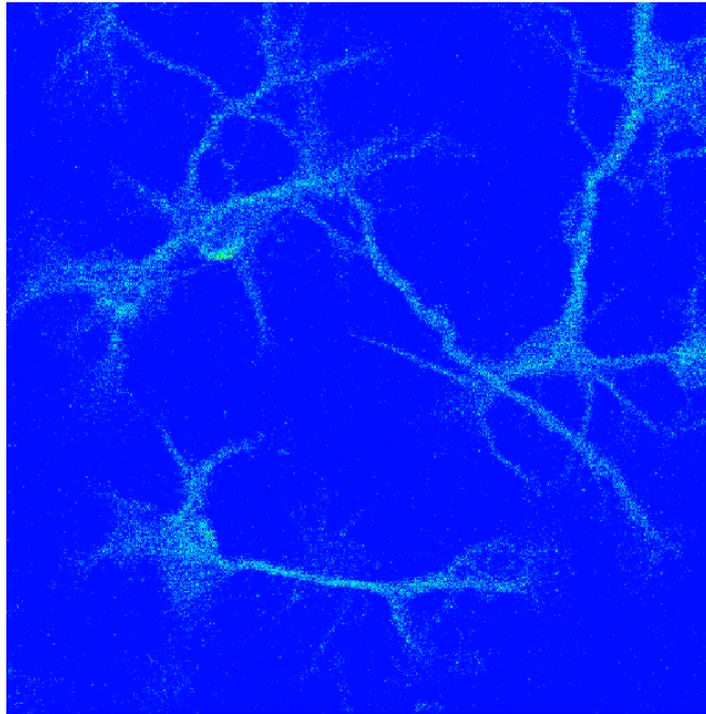
回折限界
を超えている

東北大多元研佐藤研究室及び北大生体物理根本研究室との共同研究による

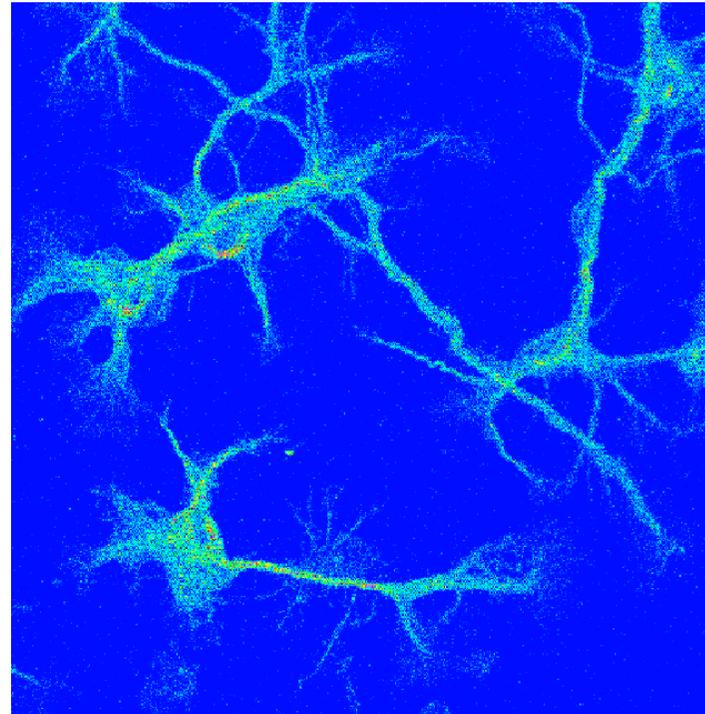
【25】

神経細胞
マウス 大脳皮質
微小管(チューブリン)
蛍光色素:アレクサ488

収差補正



液晶収差補正無



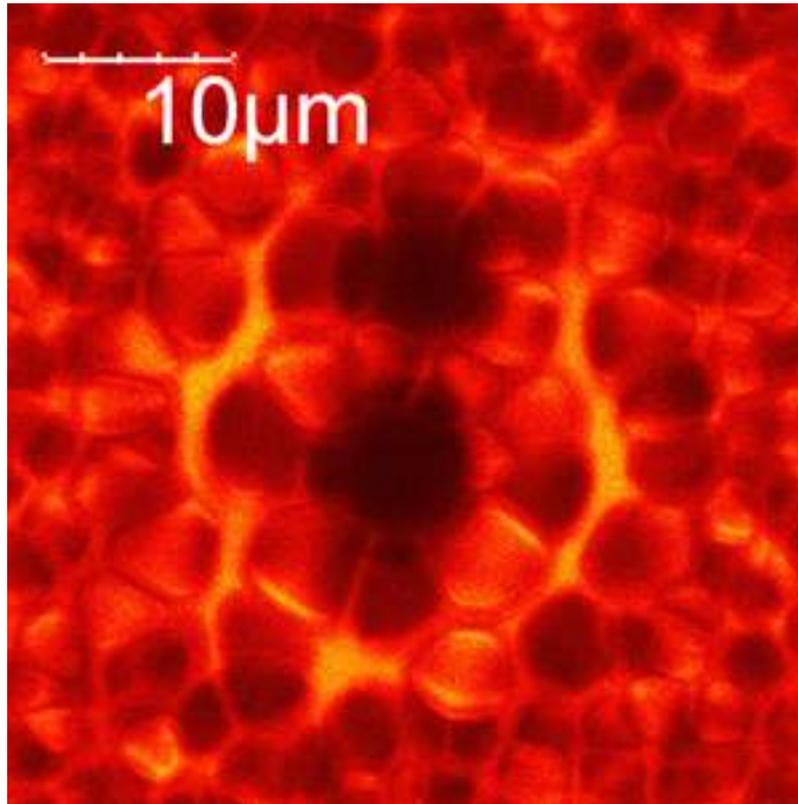
液晶収差補正有

生体試料の観察 (NA:1.2 170 μ m深部)

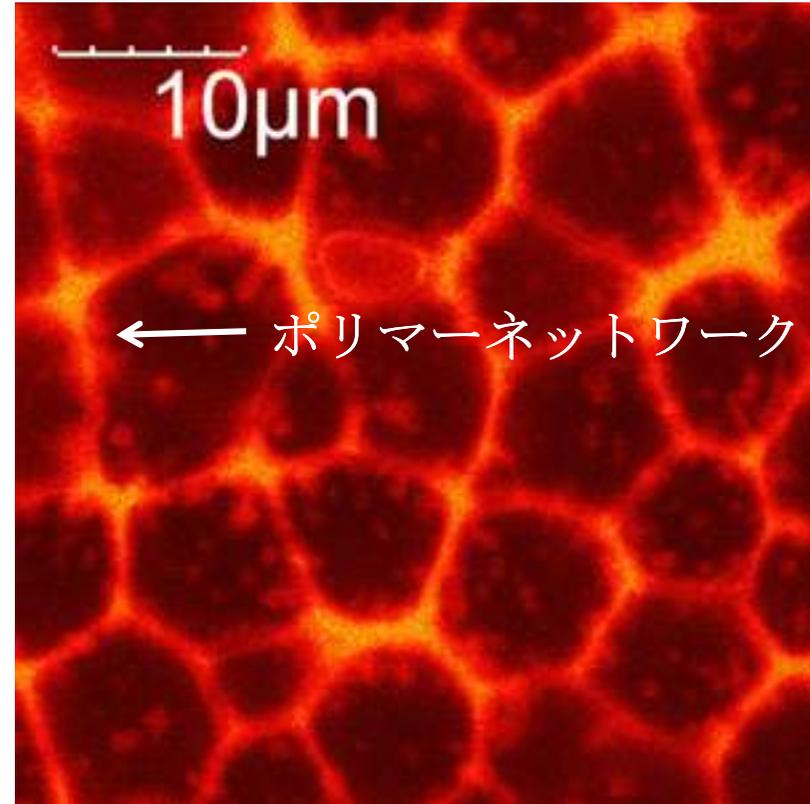
東北大多元研佐藤研究室及び北大生体物理根本研究室との共同研究による

【26】

Z 偏光の利用



X 偏光

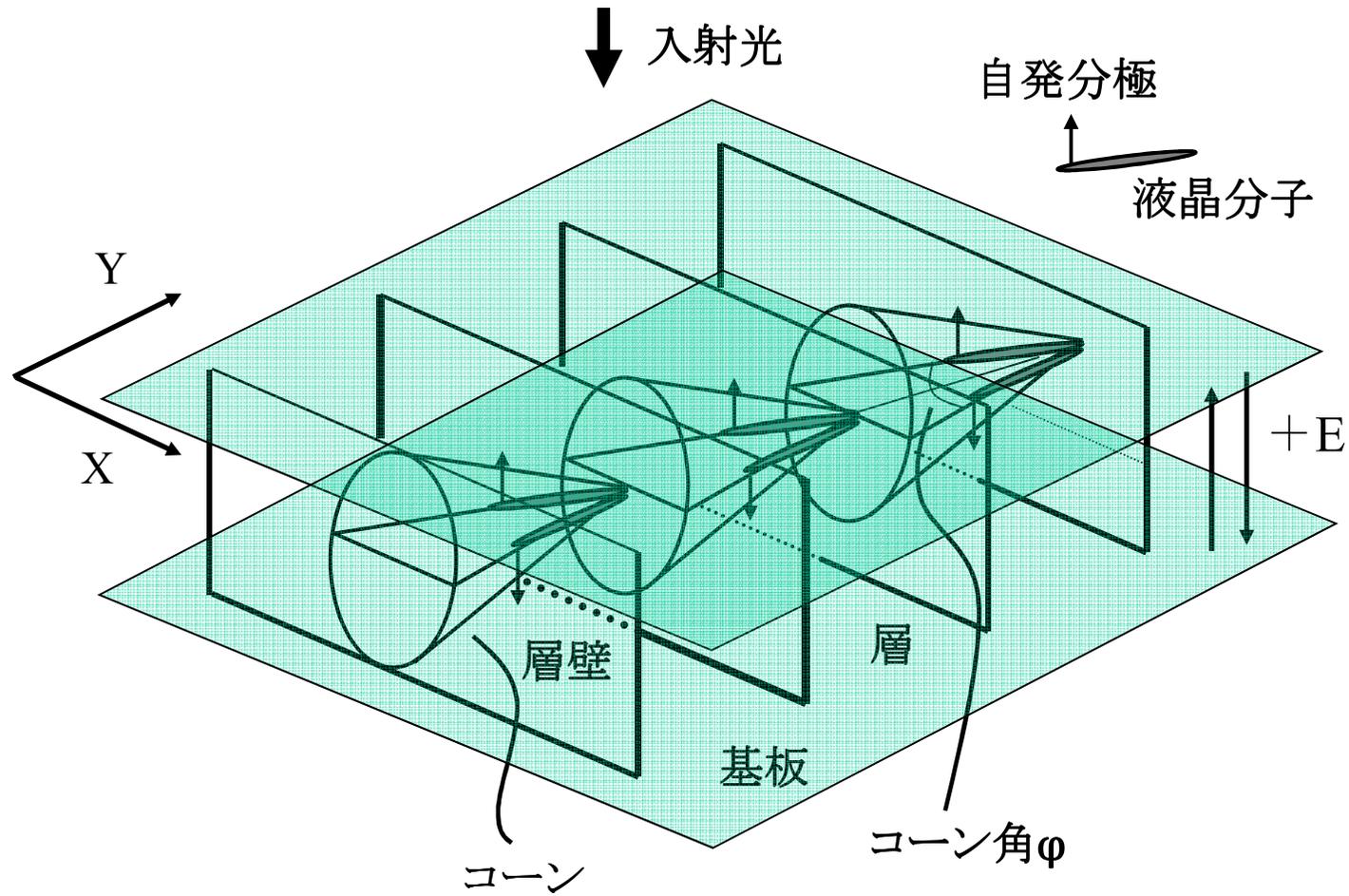


Z 偏光

レーザーSHG顕微鏡による高分子分散液晶の観察

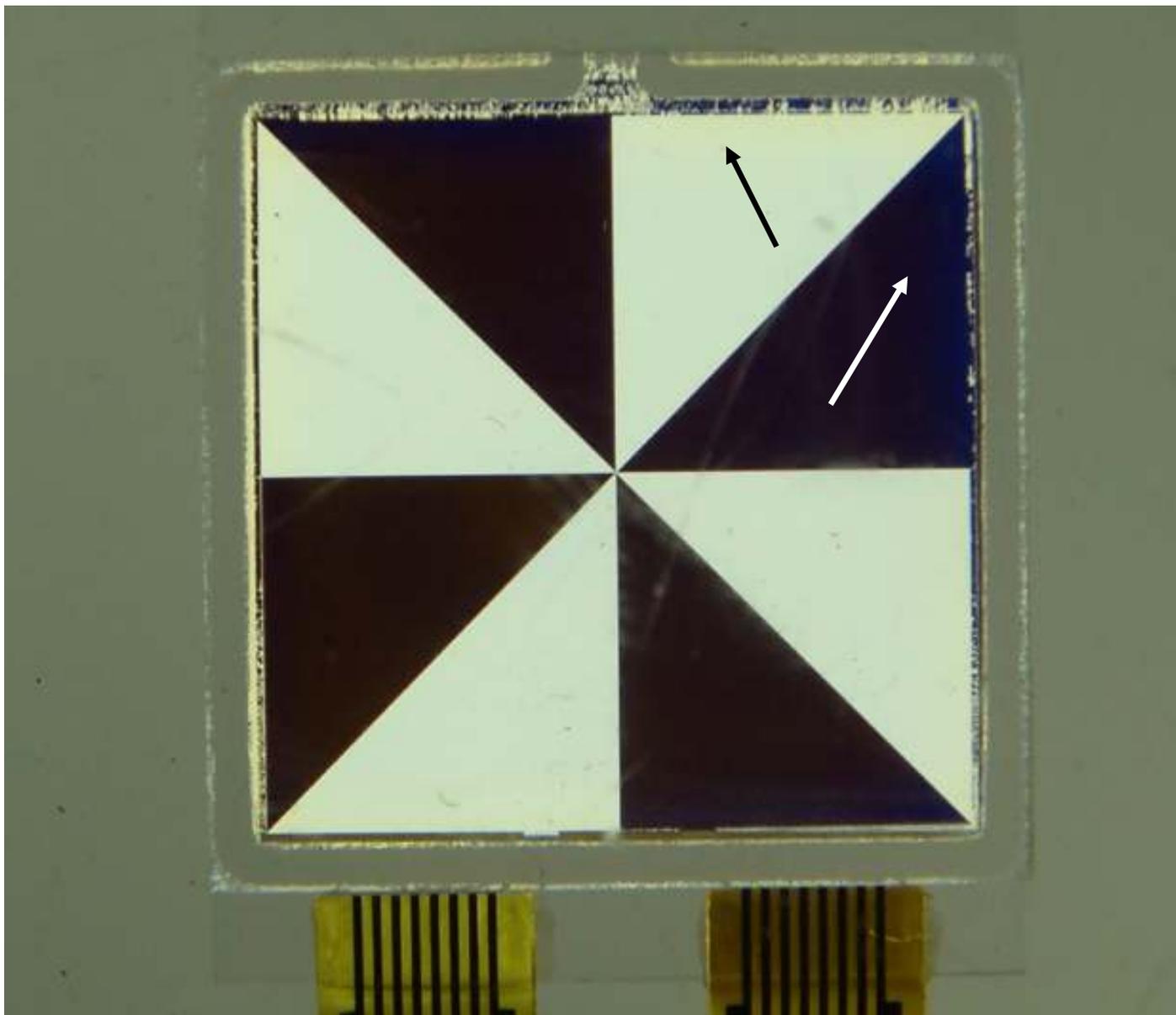
メモリ性強誘電性液晶による偏光変調と
系外惑星観測への応用

【27】



強誘電性液晶の配向と動作

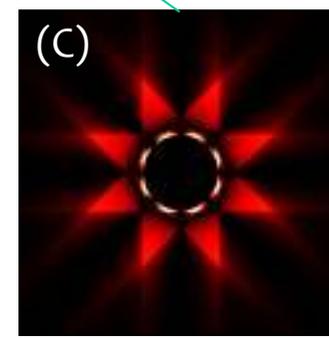
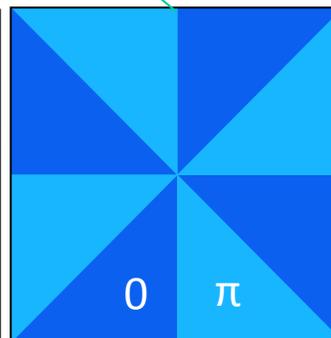
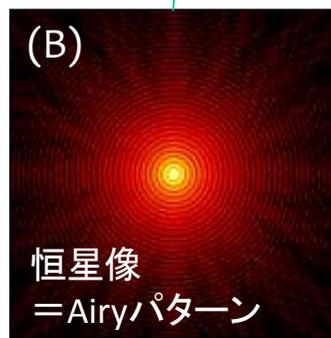
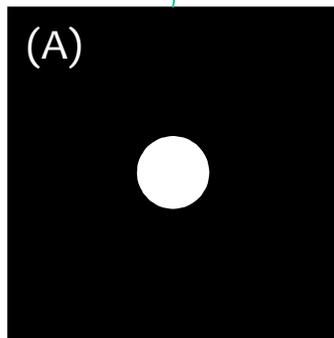
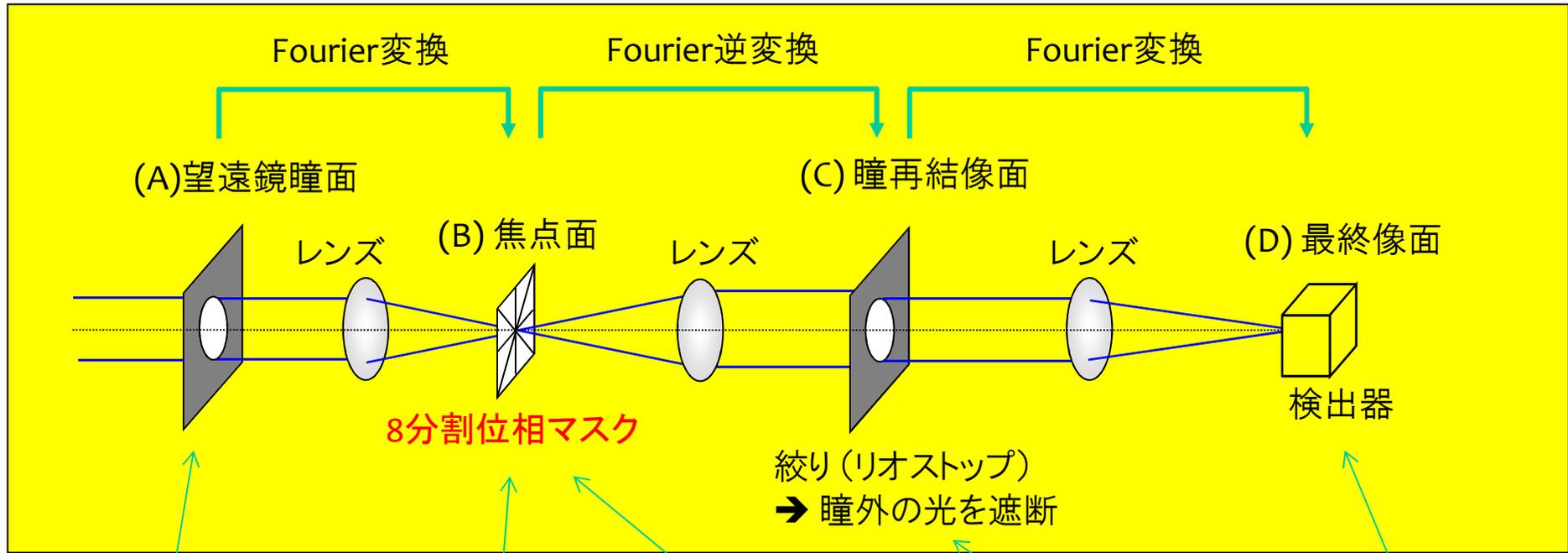
【28】



メモリ性強誘電性液晶

【29】

8分割位相マスクコロナグラフ



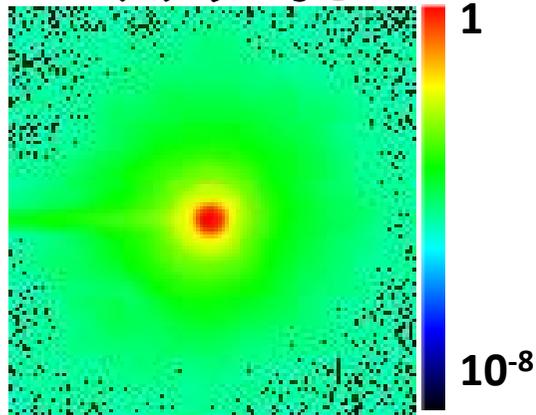
→ 恒星が大きい場合も、恒星光を強力に除去

【30】

実証実験結果

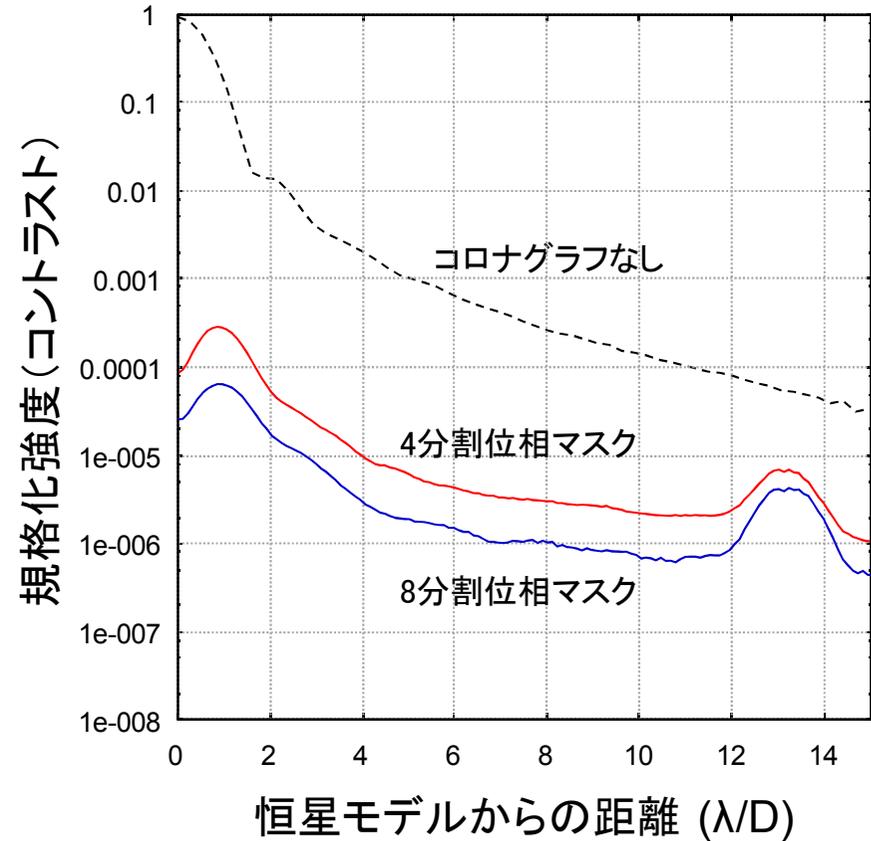
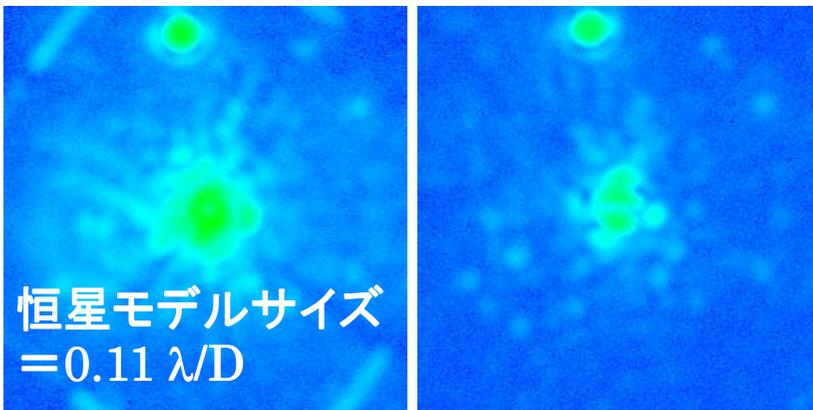
結果：恒星モデル(白色光源)を強力に除去

コロナグラフなし



4分割位相マスク

8分割位相マスク



コントラスト@5λ/D

~ 6×10^{-6} (4分割マスク)

~ 2×10^{-6} (8分割マスク)

まとめ

- * 液晶素子は半波長電圧が僅かに数Vで**CMOS-IC**で直接駆動可能なアクティブ光学素子として原理的に優れた素子である。
- * 上記の性質を利用した光偏向素子や収差補正素子は10年以上にわたり量産されている信頼性の高い素子である。
- * 新しい応用としてベクトルビーム発生素子とその顕微鏡への適用について紹介した。
- * 強誘電性液晶の特徴と、系外惑星探索への応用について紹介した。



Thank you !!



CITIZEN

Micro HumanTech

