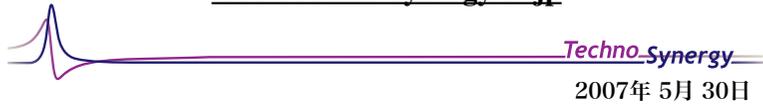


近接場光学顕微鏡の 実デバイス評価への応用

テクノ・シナジー

田所 利康

tado@techno-synergy.co.jp



DVD-RAMの記録マーク観測

- ・透過モードNSOMを用いた記録マーク観測
- ・I-Cモード偏光NSOMを用いた青色DVD記録マークの観察
- ・ファイバー結合型偏光NSOMの開発

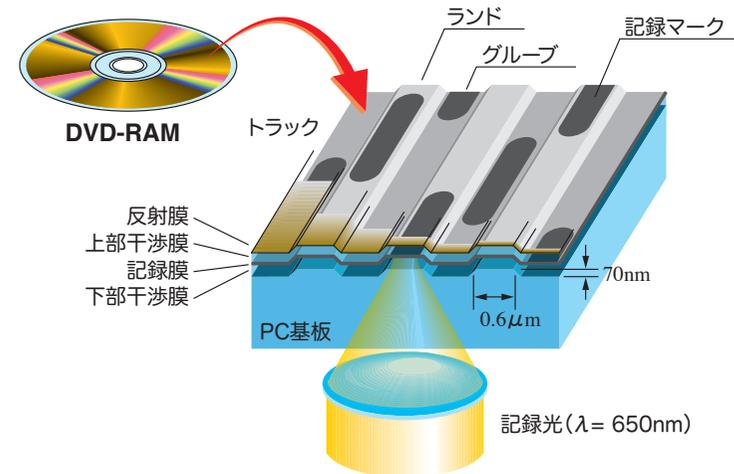
液晶表示セルの界面配向電場応答観測

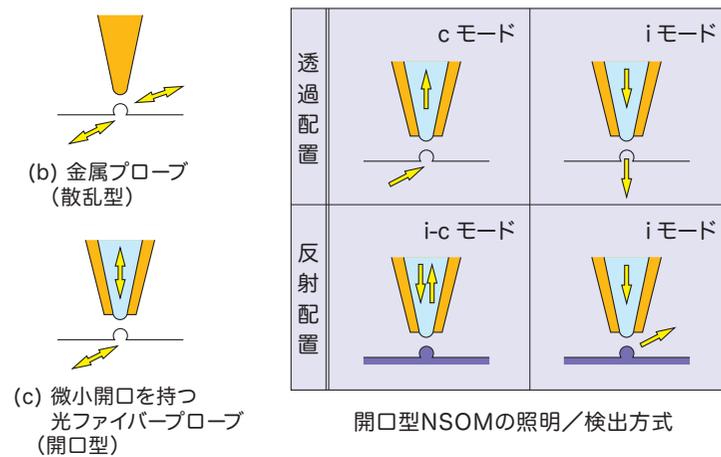
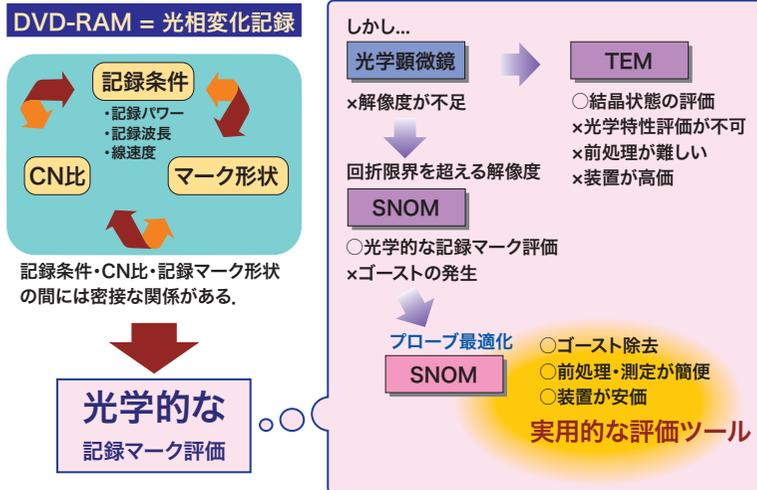
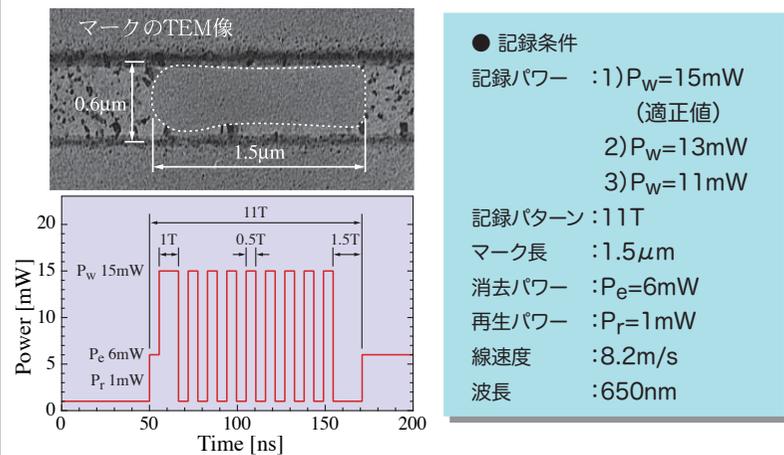
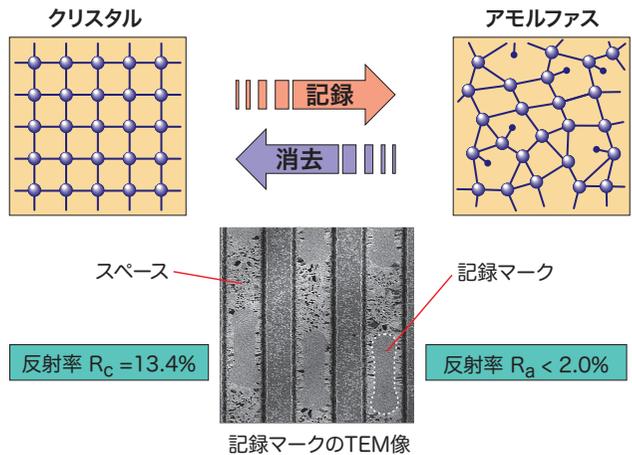
- ・液晶界面配向観測の重要性とその光学的アプローチ
- ・偏光NSOM測定系の概要
- ・ECBモードにおける界面配向分布観測
- ・In-Plane Switching モードにおける界面配向分布観測

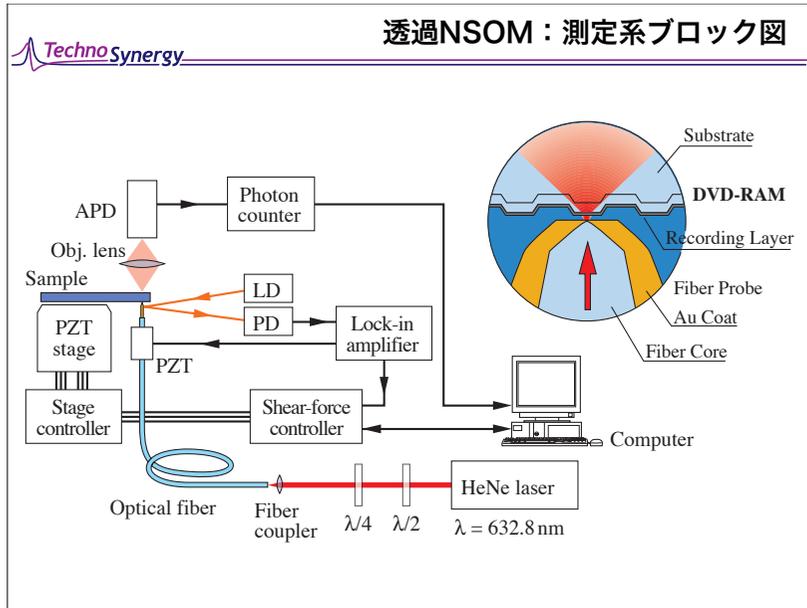
透過モードNSOMを用いた記録マーク観測

T. Tadokoro, T. Saiki, K. Yusu, and K. Ichihara: Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) pp.3599-3602.

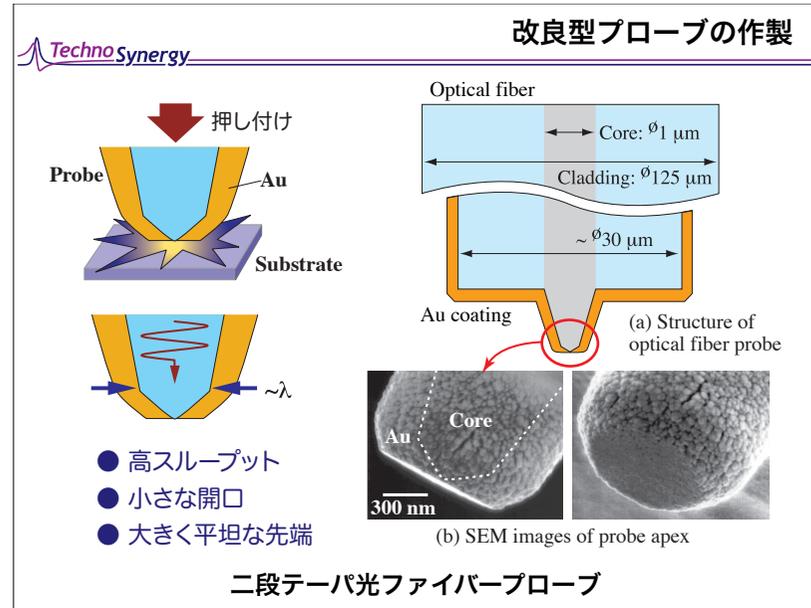
DVD-RAMの構造



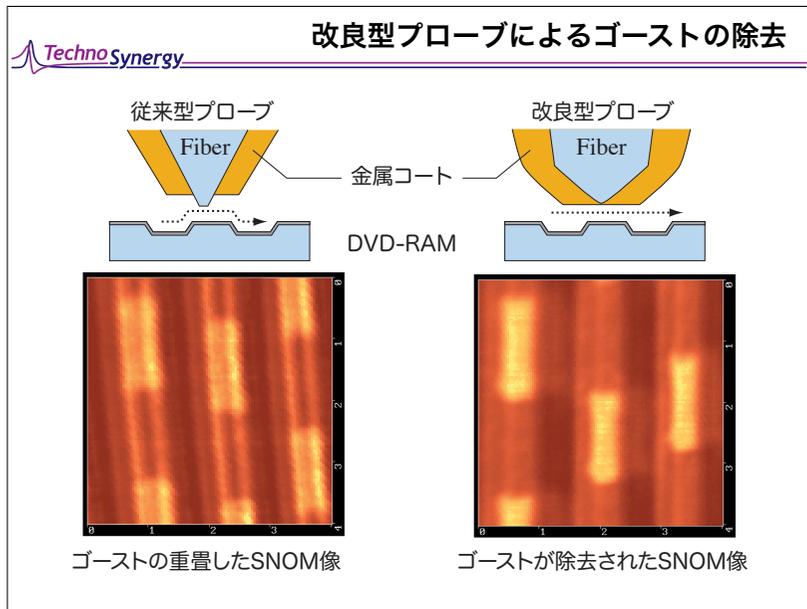




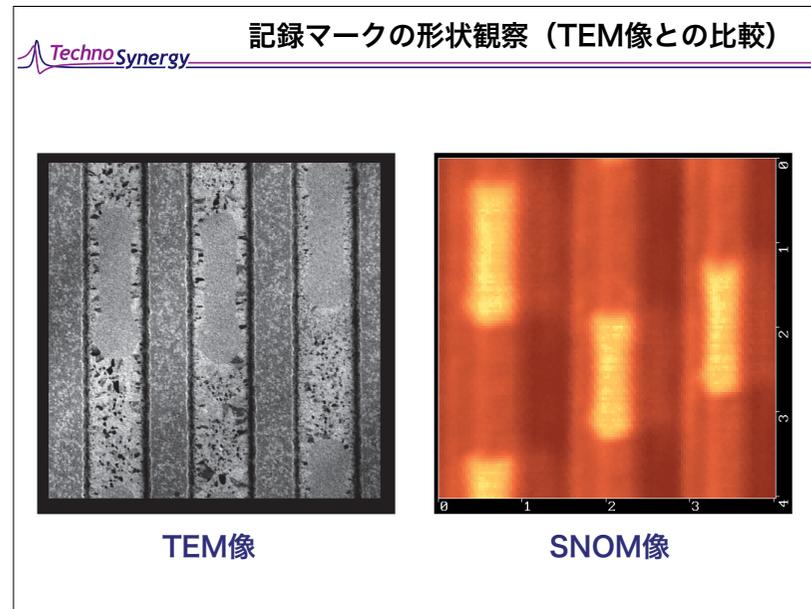
9



10

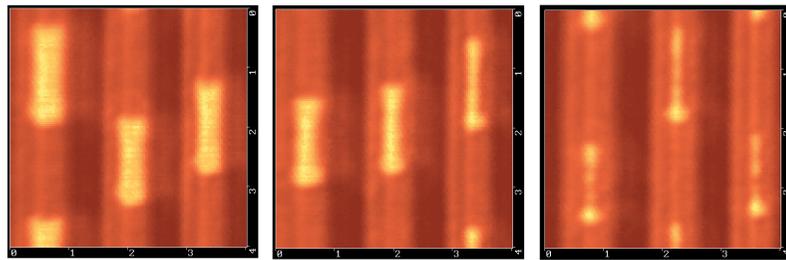


11



12

DVD-RAM記録マーク形状のパワー依存性



$P_w = 15mW$
(適正パワー)

$P_w = 13mW$

$P_w = 11mW$

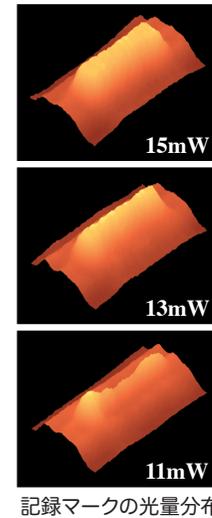
$CN_{15mW} = 59.5dB$

$CN_{13mW} = 55.3dB$

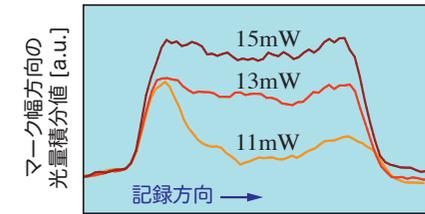
$CN_{11mW} = 47.3dB$

※CN値は、リード/ライトテスター DDU-1000 (パルステック) で測定。

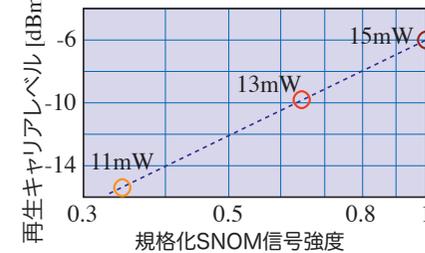
記録マークの光量分布と再生キャリアレベル



記録マークの光量分布

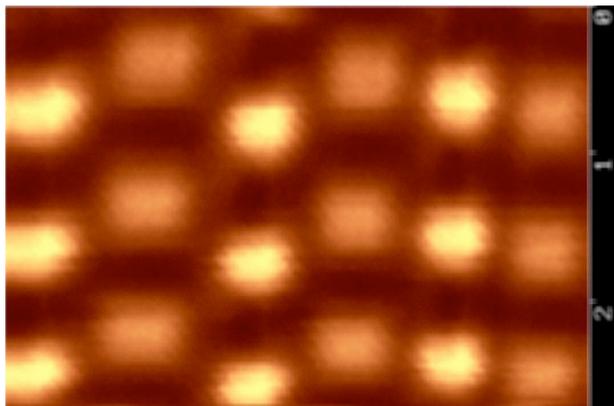


記録マークの光量積分プロファイル



4.7GB媒体3Tパターンの透過モードNSOM像

LD光源 $\lambda: 650nm$, $P_w/P_e: 9/4 mW$



↑ グループ ↑ ランド

0.60 μm

I-Cモード偏光NSOMを用いた 青色DVD記録マークの観察

T. Saiki, K. Yusu, and K. Ichihara and T. Tadokoro: NFO-6 (2000)
Univ. of Twente, the Netherlands, MoP55, p.122.

I-Cモード偏光NSOMによる記録マーク観察

- 不透明材料の観察 → 反射モードNSOM (I-CモードNSOM)
- 高分解能化

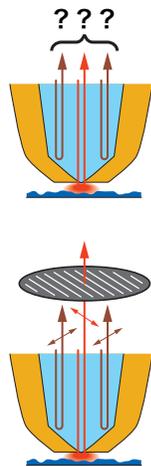
ただし...
プローブ先端からの戻り光のうち、開口を通してサンプルと近接場相互作用する光はごくわずかなので、サンプルの情報を抽出することはきわめて難しい。

近接場相互作用で生じる偏光変化を利用。

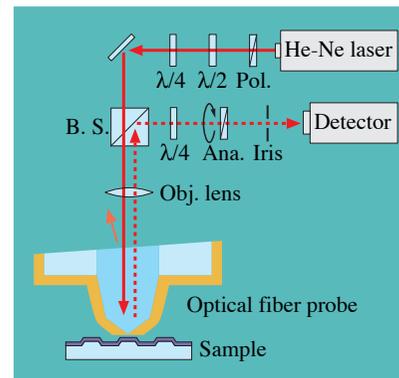
プローブ先端からの戻り光を消光調整で除去し、サンプルに起因する偏光変化を観測。

微小開口プローブに適用して、高スループット、高感度を実現。

高感度なDVD-RAM記録マーク観察

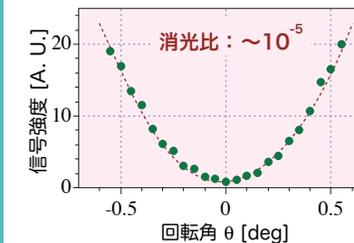


I-Cモード偏光NSOM



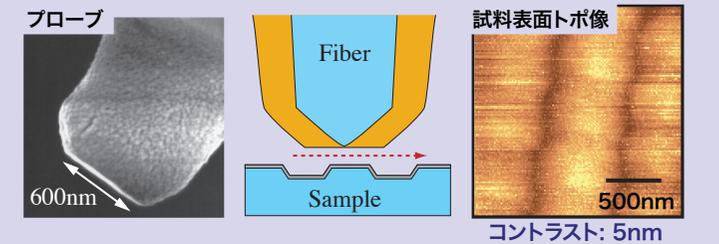
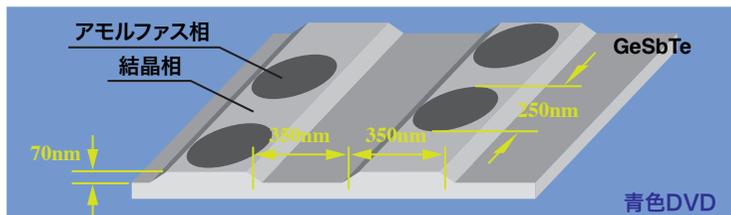
i-c モード偏光 NSOM

光ファイバプローブの先端開口から試料に近接場光を照射し、試料からの散乱光を再びプローブを通してサンプリングする NSOM 測定モード。

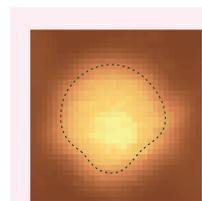
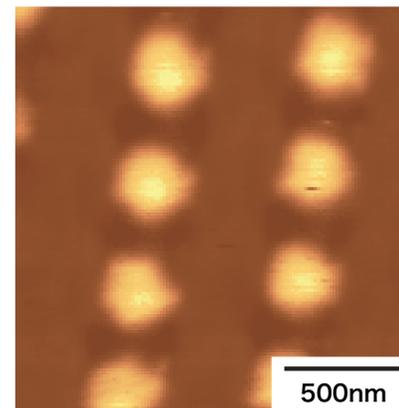


反射モード偏光 NSOM の消光性能

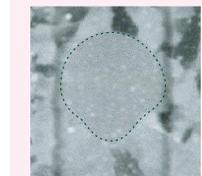
青色DVD-RAM構造



青色DVD-RAM : 3Tマークの偏光NSOM像

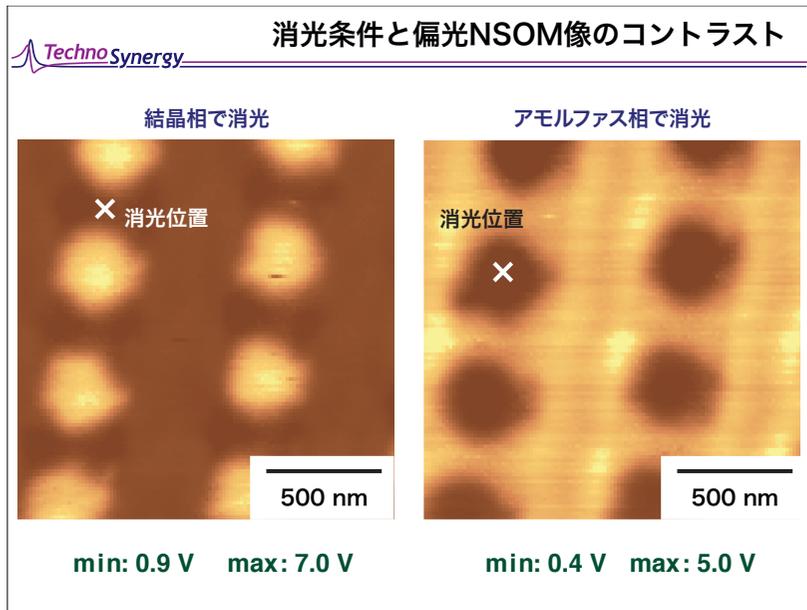


NSOM像

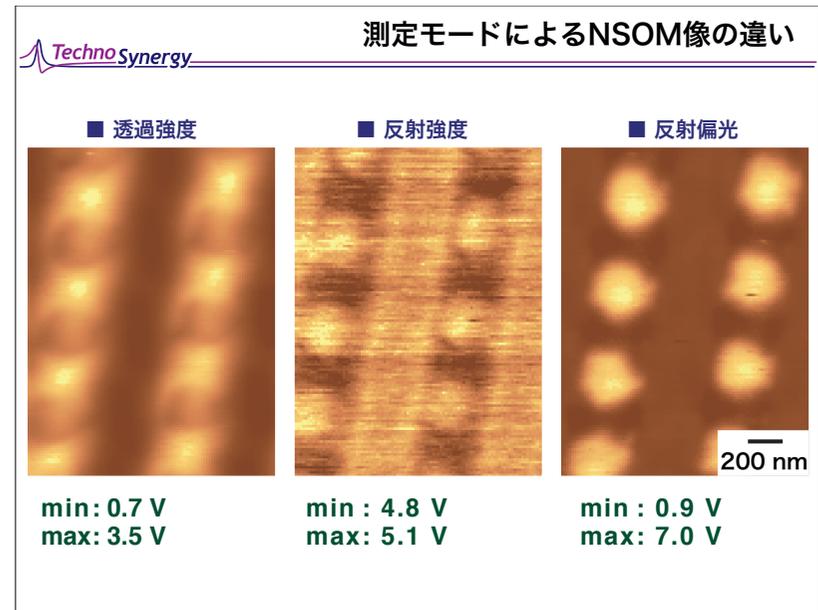


TEM像

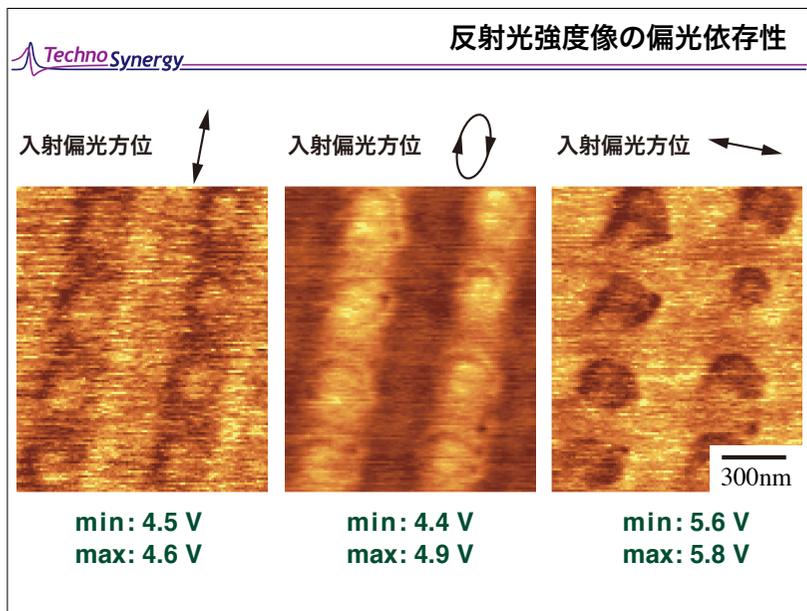
- 高いコントラスト
- ランド・グルーブの影響がない
- マーク形状の非対称性の再現



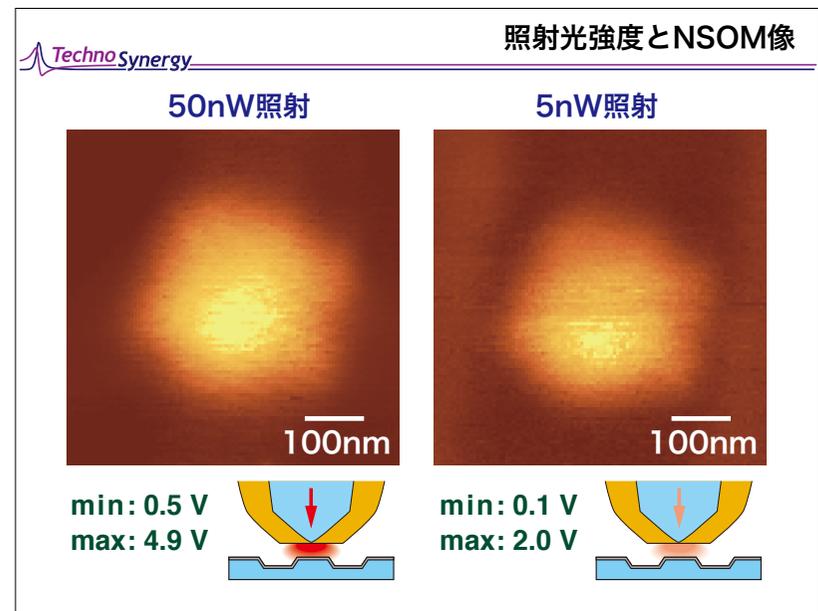
21



22

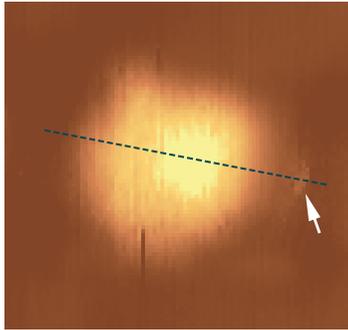


23

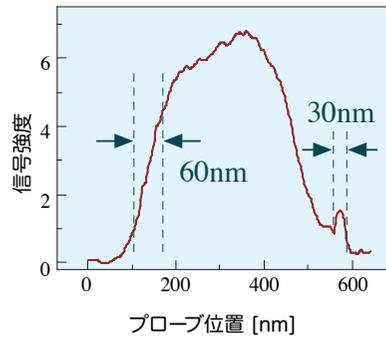


24

記録マークのNSOM像



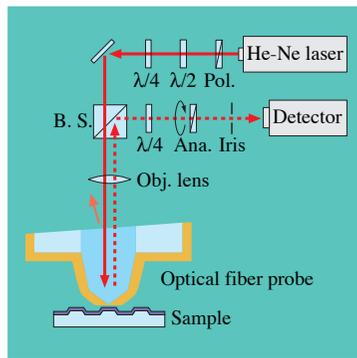
信号強度プロファイル



ファイバー結合型偏光NSOMの開発

田所利康, 飯塚孝, 渡辺正行, 齋木敏治: 第51回応用物理学
関係連合講演会 (2004) 東京工科大学 29a-D-9, p.1135.

ファイバー結合型偏光NSOMの開発



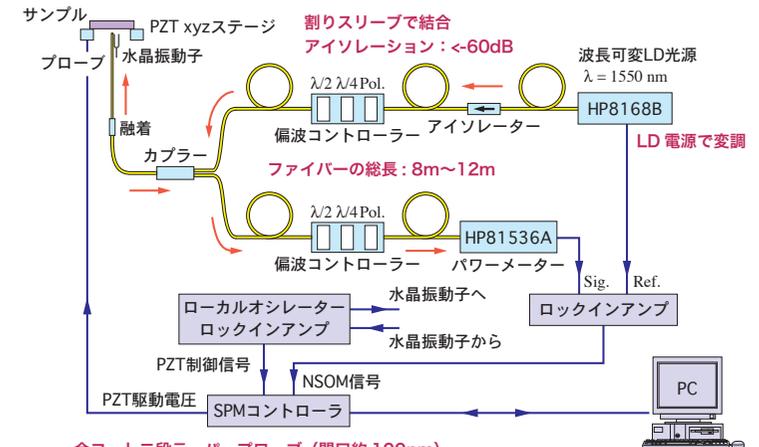
i-c モード偏光 NSOM

各光学素子表面反射が検出器に入り、消光状態を悪化させ、検出感度が低下。
⇒ファイバー端面斜め研磨
⇒反射光の光軸をずらして調整
(虹彩絞りにより空間的にカット)

光通信のファイバー結合技術を活用して、

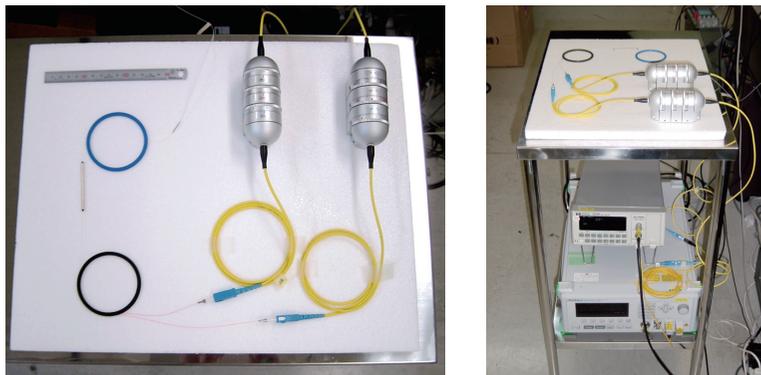
- ・高い光アイソレーション
⇒検知器への戻り光除去、検出感度向上
- ・コネクタによるファイバー結合
⇒調整不要で安定した光学系の構築
⇒光学系のコンパクト化 / モジュール化

光ファイバー結合型i-cモード偏光NSOM



- ・金コート二段テーパプローブ (開口約 100nm)
- ・チューニングフォークを用いたシアフォース制御
- ・プローブ (2 μm コア) とファイバー (10 μm コア) をテック融着

ファイバー結合型偏光NSOM実験系の外観



波長可変光源：MG9541A (Anritsu), パワーメータ：8163B (Agilent Technologies)

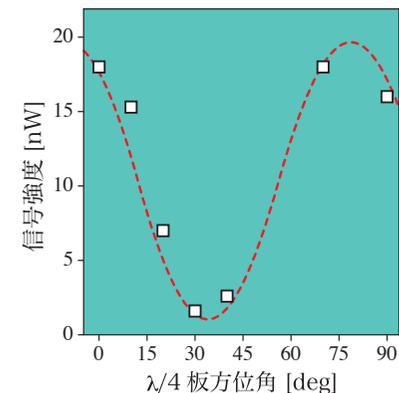
消光調整の消光性能

測定光源

- ・測定波長：1550nm
- ・LD 出力：~10mW
- ・変調周波数：1.2kHz

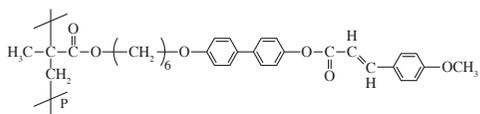
プローブ先端からの戻り光

- ・平行ニコル：~80μW (-11dBm)
※LD 光源から 21dB down
- ・直交ニコル：1.6nW (-58dBm)
※λ/4 板方位：30° (右図参照)
- ・消光比：≦ -47dB



消光状態の入射 λ/4 板方位角依存性

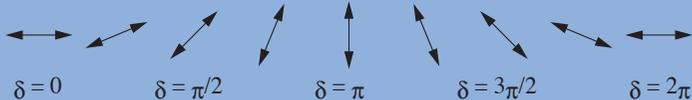
測定サンプル：偏光ホログラム回折格子



a photocross-linkable poly(methylmethacrylate) liquid crystal with 4-(4-methoxycinnamoyloxy)biphenyl side groups

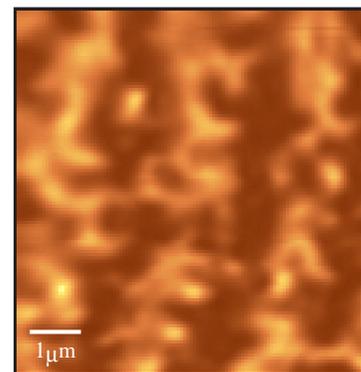
高分子フィルム (200nm)
ガラス基板

配向方向

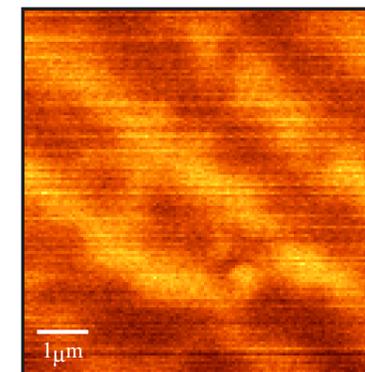


試料ご提供 長岡技術科学大学電気系 小野浩司先生
兵庫県立大学工学研究科物質系工学専攻 川月喜弘先生
H. Ono *et al.*: J. Appl. Phys., **94** (2003) 1298.

偏光ホログラム回折格子の偏光NSOM像



透過 i モード NSOM 像
(空間結合型)

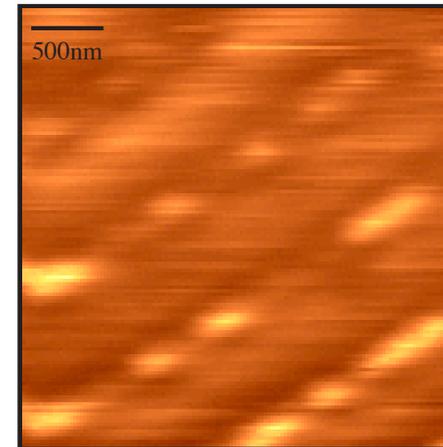


i-c モード NSOM 像
(ファイバー結合型)

両測定法の測定光量条件比較

	透過モード測定	i-cモード測定	
コア径	$\phi 1 \mu\text{m}$	$\phi 10 \mu\text{m} \rightarrow \phi 2 \mu\text{m}$	~ x4?
光源パワー	約15mW	約10mW	~ x1.5
光路長	200nm	10nm以下	~ x20
波長	632.8nm	1.55 μm	?

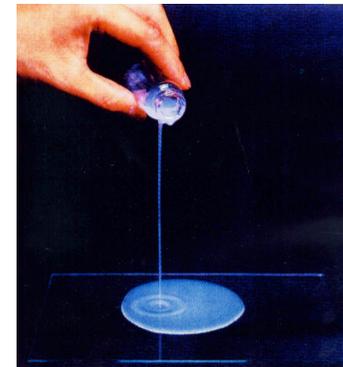
1.55 μm 帯を使用したI-Cモードでは、He-Ne光源を用いたIモードに比べて、光強度の変化量は1/100以下。



HD-DVD 試料ディスク (ご提供：株式会社 東芝)

液晶界面配向観測の重要性とその光学的アプローチ

液体の流動性と結晶の異方性を併せ持つ



・白濁している

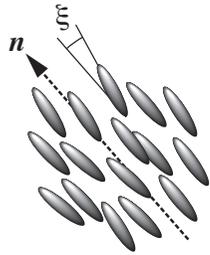
液晶は自発的に並ぼうとしてバルク状態ではローカルドメインを形成し、その境界面で散乱するため白濁して見える。

・粘性がある

秩序度が高い構造を有するため粘性が高く、一般的に粘稠な液状である。

ERATO横山「液晶微界面」プロジェクト：西山氏の液晶学会サマースクール2003資料より

液体の流動性と結晶の異方性を併せ持つ

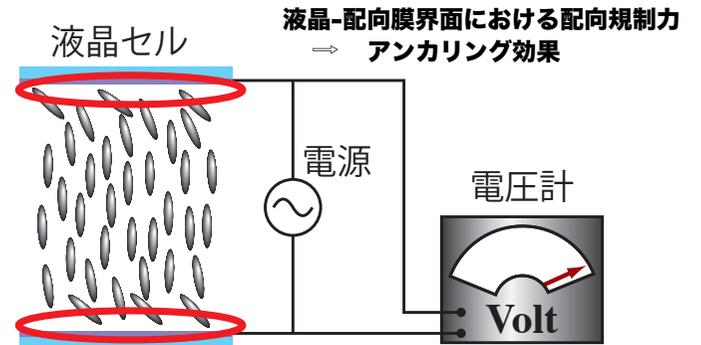


ネマティック液晶の配向態とダイレクタnの定義

- 誘電率異方性
分子長軸とその直交方向で誘電率が異なる。
⇒電場で分子配向を変えられる。
- 屈折率異方性
分子長軸とその直交方向で屈折率が異なる。
⇒分子配向状態で偏光が変化する。



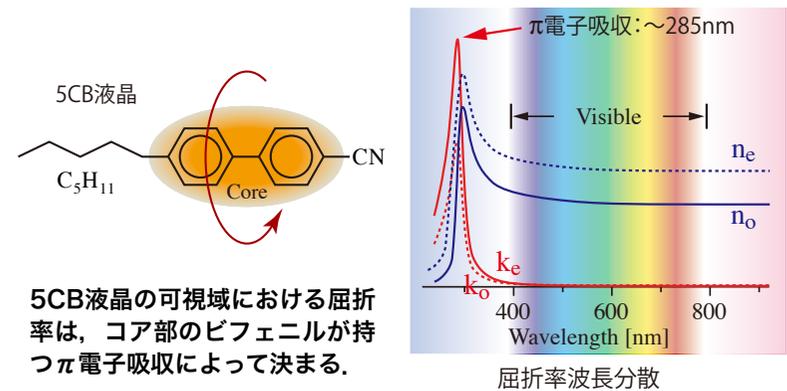
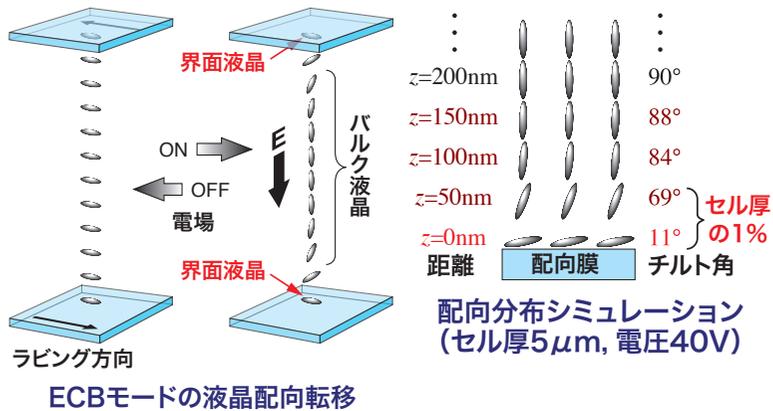
透過光の偏光状態を電氣的に制御可能
(液晶の電気光学効果)



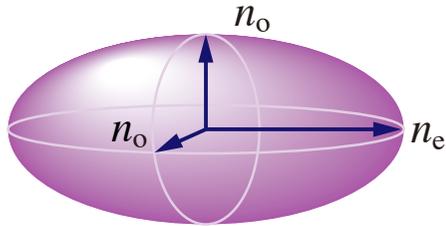
界面アンカリングがセル全体の配向分布を決定

アンカリング効果が初期配向および電場印加時の配向分布を決定し、LCDの諸特性に多大な影響を与える。 → 液晶界面配向の解析・制御が重要

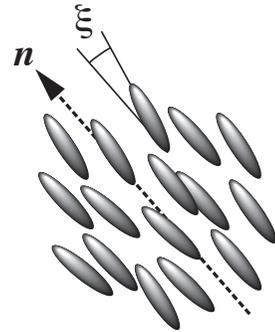
ホモジニアス ⇔ ホメオトロピック



屈折率楕円体

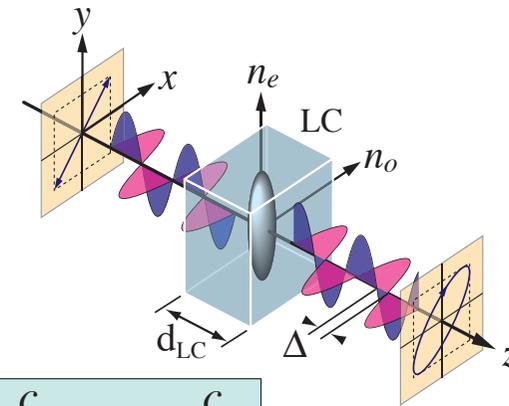


一軸性の光学異方性



ダイレクタの動き

↓
偏光変化



$$v_e = \frac{c}{n_e}, \quad v_o = \frac{c}{n_o}$$

位相差 Δ の変化を測定することで配向方位を検出

偏光NSOM測定系の概要

T. Tadokoro, T. Saiki and H. Toriumi: Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) pp.L152-L154.

要求：界面液晶の電場応答をナノメートル領域で観察したい。

しかし...

液晶セルはサンドイッチ構造 ⇒ 界面にプローブを近づけられない

液晶中にプローブを挿入して測定するNSOMデザイン

プローブの位置制御

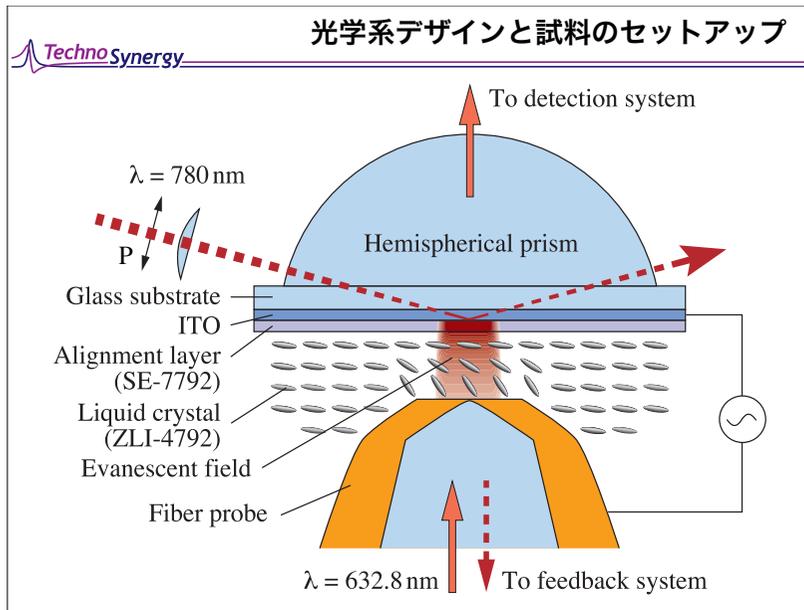
液晶中でのプローブの制御 ➡ 光フィードバック

プローブの最適化

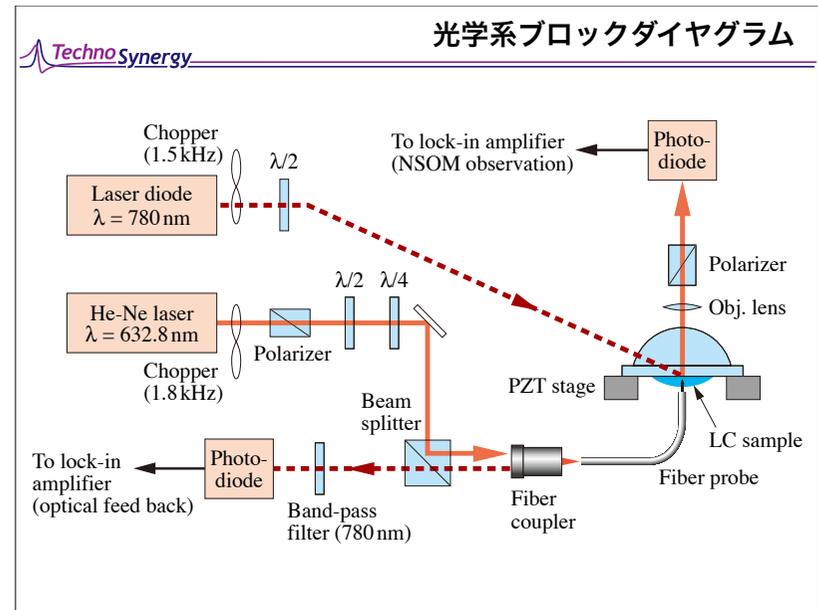
液晶に電場印加 ➡ 二段テーパプローブ・押し付け法

偏光測定の最適化

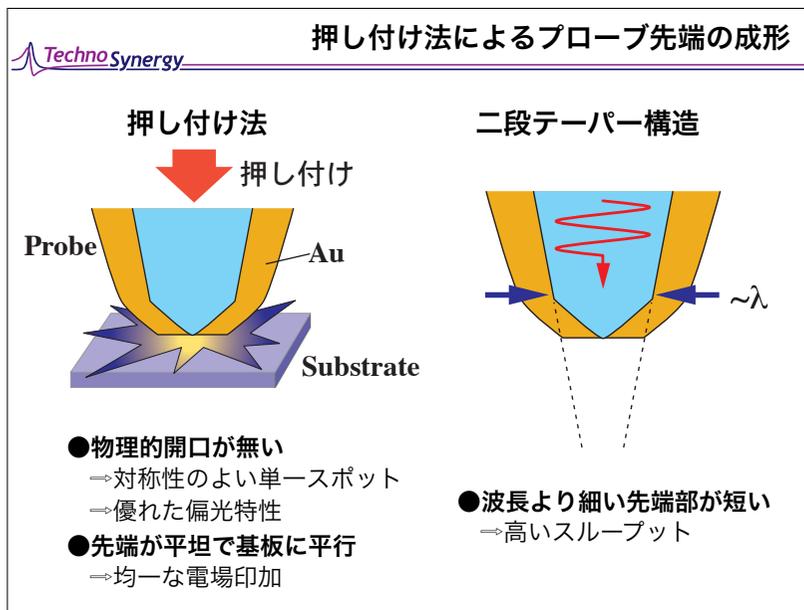
液晶配向変化の高感度検出 ➡ 偏光消光調整



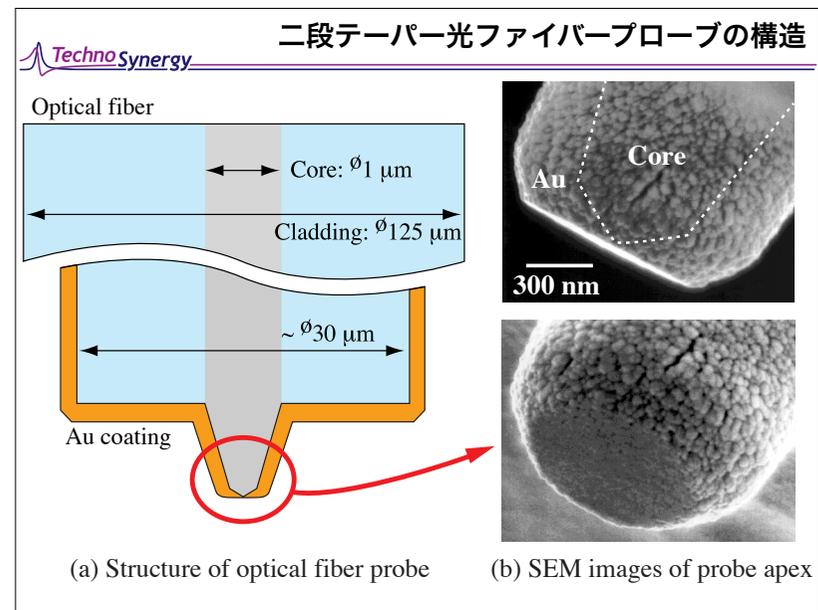
45



46



47

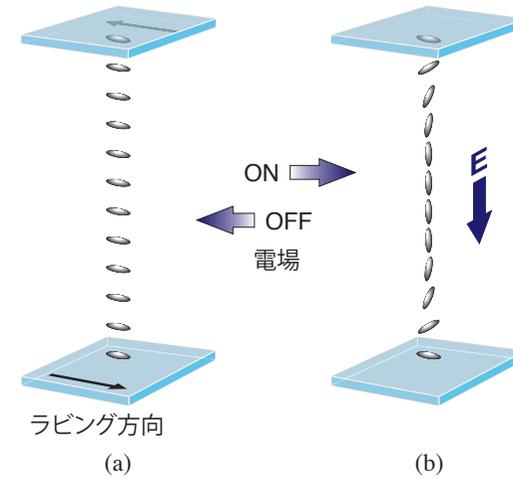


48

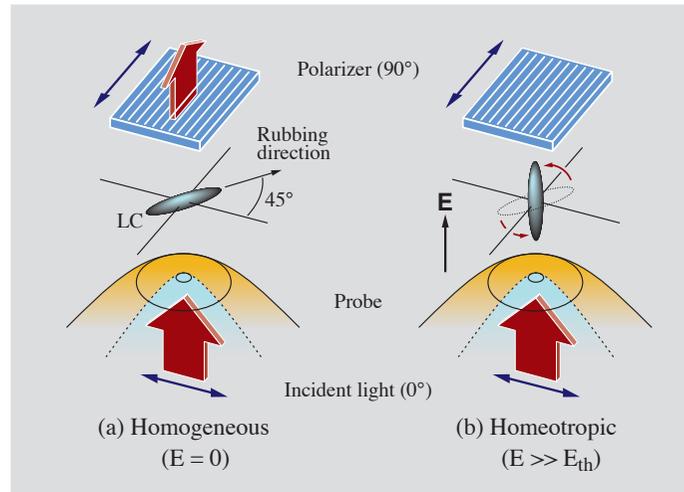
ECBモードにおける界面配向分布観測

T. Tadokoro, T. Saiki and H. Toriumi: Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) pp.L152-L154.

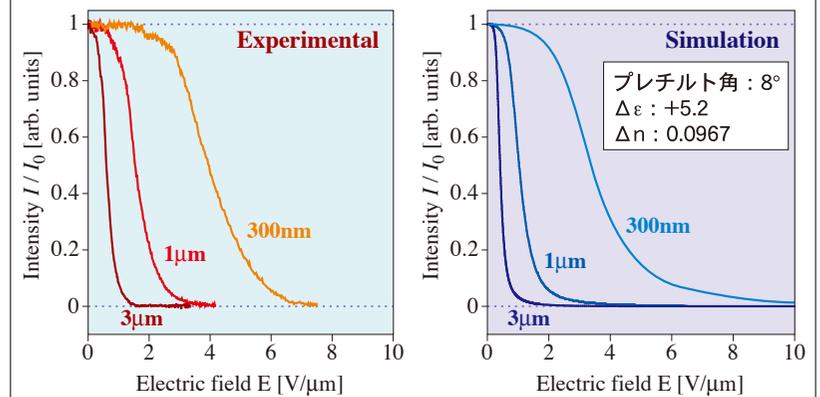
ECBモードの液晶配向転移



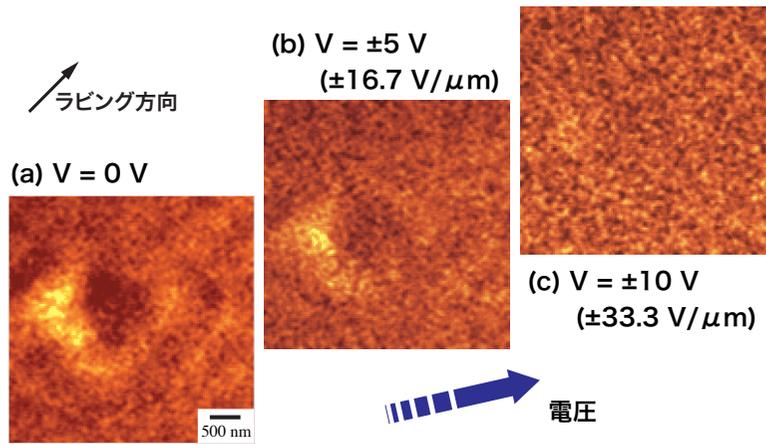
ECBモードにおける偏光調整



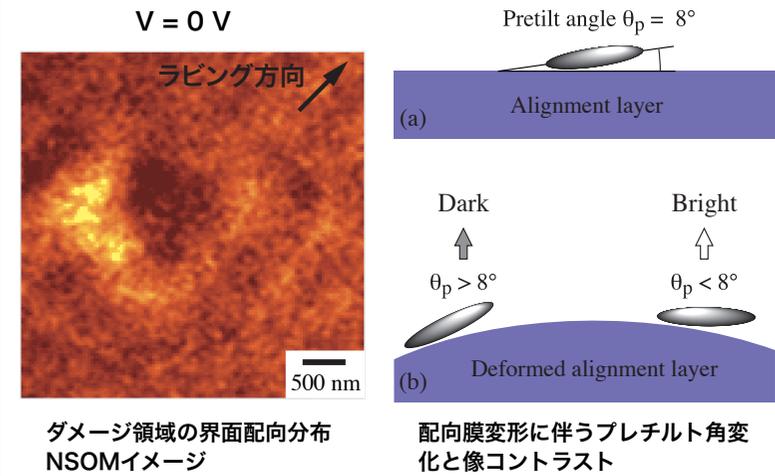
液晶電場応答カーブのプロープ位置依存性



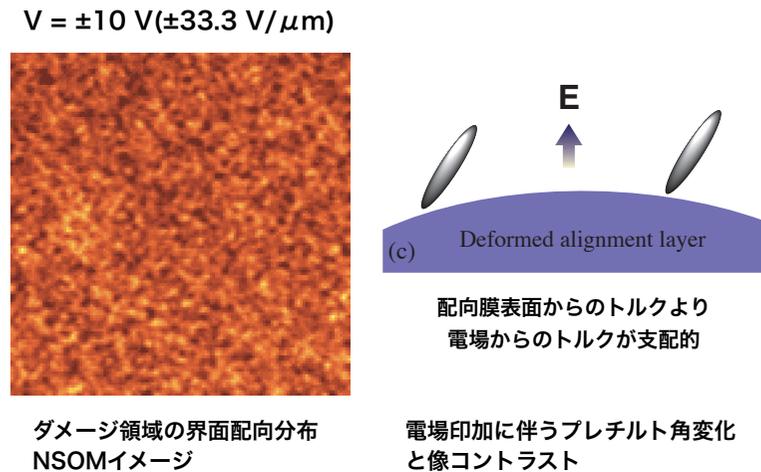
界面配向のNSOMイメージング



NSOM像のコントラストとプレチルト角



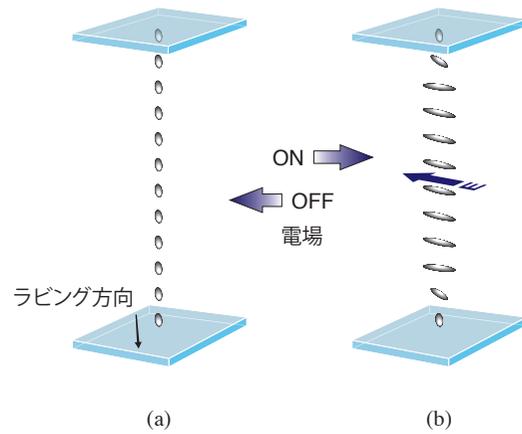
NSOM像のコントラストとプレチルト角



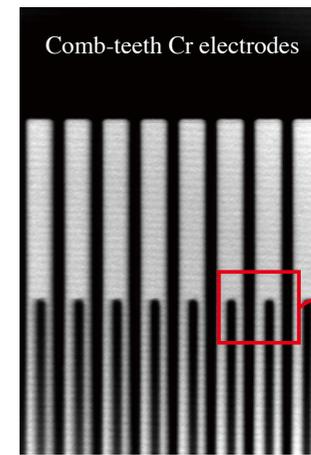
In-Plane Switching モード
における界面配向分布観測

T. Tadokoro, T. Saiki and H. Toriumi: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.L57-L59.

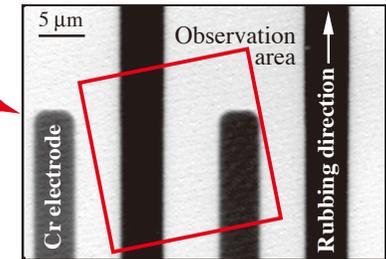
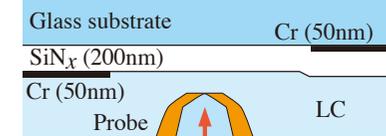
横電界液晶駆動モードの液晶配向転移



櫛歯電極付き基板の構造とNSOM測定領域

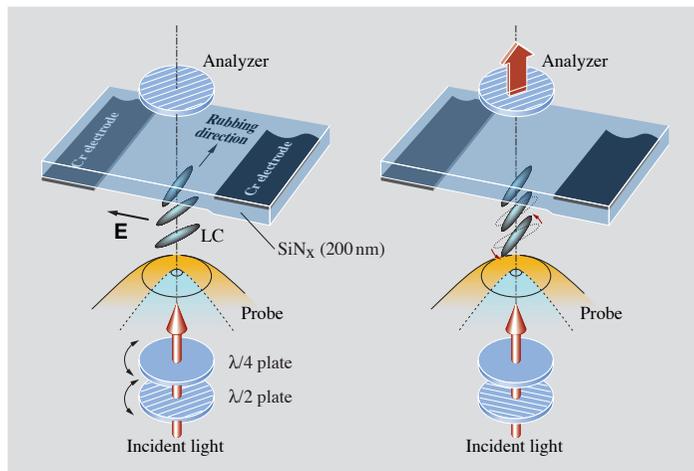


(a) Cross-sectional structure of IPS substrate

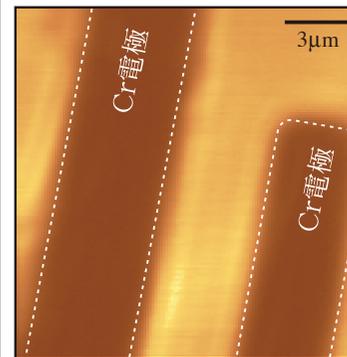


(b) Top view of sample IPS substrate

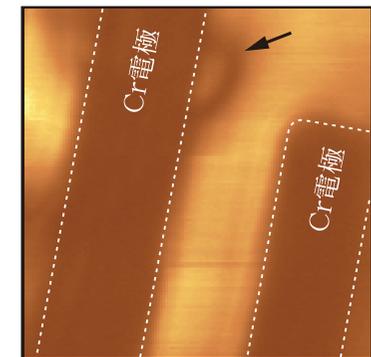
IPSモードにおける偏光調整



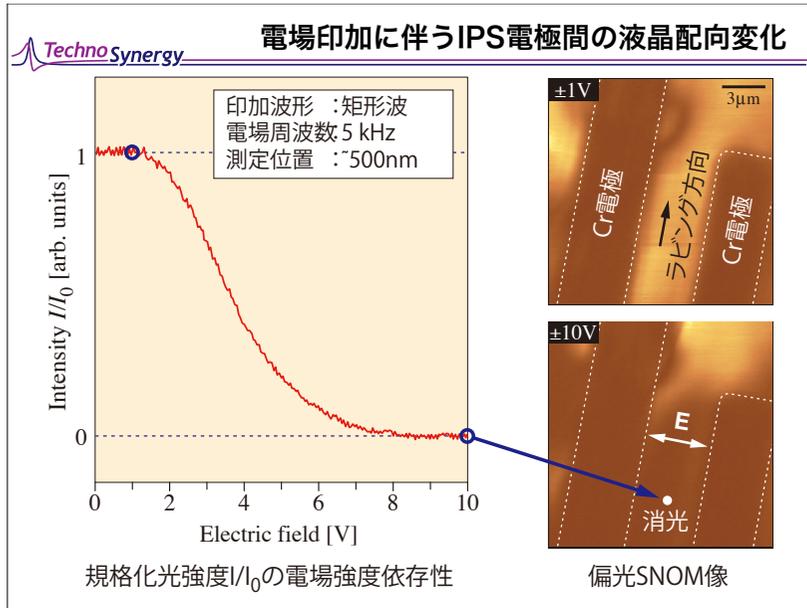
透過NSOM像と偏光NSOM像



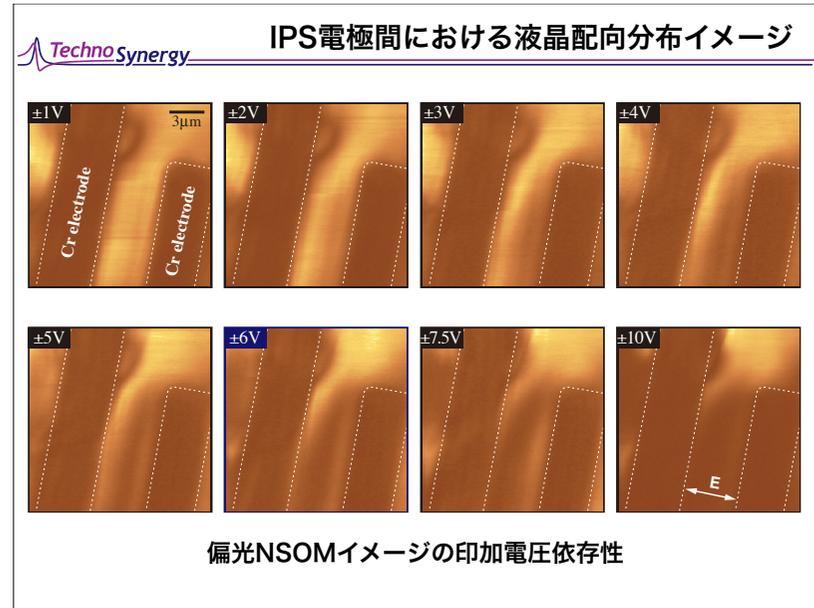
透過光強度NSOM像



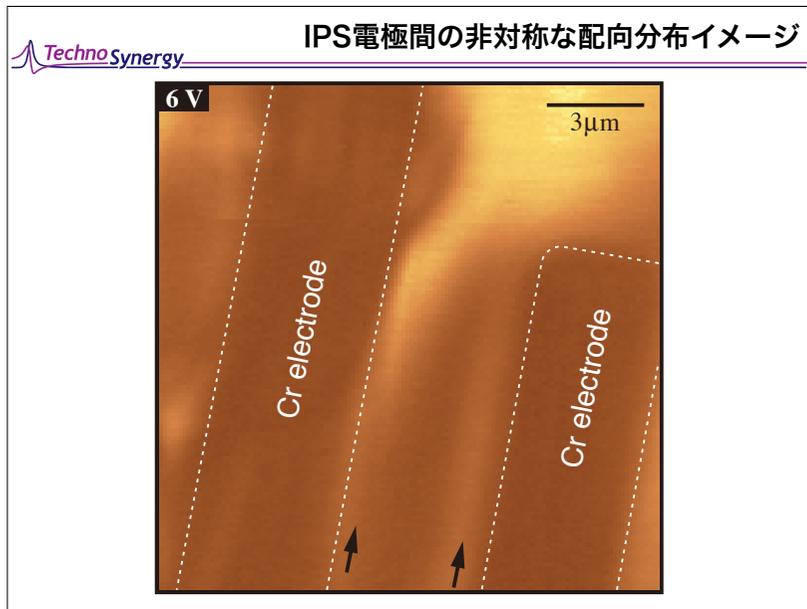
偏光NSOM像



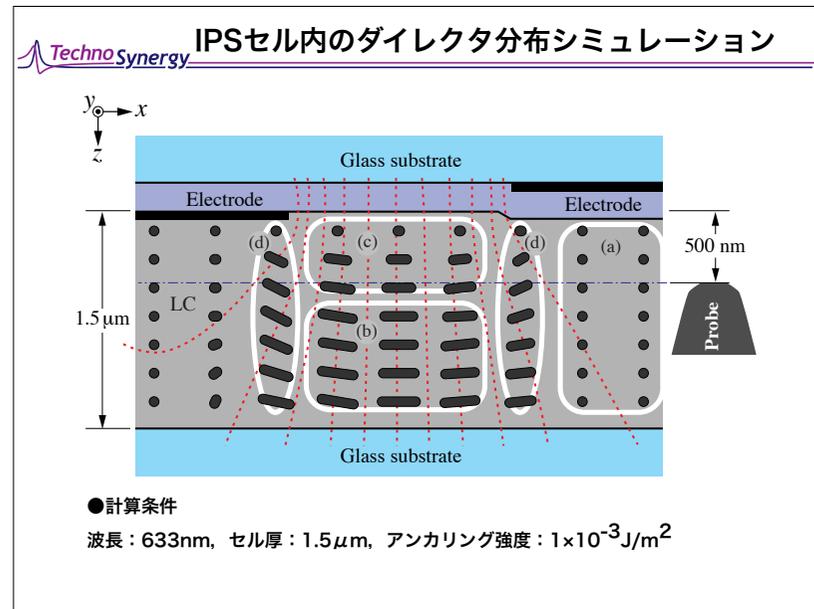
61



62

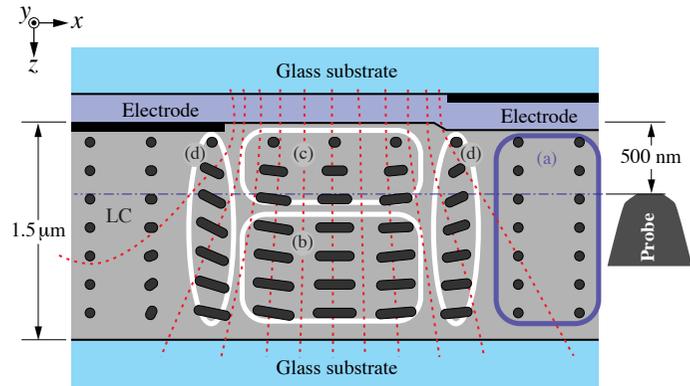


63



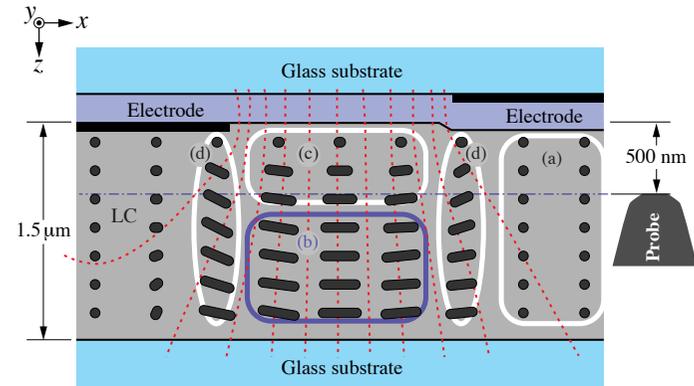
64

TechnoSynergy IPSセル内のダイレクタ分布シミュレーション



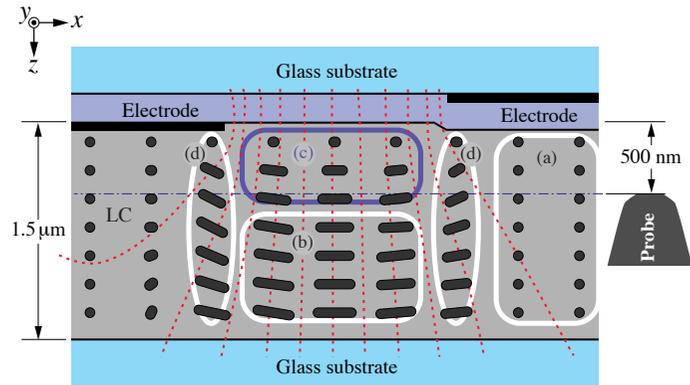
(a) 電極部：電極部直下の領域では、櫛歯電極間に電圧が印加されている状態でも、ダイレクタに電場が掛かることはない。そのため、ダイレクタは初期配向方向であるy軸方向に留まった状態で整列している。

TechnoSynergy IPSセル内のダイレクタ分布シミュレーション



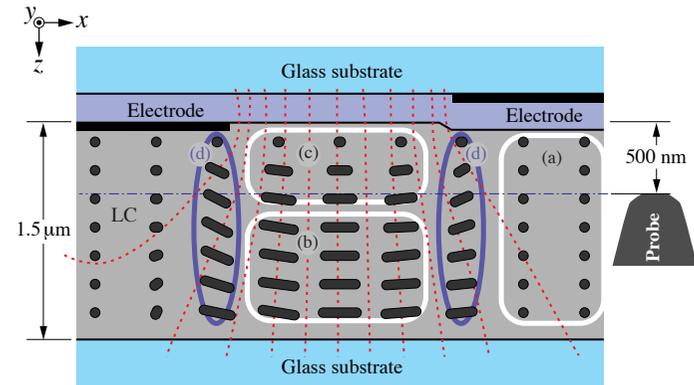
(b) 電極間中央部（バルク領域）：電極間中央部かつ基板から500nm以上離れたバルクと見なせる領域では、等電位面がほぼ平行で等間隔になっており、ダイレクタは基板面とほぼ平行なx軸方向に揃っている。この領域では、アンカリングによる基板表面からのトルクの影響が弱く、電場のトルクが支配的であるため、ダイレクタは電場方向に整列している。

TechnoSynergy IPSセル内のダイレクタ分布シミュレーション

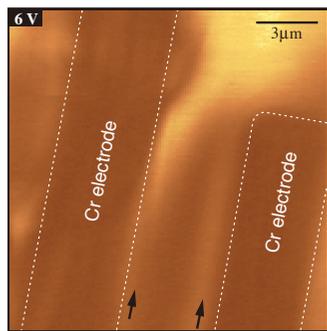


(c) 電極間中央部（基板表面近傍）：基板表面から約500nmまでの領域では、基板表面から離れるに従いアンカリングによるトルクが減り電場によるトルクが優勢になるため、ダイレクタは基板からの距離に応じて電場に揃う方向にx-y面内で徐々に回転し、z軸を中心に捻れた深さ分布を持つ。

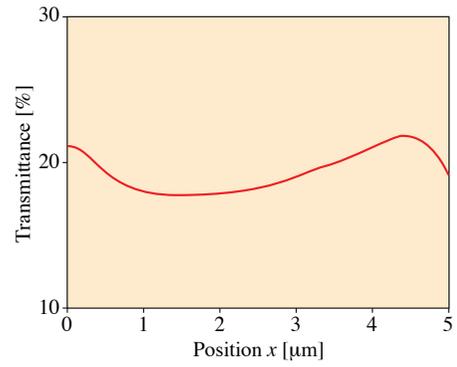
TechnoSynergy IPSセル内のダイレクタ分布シミュレーション



(d) 電極エッジ直下部：この領域では等電位面が屈曲しており、ダイレクタの方角のみならずチルト角が電極エッジからの距離に応じて変化する三次元的なダイレクタ分布を示している。さらに、左右の電極エッジ直下でダイレクタ方位が非対称になっている。この非対称性は、段違いの電極構造が引き起こす電場分布の非対称性に起因している。



(a) 電極間の非対称な偏光SNOM像



(b) 電極間の透過率分布シミュレーション