

講義7「界面配向」

長岡技術科学大学

工学部 電気系

電子デバイス・光波エレクトロニクス工学講座

木村 宗弘

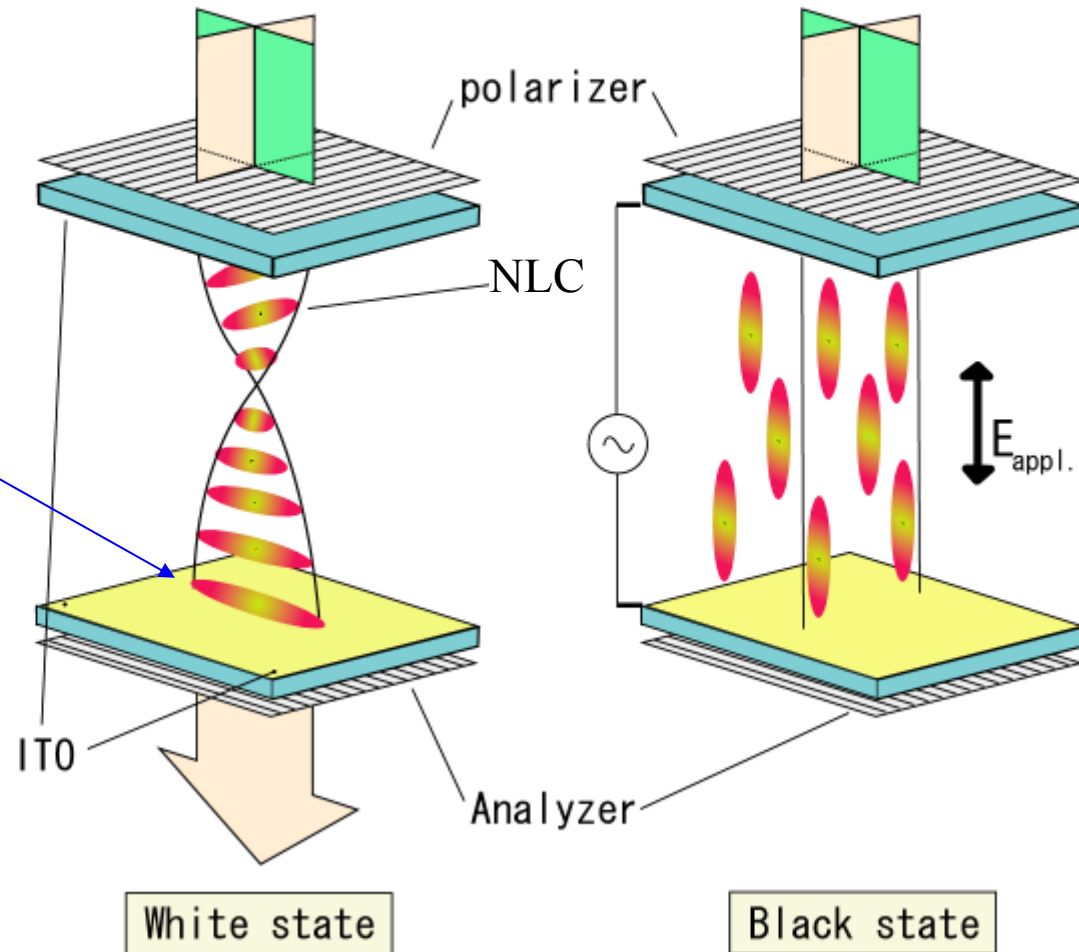
TN モード

Twisted nematic mode

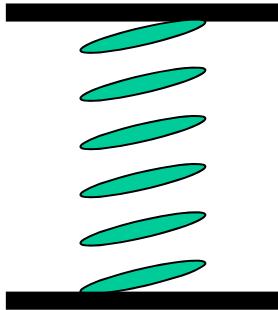
初期配向が大事！



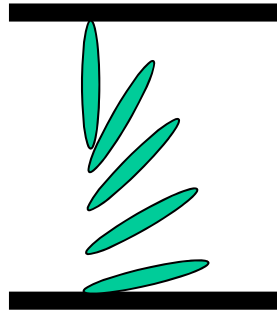
配向膜 & 配向処理



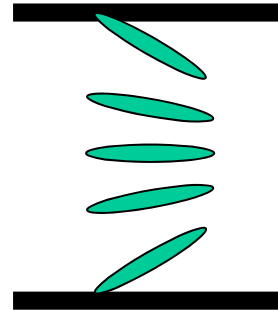
さまざまな界面配向



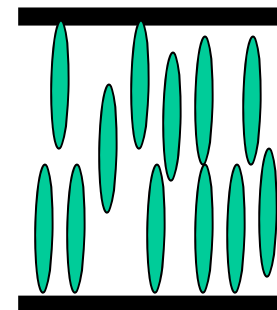
ホモジニアス配向
(プレチルト有り)



ハイブリッド配向
(HAN)



スプレイ配向
(バンド配向)



ホメオトロピック配向

更に、

- 2次元、3次的に配向処理を施す
 - バルクに用いる液晶
- によってさまざまなモードが展開

分割配向、ASMモード

ex. カイラルネマティックを用いると
TN,STN、Ch型、VA型、etc....

FLC,AFLC,etc....

なぜ液晶は並ぶのか？

・周知の事実

ガラスの上を擦ると、擦った方向に液晶が配列
レシチンなどの上では垂直配向

・問題点

なぜ「配向」するのは、“モデル”があるのみ

・工業的には『評価パラメータ』が必要

プレティルト角

オーダーパラメーター

アンカリングエネルギー

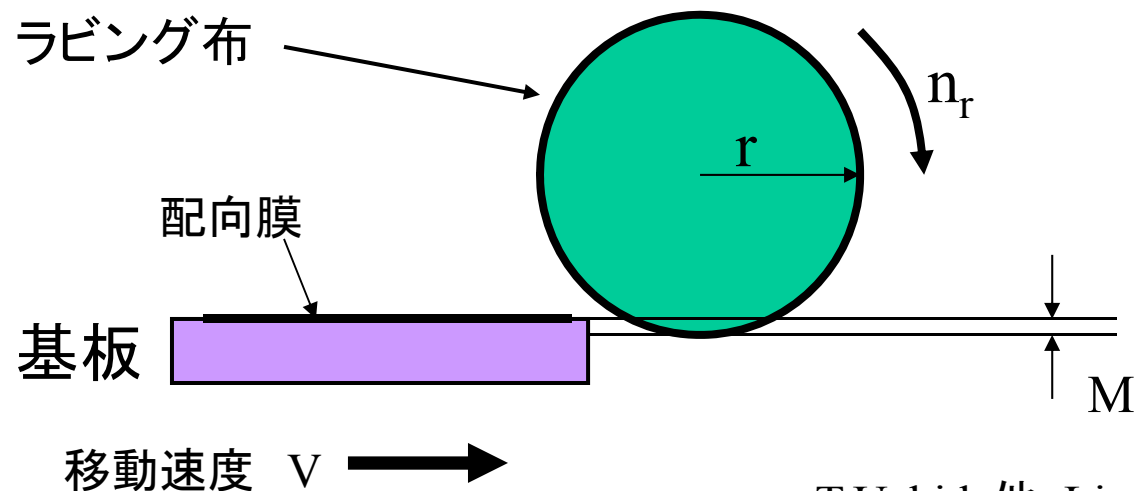
良い配向？

ラビング装置

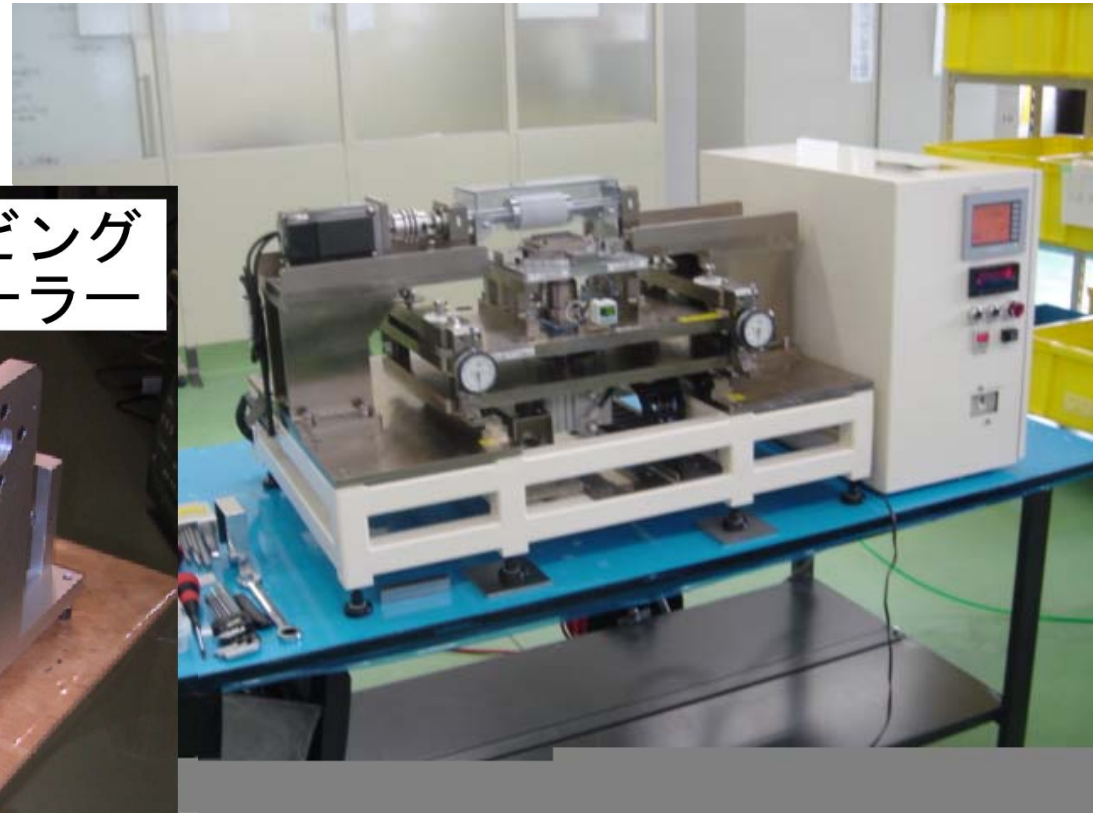
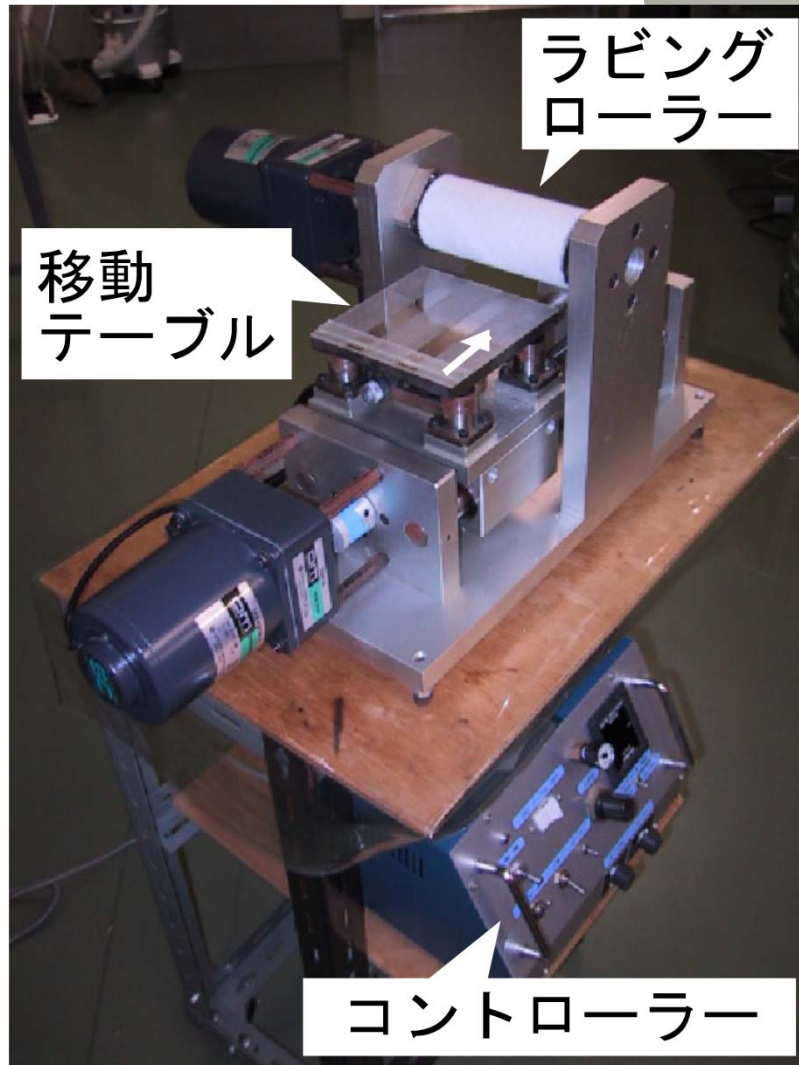
ラビングは図のような装置によって行い、配向処理による違いを調べるためにラビング強度RSを以下の式によって定量化した。

$$RS = N \cdot M \cdot \left(\frac{2\pi r \cdot n_r}{V} + 1 \right) \text{ [mm]}$$

- N : ラビング回数
- M : 押し込み量 [mm]
- V : テーブル移動速度 [mm/s]
- n_r : ローラの回転数 [r.p.m.]
- r : ローラ半径 [mm]



装置写真



異方性の評価法

ラビングによって生じるであろう...

ガラス上の有機分子の異方性



表面エネルギー測定
(濡れ性)

配向膜表面に生じる溝
幾何的異方性



原子間力顕微鏡
レーザー顕微鏡

高分子膜に加えられた
ずり応力によって膜自身
に生じる異方性



複屈折測定装置

でも、ラビングしなくても、吸着によって極角アンカリングは存在する

Berremanの表面形状説

D. W. Berreman: Phys.Rev.Lett., 28 (1972) 1683.

深さ A 、空間周波数 $q(-2\pi/\lambda)$ の溝を加工や蒸着などで作る (図 2.25)。そのとき溝の形を $z = A \sin qx$ とすれば、ネマティックの配向ベクトルが溝に平行なときとそれに両面で直交するときの自由エネルギーの差を生じる、それは

$$\Delta F = F_{\perp} - F_{\parallel} = \frac{K}{4} A^2 q^3 \quad (2.5)$$

と表わされる、 K は弾性定数である。

深さ $A = 10 \text{ \AA}$ 、間隔 $1/q = 200 \text{ \AA}$ とすれば $\Delta F = 8 \times 10^{-5} \text{ Jm}^{-2}$ を与える (しかしこのような細い溝を観測するのはそう容易ではないが、電子顕微鏡観測から $\Delta F = 10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ J/m}^2$ と見積もられている)。 SiO_2 の斜方蒸着では、一方向に走る溝 (畝) はできないとする説明もある。

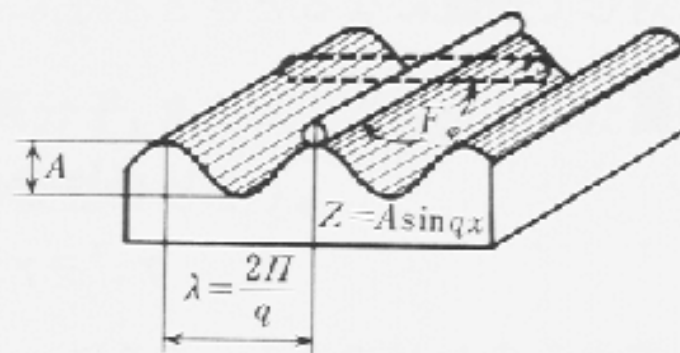
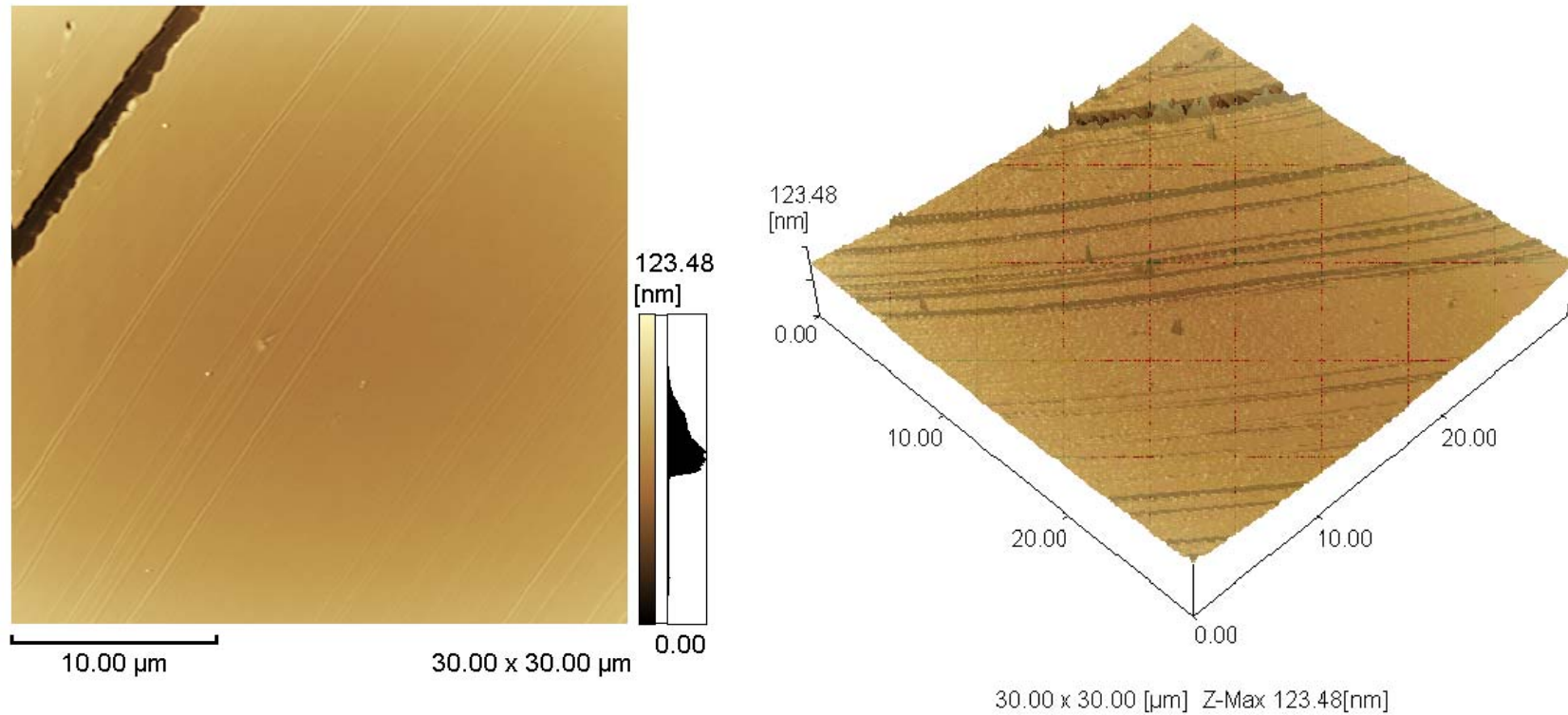


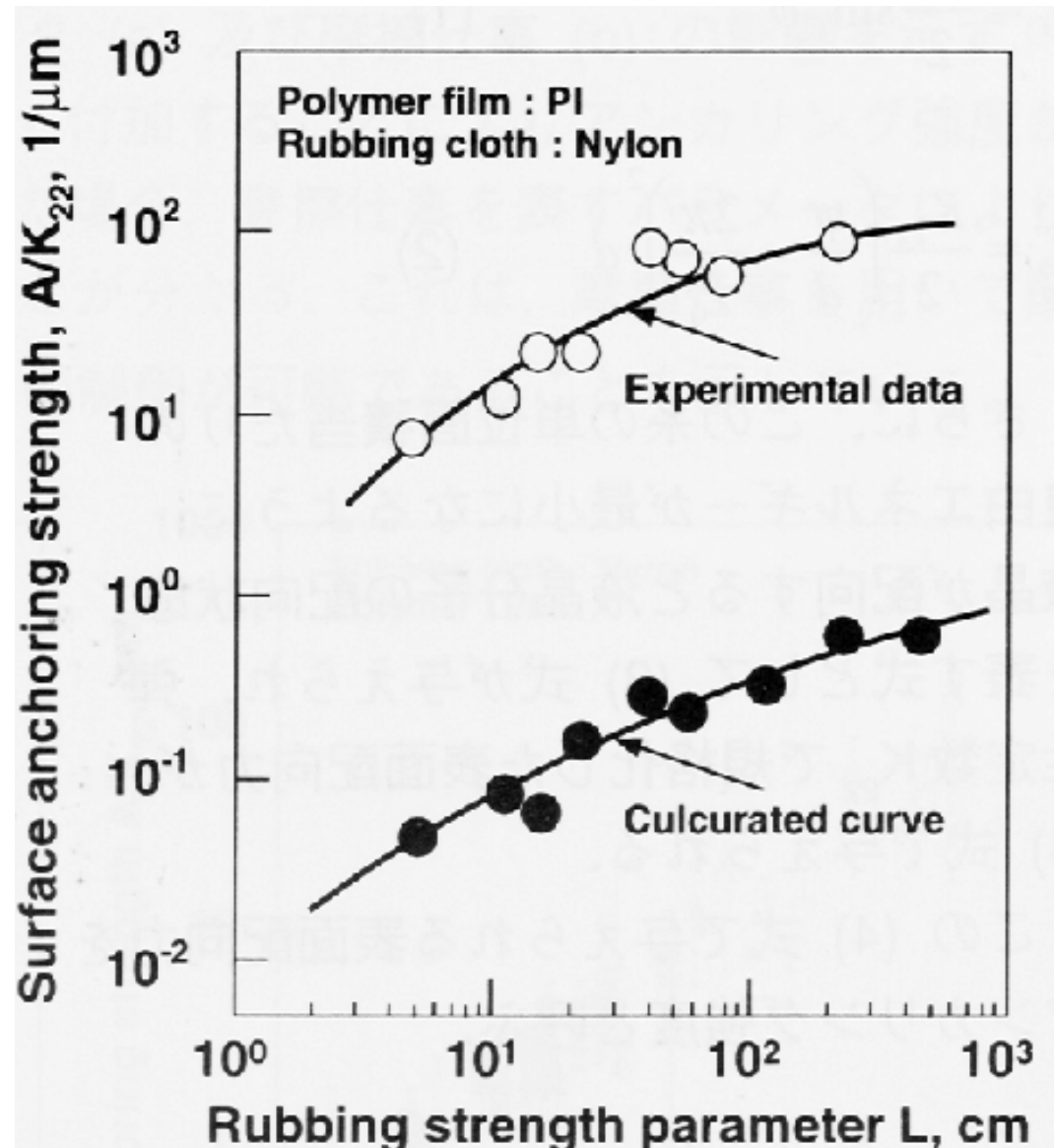
図 2.25 畝 (うね) による液晶の配向¹⁾。
 F_{\parallel} は表面でのねじれ変形のエネルギー

原子間力顕微鏡(AFM)像



ラビングをかけると表面に筋模様が見える。

表面形状から計算した値より2桁も小さい アンカリング力

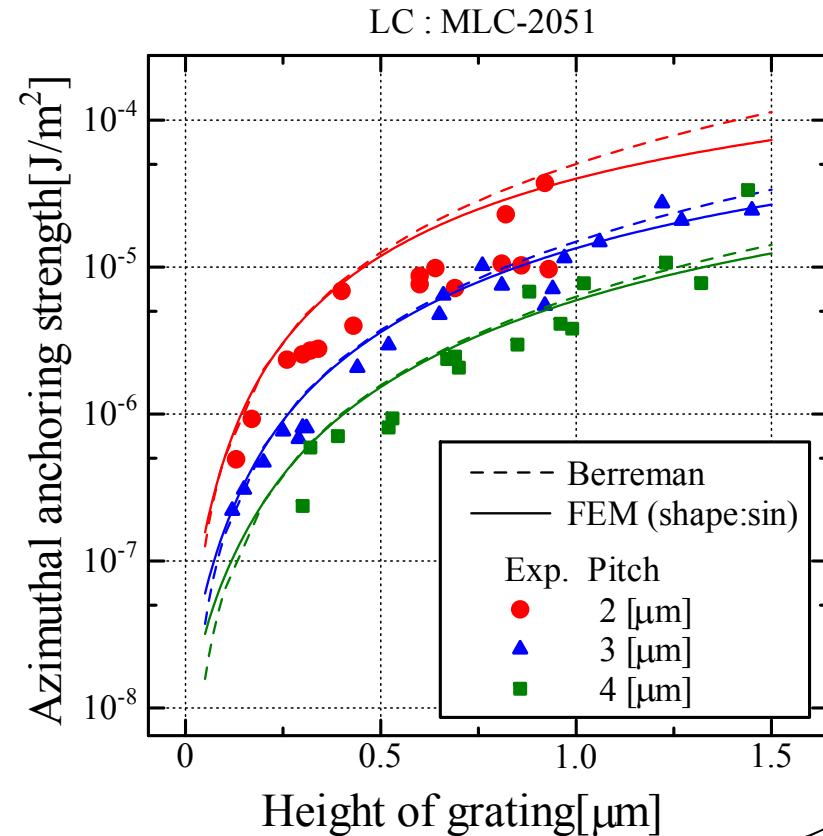
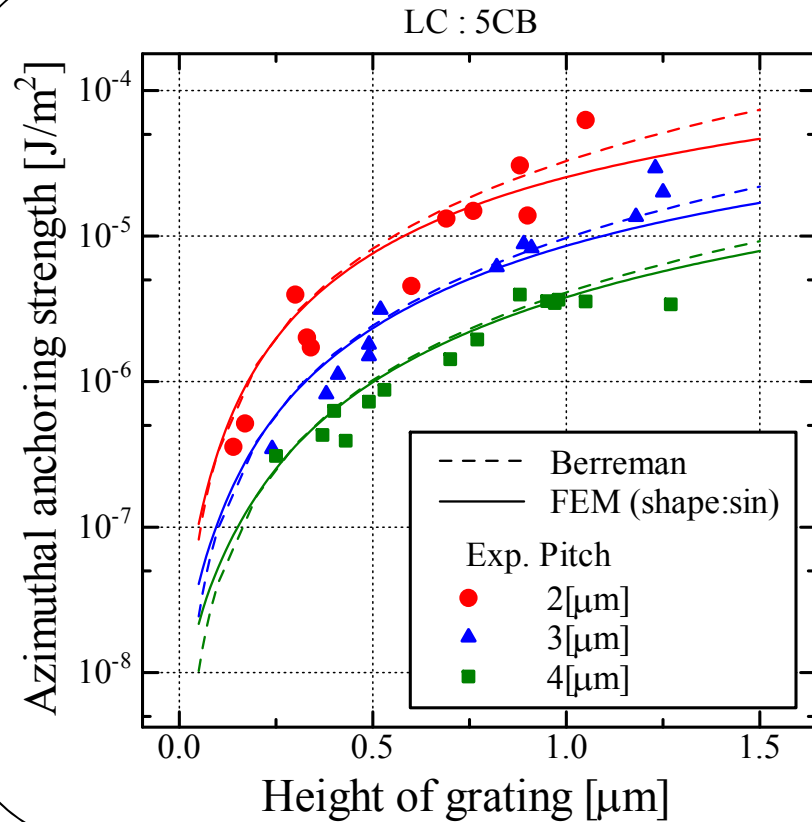


分子間相互作用説が有力

光配向のように表面幾何形状変化が無くても配向することから、分子間相互作用が有力と考えられている。

本当にそれだけか？

測定結果と理論計算値の比較



測定値は理論値とほぼ一致

グレーティングの高さが高い領域では、有限要素法の結果はBerremanの理論結果より小さくなる

表面接触角測定

固体基板界面の評価法の1つとして、表面接触角の測定は重要である。接触角とは、液体と固体基板とを接触させた場合に液体と固体基板との接触面と液体の接線における角度のことであり、図9.1において角度 θ が

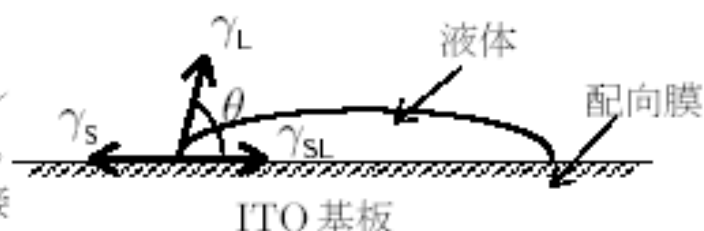


図9.1: 表面接触角と表面張力とのつりあい

接触角である。固体の表面張力 γ_S と固体と液体の界面における界面張力 γ_{SL} と液体の表面張力 γ_L の3つの力の釣り合いから、ヤング (Th.Young) の関係式

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta \quad (9.1)$$

が得られる。

固体と液体との界面についてはデュプレの式より

$$W_A = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} \quad (9.2)$$

ここで W_A は液体による固体表面のぬれ易さを表す接着仕事である。式 (9.1) を式 (9.2) に代入すると

$$W_A = \gamma_L(1 + \cos \theta) \quad (9.3)$$

という式に書き換えられる。ここで非極性分子間に働く分散力を示す分散成分 γ^d 、非極性分子と極性分子間に働く配向力と極性分子間に働く誘起力の2つの力を示す極性成分 γ^p の2成分に展開でき、

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^p \quad (9.4)$$

のように和で表すことができる。この2成分を考慮し、式を導くと

$$\frac{W_A}{2\sqrt{\gamma_L^d}} = \sqrt{\gamma_S^d} + \sqrt{\gamma_S^p} \left(\sqrt{\frac{\gamma_L^p}{\gamma_L^d}} \right) \quad (9.5)$$

が得られる。この式 (9.5) から表面張力を求めることが出来る。

実験は次のようにして行う。あらかじめ表面張力 γ_L 、 γ_L^p 、 γ_L^d が分かっている標準液体を3種類用意する。それぞれの液体を基板表面に滴下して接触角を測定する。測定結果より、式 (9.5) に基づくグラフを書く。それぞれの液体について測定された接触角 θ を式 (9.3) に代入し、縦軸 ($\frac{W_A}{2\sqrt{\gamma_L^d}}$) の値を求める。また、横軸は $\sqrt{\frac{\gamma_L^p}{\gamma_L^d}}$ である。このようにして3種類の液体について3点のプロットが得られる。この3点より最小自乗法により、グラフの傾きより $\sqrt{\gamma_S^p}$ がわかり、切片より $\sqrt{\gamma_S^d}$ がわかる。以上から固体の表面張力 γ_S は

$$\gamma_S = \gamma_S^d + \gamma_S^p \quad (9.6)$$

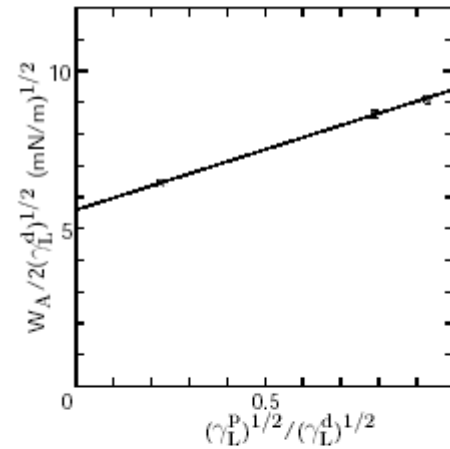


図9.2: 表面接触角測定例 (RN-305)

表面張力とプレティルト

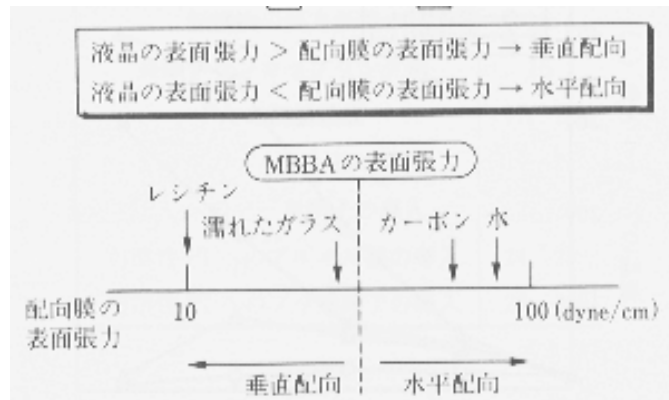


図 7-12 表面張力によるプレチルト角発現仮説

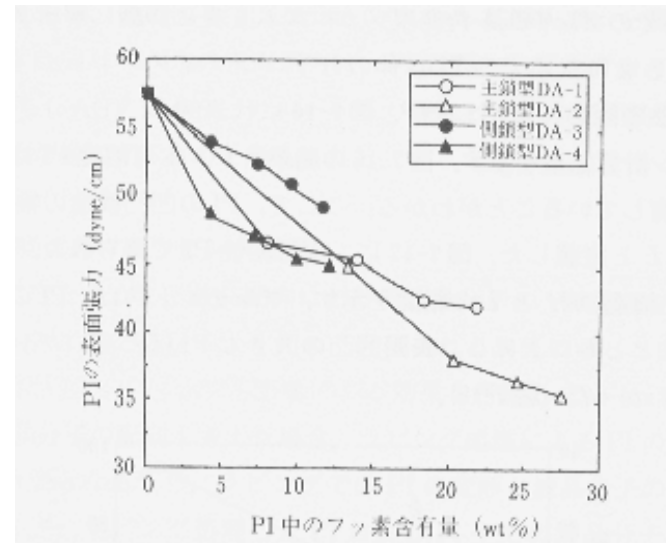
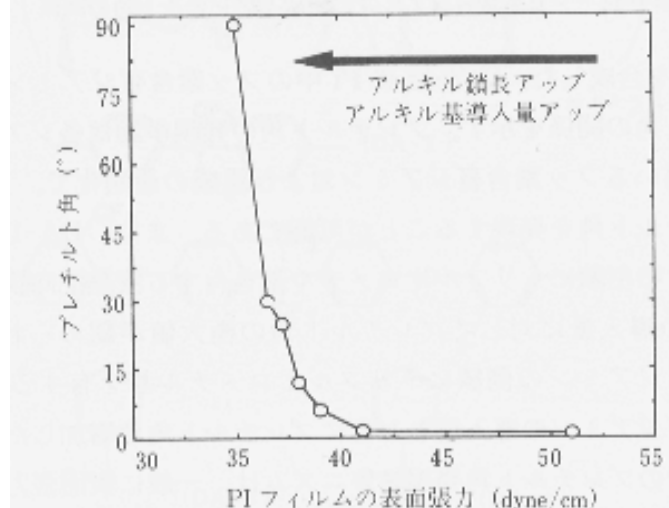


図 7-14 PI のフッ素含有量と表面張力の関係

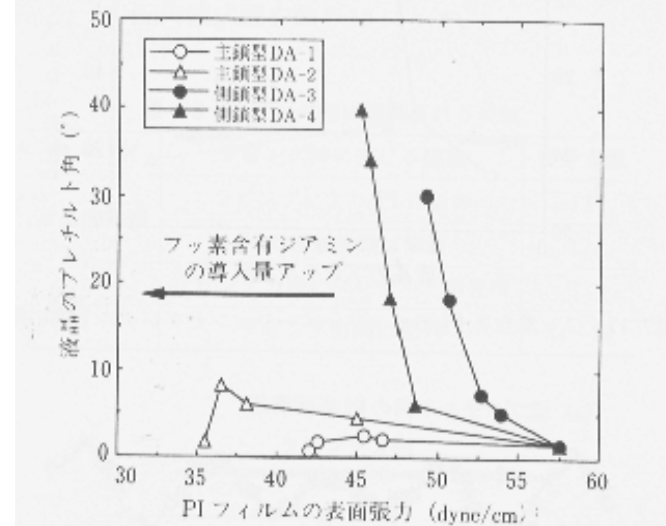


図 7-15 フッ素含有 PI の表面張力とプレチルト角の関係

ラビングしなくても、吸着によって極角アンカリングは存在する

一つの事象で“配向”全てを説明することは不可能！

3体問題ですら、完全解は無い。水分子も未解明なことが多い。まして、液晶のような複雑な分子はなお更。社会科学...

ガラスはスポンジと同じ。表面は凸凹かつ綿の様。そこに棒状分子が入り込んでいる。

・とはいえ、工業的には『評価パラメータ』が必要

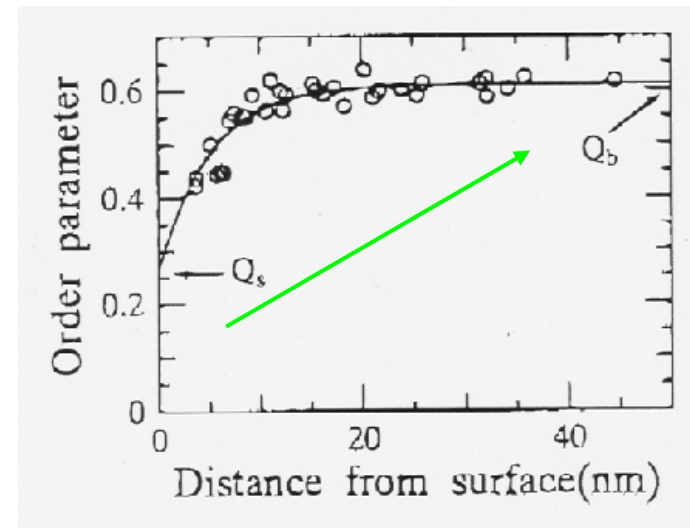
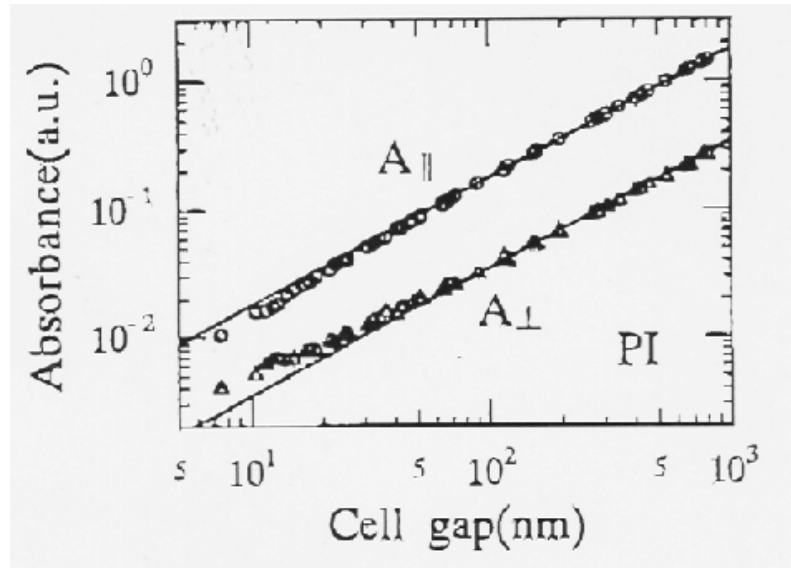
プレティルト角

オーダーパラメーター

アンカリングエネルギー

良い配向？

表面オーダーは0.2程度と小さい

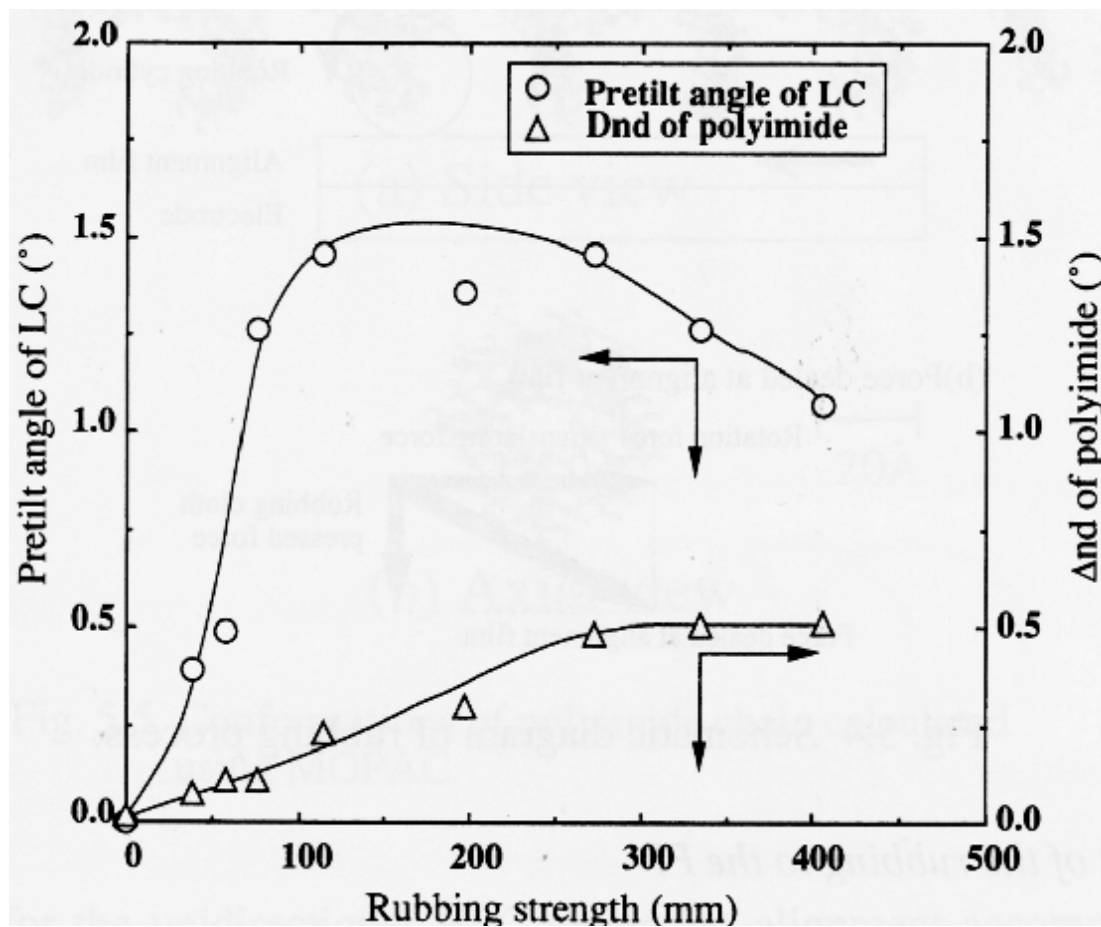


H.Ueno他 IDRC (1997) L-18

表面にある程度の異方性を与えるだけで液晶の自己配向効果が良好な配向を実現する。

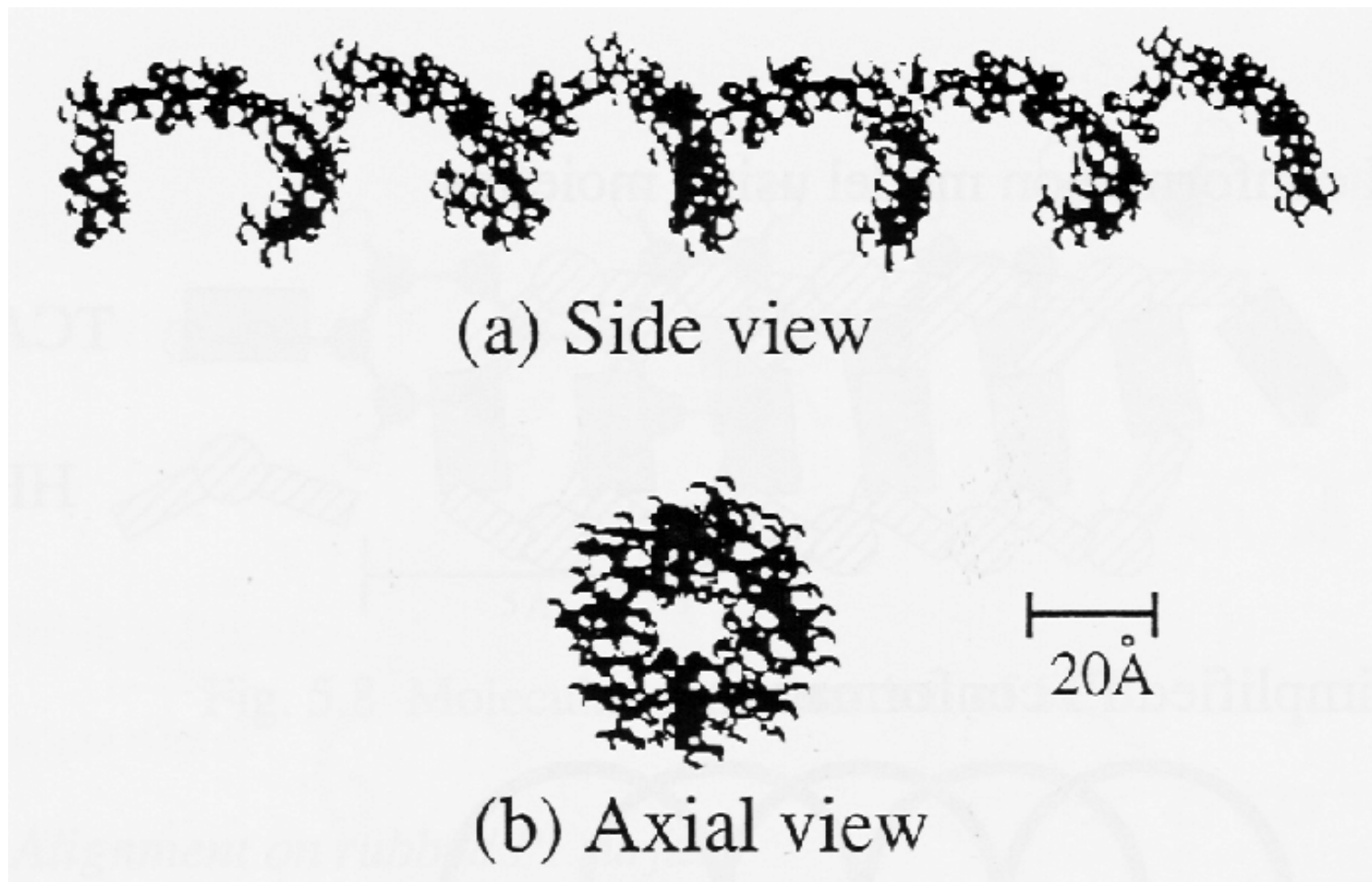
H.Yokoyama 他 J.Appl.Phys.,61(9) (1987) pp.4501.

関秀廣、『液晶』Vol.3(4) (1999) 304.

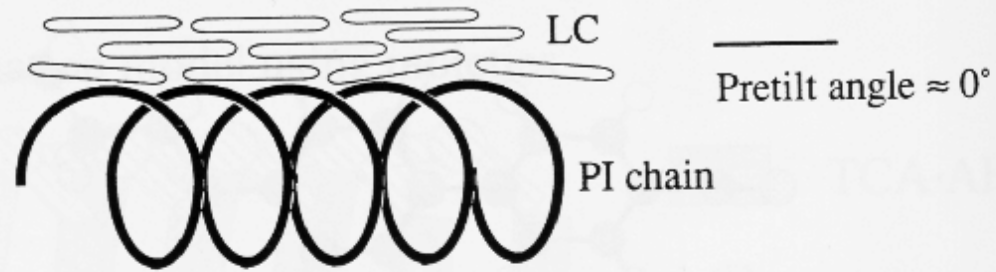


ラビング強度とプレティルト・表面異方性の関係

PIのMOPAC計算例



(a) LC alignment on non-rubbed PI surface



(b) LC alignment on weakly-rubbed PI surface

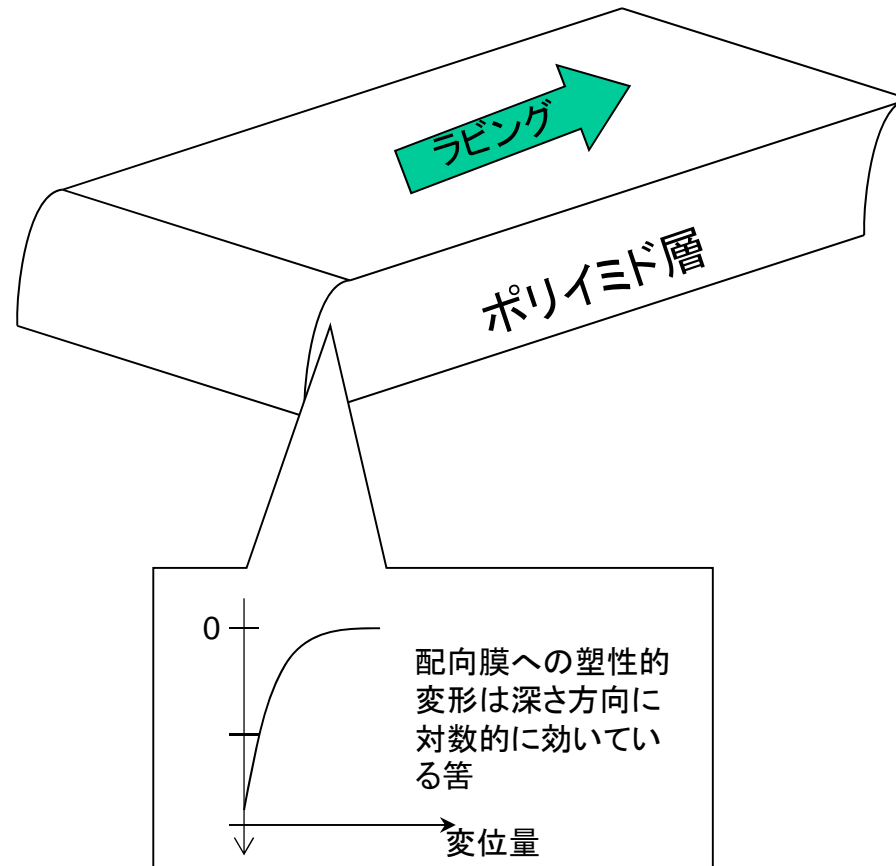


(c) LC alignment on strongly-rubbed PI surface



なぜ最適なラビング強度があるのか？

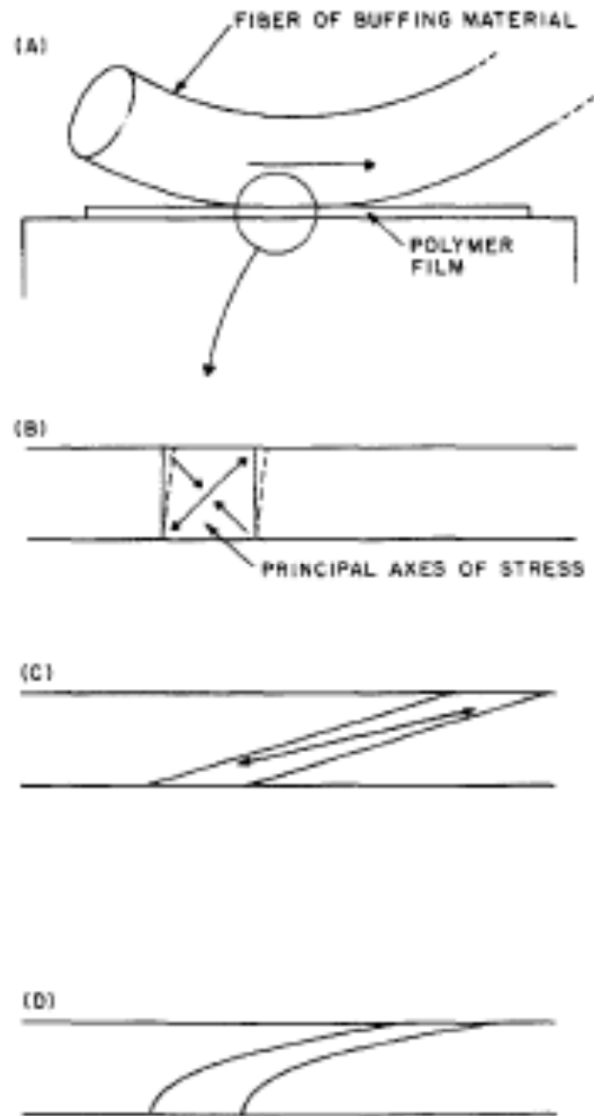
ラビング布は摩擦が多い方がいい(先端が鋭利な方がいい)という概念は……



表面を耕した方が良くというのは妥当ではない。

鍬が立つことで良く表面が起耕されるから良く配向するのではなく、

鍬が立つ程、表面がしっかり押さえつけられ、ポリイミド層全体に異方性が付与されている、と考えるべき



J. M. Geary, J. W. Goodby, A. R. Kmetz, and J. S. Patel:

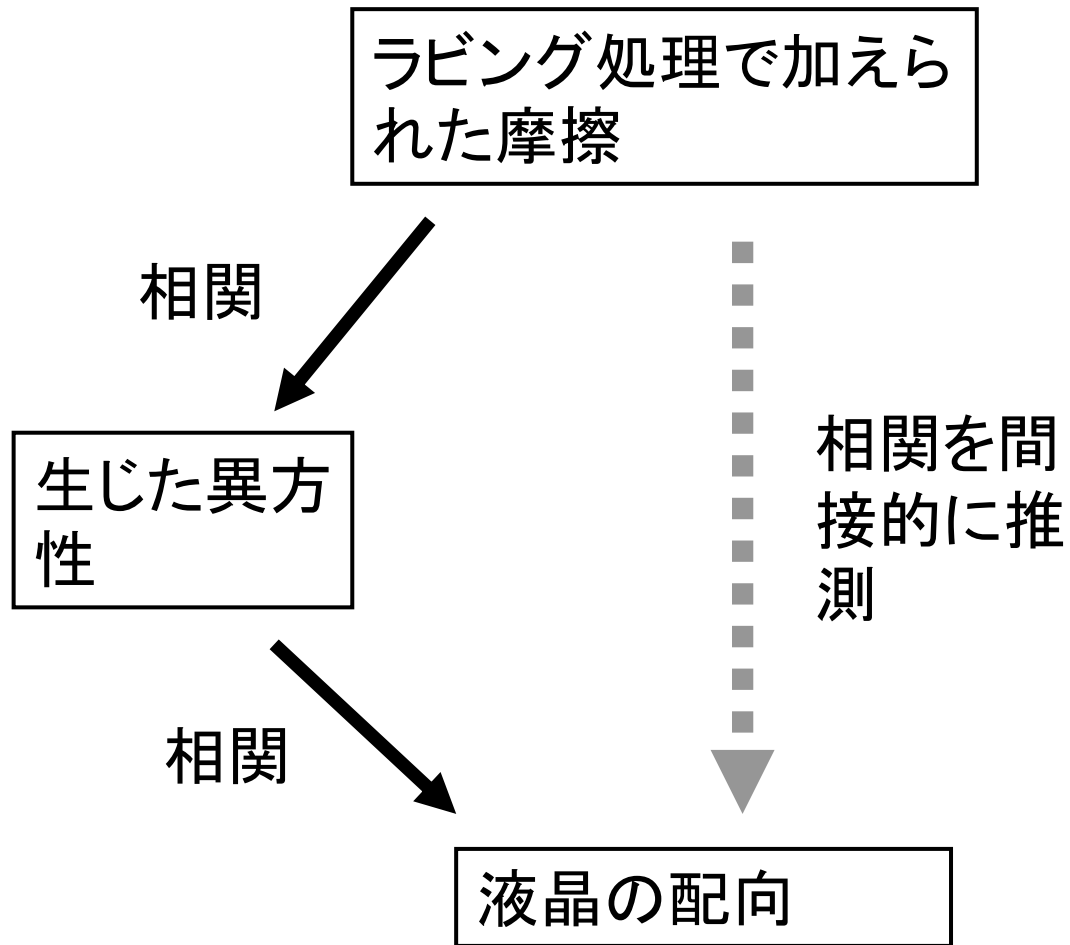
"The mechanism of polymer alignment of liquid-crystal materials,"

Journal of Applied Physics, Vol. 62, (1987) pp. 4100-4108

ラビング密度を上げるために
植毛密度を上げる



毛が細くなり、ラビング密度下がる



ラビング処理の定量化への試み

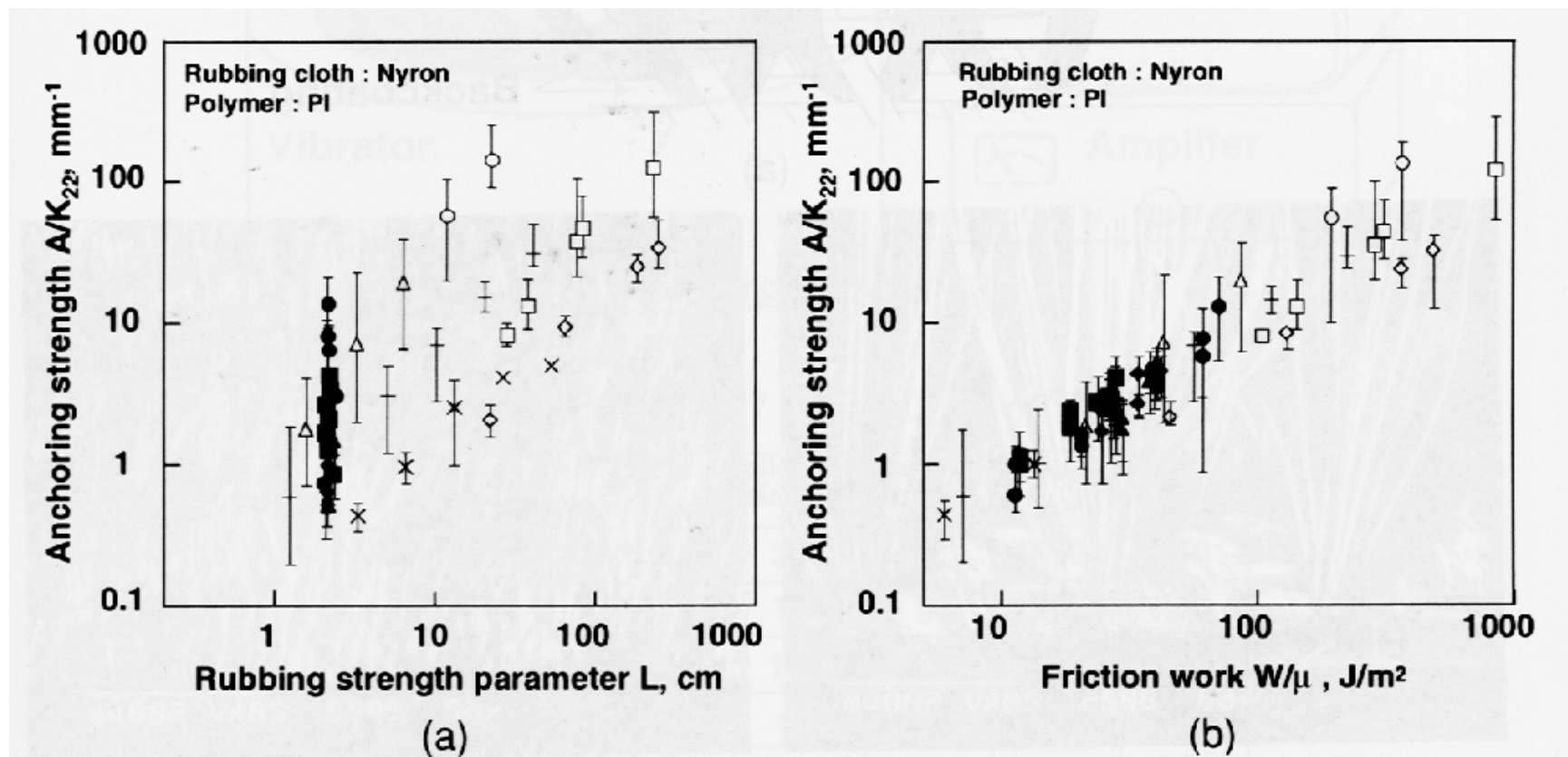
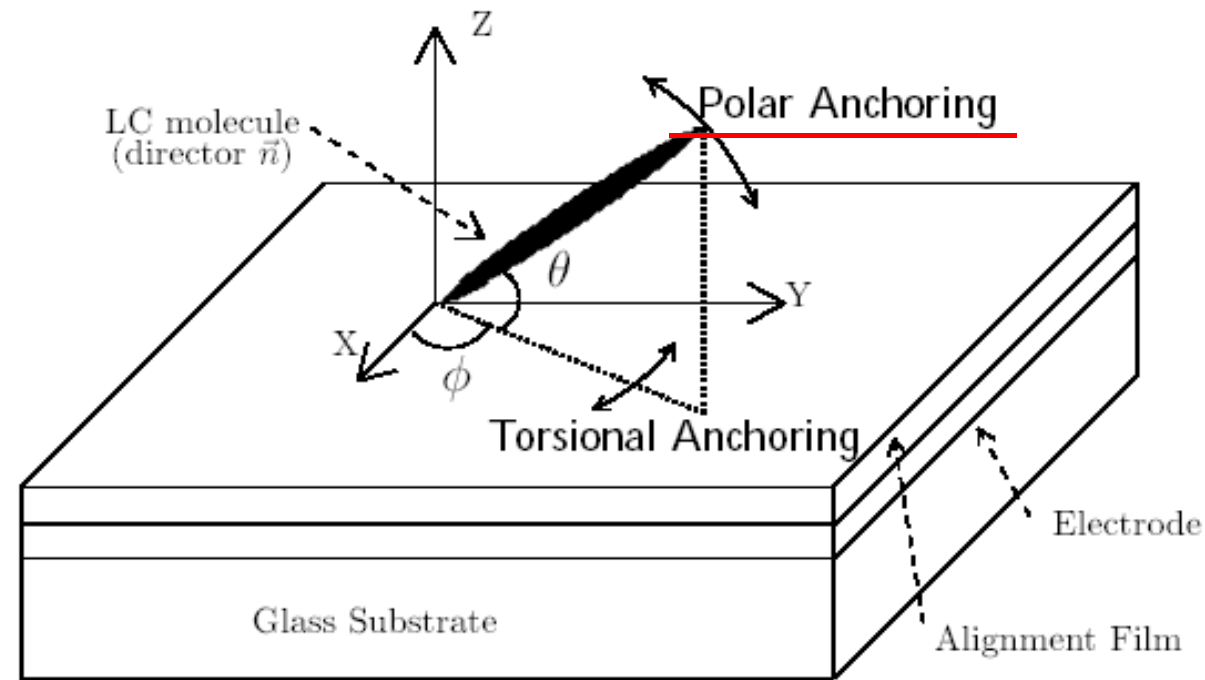


図7 基板表面が液晶を配向させる力（アンカリング強度）に及ぼすラビング強度パラメータ (a) 及び摩擦仕事 (b) の影響⁽¹⁵⁾

極角アンカリングエネルギー測定



$$F_s = \frac{1}{2} A_\theta \sin^2(\theta - \theta_e)$$

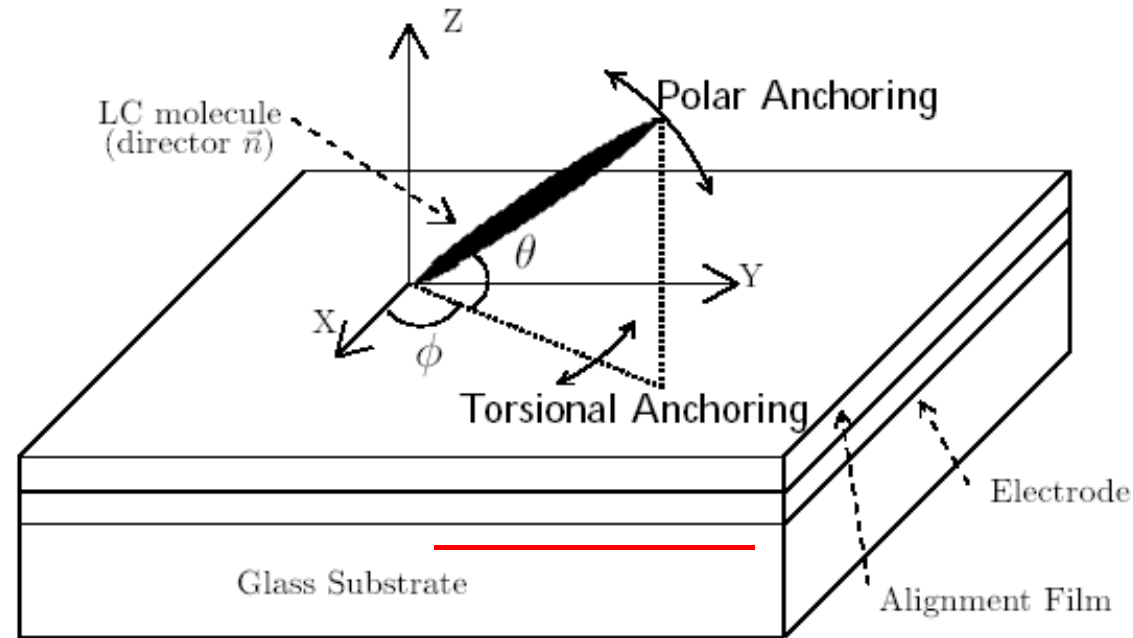
2次だけで打ち切った表現形式

液晶分子を起き上がらせるのにどのくらいのエネルギーが必要か？

ここで θ_e を容易軸という。

求めたいのは A_θ ：極角アンカリングエネルギー係数。

方位角アンカリングエネルギー測定法



$$F_s = \frac{1}{2} A_\Phi \sin^2(\Phi - \Phi_e)$$

液晶分子配列をよじるのにどのくらいのエネルギーが必要か？

ここで Φ_e を容易軸という。

求めたいのは A_Φ : 方位角アンカリングエネルギー係数。

アンカリングは何に効くのか？

- 閾値
- 中間調 ... 電気光学特性
- 特に τ_{off}

方位角アンカリングエネルギーの解析

$$F = F_b + 2F_s$$

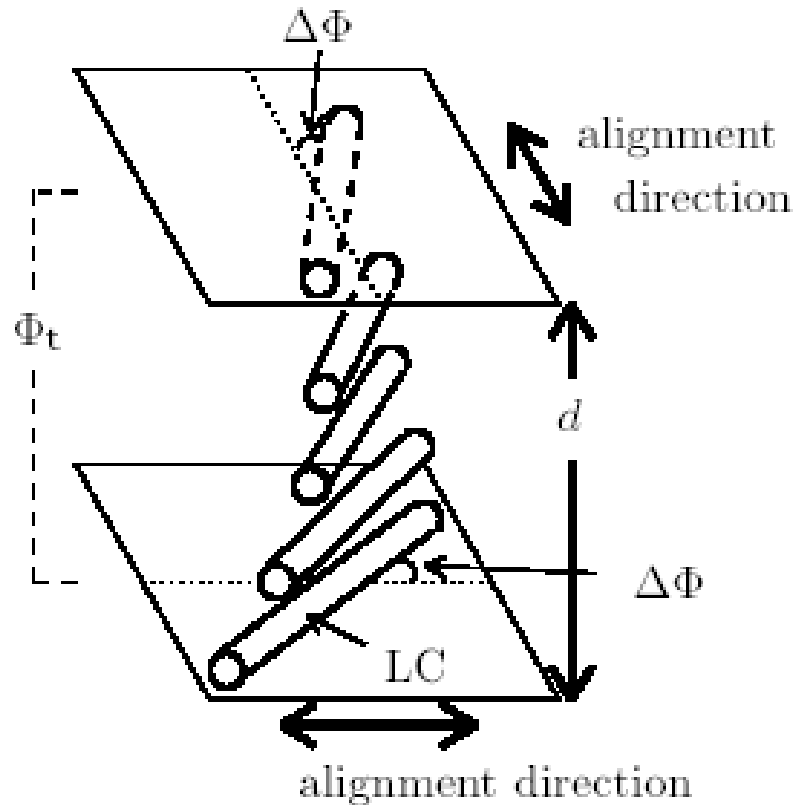
ここで

$$F_b = \frac{K_2}{2d} (\Phi_t - \Phi_0)^2$$

$$F_s = \frac{1}{2} A_\phi \sin^2 \Delta\Phi$$

$$\Phi_0 = \frac{2\pi d}{\lambda}$$

フックの法則
 $F = 1/2 kx^2$
 と同じ！



となる。またカイラル剤を添加していない場合は $\Phi_0 = 0$ であるから、

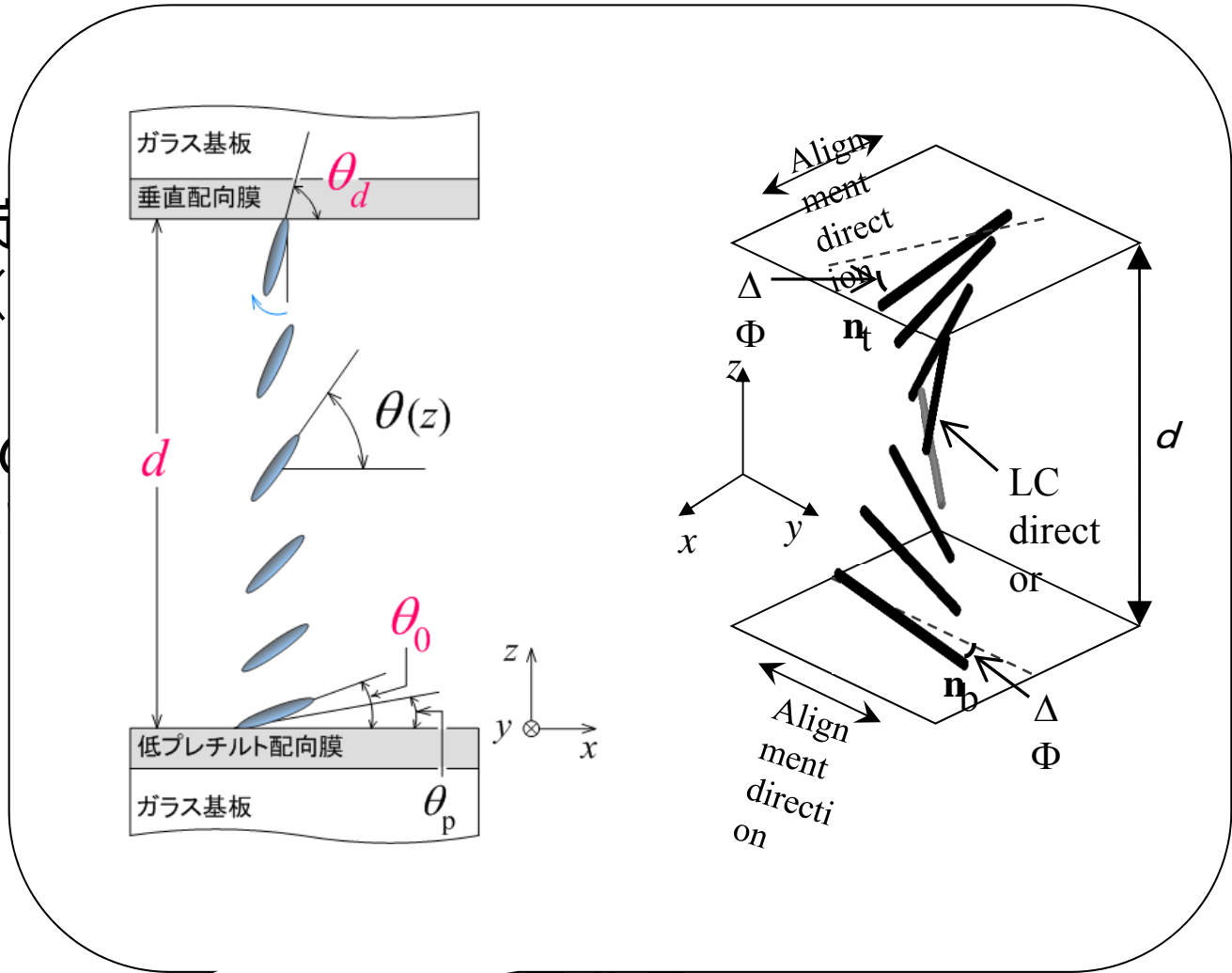
$$A_\phi = \frac{2K_2\Phi_t}{d \sin(2\Delta\Phi)} \quad [\text{J/m}^2]$$

バネのバネ定数
バネの伸び(

アンカリングの
responseから

外場

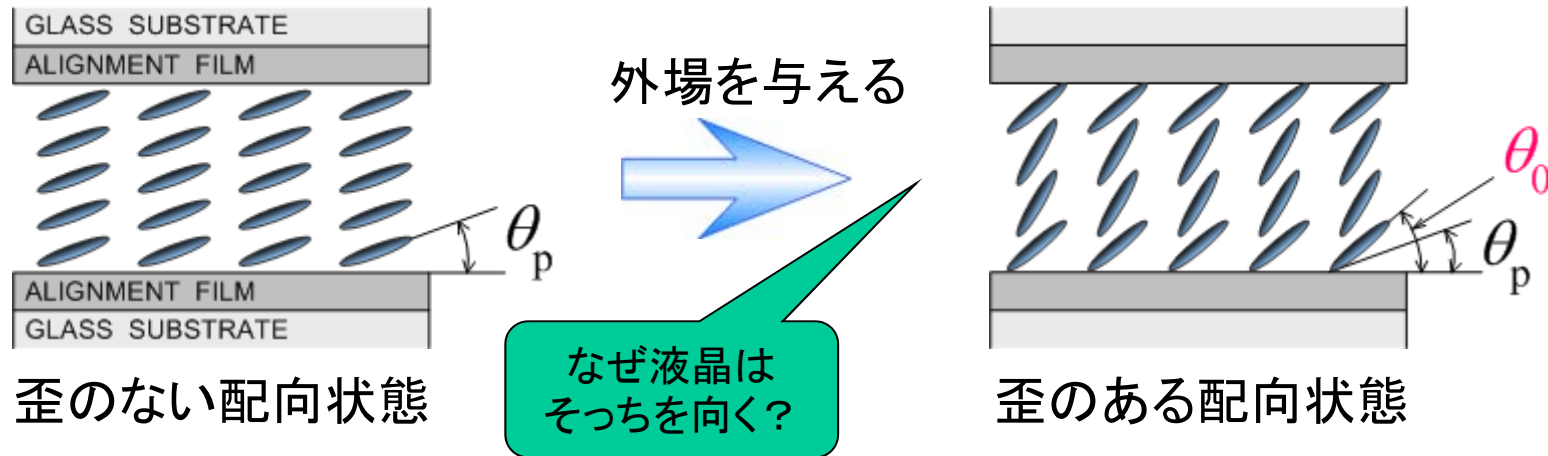
- ・電界
- ・磁界
- ・セル構造



液晶セル

- ・透過光(リタデーション)

配向変形



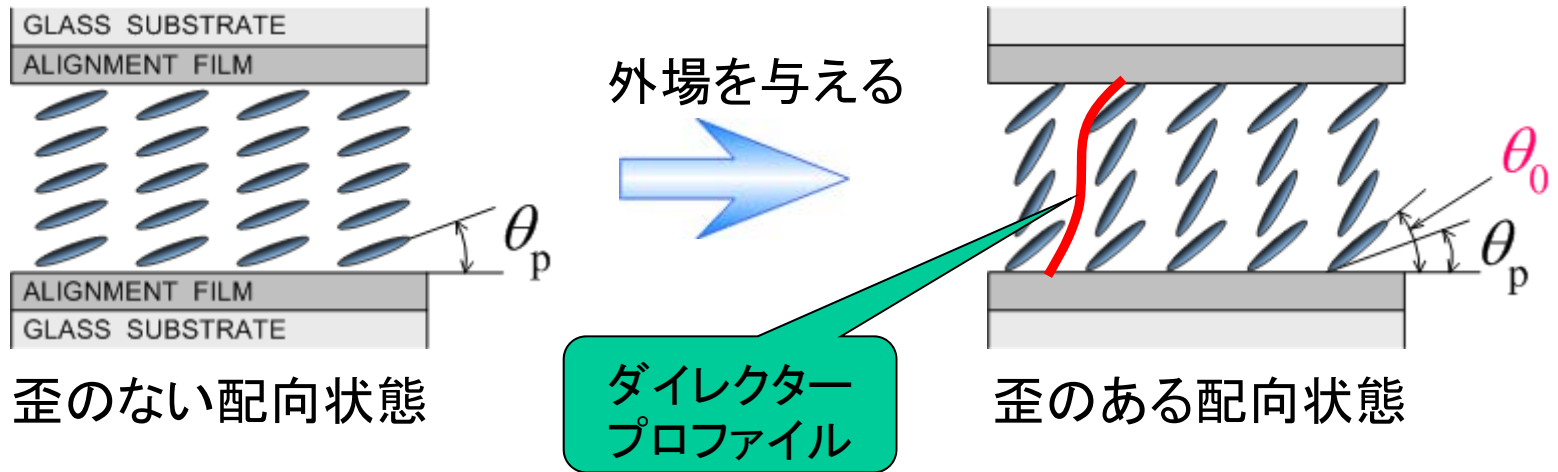
誘電エネルギー

$$f_{\text{diel}} = -\frac{1}{2} \mathbf{D} \cdot \mathbf{E}$$

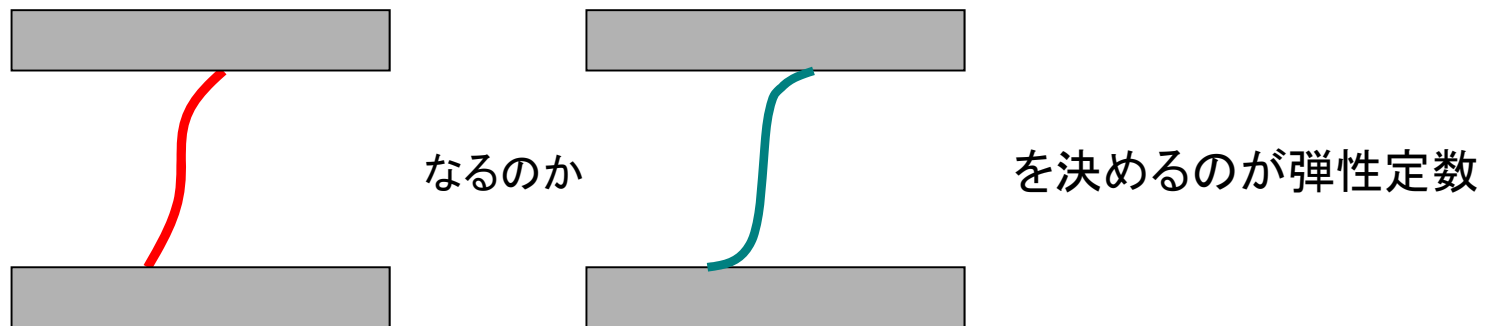
$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_{\perp} + \epsilon_0 (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}) (\mathbf{E} \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n}$$

安定となる(エネルギーが最小となる)方向に再配列する

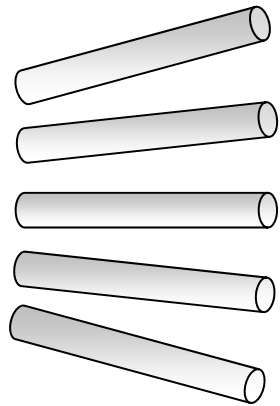
配向変形



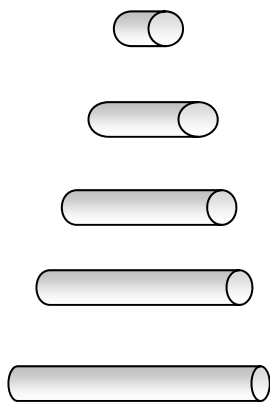
この時...



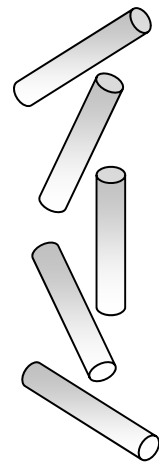
$$f_{\text{elas}} = \frac{1}{2}k_{11}(\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + \frac{1}{2}k_{22}(\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n} + q_0)^2 + \frac{1}{2}k_{33}(\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n})^2$$



Splay

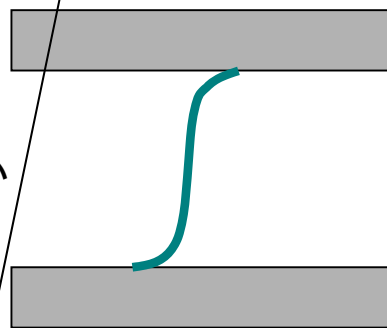
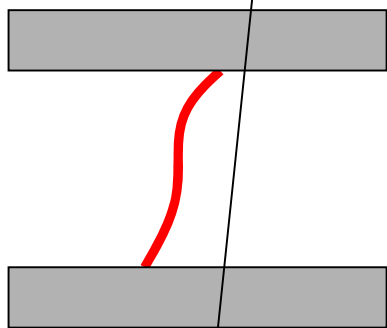


Twist



Bend

この時...



なるのか

を決めるのが弾性定数

$$f_{\text{elas}} = \frac{1}{2}k_{11}(\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + \frac{1}{2}k_{22}(\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n} + q_0)^2 + \frac{1}{2}k_{33}(\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n})^2$$

$$f_{s,\theta_0} = \frac{1}{2}A_\theta \sin^2(\theta_{[0]} - \theta_0)$$

$$f_{s,\phi_0} = \frac{1}{2}A_\phi \sin^2(\phi_{[0]} - \phi_0)$$

ただし、 θ_0 、 ϕ_0 は配向容易軸の極角方向および方位角方向の角度を表わし、 $\theta_{[0]}$ 、 $\phi_{[0]}$ は実際のダイレクタの極角方向および方位角方向の角度。なお、 $z = d$ (d :セル厚)におけるアンカリングエネルギーも同様に以下のように表わされる。

$$f_{s,\theta_d} = \frac{1}{2}A_\theta \sin^2(\theta_{[d]} - \theta_d)$$

$$f_{s,\phi_d} = \frac{1}{2}A_\phi \sin^2(\phi_{[d]} - \phi_d)$$

以上より、単位面積当たりの自由エネルギー F は

$$W = f_{\text{elas}} + f_{\text{diel}}$$

$$W_{s0} = f_{s,\theta_0} + f_{s,\phi_0}$$

$$W_{sd} = f_{s,\theta_d} + f_{s,\phi_d}$$

とすると、

$$F = \int_0^d (W dz + W_{s0} + W_{sd}) dz$$

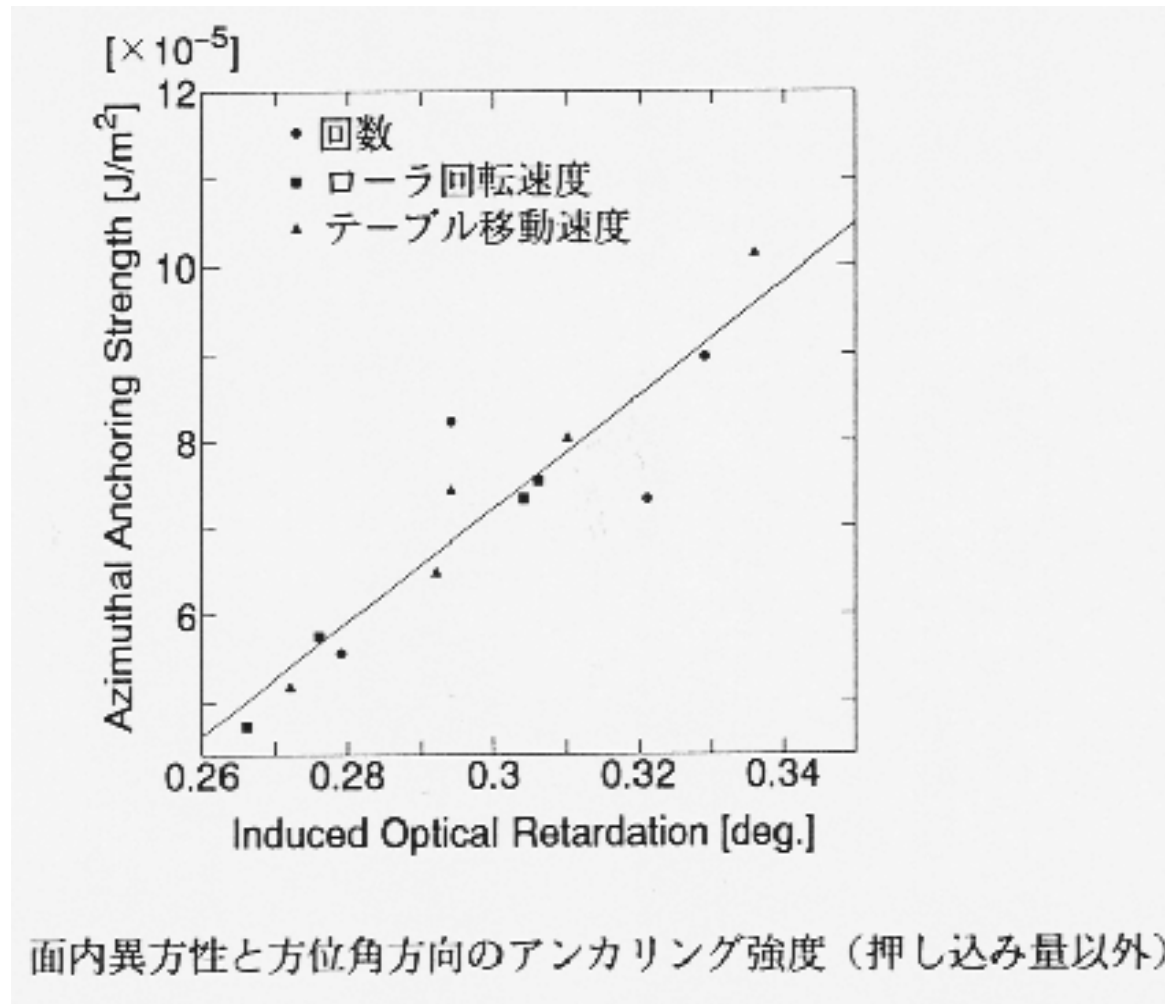
実際には、 F が最小になるように配向する。式で書くと

$$\frac{\partial F}{\partial z} = 0$$

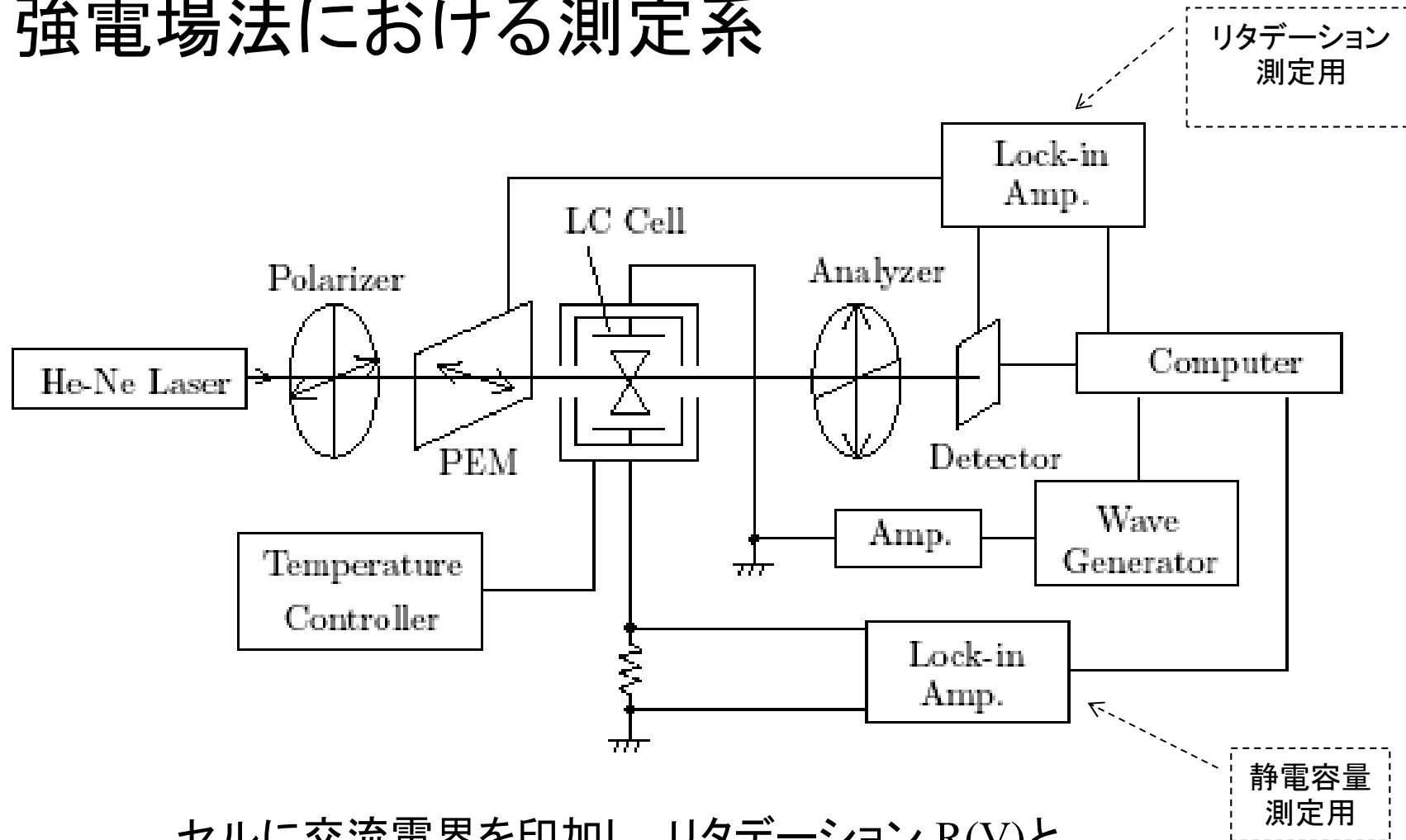
よって、弾性定数・誘電率等が分かっている、適切なセル構造であれば、外場を掛けて、その応答を拾ってあげればアンカリングは決定できる。

では、どのような形で応答を拾うか？

リタデーションと方位角アンカリングの相関



強電場法における測定系



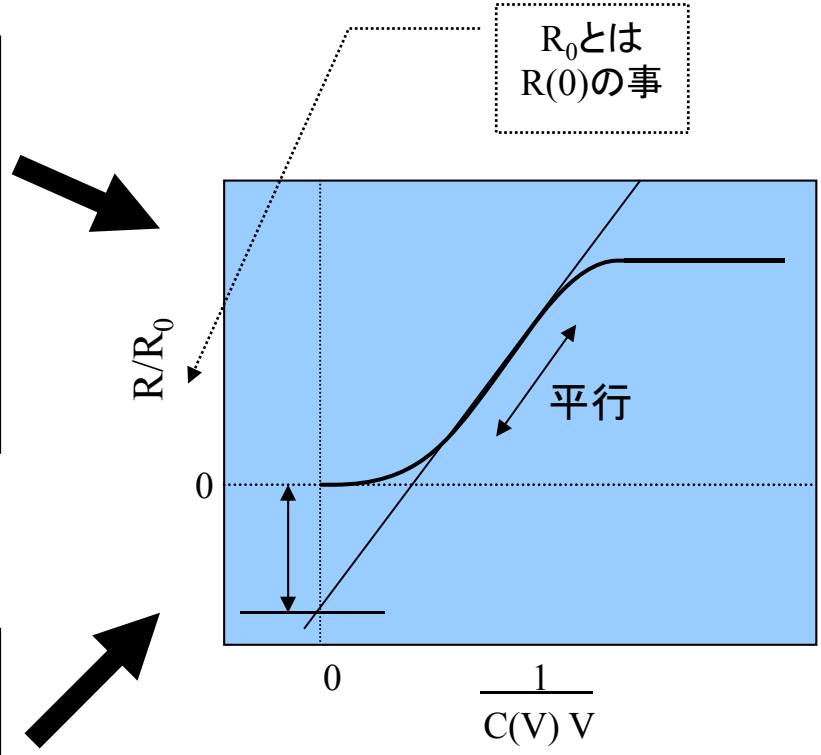
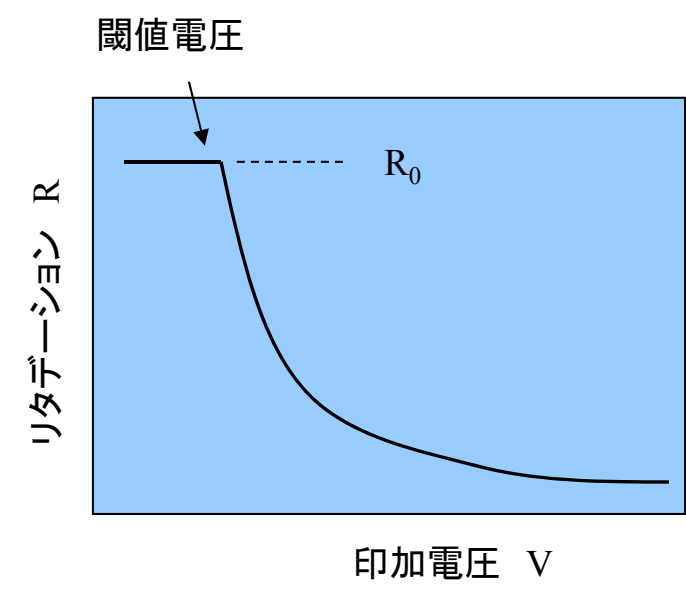
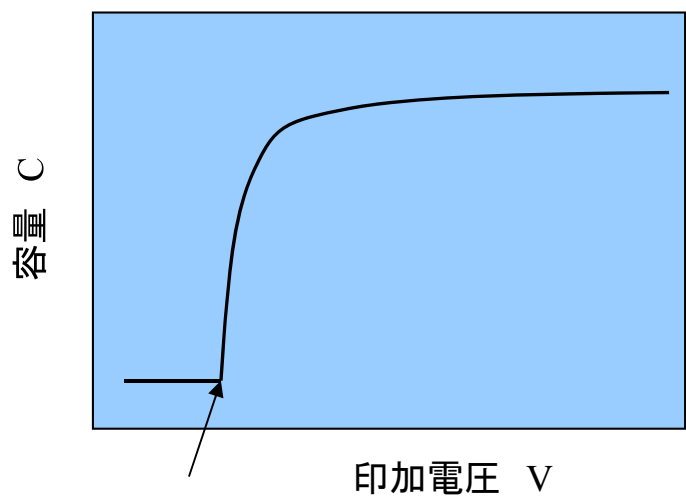
セルに交流電界を印加し、リタデーション $R(V)$ と静電容量 $C(V)$ を同時に測定する。

H. Yokoyama and H.A. van Sprang : J.Appl.Phys. 57,4520(1985)

横山浩:「アンカリング強度測定の原理と実際」日本液晶学会機関誌『液晶』Vol.4(1) 2000年

測定曲線

プレティルト角=0° の一例



2つの測定結果からグラフを描き、切片での外挿長を求める。

$$\frac{R}{R_0} = \frac{I_0}{CV} - 2\frac{d_e}{d}$$

ここで、 d_e は

$$d_e = \frac{1}{A}(K_3 \sin^2 \theta_p + K_1 \cos^2 \theta_p)$$

強電場法の特徴

- 静電容量とリタレーションの両方を測定 ⇒
- 極角アンカリングエネルギーが“数値”で出てくる。
- 弱いアンカリング・厚いセルには有効
- 閾値の6倍程度の印加電圧
- 十分な“直線領域”が必要（誤差を生む）
- ハイブリッド(HAN)型セルが適している
- 薄いセル・強アンカリングには、オリジナルな方法は適用できない

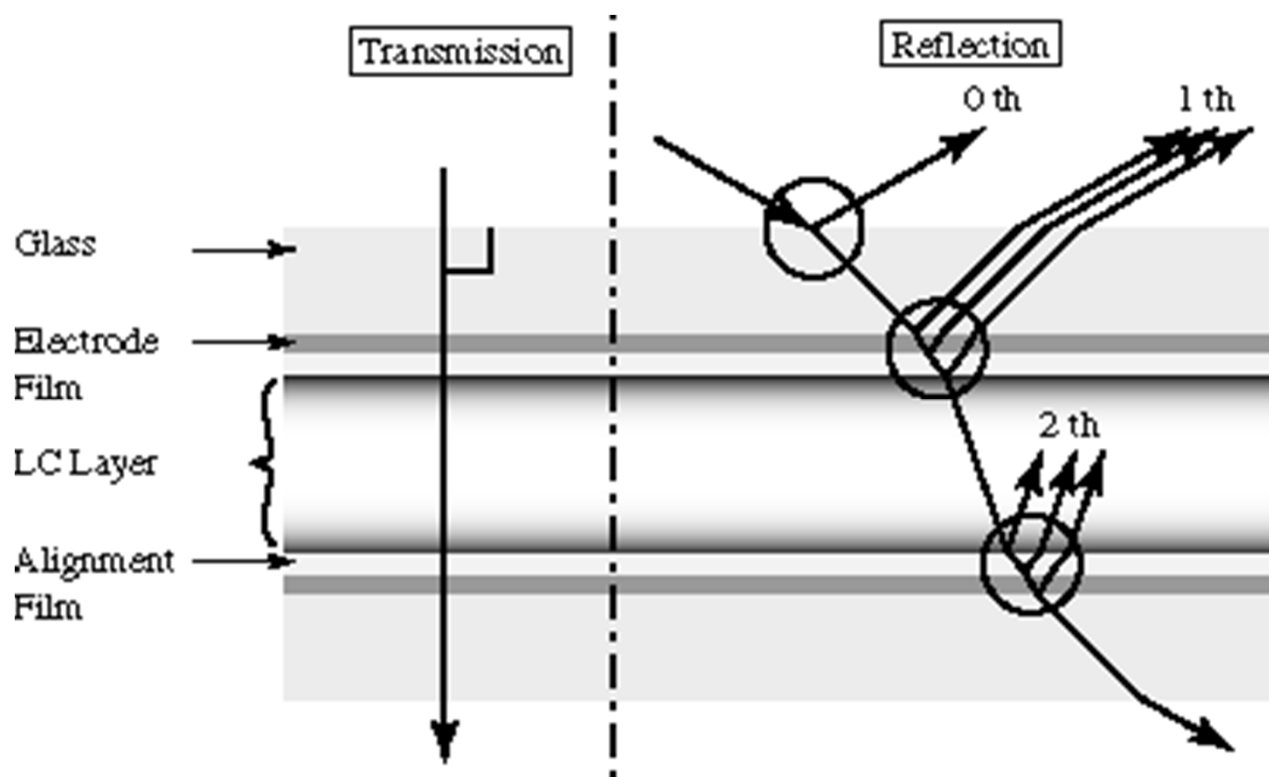
薄いセルには、小容量のコンデンサーを直列
接続する方法がある

⇒セル・コンデンサーにkVの高圧をかける必要

強アンカリング・薄セルではリタレーションの計測誤差が大きく影響

アンカリングの“分布”を求めるには不利
(キャパシタンスはある一定面積が要る)

位相差の情報には多重反射の影響が.....

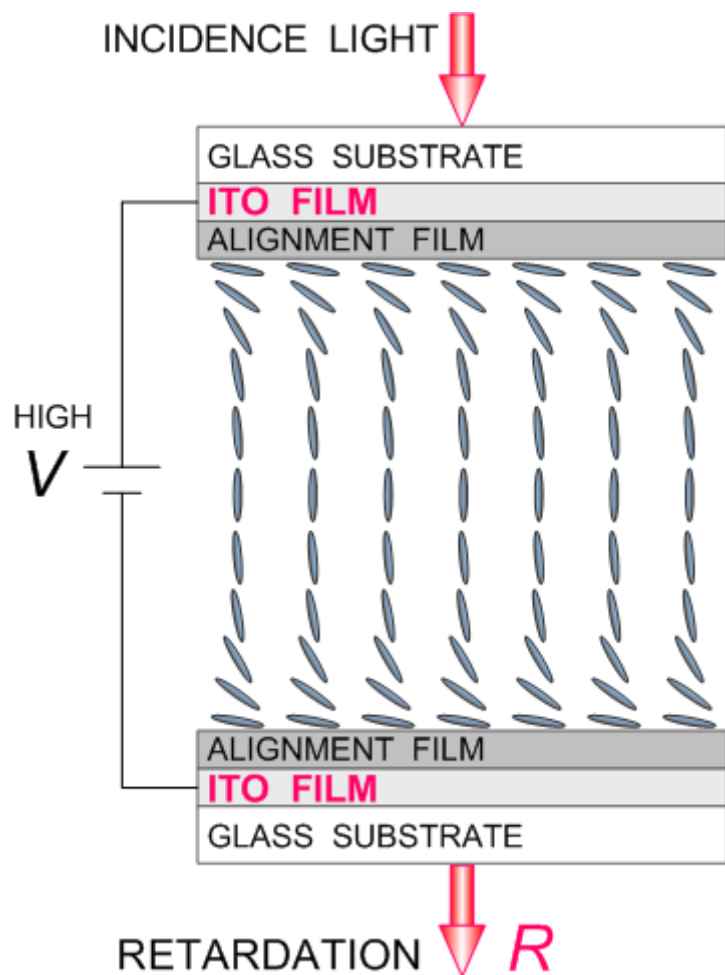


液晶層の部分で生じる位相差のみをリタレーションという。

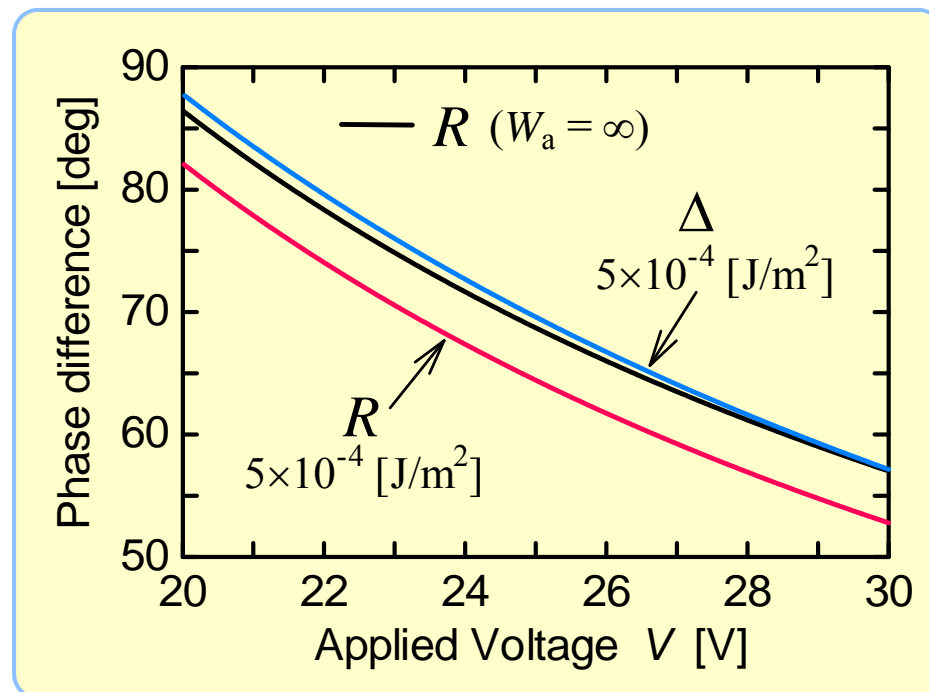
実際の計測では、多重反射・多重干渉の影響をもろに受ける。

背景

従来提案されている測定法



➤ 多重反射・多重干渉を無視した解析の問題点

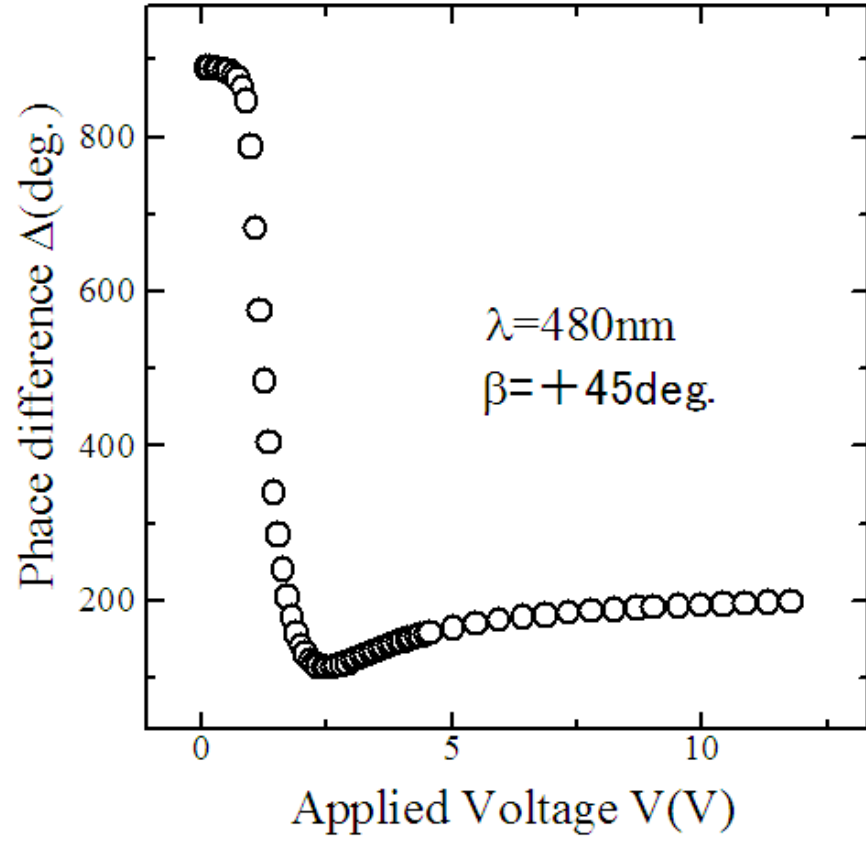
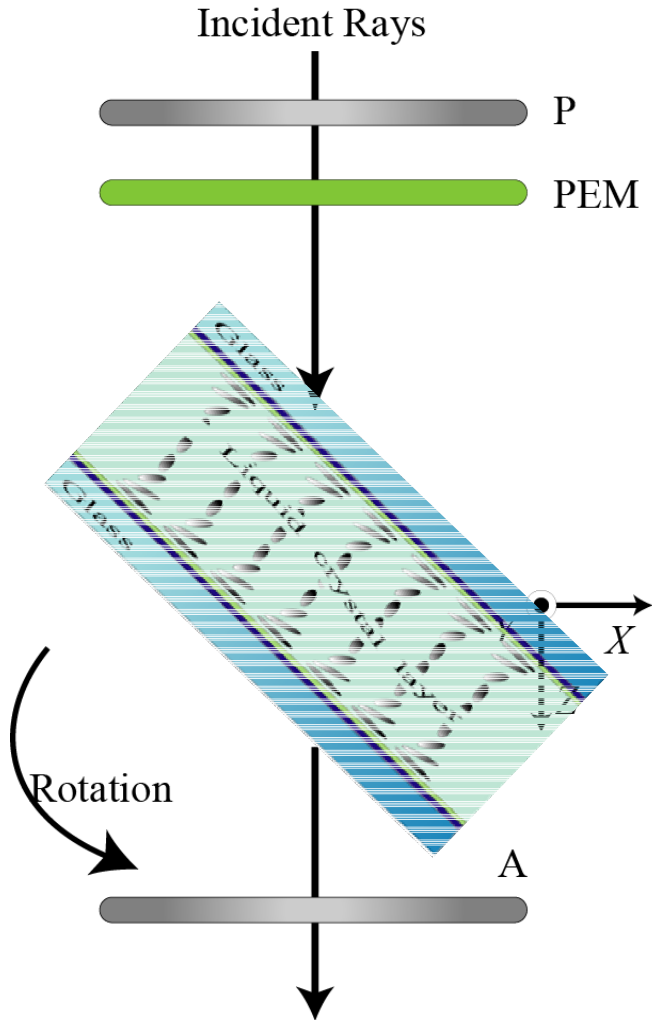


➤ 多重反射・多重干渉を考慮した解析の問題点：
ITO、配向膜の膜厚、屈折率を測定する必要。



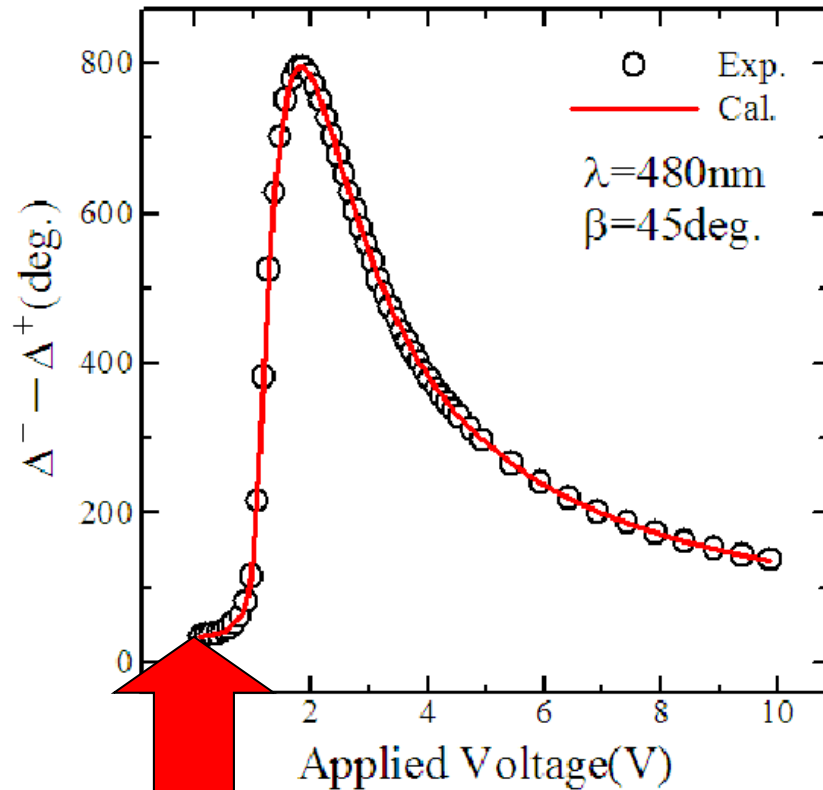
ITO膜、配向膜の光学的物性値を必要とせず、
多重反射・多重干渉を除去できる方法を提案する。

SOITE method



LC: ZLI-2293 Alignment film: PI-1
Cell gap: 9.72 μm pretilt: 1.0deg

Y. Abe, N. Tanaka, M. Kimura and T. Akahane: Proceedings of IDW'04 (2004) LCTp3-2
M. Kimura, N. Tanaka, R. Bansho and T. Akahane: Proc. of 5th IMID p.191(2005).



- Fitting experimentally measured $\Delta^- - \Delta^+$ with theoretically calculated $\Delta^- - \Delta^+$ by means of Polytope method

$$\Delta^- - \Delta^+ = \frac{16}{\lambda} \frac{K_{11} \sin \beta}{A_\theta \sin 2(\delta\theta_0)} \sqrt{\frac{(1 + \kappa \sin^2 \theta_0)(1 - \sin^2 \theta_0)}{1 + \gamma \sin^2 \theta_0}} \times \int_{\theta_0}^{\pi/2} \frac{\nu \sin \theta}{1 + \nu \sin^2 \theta} \times \sqrt{(1 + \kappa \sin^2 \theta)(1 + \gamma \sin^2 \theta)} d\theta$$

$$\kappa = (K_{33} - K_{11})/K_{11}$$

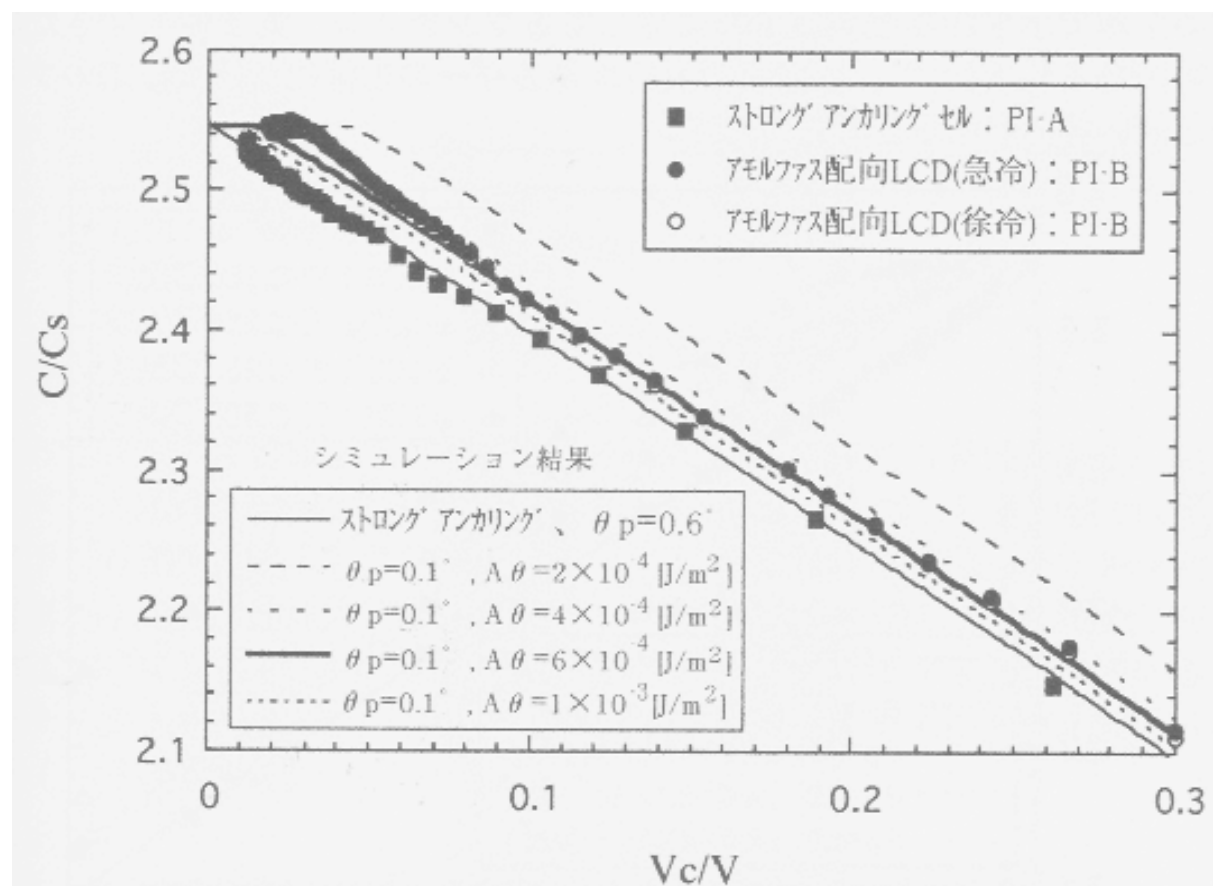
$$\gamma = (\epsilon_{//} - \epsilon_{\perp})/\epsilon_{\perp}$$

$$\nu = (n_e^2 - n_o^2)/n_e^2$$

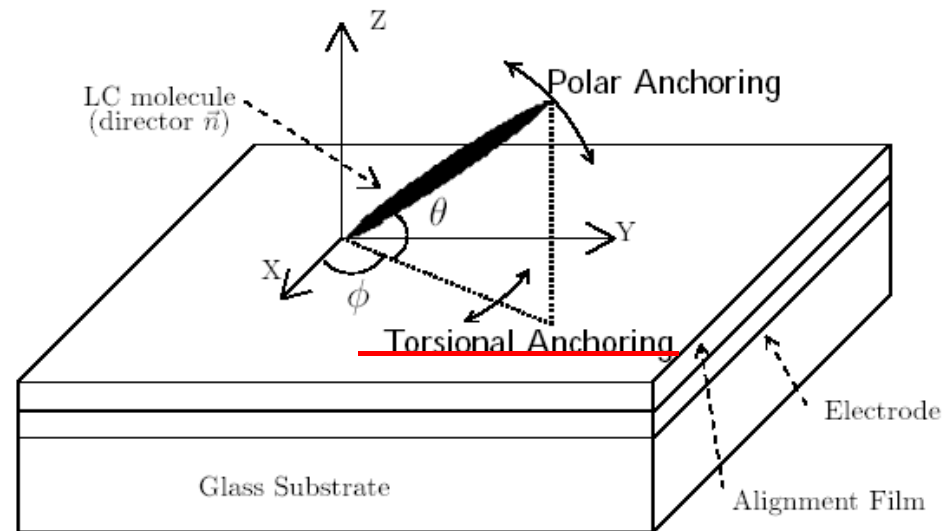
$$\delta\theta_0 = \theta_0 - \theta_p$$

Θ_0 : tilt angle at the surface under the applied electric field

CまたはRだけでもフィッティングを利用すればアンカリングは決定できる。



方位角アンカリングエネルギー測定法



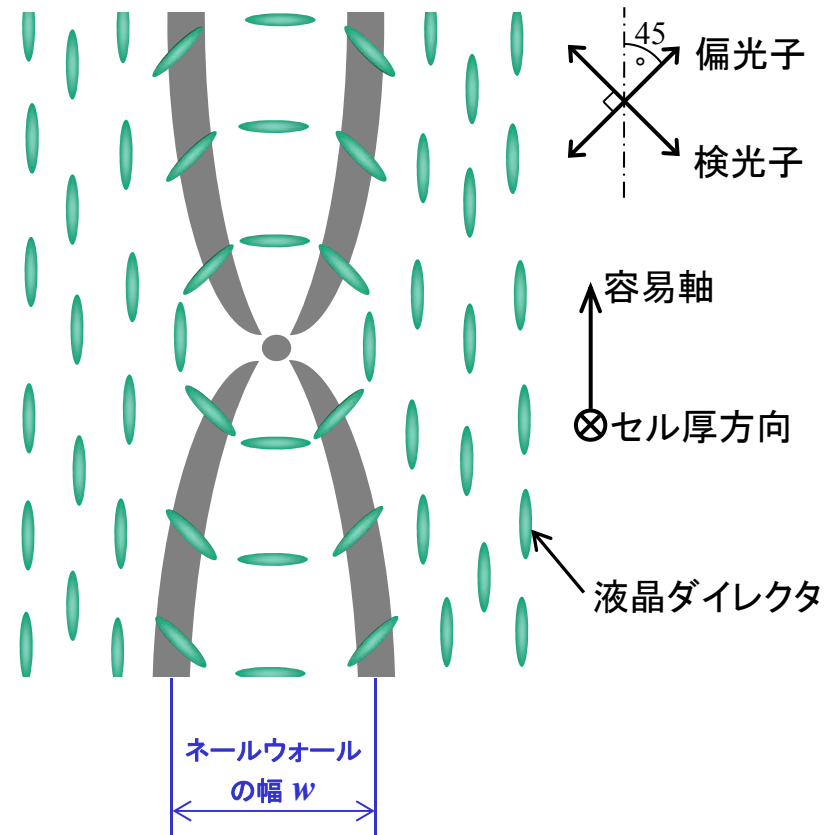
ネールウォール法
振じれ角測定法
等が有名

ネールウォール法

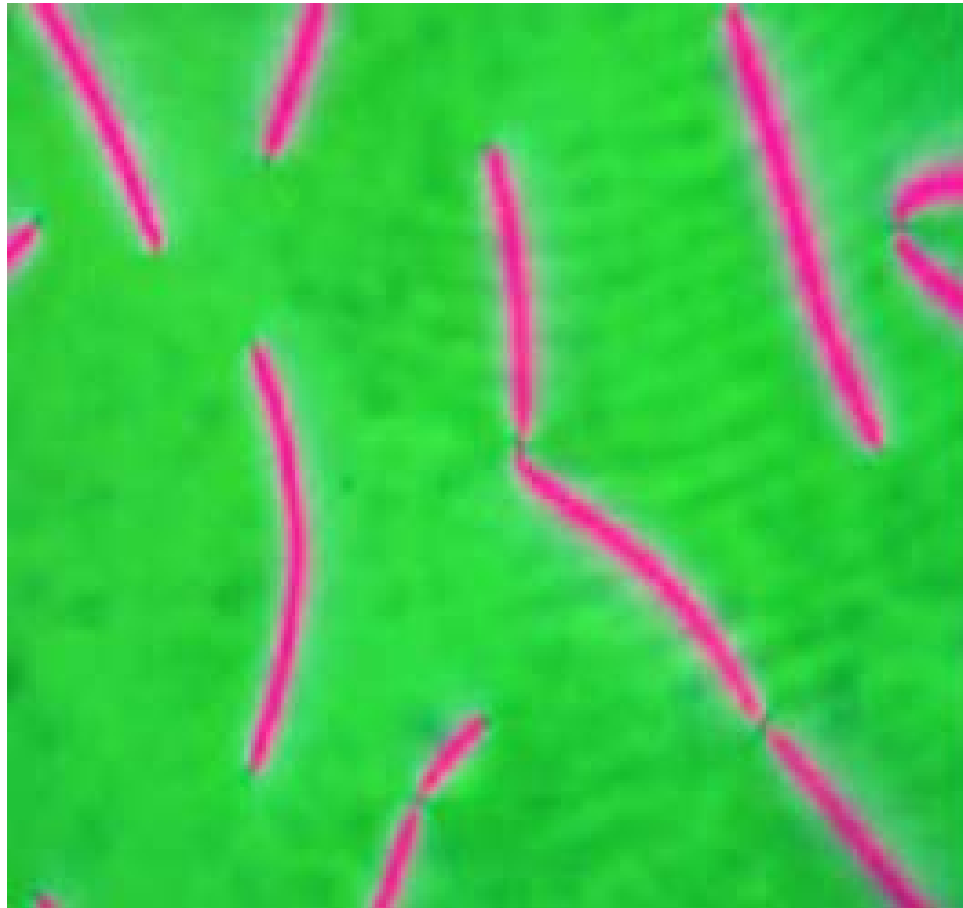
ウィークアンカリングの測定法

ネールウォール幅 w , セル厚 d
広がり弾性定数 K_{11}

$$A_{\phi} = \frac{2d \cdot K_{11}}{w^2} [\text{J/m}^2]$$

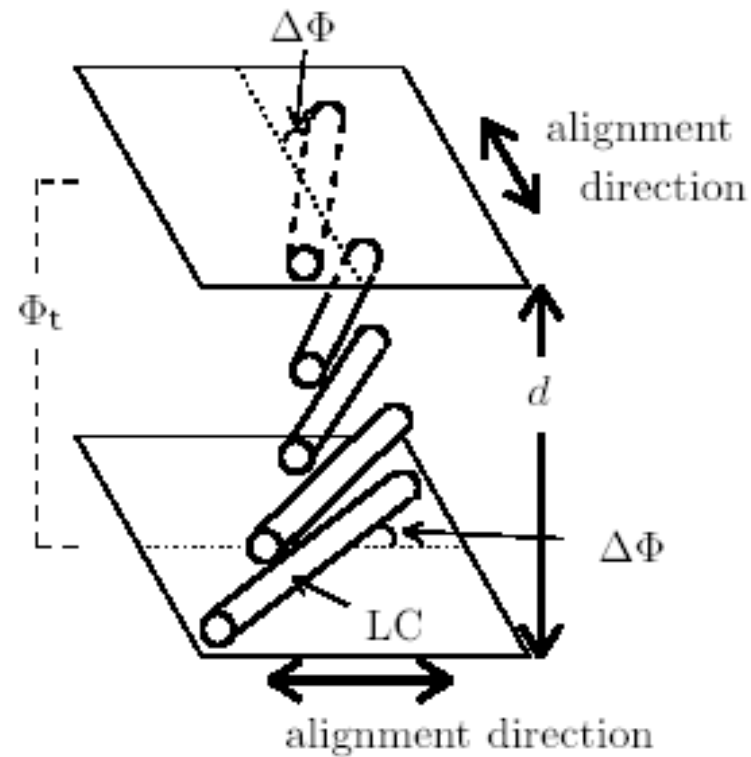


幅を読み取る誤差が大きい



一般に光学顕微鏡の分解能は数 μm で、ネールウォールの幅と同程度

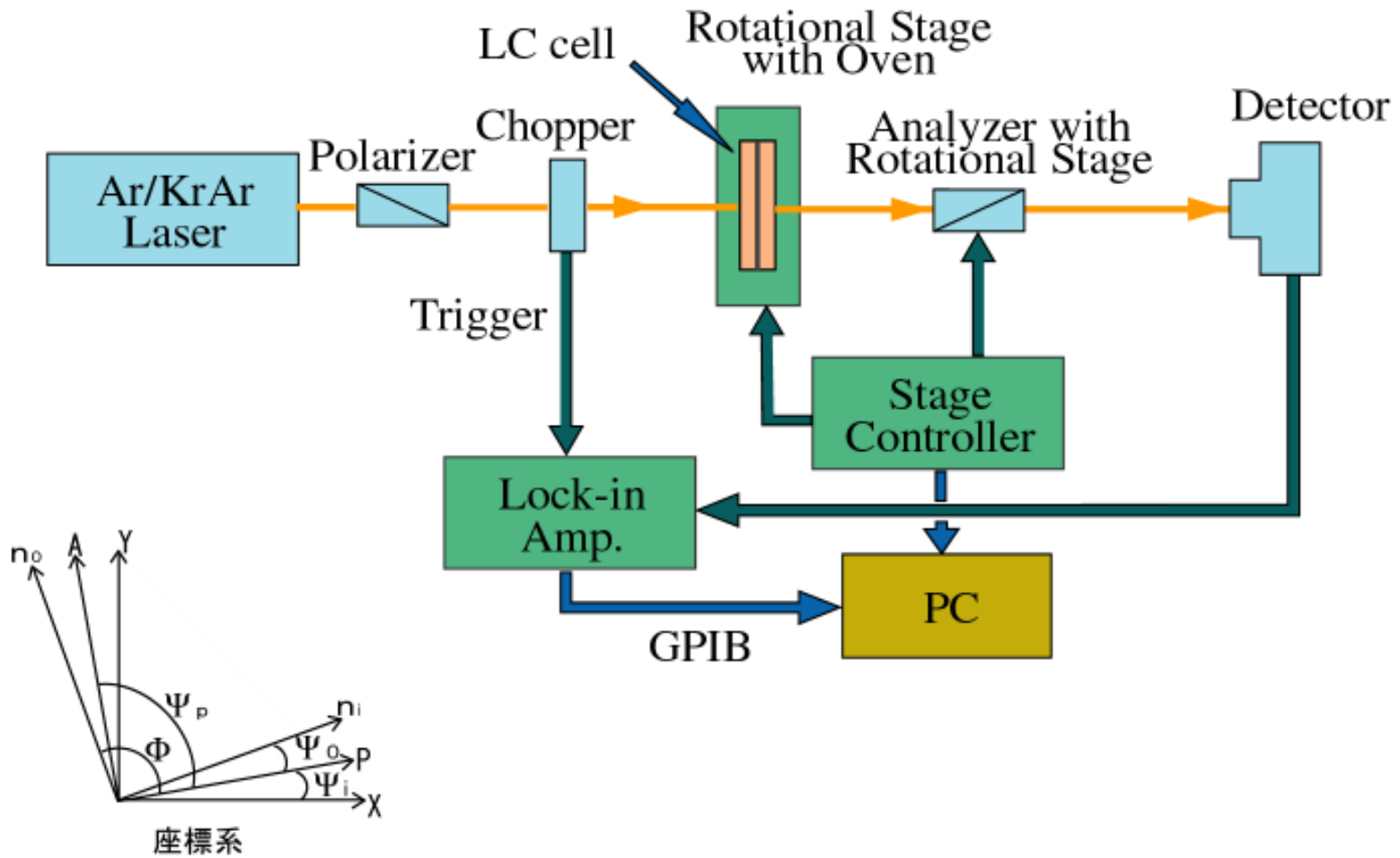
トルクバランス法



方位角方向のアンカリング強度 A_ϕ は

$$A_\phi = \frac{2K_2(\Phi_t - \Phi_0)}{d \sin 2\Delta\Phi}$$

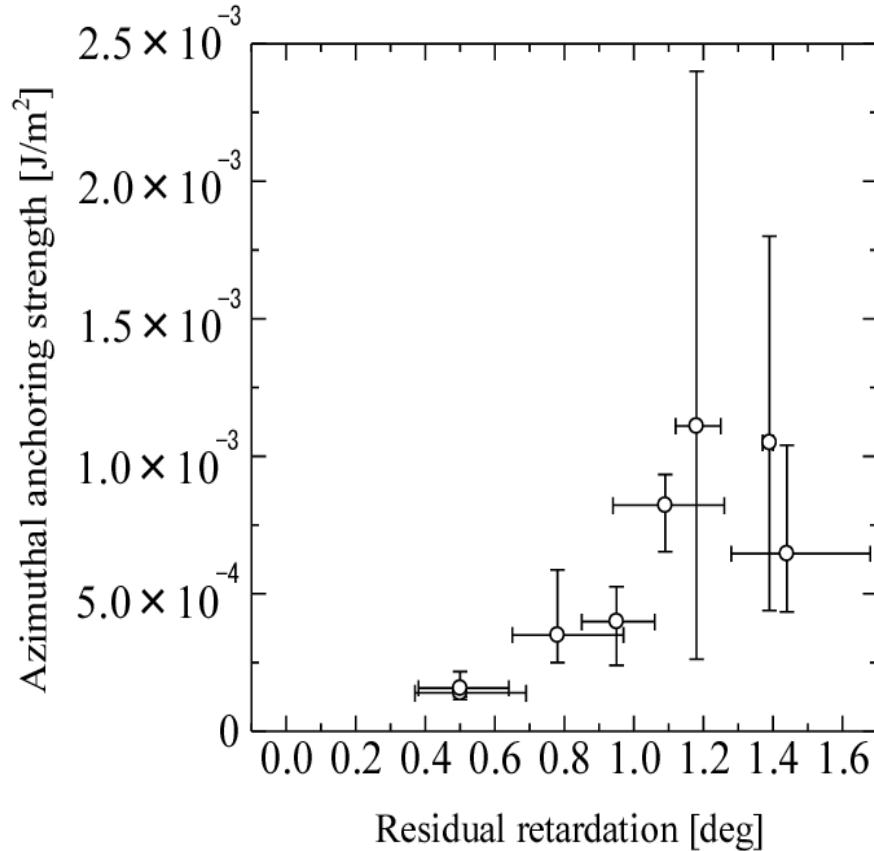
測定系



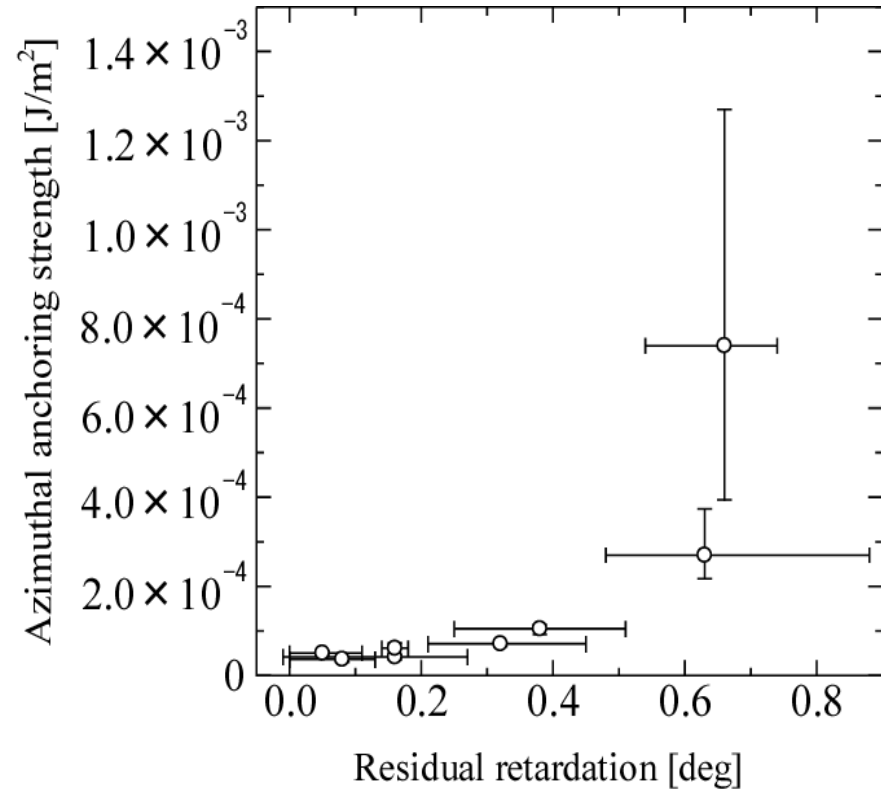
T.Akahane, 他: Jpn. J.Appl. Phys., { 35 } [8] (1996) 4434.

方位角アンカリング強度※の残留リタレーション依存性

界面転移型液晶5CB



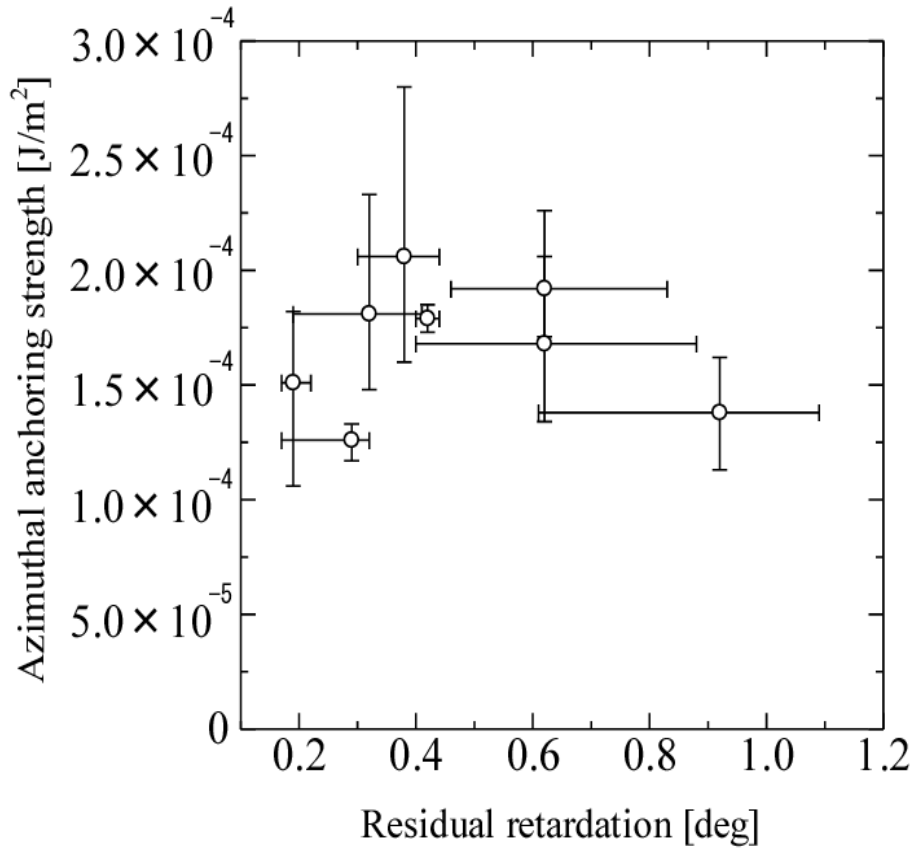
配向膜:PVA



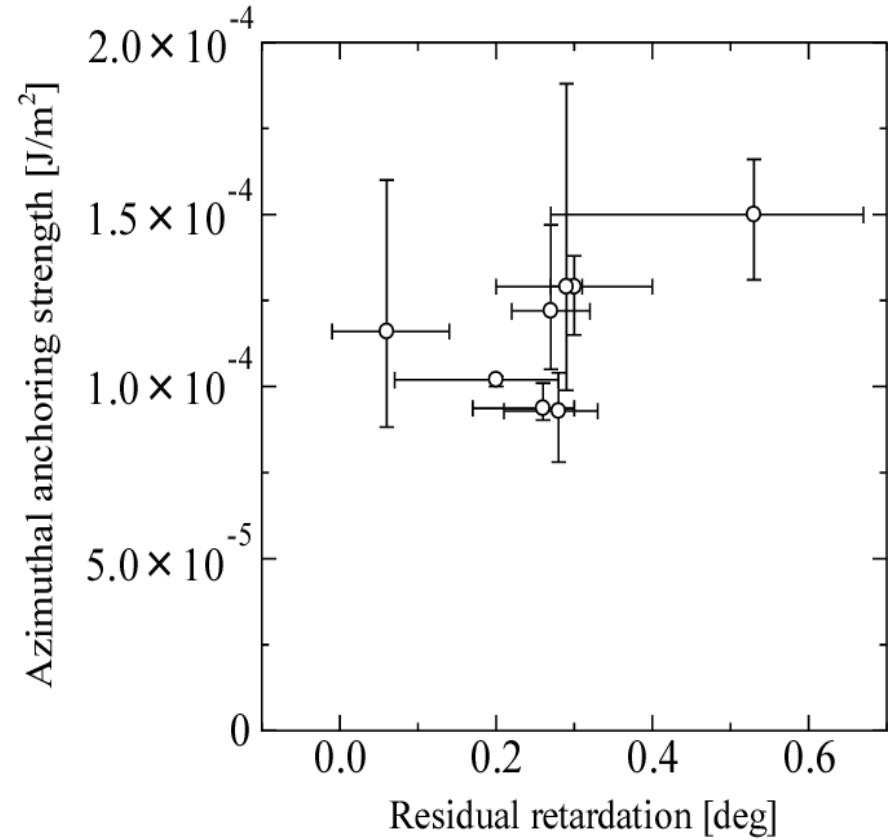
配向膜:PI-1

顕著に表面オーダーに依存する。

バルク転移型液晶MLC-2051



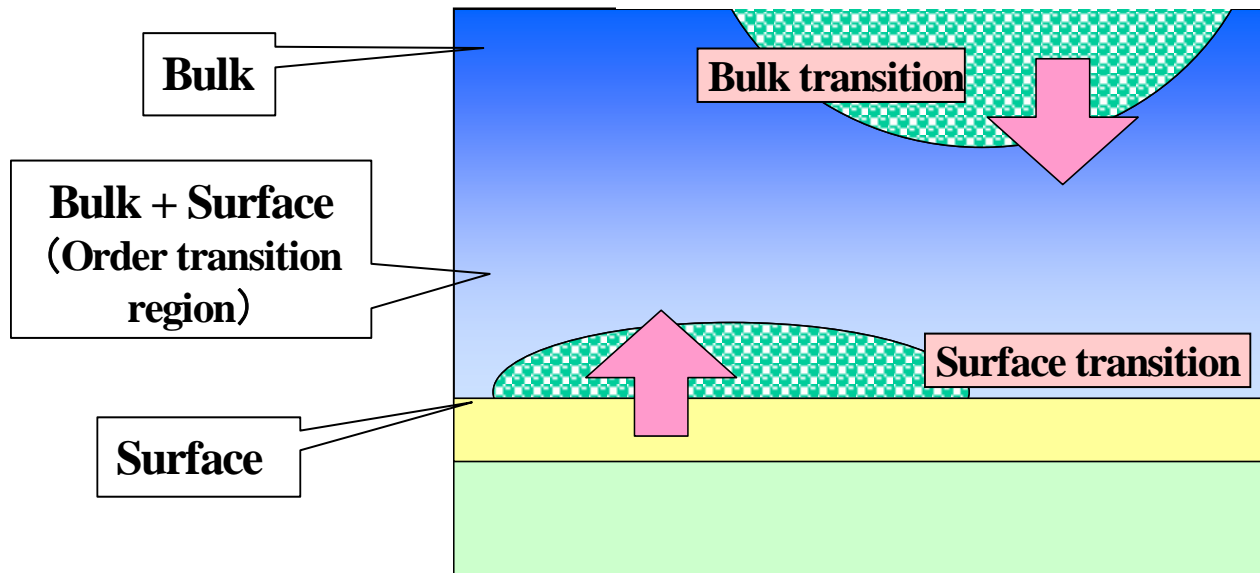
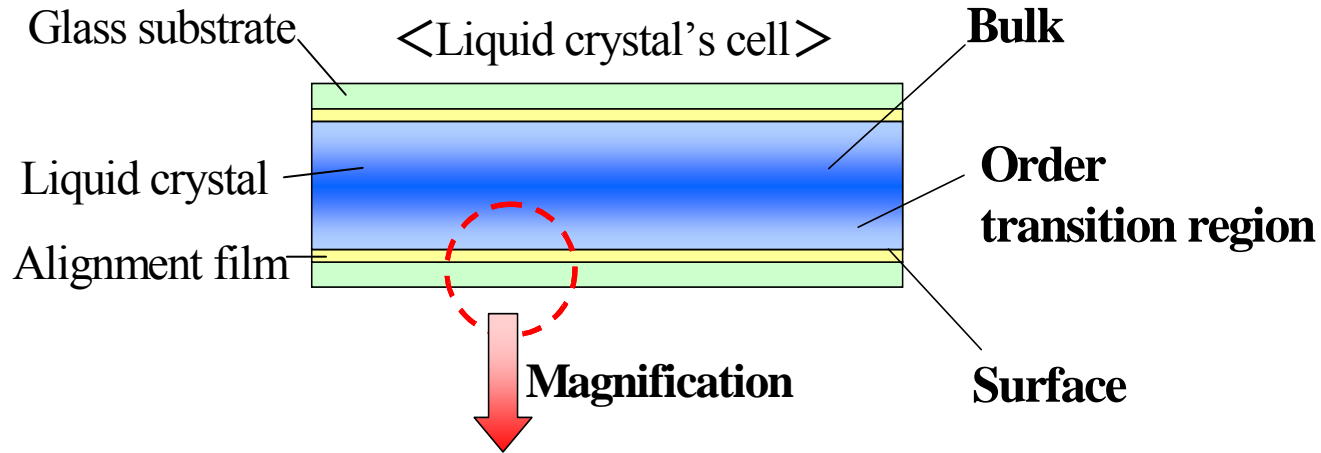
配向膜:PVA



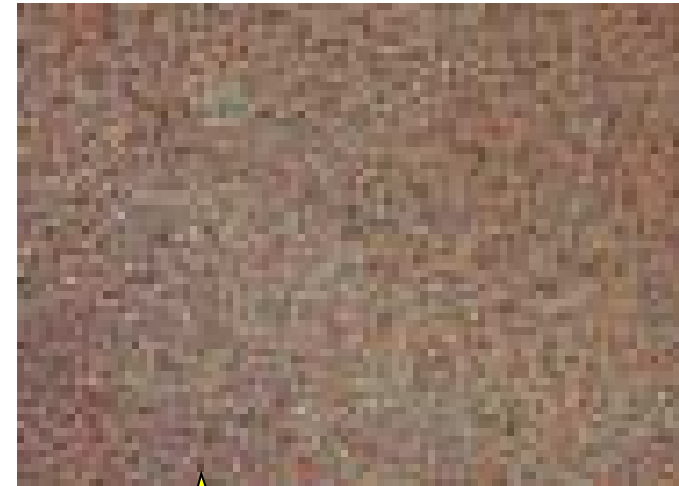
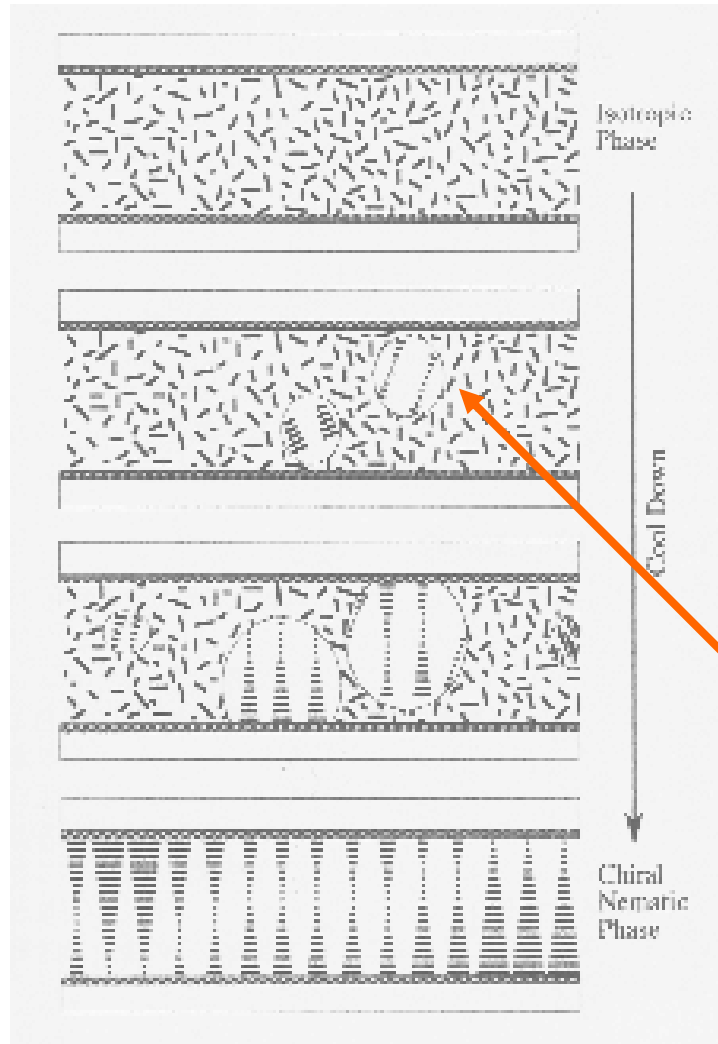
配向膜:PI-1

顕著な表面オーダー依存性が見られない。

液晶-配向膜界面の方位角アンカリング強度



バルクから相転移すると

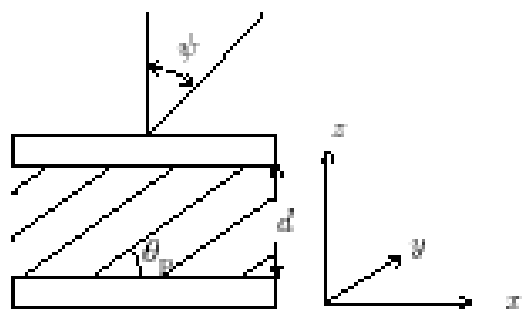


泡だったように見える、N相ドロップが見える。ポイントは、泡が広がっていくようにして相転移する

N相の濡れが悪いともいう

クリスタルローテーション法

セルを回転させ、対称点のズレ角 ψ_x からプレティルト角を求める。



セルと座標系

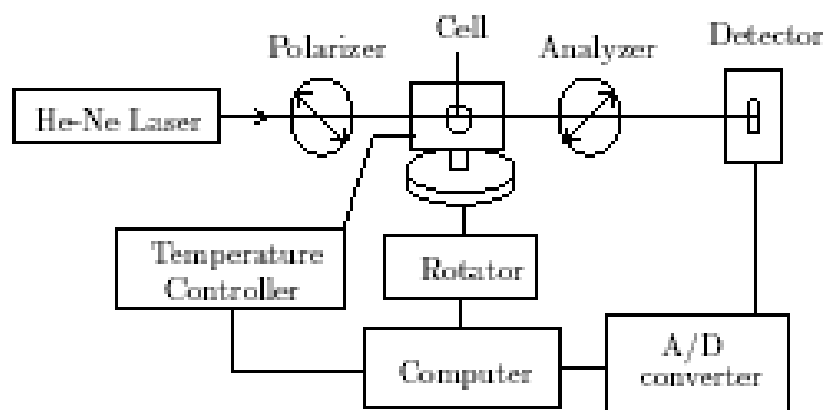
$$\frac{1}{c^2}(a^2 - b^2) \sin \theta_p \cos \theta_p - \frac{a^2 b^2}{c^3} \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \sin^2 \psi_x\right)^{-1/2} \sin \psi_x$$

$$+ b(1 - b^2 \sin^2 \psi_x)^{-1/2} \sin \psi_x = 0$$

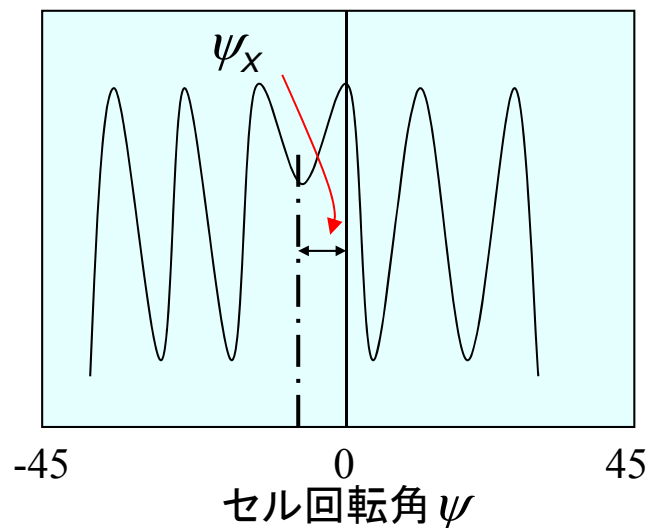
$$a = 1/n_e$$

$$b = 1/n_o$$

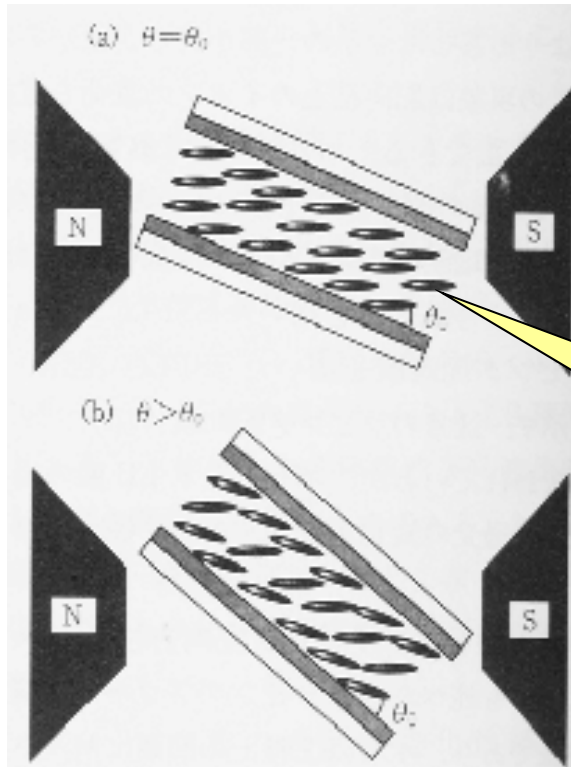
$$c^2 = a^2 \cos^2 \theta_p + b^2 \sin^2 \theta_p$$



測定系と測定結果のモデル



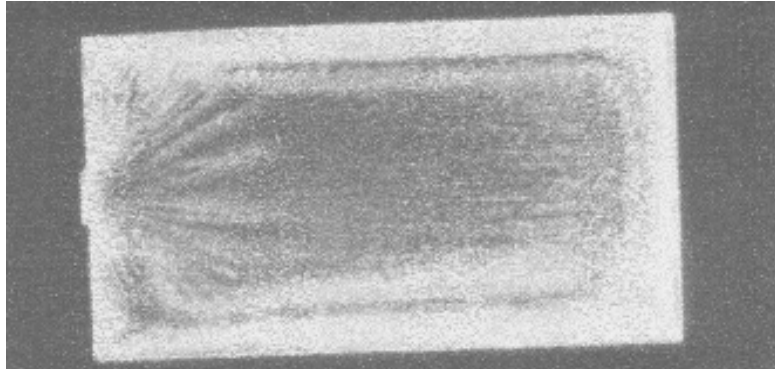
磁場容量零位法



ホモジニアスセルにキャパシタンスメーターを接続。

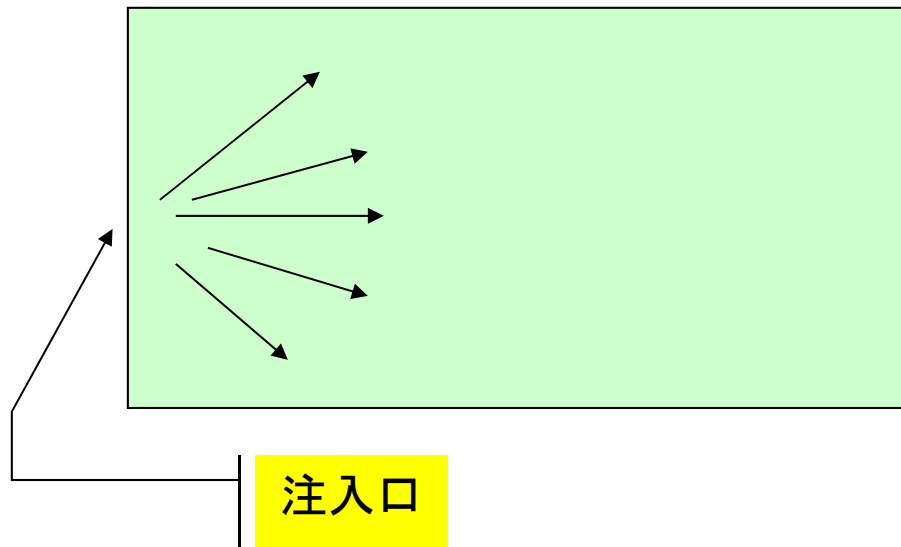
磁場と液晶ダイレクタが平行であれば、容量に変化が無い。

流動配向



工業的には液晶はネマティック相で注入される。

※分子量の軽いものが揮発してしまうため



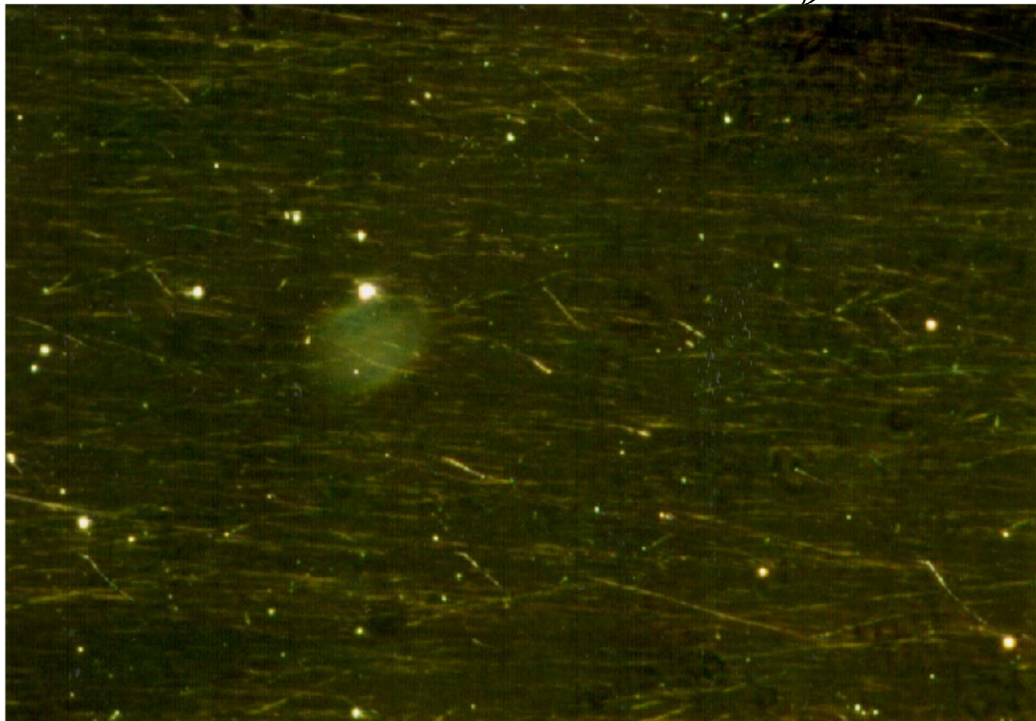
アンカリングが弱いと、時々図のような流動配向が確認できる。

一度アニール処理をすれば直る。

ラビングによる傷

ラビング方向 →

このような細かい傷が消光比を劣化させる

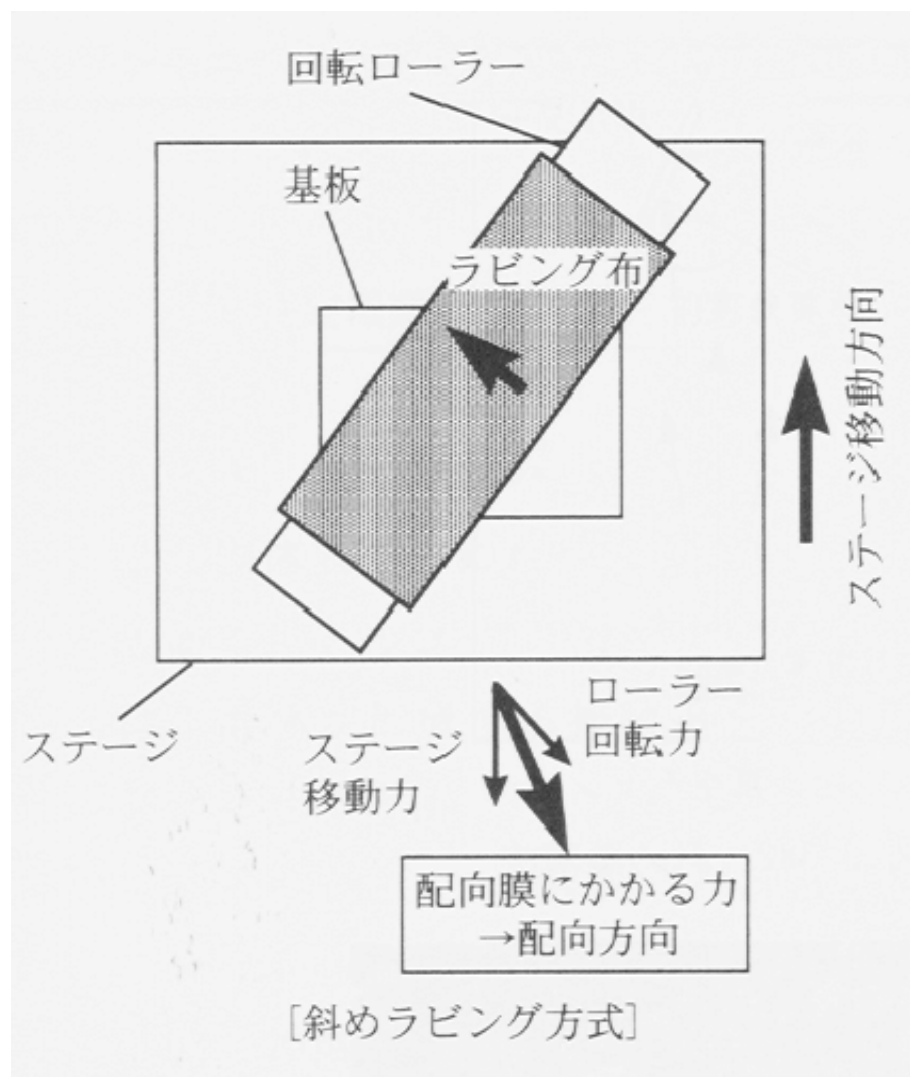


毛は真っ直ぐに撓ってくれない

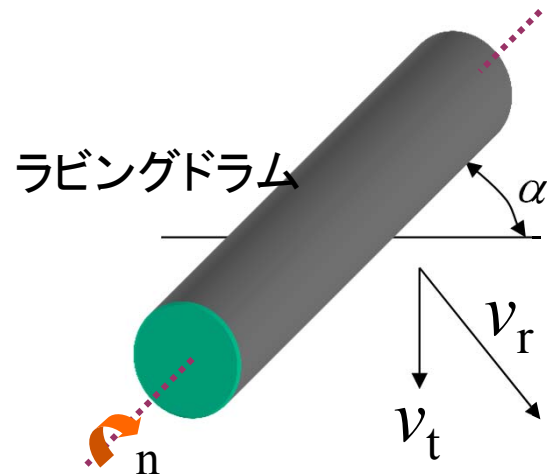
傷は決してラビング方向と平行ではない

改良例

他にも常陽工業(株)
2回ラビング法
等が行われている



改良例： 斜めラビング角



布と基板の相対速度 v は

$$v = \sqrt{(v_r \sin \alpha)^2 \pm (v_r \cos \alpha + v_t)^2}$$

ラビング角 β は

$$\beta = \sin^{-1} \left\{ \sin(\pi - \alpha) \left| \frac{v_r}{v} \right| \right\}$$

ここで

円周速度: $v_r = 2 \pi r n / 60$

ドラムの半径: r

ドラムの回転数: n

テーブル移動速度: v_t

ドラムの設定角: α

ラビング角 β はドラムの設定角 α だけでなくロール回転数やテーブル速度にも依存する。

ラビング代替法

- 温度勾配法
- ずり配向法
- SiO斜方蒸着法
- 磁場配向
- 配向転写法
- Langmuir-Blodgett法
- UV配向法
- 光異性化反応
- レリーフグレーティング法
- アモルファス配向法

光配向

1. 重合反応

M.Schadt, 姫路工大の川月先生の研究等が有名

2. 光分解

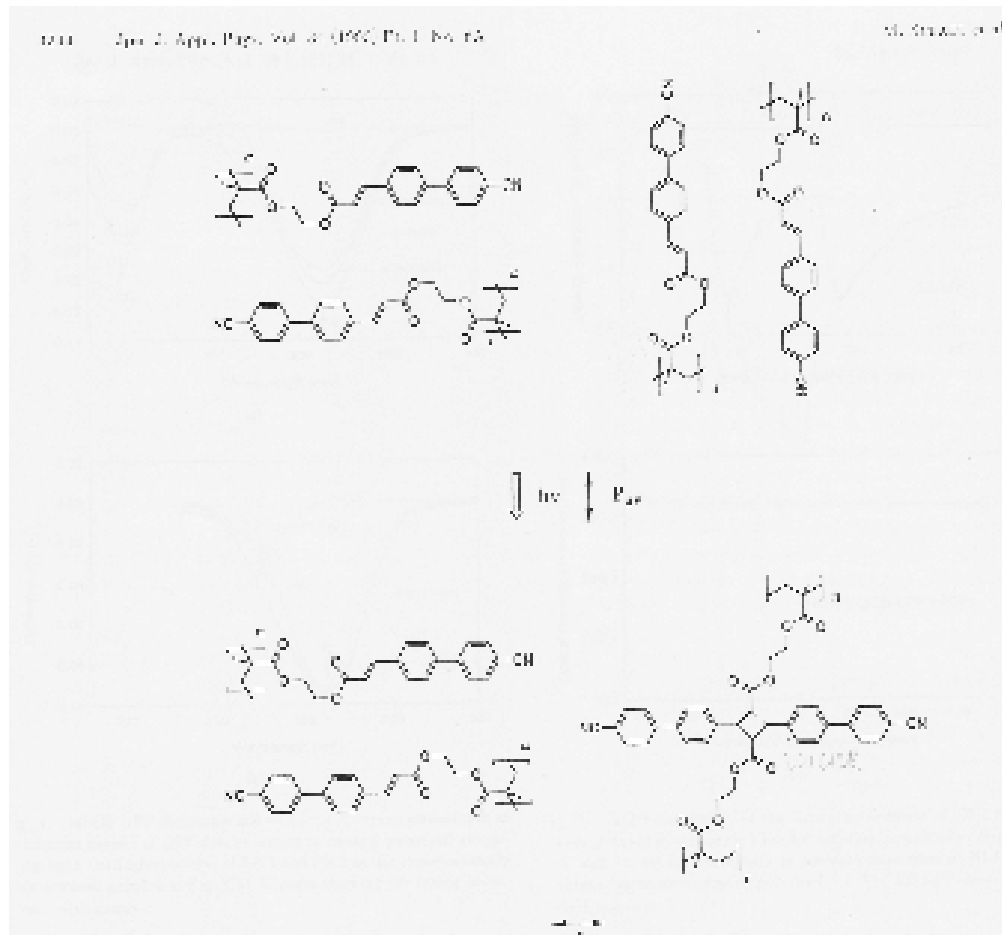
偏光UV光によって鎖を切る

3. 光異性化

東工大の市村教授らの研究が有名(ex.アゾ色素)

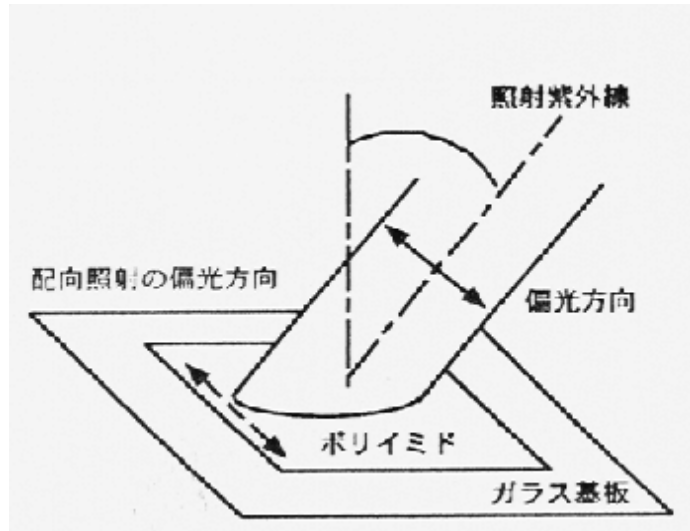
現在では数度～数十度程度のプレティルトが発現する物までである。

光重合反応



ポリビニルシンナメート等も有名

光分解反応



直線偏光UV光がポリイミドに照射されると、直線偏光と平行な高分子鎖が切断される。



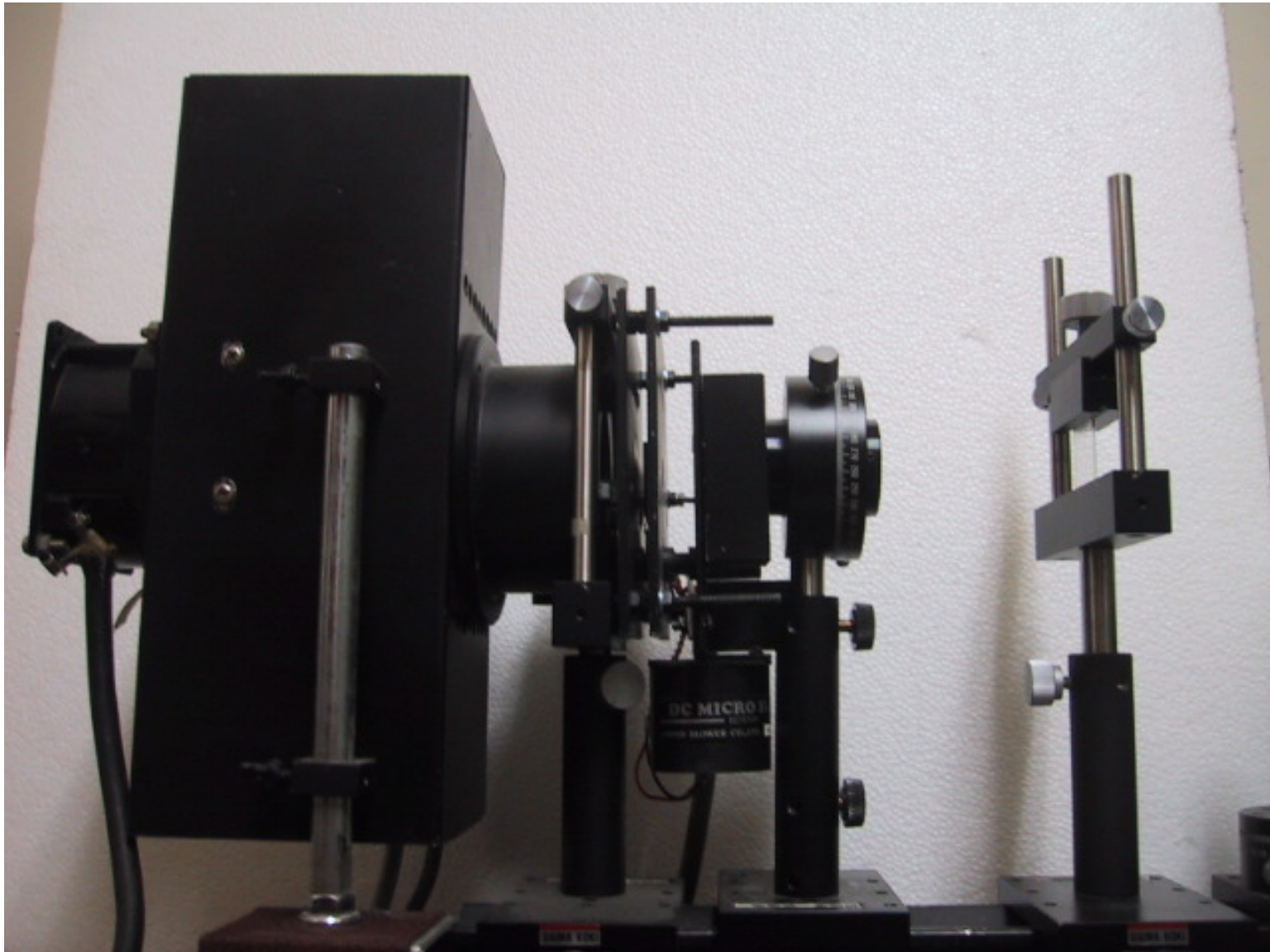
結果的に、残った高分子鎖と平行な配向が得られる。

CBDA-ODA

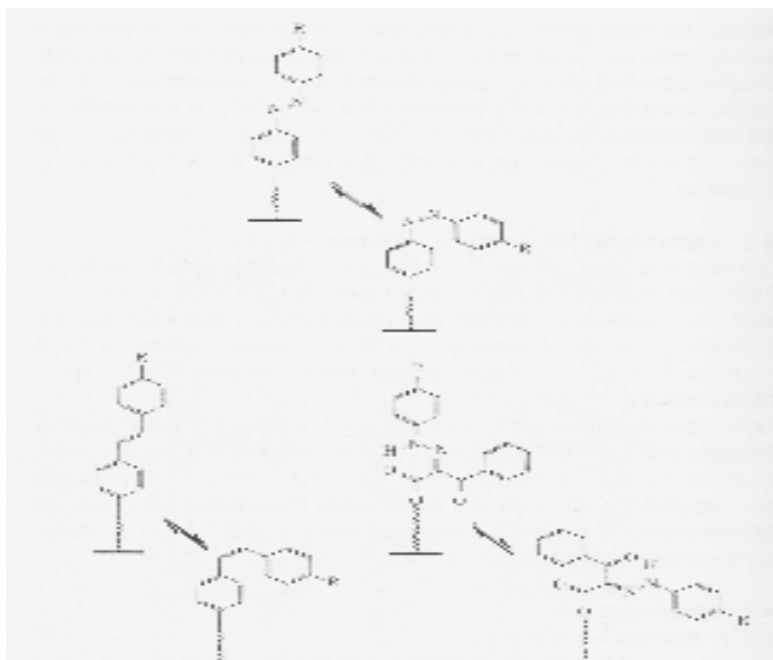
カルコン系材料が有名

装置例

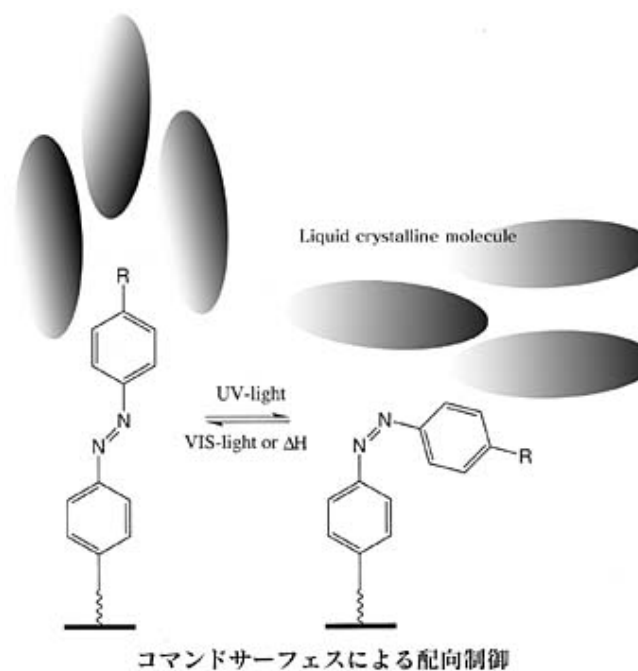
200mJ/□程度の光エネルギーが必要



光異性化反応

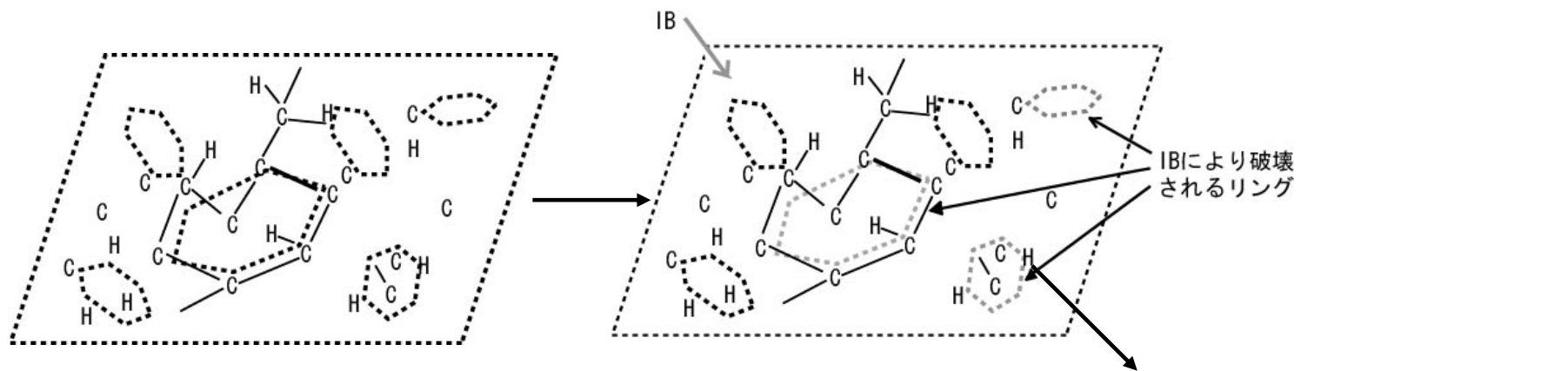


光によって、ホモホメオトロピック配向変化が可能



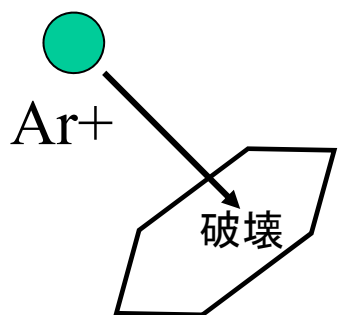
アゾ色素のシス＝トランス変化によって出来る分子の幾何構造変化

DLC/IB配向



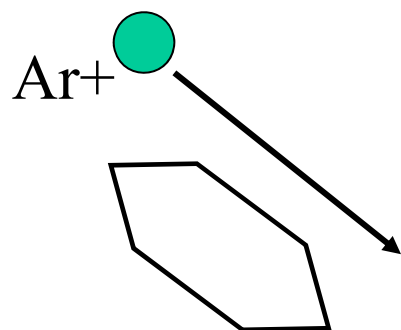
DLC=カーボンネットワーク

IB平行方向により多く生き残る



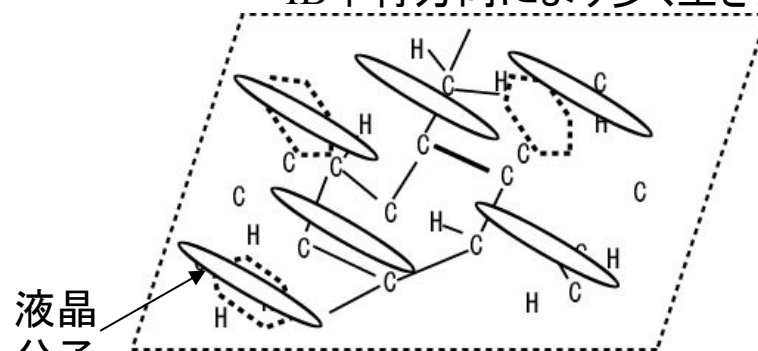
IBに垂直なカーボンリング

破壊される確率が高い



IBに平行にカーボンリング

破壊される確率が低い

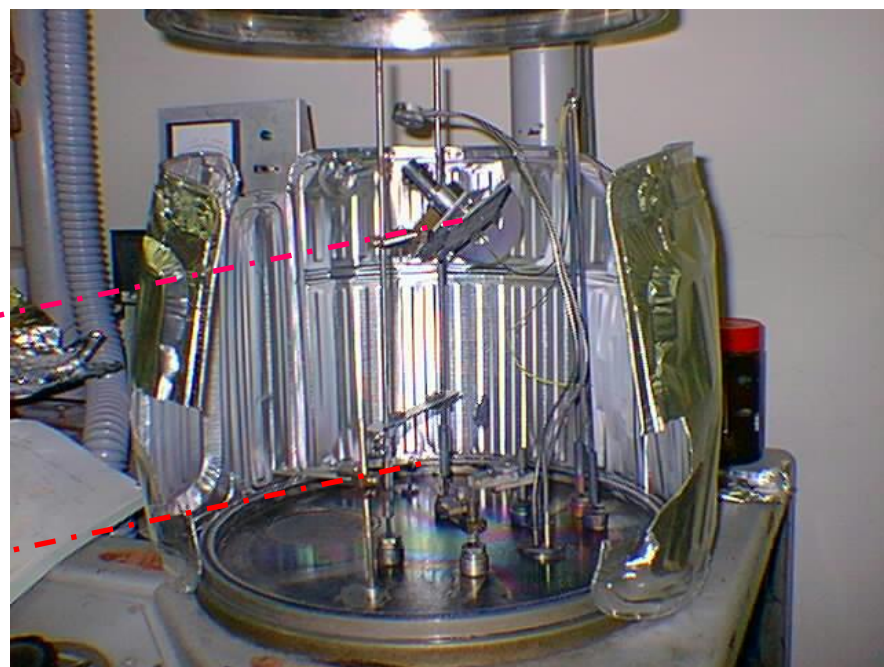


IB後のDLC膜と液晶配向

SiO斜方蒸着法

- 真空蒸着法によって無機のSiOを基板に蒸着する。
- Weakアンカリングである。
- 蒸着条件の制御によって、プレティルト角が制御できる。
- 真空プロセスが増えるという理由からこれまで敬遠されてきた。

装置例

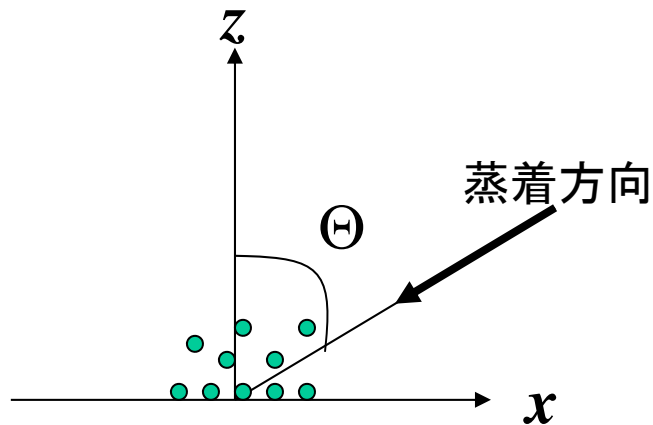


基板取付板
※角度が変えられる

SiOを入れたボート

SiO斜方蒸着法

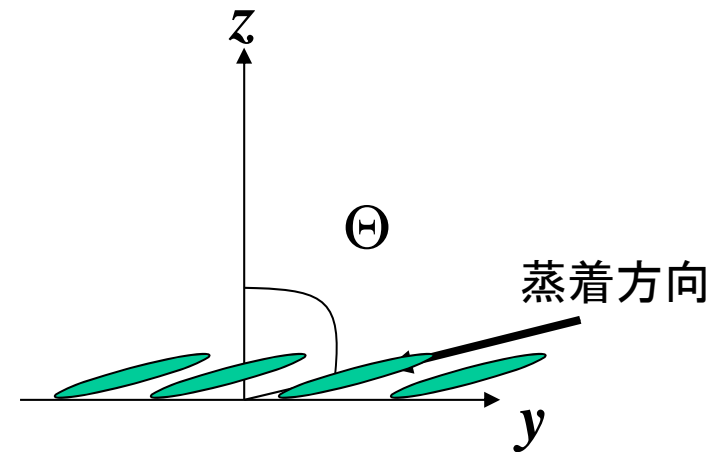
蒸着角によって得られる配向が異なる。



60° 蒸着

分子は紙面と垂直に配向。

(プレティルト角0° の水平配向)



85° 蒸着

分子はプレティルト角を持って配向。

電顕写真

針状のSiO堆積が
確認できる。

液晶若手研究会講演会(1994)

廣嶋綱紀『液晶分子配向技術』p19

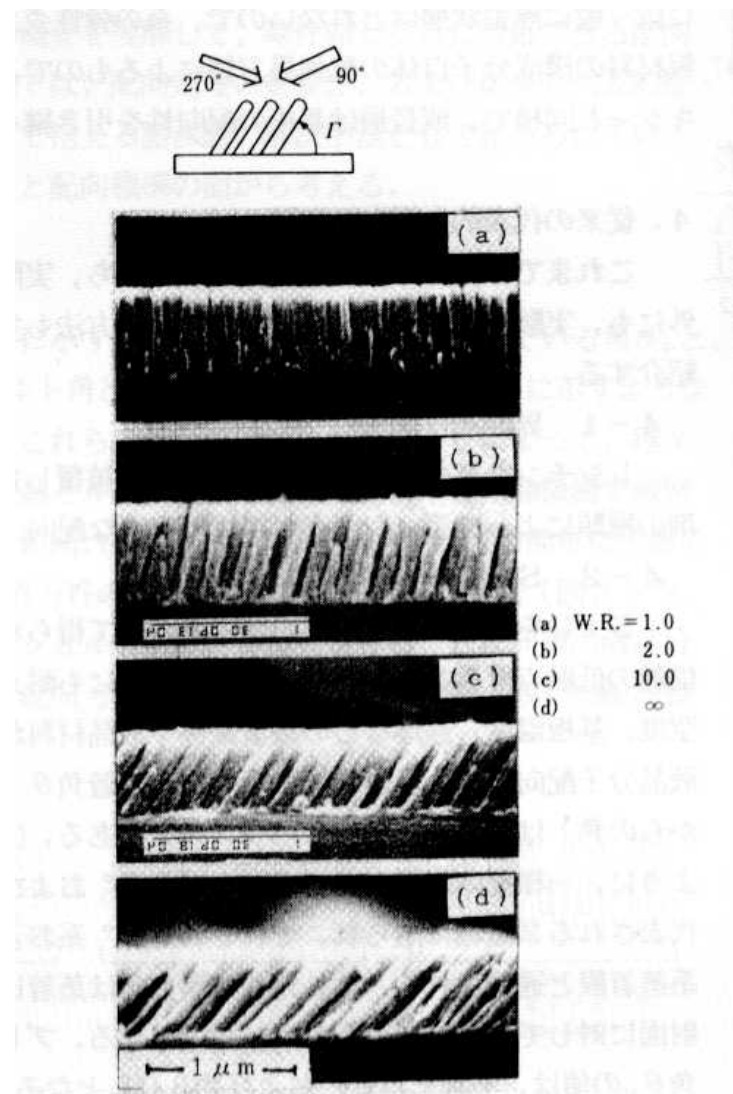
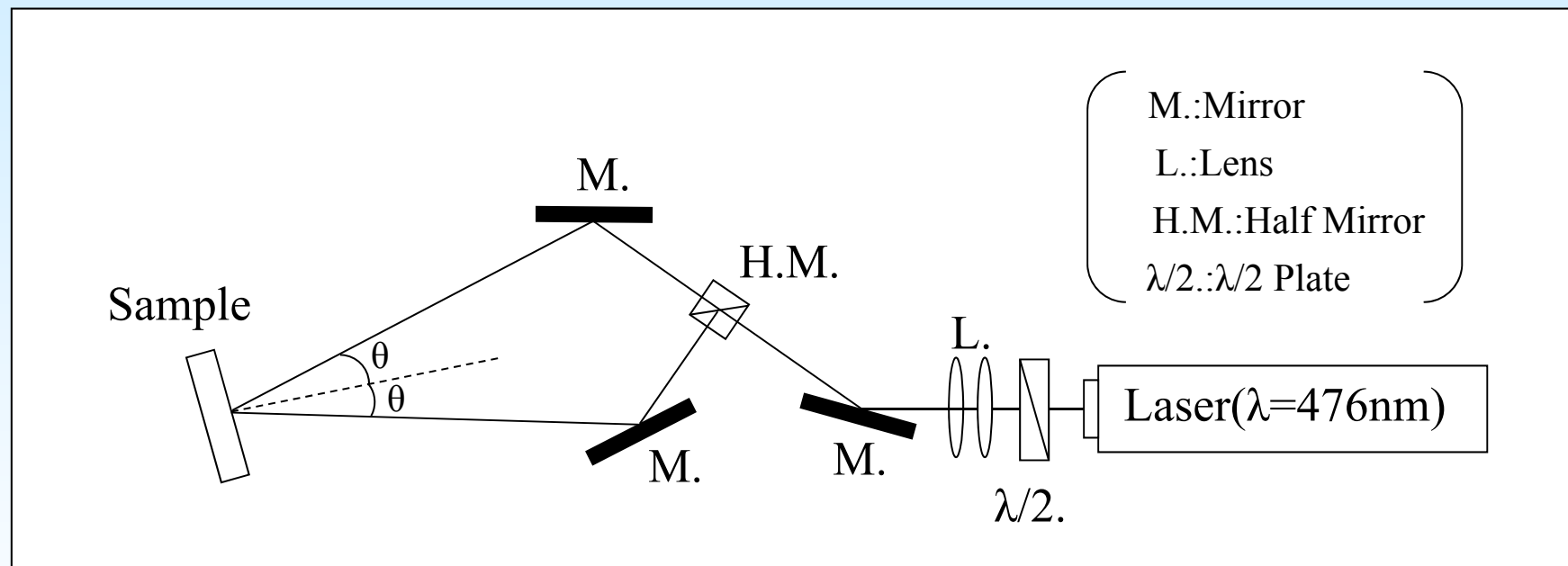


図9 SiO_{80°} 回転斜方蒸着膜の断面構造

● 光学系(2光束干渉法)

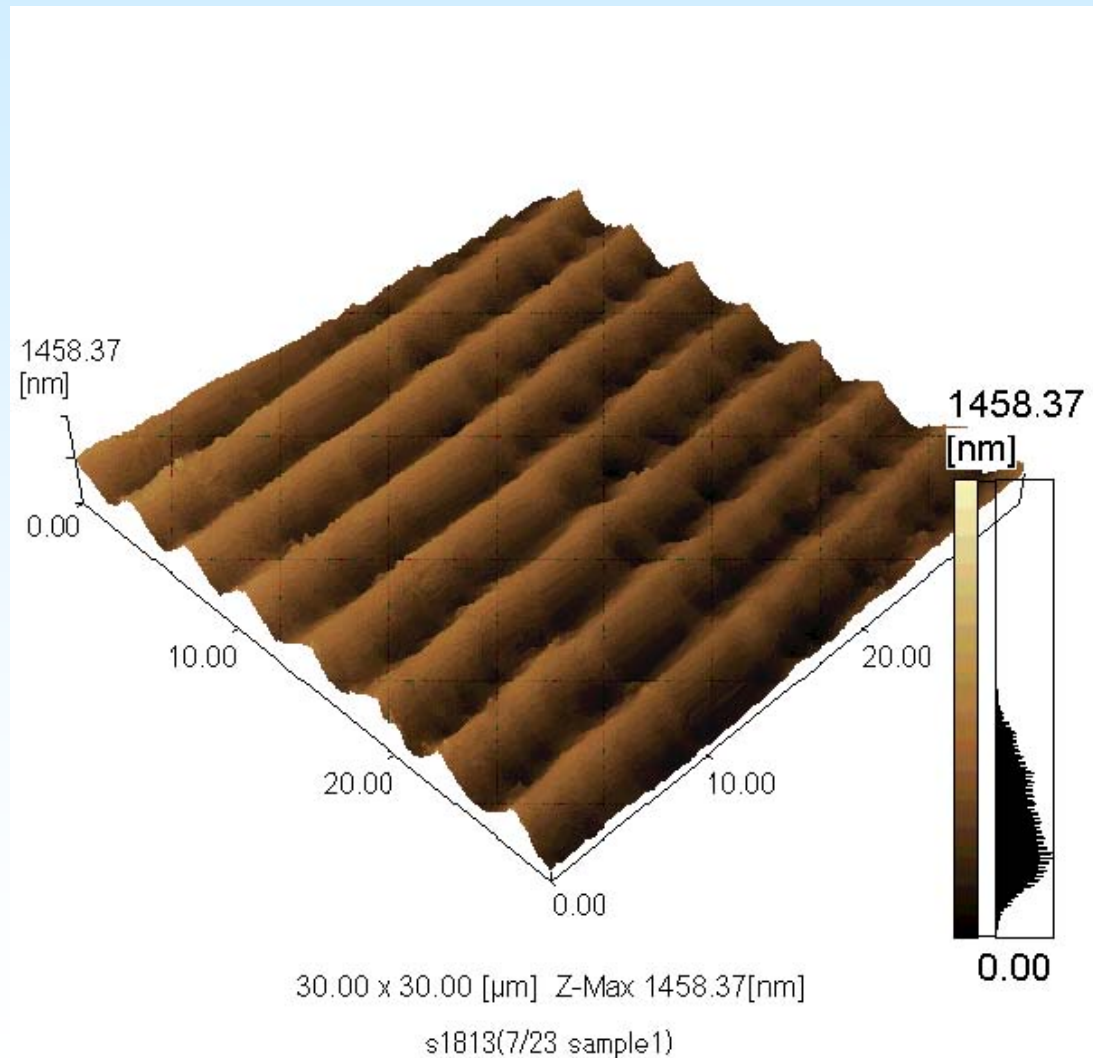


干渉縞周期 $\Lambda = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$

λ :レーザーの波長

θ を変えることによって、任意の干渉縞周期を得ることができる。

作製したグレーティングのAFM像



作製条件

- ・2光束干渉光
照射時間 8分
- ・現像 5分

グレーティング形状

- ・ピッチ: 4μm
- ・高さ: 0.5μm

参考

- 井上隆史、田平速:日本液晶学会機関誌『液晶』第10巻1号(2006)68ページ
北林宏佳、藤井治久:静電気学会講演論文集'00 13a A10 (2000年9月)
- Alignment Technologies and Applications of Liquid Crystal Devices; K.Takatoh 他
Taylor & Francis (2005)
- 足立幸志(東北大学):日本液晶学会サマースクール'98 予稿集

アンカリングエネルギーの測定法については

木村宗弘:日本液晶学会機関誌『液晶』第9巻3号～第10巻1号「界面アンカリングエネルギー測定法」(3回連載)

→液晶科学実験入門, 日本液晶学会編, シグマ出版 (2007) [上記解説収]