

## 2-2. 液晶ディスプレイ(LCD)の基礎

### 液晶ディスプレイの特徴

- 低消費電力(Low power consumption)
- 薄型(Thin thickness)
- 軽量(Light weight)
- 低駆動電圧(Low drive voltage): 10V以下



他のディスプレイを用いたのでは容易に実現できない特徴商品を、液晶ディスプレイを用いて実現できる。

### 2-2-a) 液晶ディスプレイの動作原理

液晶は物理的異方性と流動性を兼ね備えているため、外部から電界、磁界、熱、圧力などの刺激を加えることにより、液晶の分子配向を容易に変化させることができる。液晶相を示す物質をガラスなどの基板間に挟み、これに電界、磁界、熱、圧力などの外部刺激を与えて分子配向を変化させ、その結果として生じる光学の性質の変化を可視化したものが液晶ディスプレイである。外部刺激としては電界を用いるのがもっとも一般的である。

液晶にはいろいろなタイプのもがあるが、液晶ディスプレイ(LCD)に用いられる液晶は通常、低分子の棒状サーモトロピック液晶である。

電界を用いて液晶をスイッチングさせる場合、液晶の誘電率異方性と電界との相互作用、液晶の自発分極と電界の相互作用、液晶の導電性トルクなどが利用される。

また、配向変化を可視化するために、偏光板(図)がしばしば用いられる。

- 液晶材料を2枚の基板で挟む。
- 液晶の配向状態を外部刺激(電界、磁界、熱など)によって変化させる。
- 液晶の配向状態変化を光学的に可視化する。

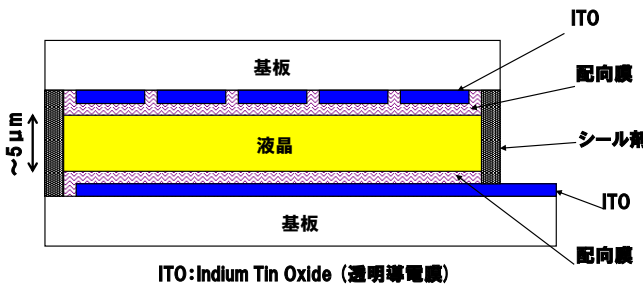


図. 液晶ディスプレイの動作原理

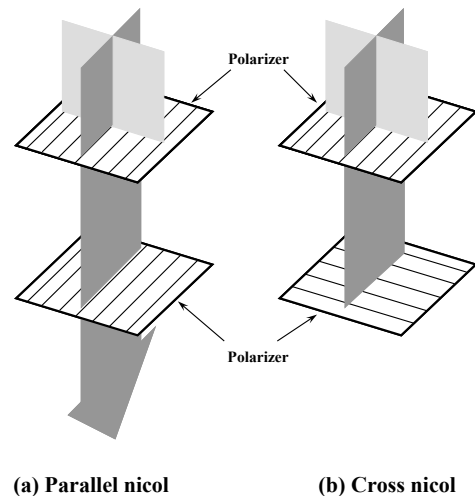


図. 偏光板の役割

#### <誘電率異方性を用いた液晶のスイッチング>

液晶ディスプレイにおいて液晶分子をスイッチングさせるもっとも一般的な方法は、液晶の誘電率異方性と電界との相互作用を利用するものである。

通常の液晶は電気を通さない物質であり、電界を加えたときに分極を発生する誘電体である。図1に示すように、棒状構造を有する液晶分子ではその方向によって誘電率の大きさが異なる。分子長軸方向の誘電率( $\epsilon_{//}$ )から短軸方向の誘電率( $\epsilon_{\perp}$ )を引いた値を誘電率異方性 $\Delta\epsilon$ という。液晶には、正の誘電率異方性( $\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp} > 0$ )のものと負の誘電率異方性( $\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp} < 0$ )のものがある。

液晶をガラスなどの基板間に挟んで電界を印加すると、大きな誘電率をもつ方向が電界の方向に揃うように配列し直す(図2)。すなわち、正の誘電率異方性( $\Delta\epsilon > 0$ )をもつ液晶に電界をかけると、分子長軸方向が基板に垂直な方向を向くように配列し直す。逆に、負の誘電率異方性( $\Delta\epsilon < 0$ )をもつ液晶に電界をかけると分子長軸方向が基板に水平な方向を向くように再配列し直す。

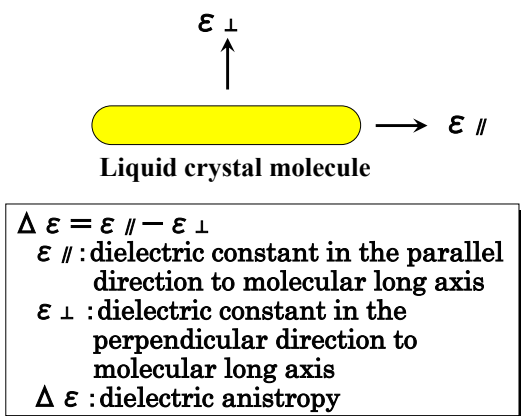


図1. 誘電率異方性

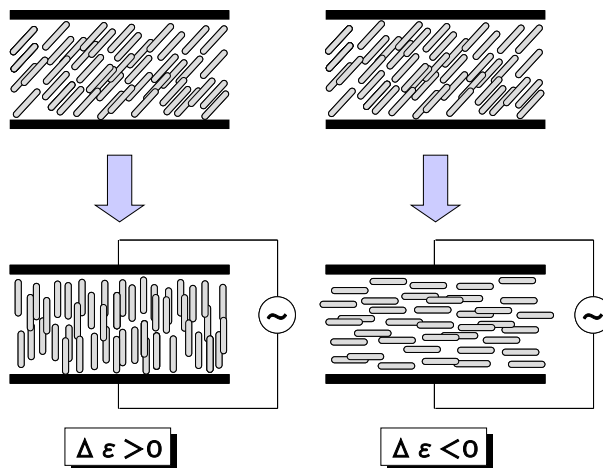


図2. 誘電率異方性と電界の相互作用による液晶のスイッチング

2-2-b) 液晶ディスプレイの基本構造

図1に液晶ディスプレイの基本構成の一例を示す。2枚の基板間に液晶を挟み、電界を印加する。基板間の距離は、通常数μmである。基板には、ガラス基板、プラスチック基板、シリコン基板などが用いられる。少なくとも一方には透明基板を用いる。電界を印加するための膜としては、ITO(Indium Tin Oxide)などの透明電極、金属膜などが用いられる。また、液晶を配向させるための配向膜を用いることが多い

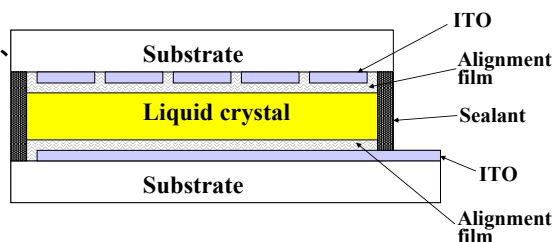


図1. 液晶ディスプレイの基本構成

2-2-c) 液晶ディスプレイの表示形態

液晶ディスプレイはその表示形態によって、透過型、反射型、プロジェクション型などに分類される(図1)。

透過型液晶ディスプレイは液晶パネルの背後にバックライトシステムを配置し、バックライトからの光の強度を液晶パネルで変調する方式である。

反射型液晶ディスプレイは外光からの反射を液晶によって制御することによって表示を行う。必要に応じて、補助光としてフロントライトを配置する。

プロジェクション型は、ランプからの光強度を液晶パネルによって調節し、液晶パネルを通過した光をスクリーンに投射する方式である。

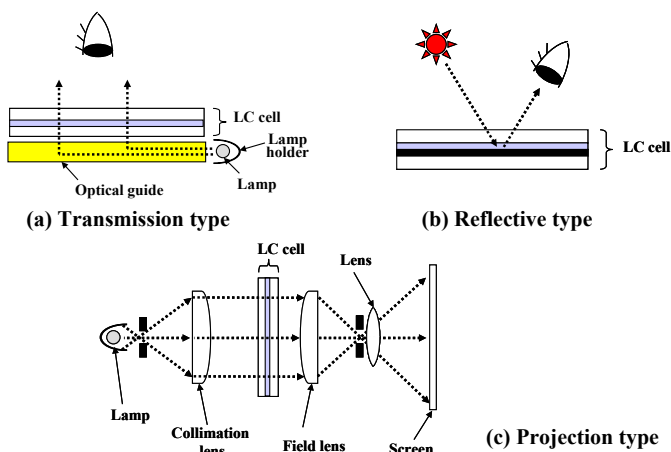


図1. 液晶ディスプレイの表示形態

### 2-2-d) TN型液晶ディスプレイ液晶の原理

TN(Twisted Nematic)モードは、1971年、Schadtらによって発明された[1]。

図1に、TNモードの原理を示す。2枚のガラス基板上には、ITO透明電極膜、配向膜などが形成されており、基板間に正の誘電率異方性( $\Delta \epsilon > 0$ )を有するネマティック液晶が挟まれている。2枚の基板の配向膜にはラビングなどによって、配向処理が施され、対向する基板の配向方向が直交するように配置されている。このため液晶は  $90^\circ$  振られた配向状態となる。通常、液晶ディスプレイの前後に一对の偏光板をセットする。一对の偏光板は、その偏光方向を互いに平行(パラレルニコル)に設置する方法と垂直(クロスニコル)に設置する方法があるが、図1においては偏光方向を互いに垂直にする方法で描いている。以下、この設定で説明する。

TNモードでは、セルの螺旋ピッチ $p$ ( $p=4d$ ,  $d$ :ネマティック液晶相の厚さ)が光の波長に対して次の関係式を満たす必要がある。

$$p \gg \lambda / (n_e - n_o) \quad (1)$$

ここで、 $n_e$ ,  $n_o$  はそれぞれ常光線屈折率、異常光線屈折率である。

式(1)はモーガン・リミット(Mauguin limit)と呼ばれ、コレステリック液晶(ツイステッドネマティック液晶)の螺旋軸方向に直線偏光が入射するとき、伝搬光の偏波面がコレステリック液晶の振れに追従して回転する条件を示している。尚、式(1)の条件が満たされない場合には、透過光は一般に楕円偏光になる。

TN液晶の電極間隔は通常  $5 \mu\text{m}$  程度である。それゆえ、振れのピッチ $p$ は  $20 \mu\text{m}$  程度となり、可視光の波長( $0.38 \sim 0.78 \mu\text{m}$ )に比べて十分長い。このため、ガラス基板に垂直に入射した直線偏光の偏波面は、セルを通過中に液晶分子の振れに沿って  $90^\circ$  だけ回転( $90^\circ$  旋光)し、他方の偏光板を通過する。それゆえ、無電界時には明状態となる。

液晶に十分高い電界を印加すると、液晶分子は分子長軸が基板に垂直になるように再配列する。このような分子配向では、一方の偏光板を通過してきた光の偏光方向は変化せず、光は他方の偏光板を通過できない。それゆえ、暗状態となる。また、中間的な電圧をかければ、液晶分子の配列状態も中間的になり、中間的な明るさを得ることができる。TNモードの場合、印加電圧は  $5\text{V}$  程度、応答速度は数十 msec 程度である。

[1] M. Schadt and W. Helfrich, Appl. Phys. Lett., **18**, 127 (1971).

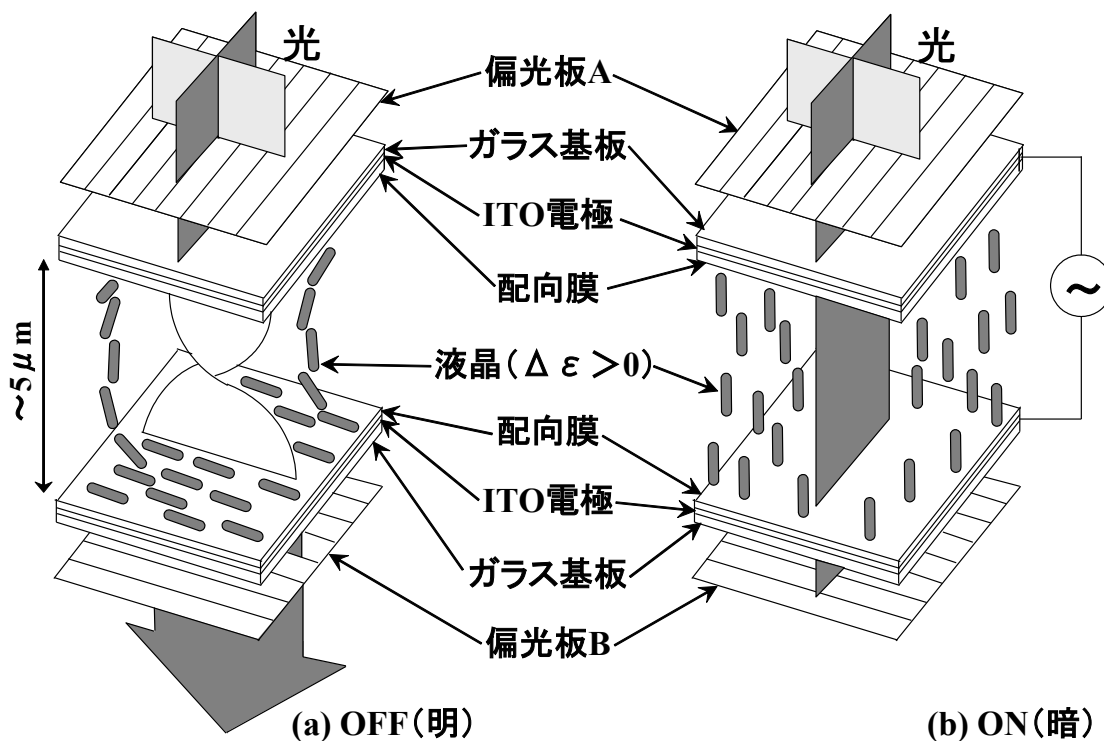


図1. TN型液晶表示モードの原理

## 2-2-e) 液晶の分子配向

液晶ディスプレイは、分子配向変化に伴う光学特性の変化を視覚変化に変換したものである。このため、特定の初期分子配向を作り出すことが非常に重要である。

### <代表的な液晶配向状態>

代表的な液晶配向状態を図1に示す。

ホモジニアス(Homogeneous)配向は基板に対して分子長軸がほぼ平行でかつ一方にそろっている配向である。

ホメオトロピック(Homeotropic)配向は、基板に対して分子長軸がほぼ垂直な配向である。

ティルト(Tilted)配向は、基板に対して、液晶分子長軸が一定の角度傾いている配向である。

ハイブリッド(Hybrid)配向は、水平配向処理を施した基板と垂直配向処理を施した基板とを組み合わせた配向である。液晶分子長軸と基板のなす角度が、液晶層厚方向で連続的に変化しているのが特徴である。

ツイスト(Twisted)配向は、液晶分子長軸の方向が液晶セル内で連続的に変化している配向である。

プラナー(Planar)配向は、コレステリック液晶で得られる配向で、セル内で螺旋構造をとっている配向である。

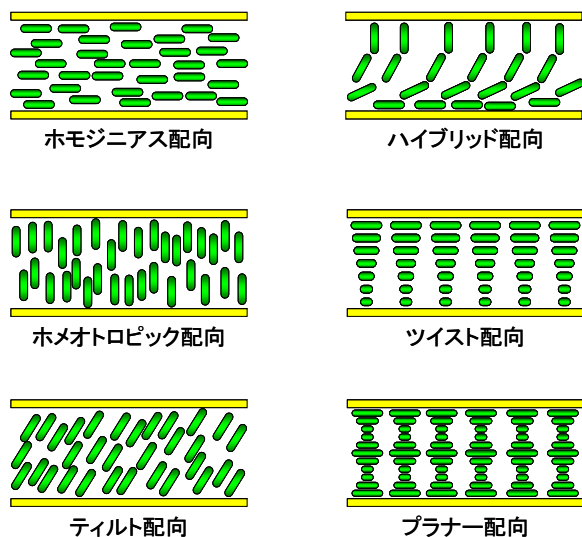


図1. 液晶の代表的な配向状態

### <配向膜界面における液晶の配向>

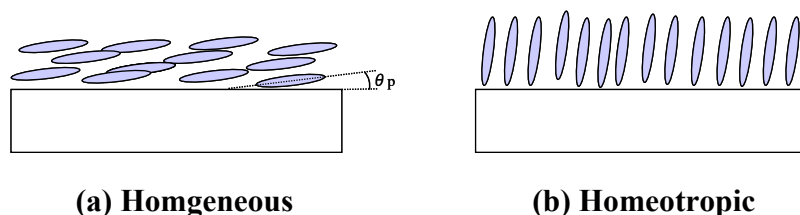
前節で述べた各種の液晶配向状態は、通常、基板上に配向処理層(配向膜)を形成し、この配向膜面における液晶分子の配列を制御することによって得る。

配向処理層界面による液晶配向制御の代表例を図1に示す。

ホモジニアス(Homogeneous)配向(水平配向)は基板に対して分子長軸がほぼ平行になる配向で、通常、面内での分子長軸方向を一定方向にそろえるための配向制御を併せて行う。また、一般的には、基板に対して分子長軸をわずかに傾ける。この角度をプレティルト角( $\theta_p$ )と呼ぶ。

ホメオトロピック(Homeotropic)配向(垂直配向)は、基板に対して分子長軸がほぼ垂直な配向である。この場合も、実用的には、厳密に垂直ではなく、どちらかの方向にわずかに傾けるのが一般的である。

ティルト(Tilted)配向(傾斜配向)は、液晶分子長軸の方向を基板に対して一定角度傾けた配向である。



(a) Homogeneous

(b) Homeotropic

図1. 配向処理層界面による液晶配向制御の代表例

<代表的な配向処理技術>

所望の配向を作り出す液晶の分子配向制御プロセスとしては、斜方蒸着法、ラビング法、光配向法などがある。

斜方蒸着法は、SiO, MgO, MgF<sub>2</sub>などを基板に対して斜め方向から蒸着して基板に特定の形状の凹凸構造を形成するもので、液晶分子配向はこの凹凸形状によって制御される(図1)。

ラビング法は液晶ディスプレイの工業生産でもっともポピュラーに用いられている手法である。通常、図2に示すように、液晶配向膜として基板にポリイミドなどの高分子膜(通常、厚さ数百μm)を形成し、その上をラビング布でラビングする。ラビング処理により液晶分子長軸の平均方向がラビング方向を向く。この時、液晶分子が多少基板から立ち上がる。この角度をプレティルト角といい、液晶の配向制御では非常に重要なパラメータである。

光照射配向法は直線偏光などの光照射によって有機膜の表面に異方性を生成し、液晶を配向させる手法である。一例を図3に示す。

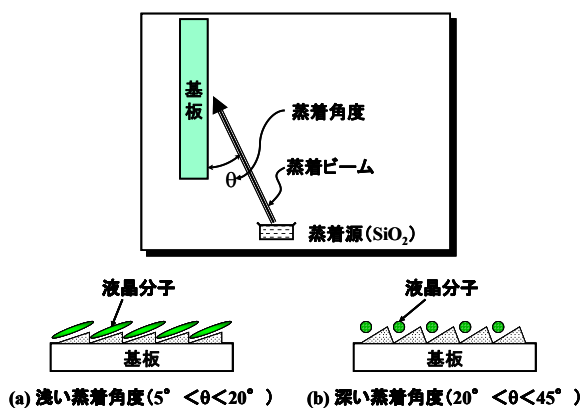


図1. 斜方蒸着法

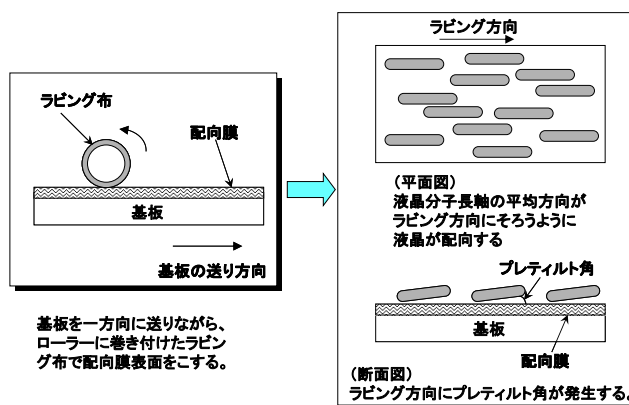


図2. ラビング法

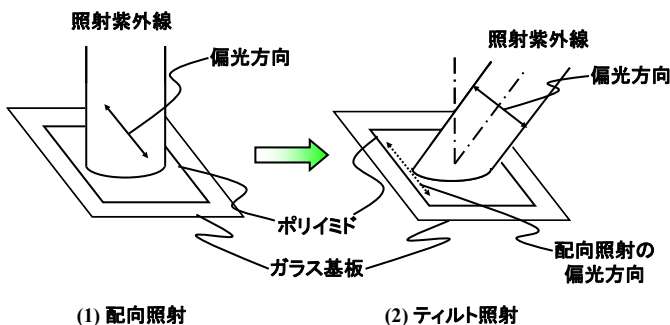


図3. 光配向