

小論文

ネマティック液晶セルの界面インピーダンス

間 多 均*, 西 河 輝*

(1993年11月22日受理)

Surface Impedance of Nematic Liquid Crystal Cell

Hitoshi MADA* and Akira NISHIKAWA*

(Received November 22, 1993)

Impedance of liquid crystal cell had been measured in frequency range from 0.01 Hz to 10 MHz. The equivalent circuit was derived from the data. The equivalent capacitance and resistivity of liquid crystal layer and aligning layer were estimated. Electric double layer at the interface between liquid crystal and electrode was also evidenced by this method.

1. 序 論

固体を何らかの方法で摩擦した表面では、液晶分子はその長軸を摩擦方向に向けて一方向に配向することがよく知られている。この現象は現時点では理論的に未解決であるが、液晶と固体表面の界面現象である点には間違いない。一方、液晶表示デバイスを長期間駆動した場合におけるパターンの焼き付き現象は、液晶中の不純物イオンが液晶界面でつくる電気二重層が原因であると言われている。このように液晶にとって解決すべき重大な問題点は液晶と配向層（または電極）界面に深く係わっている¹⁾。界面に関する研究はかなり進んできてはいるがほとんど解決されておらず、特に電氣的な界面現象については筆者らの知るかぎりでは存在しない。

本小論文では、液晶試料の電氣的インピーダンスを広い周波数範囲で測定することにより界面の情報を得ようと試みた結果を報告する。

2. 実 験

正の誘電異方性を有するネマティック液晶であるベンチルシアノビフェニルを実験に用いた。インピーダンス測定用のセルを組むために、脱アルカリガラス、テフロンスペーサ（厚さ 12.5 μm ）を用いた。これらの材料を用いたのは不純物（特にイオン性の不純物）が液晶中に

抽出されるのを防ぐためである。液晶を試料セル全体にわたって良好な単一領域とするための配向材は、シクロブタンテトラカルボン酸二無水物と 2,2-ビス [4-(アミノフェノキシ)フェニル] プロパンの反応によって得られるポリイミドで、約 80 nm の厚さとした。比較のため、配向材を塗布しない電極のみの試料も実験に供した。通常の透明電極は ITO が使用されるが、インジウムと錫の成分比によりその性質が変化するため、本実験では酸化インジウムのみを電極材料として使用した。有効面積 $S=8.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、抵抗値 $34 \Omega/\square$ である。電極の構造はガードリングを設けた 3 端子電極とした²⁾。

液晶を単一領域に配向させるために配向膜表面または電極表面をラビング処理した。セルの組立、液晶の注入は恒温恒湿室で行い、液晶セル中にはイオン性不純物が混入しないよう金属器具は使用せず、真空注入した。配向膜付きセルも電極のみのセルも一様なホモジニアス配向であることを偏光顕微鏡で確認した。

試料セルのインピーダンスは周波数 0.01 Hz から 10 MHz までの範囲をインピーダンスメータ (Solatron 1260) を用いて測定した。測定温度は $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、測定電圧は 0.1 V_{rms} であり、液晶の閾値電圧以下である。直流バイアスの影響を調べるため直流 10 V の印加電圧がある場合とない場合の比較測定も行った。

3. 実験結果と考察

実験で得られたセルインピーダンスの周波数特性を図 1 に示す。横軸縦軸はそれぞれ対数表示で、縦軸はインピーダンスの絶対値で表示してある。実験値のプロットは丸印が配向膜のある試料で、三角印が配向膜のない電

キーワード：液晶、界面インピーダンス、電気二重層、イオン伝導

* 帝京大学理工学部電気電子システム工学科 (320 栃木県宇都宮市豊郷台 1-1)

School of Science and Engineering, Teikyo University, Toyosatodai, Utsunomiya, 320 Japan

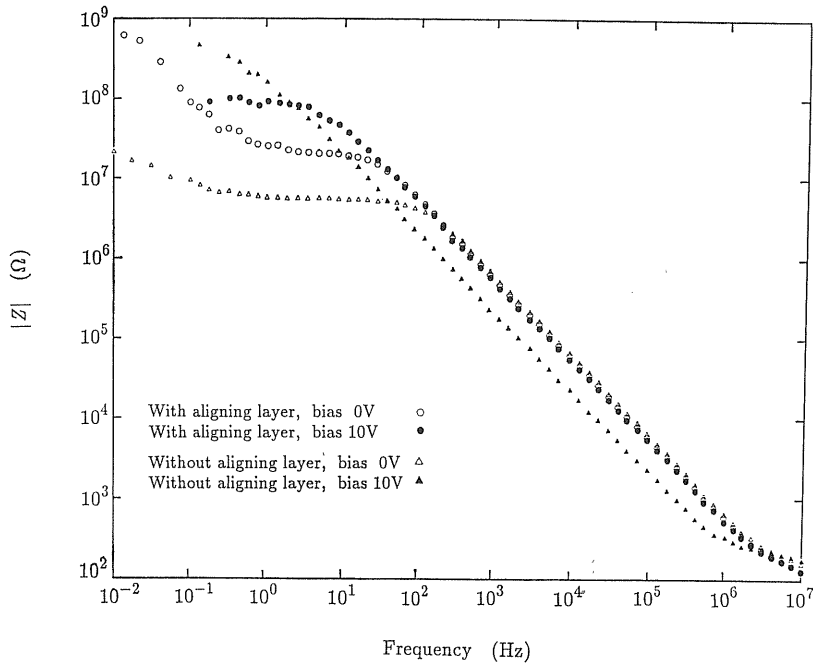


図1 液晶セルインピーダンスの周波数特性

Fig. 1 The frequency dependences of the absolute value of liquid crystal cell impedance.

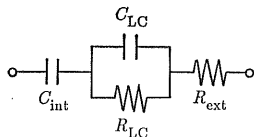
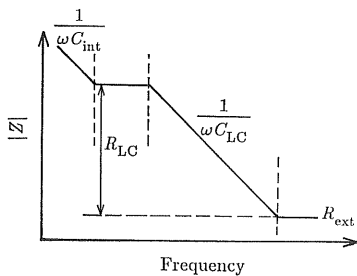


図2 インピーダンスの周波数特性と等価回路

Fig. 2 Equivalent circuit and its frequency dependence of impedance.

極のみの試料である。また、それぞれ中抜き印が直流バイアスを印加していない場合である。同様に図2に模式的なインピーダンスの周波数特性とその等価回路を示した。得られた結果から求めた等価回路の各定数を表1に示す。実験で用いたすべてのセル、条件に対して、直

表1 インピーダンスの周波数特性から得られたパラメータ値

Table 1 Several parameters obtained from the frequency properties of impedance.

	With aligning layer		Without aligning layer	
	Bias 0 V	Bias 10 V	Bias 0 V	Bias 10 V
R_{ext} [Ω]	10^2	10^2	10^2	10^2
C_{LC} [pF]	280	320	260	770
R_{LC} [Ω]	2.2×10^7	10^8	5.5×10^8	10^9
C_{int} [nF]	19		720	

列抵抗 R_{ext} 値は約 200Ω となった。透明電極の抵抗値が $34 \Omega/\square$ であることから、 R_{ext} は発振器の出力インピーダンス (50Ω) と電極の抵抗値の和を示していることが分かる。抵抗 R_{LC} と容量 C_{LC} の並列回路での各値は表1で示したようにすべて異なった値を示している。直流バイアスの印加により、液晶のダイレクタは電極に垂直となり見かけの誘電率が大きくなる。それと同時に液晶中のイオンは両電極にドリフトしてバルク中ではその濃度が減少する。したがってセルの静電容量、抵抗率

ともに直流バイアス印加により増加すると考えられる。配向膜がないセルではバイアスの有無で静電容量が約3倍の差があるが、これは使用した液晶の誘電率異方性比が約3であることから分子は界面に対してほぼ垂直になっていると考えてよく、実際直交=コル偏向顕微鏡下で観測すると暗視野となった。一方、配向膜のあるセルでは、直流バイアスの有無で静電容量の差があまりない。これは、電界によりドリフトしたイオンが、配向膜界面に蓄積され、その逆電界で液晶にかかる実効電圧が減少されているためと考えられる³⁾。配向膜がない場合は電極界面で中和が起こっているため、このような差が生じたものと考えられる。同様の現象は液晶の誘電特性にも反映されており、すでに本著者らにより報告されている⁴⁾。このように並列回路は液晶層の等価回路を表現していることが分かる。

直列容量 C_{int} は直流バイアスがない場合にしか検出できなかった。配向層のあるセルにおいて、静電容量 C_{int} の値はほぼ 20 nF となった。この値は電極の有効面積が $8.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ であることと、配向層の厚さが 800 Å でポリイミドの比誘電率が約3であることから配向層の等価回路の値と見なすことができる。ただし、等価回路の値は試料の両界面の配向層の直列合成値である。ところが、配向層のないセルにおいては図1から正確な値ではないが約 700 nF と1桁以上大きい値を示している。配向層がないのでこの値が示す静電容量は電極と液晶界面での電気二重層が原因と考えざるを得ない。電気二重層は単純なヘルムホルツ型と仮定し、比誘電率は液晶の短軸方向の比誘電率であると仮定すると、平行平板のギャップとして $\epsilon_{\perp} S / C_{int}$ からほぼ 3 nm が得られる。このことは液晶中のイオンが電極表面にほとんど

直接接触していると解釈することができる。

バイアス印加時に C_{int} が検出されなかったのは、界面での電気二重層の静電容量が非常に大きい値であり、かつ液晶層の抵抗率もかなり高くなるためその緩和周波数がその分低くなるからであると考えられる。したがって、直流バイアス印加時の C_{int} を検出するためにはより低周波側のインピーダンスの測定が必要なことを意味している。

4. 結 論

広帯域にわたって液晶セルのインピーダンスを測定した結果、低周波数領域において液晶界面の情報を得ることができることが明らかとなった。特に従来から言われていた界面での電気二重層の存在を実験的に明確に示すことができた。しかし、ファラデーインピーダンスなどの界面情報に関してはさらに低周波側にあると思われる、今後より詳細なインピーダンス測定が必要である。

謝 辞

セル作成に必要な各種材料を提供していただいたメルクジャパン株式会社および日産化学株式会社の関係各位に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 例えば、第19回液晶討論会講演予稿集、応用物理学会・高分子学会・日本化学会 (1993)
- 2) H. Mada and S. Yoshino: Jpn. J. Appl. Phys., 27 (1988) L1361
- 3) H. Mada and K. Osajima: J. Appl. Phys., 60 (1966) 3111
- 4) H. Mada and A. Nishikawa: Jpn. J. Appl. Phys., 32 (1993) L1009