

卒業論文要旨

くし形電極セルにおける分子配向場の数値シミュレーション

システム工学群

流体工学研究室 1200033 大熊 風葵

1. 緒言

液晶研究は LCD を目的とされたものが多くを占め、その内容は液晶の光学的な性質を利用したものとなっている。しかし、近年パネル製造の技術の成熟化や有機 EL の登場など液晶はその利用の多様化が求められる段階に達しており、液晶の電場応答性や背流効果などの流体力学的な性質を活用し、無定形アクチュエータやマニピュレータとして機械分野での利用について研究がなされている。

液晶は実際に液晶分子がどの向きを向いているかを計算によって求めることができる。またその配向には液晶分子にかかる電場の大きさや向きが影響を受けているため正確な電場の計算が不可欠となる。本研究は横電界に着目し、片側の電極のみで横電場をかけることのできるくし形電極セルを用いる。セル内で、液晶の分子配向がどのような分布を示すかについて数値シミュレーションによって明らかにする。

2. 計算条件

今回実験で用いる液晶セルは図 1 のような構成になっているに示す。

厚さ $16[\mu\text{m}]$ 、幅 $1300[\mu\text{m}]$ 、ベタ基盤厚さ $700[\mu\text{m}]$ となっている。

ベタ基盤、くし形電極の表面は垂直に配向処理がなされている。

このセルの液晶部に光を透過したときの偏光を計算するために電極に電荷をかけた場合の液晶分子の配向について求める必要がある。

くし形電極は正極と負極が櫛のように交互にかみ合わせられた電極である。この電極を用いれば平板の電極のように挟み込むことなく片面に設置された電極に電荷をかけることで簡単に横電場を生み出すことが可能である。(図 1 を参照)

なお、今回使用したくし形電極は幅 $50[\mu\text{m}]$ 、間隔 $50[\mu\text{m}]$ となっている。その他のくし形電極の寸法を表 1 に示す。

液晶セル上の測定対象は図 1 に示す通りくし型電極上に収まり、くし形電極が作る電場についてのシミュレーションは正極と負極が交互に一定間隔で現れる箇所を求めればよいので 2 次元空間での解析で全地点での電場を求めることができる。解析範囲は図 2 のように正極と負極が 1 つずつ現れる箇所について解析ができればこれについての結果をパターン化することでくし形電極における解析範囲をすべて網羅することができる。

この電極における電場の分布について事前に計算をする。電場の強度 E と電束密度 D は誘電率 ϵ を用いて

$$D = \epsilon E \quad (1)$$

の関係がある。

ここでマクスウェルの定理より

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (2)$$

ここで静電ポテンシャル ϕ と電場強度 E は

$$\nabla \phi = E \quad (3)$$

であることより

$$\nabla \cdot \nabla \phi = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (4)$$

二次元空間における静電エネルギーを

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_x \\ \phi_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

とすると(5)式は

$$\frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial y^2} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (6)$$

と置ける。ここで真電荷が存在しない($\rho = 0$)と仮定すると

$$\frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

となる。

静電ポテンシャル ϕ は透過光の計測実験で扱った数値は $1 \sim 10[\text{V}]$ であるので中間にあたる電圧 $5[\text{V}]$ を用いて

$$\begin{cases} 25[\mu\text{m}] \leq x \leq 75[\mu\text{m}] \wedge y = 0 \Rightarrow \phi_{(x,y)} = 0 \\ 125[\mu\text{m}] \leq x \leq 175[\mu\text{m}] \wedge y = 0 \Rightarrow \phi_{(x,y)} = 5 \end{cases} \quad (8)$$

とおく。

また、差分近似で用いる格子幅は

$$\begin{cases} \Delta x = 0.5[\mu\text{m}] \\ \Delta y = 0.5[\mu\text{m}] \end{cases} \quad (9)$$

とする。(4)式より求めた静電ポテンシャル ϕ を微分することで座標ごとの電場を求める。

誘電率電場とブレチルト角の関係は

$$\begin{aligned} \sin 2\theta & \left\{ \{E_x^2 + E_y^2\} \Delta \epsilon + (K_1 - K_3) \left(\left\{ \frac{\partial \theta}{\partial y} \right\}^2 - \left\{ \frac{\partial \theta}{\partial x} \right\}^2 + 2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x \partial y} \right) \right\} \\ & + \cos 2\theta \left\{ -2E_x E_y \Delta \epsilon - (K_1 - K_3) \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) \right\} \\ & - (K_1 - K_3) \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

となっている。

またくし形電極、ベタ基盤はともに垂直配向処理がなされている。よって電極、ベタ基盤に面した境界において

$$\theta = 90[^\circ] = \frac{\pi}{2}[\text{rad}] \quad (11)$$

と置くことができる。

また、5CB の液晶を想定し、弾性定数 K_1 、 K_3 を

$$K_1 = 6.37 \times 10^{-12} \quad (12)$$

$$K_3 = 8.6 \times 10^{-12} \quad (13)$$

液晶の比誘電率 $\Delta\epsilon$ を

$$\Delta\epsilon = 4.35 \times 10^{-12} \quad (14)$$

とおく.

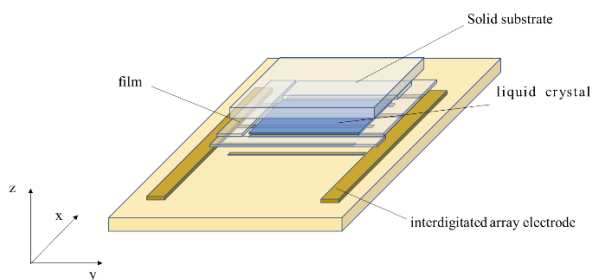


Figure1 interdigitated array electrode.

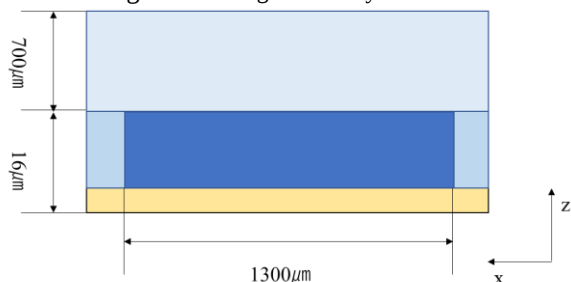


Figure 2 measurement of liquid crystal cell on interdigitated array electrode.

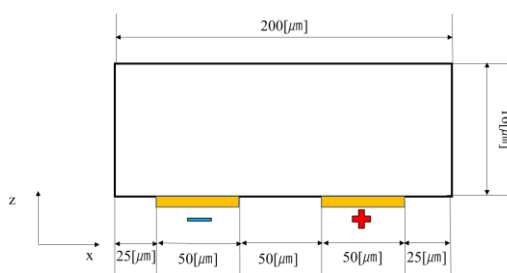


Figure 3 analysis range.

3. 計算結果

くし形電極の電場分布を図3に示す.

正極上, 負極上の電場はそれぞれその間に分布する横電場と比較すると小さな上向き, 下向きの電場となっており電極間の横電場の電場強度はくし形電極側からベタ基盤側までほぼ一定で分布している. 電場の向きに沿って回転する液晶分子の特性より約 50 μm間隔で液晶分子は, が生まれているということが分かる.

また, 図5に印加電圧 5V, 図6は印加電圧 10V の場合の分子配向の結果を示す.

印加電圧が大きいほど電場に影響され横向きの分子が増えていることが分かる. 電極間の液晶分子の傾きは各電圧において電極上部では初期状態の垂直配向から変化していない. これは電場が垂直方向に働いている点と電極間の横電場よりもかなり弱い電場であることに起因する.

電極間において電極ごとに傾きがほとんど変化していない箇所が存在しており, その位置の x 座標は印加電圧が増すごとに負電極へとずれていっており, 10V ではそのわずかな傾きも下部側では右に上部側では左に黒線が傾いていることが確認できる.

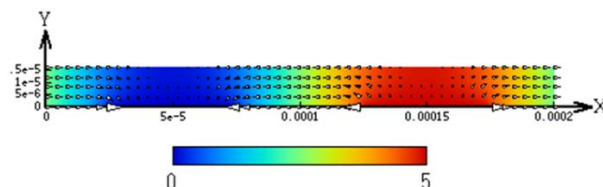


Figure 4 electric field and electrostatic potential on interdigitated array electrode.

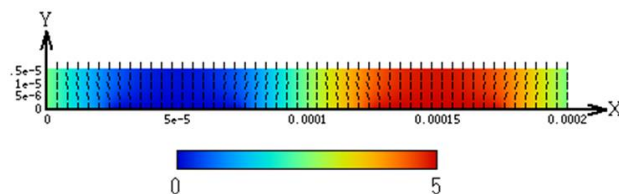


Figure 5 Orientation field on interdigitated array electrode.5V.

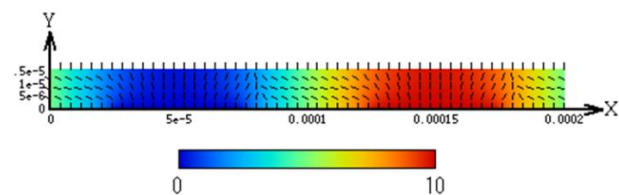


Figure 6 Orientation field on interdigitated array electrode.10V.

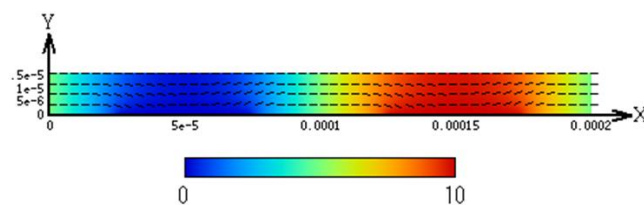


Figure 6 Orientation field on interdigitated array electrode.10V (horizontal alignment)

4. 結言

クシ形電極における電場は, 電極中央において垂直な方向に働いていることが, また正電極負電極の中間点においては水平方向に電場が働いているという結果が得られた. これは電気力線の形状に基づく形となっており, 想定していた電場分布と近いものとなった.

液晶はおおよそ電場の分布に基づいて分子配向は変化し, 印加電圧の増加に伴って分子配向に与える影響が大きくなり, より電場の分布に近い形へと変化していくことがわかった.

しかし, 分子配向はこの電場の分布に沿わない箇所も存在しており, これは差分法による角度の微分結果が本来の形とは違う形になってしまう箇所が存在することに起因しており, 新たな離散化方法の策定をする必要がある.

文献

- (1) 横山 浩, 近藤 克己, 岩壁 靖, 横倉 久男, “アンカリング強度の高精度測定の可能性と問題点”, 液晶討論会講演予稿集, 第17回 液晶討論会, 1991/09/23 - 1991/09/25.
- (1) 山口留美子, “液晶科学実験講座第18回: 表計算ソフトを用いた液晶セルの光学シミュレーション(その1)”, 液晶: 日本液晶学会誌: Ekisho. 10(2), 2006/04/25
- (2) 木村宗弘, “液晶科学実験講座 第15回: 界面アンカリングエネルギー係数測定法(その1)”, 液晶: 日本液晶学会誌: Ekisho. 9(3), 2005/07/25.
- (3) 金原繁, 梶谷剛, 濱島高太郎, 塚田啓二, 杉本秀彦, “専門基礎ライブラリー電磁気学”, 実教出版株式会社, 2018/4/1