

平成 22 年 4 月 22 日現在

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2008～2009
課題番号：20760004
研究課題名 (和文) 極角アンカリング強度測定による液晶配向メカニズムの解析と
高性能デバイスへの新展開
研究課題名 (英文) Measurement of polar anchoring strength and analysis of the
mechanism of surface liquid crystal alignment
研究代表者
石鍋 隆宏 (ISHINABE TAKAHIRO)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30361132

研究成果の概要 (和文)：

本研究では極角アンカリング強度の高精度測定法の確立について検討を行い、平行配向液晶セルの内部において生じる多重干渉の入射角依存性の評価から液晶の配向分布および極角アンカリング強度が決定できることを明らかにした。更に、この測定法を用いて様々な配向膜における極角アンカリング強度の温度依存性の測定を行い、この結果、液晶の表面吸着と配向力との間には密接な関係があることを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

A simple and highly accurate measurement method was devised for the alignment distribution of liquid crystal molecule and surface polar anchoring strength by considering the incident angle dependence of multiple interferences in the homogeneous alignment LC cell. We measured the temperature dependence of the polar anchoring strength on the surface of alignment layers and clarified that there is a relation between the polar anchoring strength and the LC absorption layer on the surface of alignment layers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：ディスプレイ、液晶、極角アンカリング強度、温度依存性、多重干渉、吸着現象

1. 研究開始当初の背景

次世代のエレクトロニクスは高度な動画による情報交換を中心として、大きく発展するものと考えられている。この中でマンマシンインターフェースであるディスプレイは極めて重要な役割を担っている。より人間に優しいシステムの構築により、身の回りのシステムの電子化が予想を遙かに超えて発展すると共に、現実感の高い、大型・高性能ディスプレイ実現の要求が高くなると考えられる。このような大型・高性能ディスプレイの実現において、最も大きな課題の一つが液晶分子の高精度な配向制御である。

現在、ガラス基板上に塗布した高分子配向膜（ポリイミド膜）を布で様に擦るラビング処理が液晶配向処理として用いられている。しかし、ラビング処理による配向メカニズムは明らかにされておらず、その制御は経験則に基づくものが主であり、理論に基づいた制御手法の確立が不十分であった。近年、液晶配向の評価方法としてアンカリング強度を用いた手法が提案されている。しかし、方位角方向に対する強度の測定法のみが確立されており、デバイス設計において重要となる極角方向に対するアンカリング強度の測定法は確立されていなかった。これは極角アンカリング強度の測定に必要な電圧印加時の極角方向の液晶配向分布を精密に測定することが困難であったためである。以上のことから表面配向の評価手法の確立とそれに基づいた配向メカニズムの解明が重要な課題となってきた。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでに液晶を通過する光の偏光解析による液晶配向分布評価に関する研究として、液晶の配向面に垂直な方位から光を入射し、光の入射面に対して液晶配向分布に実効的な捻れを生じさせることにより、極めて高い精度で配向分布を測定できることを明らかにし、これを基に液晶配向分布の精密な測定手法を世界で初めて提案・確立した。従って、この手法を発展させ電圧印加時の液晶配向分布を精密に測定することにより極角アンカリング強度を高精度で測定することが可能となると考えられる。

更に、極角アンカリング強度の測定結果とこれまでに行ってきた方位角アンカリング強度の測定結果、表面における液晶分子の吸着現象の解析結果とを組み合わせることで、液晶配向メカニズムを解明し、高品位ディスプレイをはじめとする新規液晶デバイスの創出を実現することができると考えられる。

以上のことから本研究では液晶セルを通過する光の偏光状態の入射角度依存性の解析に基づいた極角アンカリング強度の測定手法の確立とそれによる配向メカニズムの

解明を目的とした。

3. 研究の方法

極角アンカリング強度を測定するためには電圧印加状態における液晶の配向分布を高精度に測定することが必要である。このことから液晶セルに入射した偏光状態の入射角依存性および印加電圧依存性について、PCワークステーションと光学計算ソフトウェアを用いた理論解析を行う。この結果を基に、液晶配向分布とそれを通過する光の偏光状態変化との関係を体系的に明らかにし、極角アンカリング強度の測定に必要な液晶配向分布の最適条件の導出を行う。

試作した液晶セルに入射した光の偏光状態を測定しその配向分布を評価するために、図1に示すエリプソメータと高性能計算機からなる偏光解析システムおよび液晶配向分布解析システムを構築する。

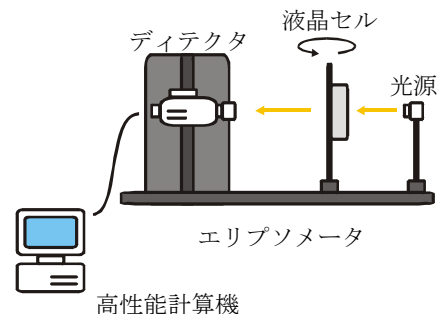


図1 エリプソメータと高性能計算機との連携による高精度液晶配向測定システム

導出した極角アンカリング強度の測定条件に基づき測定に必要な液晶セルを試作する。作製した液晶配向測定システムを用いて試作した液晶セルの評価を行い、本研究による極角アンカリング強度の測定手法の妥当性および測定精度について検証を行い、極角アンカリング強度の高精度測定を確立する。

また、本研究によって確立した測定手法に温度制御装置を組み合わせ、様々な配向膜における極角アンカリング強度の温度依存性評価を行う。これまでに行ってきた相転移ドロップレット法を用いた表面オーダーの解析結果と分光エリプソメータを用いたリタレーションの温度依存性の評価結果との比較から表面における液晶分子の吸着現象と配向力、および配向膜との関係を明確化する。

4. 研究成果

極角アンカリング強度は図2に示す電圧印加による平行配向液晶セルのプレチルト角の変化から求める方法を用いて測定を行った。極角アンカリング強度 B は、配向膜表面の液晶分子に外場が加えられたとき、その配

向を配向容易軸方向に束縛する力を表す。このことから電圧の印加前後における表面チルト角の変化を測定することで(1)式より求めることができる。

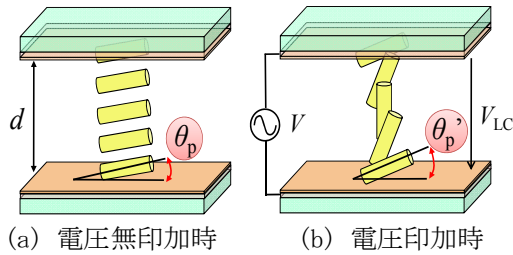


図2 極角アンカリング強度の測定方法

$$B = \frac{2D_z}{\sin 2(\theta_p' - \theta_p)} \sqrt{\frac{K_{11}\gamma (\sin^2 \theta_M - \sin^2 \theta_p') (1 + \kappa \sin^2 \theta_p')}{\epsilon_0 \epsilon_2 (1 + \gamma \sin^2 \theta_p') (1 + \gamma \sin^2 \theta_M)}} \quad (1)$$

ここで、 D_z は電束密度、 θ_p はプレチルト角、 θ_p' は電圧印加時における基板表面液晶のチルト角、 θ_M は液晶セル中心の最大傾き角、 κ および γ はそれぞれ弾性定数比、誘電率比である。表面チルト角は液晶セル内の配向分布を測定することで求めることが可能である。本研究では図3に示す分光エリプソメータを用いた測定系を用いて液晶セルの位相差および振幅比の角度依存性の測定から液晶の配向分布を測定する方法について検討を行った。

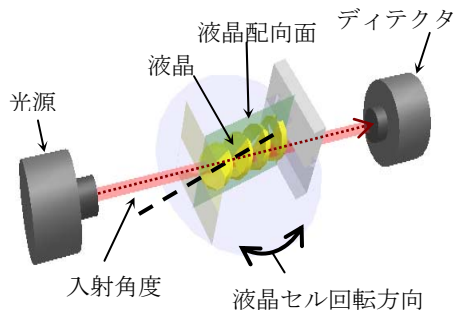
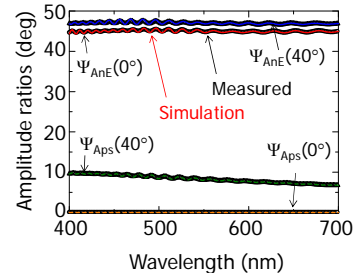


図3 分光エリプソメータを用いた液晶配向分布の測定系

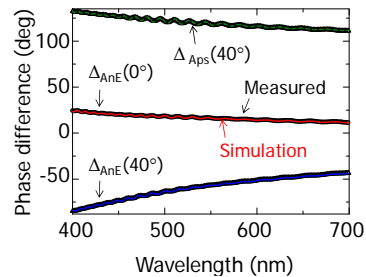
解析の結果、液晶セル内部で生じる光の多重反射および多重干渉により測定される位相差および振幅比の値に誤差が生じることが明らかとなった。このことから本研究では液晶セル内部で生じる多重干渉を考慮した理論計算手法を導出し、この計算結果と測定結果との比較から液晶配向分布を高精度に測定できることを明らかにした。

本計算手法に基づいた理論計算結果とエリプソメータによる測定結果の比較を図4(a)および(b)に示す。入射角度0度および40度における位相差および振幅比の波長特

性の測定値は理論と非常に良く一致していることがわかる。この結果に基づいた算出したアンカリング強度の結果を図5に示す。測定結果の妥当性を確認するため、様々な厚さの液晶セルを用いて測定を行った。この結果、液晶の厚さによらず得られたアンカリング強度の値は一定であり、このことから本研究による測定法が十分な信頼性を有していることを確認した。



(a) 振幅比



(b) 位相差

図4 位相差および振幅比の波長特性における理論値と測定値のフィッティング結果

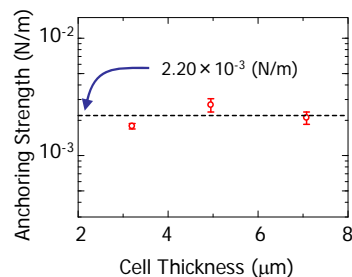
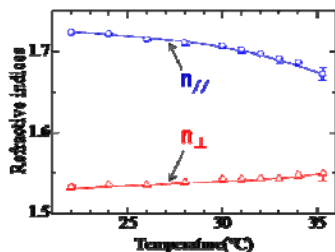


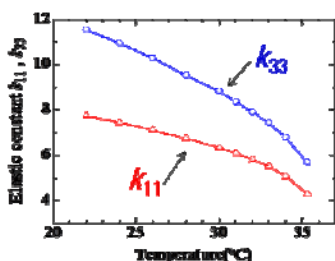
図5 極角アンカリング強度の測定結果

次に、以上の結果を基に極角アンカリング強度の温度依存性の測定を行った。ここで配向膜の配向力の違いによる特性の変化を解析するため、配向膜としてポリイミド膜、PVA膜、配向膜が無いガラス基板を測定試料として用いた。ここで、極角アンカリング強度の温度依存性を測定するためには液晶材料の屈折率や弾性定数、誘電率の温度依存性の値が必要である。そこで本研究では、屈折率の温度依存性を多重反射三入射法、弾性定数および誘電率の温度依存性を液晶セルの電圧-

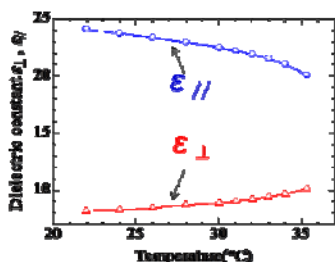
容量特性を用いたフィッティング法(V-C カーブフィッティング法)を用いて測定を行い、この結果を基に極角アンカリング強度の温度依存性の測定を行った。ここで、温度制御装置として MK1000 (INSTECH 社製)を用いた。図 6 に屈折率、弾性定数および誘電率の温度依存性の測定結果を示す。



(a) 屈折率



(b) 弾性定数比



(c) 誘電率

図 6 屈折率、弾性定数比および誘電率の温度依存性の測定結果

次に基板表面に吸着層がある場合における極角アンカリング強度の温度依存性の理論値の導出を行った。配向膜表面に吸着がある場合、図 7 に示すように最表面から液晶分子 1 層分離れた第 1 層の液晶層には第 2 層の液晶との間における上方向の弾性力と吸着分子との間における下方向のアンカリング力が働き、両者の力のつり合いによって第 1 層の液晶は配向状態を維持していると考えられる。

配向膜表面に吸着層がある場合、アンカリング力は吸着層と第 1 層間の弾性力とみなすことができることから極角アンカリング強度 B について (2) 式が成り立つ。

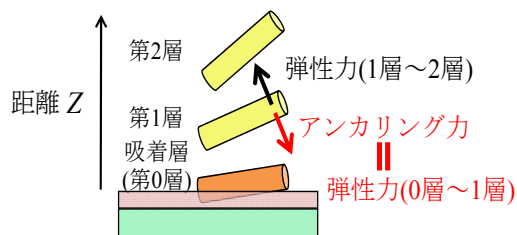


図 7 表面液晶分子モデル

$$B = \frac{(k_{11}' \cos^2(\theta_1 - \theta_0) + k_{33}' \sin^2(\theta_1 - \theta_0)) (\theta_1 - \theta_0)}{\sin(\theta_1 - \theta_0) \cos(\theta_1 - \theta_0)} \left(\frac{\theta_1 - \theta_0}{z_1 - z_0} \right) \quad (2)$$

θ_0 は配向膜表面に吸着した液晶分子のチルト角、 θ_1 は吸着層から液晶分子 1 層分の距離離れた液晶分子のチルト角、 $z_1 - z_0$ は第 0 層～第 1 層間の距離、 k_{11}' および k_{33}' は表面層における弾性定数である。一般に弾性定数は液晶セル内のオーダーに比例することから、表面層の弾性定数として PI 配向膜を用いた液晶セルのバルク層において測定した弾性定数を、表面層のオーダーによって補正した値を用いた。

配向力が異なる配向膜における極角アンカリング強度の温度依存性と理論値との比較を図 8 に示す。図から強い配向力を有するポリイミド配向膜を用いた場合、極角アンカリング強度は理論値とほぼ一致し、温度に依存せずに一定の値をとることを確認した。これより PI 配向膜表面には相転移温度以下において液晶分子が吸着していることを明らかにした。また、配向力が弱い PVA 配向膜の場合、26°C 付近までは温度に依存せずに一定の値をとるがそれ以上では温度上昇に伴い減少しており、最も弱い配向力である配向膜なしのガラス基板の場合、常温から相転移温度まで単調に減少していくことを確認した。

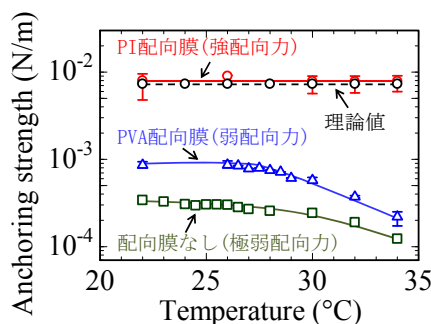


図 8 様々な配向膜における極角アンカリング強度の温度依存性の測定結果

以上、本研究では液晶セルの内部で生じる多重干渉を考慮した位相差および振幅比の理論計算法を導出し、この計算結果と分光エリプソメータによる測定結果との比較から極角アンカリング強度を高精度に測定する

手法を確立した。また、本測定法と液晶物性値の温度依存性の測定結果を組み合わせることで液晶セルの極角アンカリング強度の温度依存性を高精度に測定できることを明らかにし、配向膜表面に液晶分子の吸着層がある場合、極角アンカリング強度は強く、温度によらず一定であり、配向力が弱く温度上昇に伴い吸着がはずれる場合、極角アンカリング強度は温度の上昇に対して減少することを明らかにした。また、今回用いた試料においては、配向力の強い配向膜ほど配向吸着する力は強く、配向膜表面から液晶分子がはずれる温度は高くなることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Takahiro Ishinabe and Tatsuo Uchida, A Highly Accurate Measurement of Liquid Crystal Material and Device Parameters, Molecular Crystals and Liquid Crystals, 査読有、Volume 516, 2010 年、PP. 211-227.
2. Yuji Ohno, Takahiro Ishinabe, Tetsuya Miyashita, Tatsuo Uchida, Highly Accurate Method for Measuring Ordinary and Extraordinary Reflective Indices of Liquid Crystal Materials, Cell Thickness, and Pretilt Angle of Liquid Crystal Cells Using Ellipsometry、Japanese Journal of Applied Physics、査読有、Vol. 48, 2009 年、pp. 051502-1 - 051502-9.
3. T. Ishinabe, Y. Ohno, T. Miyashita and T. Uchida, High-Precision Measurement of Polar Anchoring Strength and Elastic Constant Ratio using Hybrid Alignment Nematic Cell, Japanese Journal of the Applied Physics、査読有、Vol. 47, No. 12, 2008 年、pp. 8892-8897.

[学会発表] (計 6 件)

1. 吉田悠馬、大野有嗣、石鍋隆宏、宮下哲哉、内田龍男、液晶デバイスの配向膜表面における極角アンカリング強度の温度依存性の評価、電子情報通信学会発光非発光ディスプレイ研究会、2010 年 1 月 29 日、福岡.
2. Yuma Yoshita, Yuji Ohno, Takahiro Ishinabe, Tetsuya Miyashita and Tatsuo

Uchida, Evaluation of the Temperature Dependence of Surface Polar Anchoring Strength in Liquid-crystal Devices, The 16th International Display Workshops, 2009 年 12 月 9 日、宮崎.

3. Takahiro Ishinabe, Yuji Ohno, Tetsuya Miyashita and Tatsuo Uchida, Precise Measurement of the LC Parameters Considering the Multiple Interferences in the LC Cell for the Quantitative Evaluation of LC Devices, The 16th International Display Workshops, 2009 年 12 月 9 日、宮崎.
4. Takahiro Ishinabe, Yuji Ohno, Tetsuya Miyashita, and Tatsuo Uchida, Establishment of the Quantitative Evaluation of LCDs based on the Precise Measurement of the LC Parameters Considering the Multiple Interference in the LC cell, SID International Symposium, 2009 年 5 月 31 日、米国.
5. T. Ishinabe and T. Uchida, A Highly Accurate Measurement of Liquid Crystal Material and Device Parameters, The 4th Japanese-Italian Workshop on Liquid Crystals, 2008 年 7 月 8 日、奈良.
6. T. Ishinabe, R. Ogawa, Y. Ohno, T. Miyashita and T. Uchida, High-Precision Measurement of Polar Anchoring Strength by the Ellipsometry Analysis of ECB-cell, The 22nd International Liquid Crystal Conference, 2008 年 7 月 4 日、韓国.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石鍋 隆宏 (ISHINABE TAKAHIRO)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30361132

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし