

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25390058

研究課題名(和文) マイクロパターン配向による液晶素子の低駆動電圧化と高速応答化の検討

研究課題名(英文) Investigation of driving voltage reduction and response time improvement effects induced by micropatterned orientations in liquid crystal devices

研究代表者

本間 道則 (HONMA, MICHINORI)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：90325944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：微細な配向パターンを有する液晶セルの駆動電圧特性および応答特性を実験およびコンピュータシミュレーションにより詳細に評価し、駆動電圧および応答特性の改善効果について考察した。その結果、しきい電圧は配向の歪みの増加とともに減少する傾向が明らかとなり、配向パターンの周期のような構造的な因子によってしきい電圧が制御できることが確認された。さらに、微細なパターン配向は応答特性の改善にも寄与し、応答時間および回復時間がそれぞれ70%および50%改善されることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Driving voltage and response properties in liquid crystal cells with microscale orientation patterns were evaluated experimentally and theoretically by a computer simulation to discuss improvement effect of the driving voltage and response properties. As a result, a threshold voltage decreased with an increase in a deformation factor of liquid crystal orientation, indicating that the threshold voltage can be controlled by a structural factor such as an orientation pattern period. Furthermore, it was found that the micropatterned orientation contributed to an improvement of the response properties. 70% improvement for a response time and 50% improvement for a decay time were achieved.

研究分野：光・電子デバイス工学

キーワード：液晶

1. 研究開始当初の背景

近年のコピキタス社会の進展に伴って、表示デバイスの高性能化・高機能化に関する要求(高精度, 高輝度, 高速応答, 低消費電力, 双安定性など)が益々高まっている。例えば、電子ブックのようなモバイル機器には、低消費電力への要求から液晶や電気永動などによる双安定型の表示デバイスが好まれる。今後、応用の場面に応じた様々な特徴を有する表示デバイスの開発が進展することが予想され、これまでと異なる高性能化・高機能化へのアプローチの開拓が必要になると考えられる。

液晶デバイスの高性能化の既存の方法論は構造的および材料的アプローチに大別される。それぞれ異なる目的のために採用されることが多く、例えば視野角特性の改善のためにはマルチドメイン化といった表示パネルの構造的な改善手法が採られる。また、駆動電圧の低下のためには液晶材料の誘電異方性を大きく、弾性定数を小さくする分子設計が必要となる。

しかし最近になって、通常の液晶ディスプレイにおいて採用されるような様な配向処理ではなく、液晶層に数~数十 μm 程度のスケールのパターン配向を導入することによって、材料的アプローチを経ずにフレデリクス転移のしきい電圧(液晶が応答し始める最小電圧)が低下することが実証されている。今後はより詳細な機構解明と液晶デバイス応用に向けた設計指針の確立が望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、微細配向パターンを有する液晶セルにおいて見出されている低駆動電圧化および高速応答化のような効果について、液晶層内部の詳細な配向状態を実験的に考察することによって、駆動電圧や応答速度の減少効果の発現機構を解明し、さらに高性能液晶デバイスへの応用の可能性を検討することを主たる目的としている。

3. 研究の方法

本研究においては、具体的に次の3つの検討項目を設定した。

- 1) マイクロラビング処理法における描画分解能に影響を与える条件の考察
- 2) マイクロラビング処理法により形成した微細な配向処理パターンとバルク液晶の配向場との相互作用の考察
- 3) 高性能な新規液晶デバイスへの応用のための配向処理パターンの設計指針の検討

4. 研究成果

上記の具体的な検討項目ごとの研究成果を以下に記す。

- 1) マイクロラビング処理法における描画分解能に影響を与える条件の考察
種々のラビング速度および荷重条件の下

でマイクロラビング処理を行った場合における、配向ライン幅 W の変化について実験により求めた結果を図1に示す。図より、走査速度が $2\ \mu\text{m/s}$ のとき、荷重に関わらずライン幅がほぼ一定 ($\sim 33\ \mu\text{m}$) となることが分かった。また、走査速度が $5\ \mu\text{m/s}$ よりも大きい領域においては、ラビング幅が荷重に対して概ね比例することが明らかとなり、走査速度によって全く異なる2つの傾向が確認された。以上より、移動速度を $2\ \mu\text{m/s}$ とすることによって安定なマイクロラビングパターンが得られることが明らかとなった。

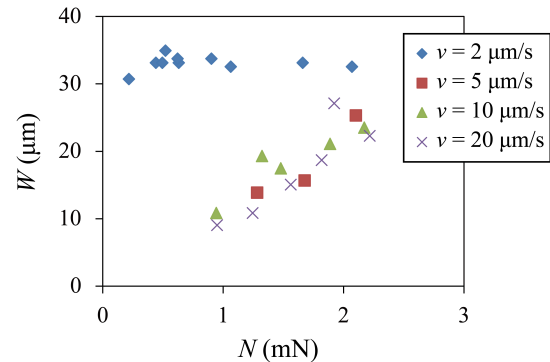


図1 マイクロラビング処理により形成した配向ラインの幅 W と荷重 N の関係。直径 $1\ \text{mm}$ の金属球により処理を行った。

2) マイクロラビング処理法により形成した微細な配向処理パターンとバルク液晶の配向場との相互作用の考察

種々のセル厚 d 、配向のねじれ角 ϕ を有するマイクロラビングセルにおけるしきい電圧について、実験に加えて液晶分子配向状態のコンピュータシミュレーションを併用することによって詳細に考察した。マイクロラビングセルのしきい電圧 V_{th} の理論式は既に導かれており

$$V_{th} = \pi \sqrt{\frac{K}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} (1 - \Delta) \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{d^2}{A^2} + \frac{\Phi^2}{\pi^2} \quad (2)$$

により表される。ここで、 K は液晶の弾性定数、 $\Delta \epsilon$ は誘電異方性、 A はラビングパターンの周期、 Δ は配向のひずみの程度を表すパラメータ (deformation factor) である。種々の評価セルにおけるしきい電圧と Δ との関係を図2に示す。図より、実験、シミュレーションともに理論式((1)式)により得られる特性に概ね一致し、配向の歪みの程度が増すほど駆動電圧が低下することが明らかとなった。なお、実験により求めたしきい電圧について、理論式およびシミュレーションにより得られた値よりも小さくなる結果となったが、これは実際の液晶セルにおいてはわずかであるがプレチルト角が存在し、そのために駆動電圧が実質的に減少したと推測される。プレ

チルト角の影響はあるものの、(2)式により定義される deformation factor によって液晶セルの駆動電圧がある程度設計可能であると言える。

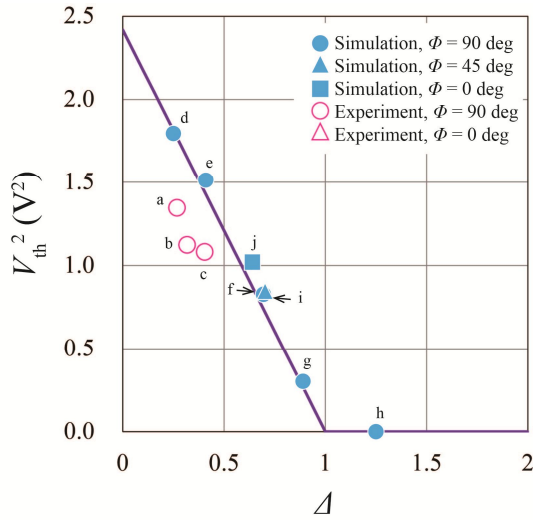


図 2 しきい電圧の 2 乗値 V_{th}^2 と deformation factor Δ との関係。 ϕ は配向のねじれ角である。なお、記号 a ~ h は異なる評価素子におけるデータであることを表す。

3) 高性能な新規液晶デバイスへの応用のための配向処理パターンの設計指針の検討

液晶のマイクロパターンが素子の高性能化、特に高速応答化に与える影響について考察した。図 3 に評価素子の応答・回復時間 (τ_{on} , τ_{off}) とセル厚の 2 乗値 d^2 との関係を示す。図より、マイクロパターン領域、一様配向領域ともにセル厚の 2 乗値が増加するとともに応答速度が概ね直線的に増加する傾向が見て

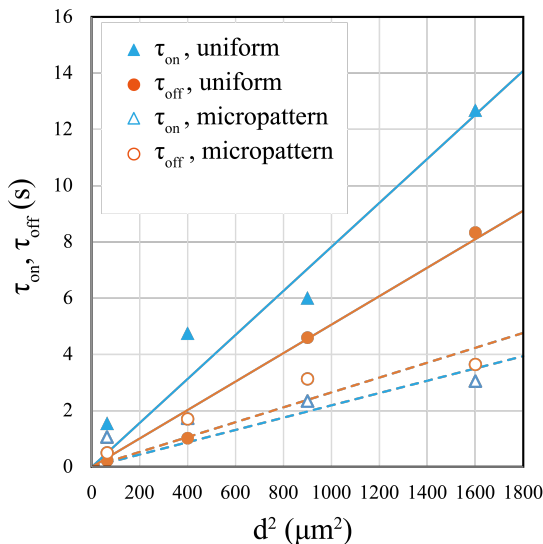


図 3 マイクロパターン領域と一様配向領域における応答時間とセル厚の 2 乗値の関係。

取れる。さらに、マイクロパターン領域の応答速度が応答時間、回復時間ともに大幅に改善されることが分かる。マイクロパターンの導入によって応答時間は 70%減少し、回復時間は 50%減少する結果となった。以上より、応答速度の改善効果はマイクロパターンの周期 λ を一定としたとき、概ね任意のセル厚 d に対して得られると結論付けることができる。

(1)式によればマイクロパターンの導入によってしきい電圧が低下する。一般に液晶セルの応答・回復時間はそれぞれ

$$\tau_{on} = \frac{\gamma d^2}{\epsilon_0 \Delta \epsilon (V - V_{th})^2} \quad (3)$$

$$\tau_{off} = \frac{\gamma d^2}{\epsilon_0 \Delta \epsilon V_{th}^2} \quad (4)$$

次式によって表されるが、しきい電圧 V_{th} が変化することによって応答・回復時間もまた変化することが分かる。例えば、しきい電圧の低下によって(3)式より応答時間もまた減少することが示され、本研究における測定結果はこのことに矛盾しない。しかし、回復時間については逆に増加することが予測され矛盾となる。本研究によってマイクロパターンの導入により応答時間、回復時間ともに大幅に改善されることが明らかとなったが、詳細な改善機構についての考察が今後の課題である。

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 4 件)

Michinori Honma, Koki Takahashi, Rumiko Yamaguchi, and Toshiaki Nose, "Driving voltage properties sensitive to microscale liquid crystal orientation pattern in twisted nematic liquid crystal cells," Japanese Journal of Applied Physics, 55(4), p. 041701 (2016), 査読有, DOI: 10.7567/JJAP.55.041701.

Michinori Honma and Toshiaki Nose, "Simple system for evaluating retardation of liquid crystal cells using grating type liquid crystal polarization splitters," Optical Review, 23(2), pp. 187-194 (2016), 査読有, DOI: 10.1007/s10043-015-0173-7.

Michinori Honma, Yuma Aki, Koki Takahashi, Rumiko Yamaguchi, and Toshiaki Nose, "Response Properties of Twisted Nematic Liquid Crystal Gratings," Proceedings of IDW, pp. 153-154 (2015), 査読無.

Michinori Honma, Koki Takahashi, Rumiko Yamaguchi, and Toshiaki Nose, "Liquid Crystal Molecular Orientation State of Micropatterned Twisted Nematic Liquid

Crystal Cells: A Computer Simulation Investigation,” Proceedings of IDW, pp. 117-118 (2014), 査読無.

〔学会発表〕(計9件)

高橋夏輝, 本間道則, 能勢敏明, “ハイブリッド配向型液晶偏光回折格子における高次回折特性,” 第62回応用物理学会春季学術講演会, 13p-P15-1 (2015).

Michinori Honma, Yuma Aki, Koki Takahashi, Rumiko Yamaguchi, and Toshiaki Nose, “Response Properties of Twisted Nematic Liquid Crystal Gratings,” The 22st International Display Workshops, LCTp5-8L, (Tsu, Dec. 2015).

神谷知哉, 本間道則, 能勢敏明, “ハイブリッド配向状態を有する液晶偏光回折格子の斜方入射における回折特性,” 第61回応用物理学会春季学術講演会, 18p-PA10-4, (2014).

伊東良太, 本間道則, 能勢敏明, “マイクロラビングにより作製した液晶回折格子のテラヘルツ波透過特性,” 第61回応用物理学会春季学術講演会, 17a-PA2-15, (2014).

本間道則, 神谷知哉, 能勢敏明, “ねじれたハイブリッド配向を有する反射型液晶回折格子の光学的特性,” Optics & Photonics Japan 2014, 6pP9, (2014).

高橋幸希, 本間道則, 山口留美子, “液晶回折格子におけるダイレクタ分布解析と印加電圧特性に関する研究,” 日本液晶学会討論会, PA30, (2014).

Michinori Honma, Koki Takahashi, Rumiko Yamaguchi, and Toshiaki Nose, “Liquid Crystal Molecular Orientation State of Micropatterned Twisted Nematic Liquid Crystal Cells: A Computer Simulation Investigation,” The 21st International Display Workshops, LCTP2-10L, (Niigata, Dec. 2014).

本間道則, 高橋幸希, 山口留美子, 能勢敏明, “ホモジニアス/TN配向領域を有するパターン配向セルの光学的特性,” 日本液晶学会討論会, 2a08, (2013).

Ryouta Ito, Michinori Honma, Tatsuo Nozokido, and Toshiaki Nose, “Terahertz Liquid Crystal Grating Fabricated by Using Microrubbing Process,” The 20th International Display Workshops (IDW2013), LCTp4-18L, (Sapporo, Dec. 2013).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

本間 道則 (HONMA MICHINORI)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号: 90325944

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし