

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760015
 研究課題名（和文） 大面積の微細液晶配向パターンを形成する新規なマイクロラビング処理技術の開発
 研究課題名（英文） Development of novel microrubbing technique to form microscale liquid-crystal alignment patterns with large area
 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

研究成果の概要：微細な液晶の配向パターンが得られるマイクロラビング処理において、その処理時間を短縮し大面積処理に適用するための新たな手法を提案した。すなわち、ラビングの密度による液晶の配向制御法である。本手法を用いて焦点距離が印加電圧により可変である液晶レンズが実現され、その作製時間は従来の等しい面積の液晶デバイスの作製時間の 1/10 以下であると見積もられた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,700,000	0	1,700,000
2007 年度	1,100,000	0	1,100,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	210,000	3,710,000

研究分野：光・電子デバイス工学

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：液晶

1. 研究開始当初の背景

液晶は大きな複屈折、低しきい電圧、低消費電力などの長所を有するため、主に表示デバイスに応用され薄型テレビの中核としての地位を確立している。さらに、液晶を表示素子以外の用途に応用し、新しい民生品としての展開を目指す機運が高まっており、例えば光ピックアップ系に液晶収差補正デバイスが適用され、実用化を視野に入れたデバイス評価が行われている。

申請者は μm オーダーの微細領域を選択的に処理できるマイクロラビング処理法を提案し、液晶ブレード化回折格子、液晶フレネ

ルレンズ、液晶デポライザーなど種々の光デバイスへの応用を提示してきた。マイクロラビング処理法は微小な針や球状物体によって高分子膜表面を擦ること（ラビング処理と呼ばれる）によって微細な液晶配向パターンを得る手法である。通常ラビング処理法と同様に、液晶の配向状態において高い熱的および時間的安定性、繰り返し駆動に対する大きな耐性、強い表面アンカリング特性などの特徴を有する。しかし、ある程度の面積を有する液晶デバイスを作製するためには、微小針による多数の走査が必要であるため処理時間が長いという欠点があった。

2. 研究の目的

本研究においては、処理時間の短縮を目指して、大面積のマイクロビング処理に適した液晶デバイスの実現手法の提案を行った。すなわち、液晶の配向を制御するために“ラビング密度”なる新たなパラメータを導入し、液晶の配向の制御性の向上と処理時間の短縮効果について実証することを試みた。

3. 研究の方法

図1にマイクロビング処理システムを示す。微小球（直径数mm）が平行板ばねに取り付けられ、配向膜に接した状態で保持された。一方、XYZステージに取り付けた配向膜付きのガラス基板をパーソナルコンピュータによって移動させることによってマイクロビング処理を行った。

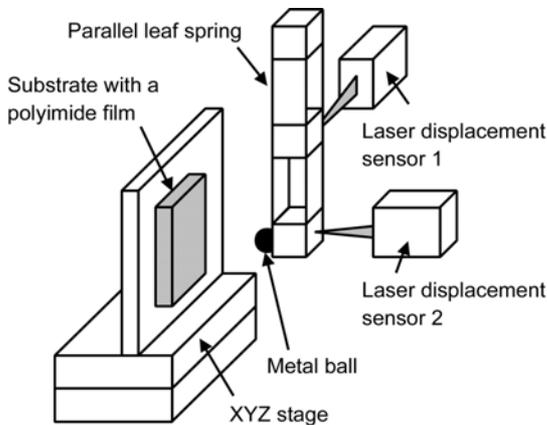


図1 マイクロラビング処理システム

4. 研究成果

(1) マイクロラビングの条件がプレティルト角に与える影響の検討

近年主要な液晶の駆動モードとなっている垂直配向モード液晶ディスプレイに用いられるポリイミド配向膜において、部分的にラビング処理を行うと、液晶の配向が空間的に変化した状態を実現することができる。この空間的な配向状態の変化は、配向膜近傍において液晶の分子軸が基板平面に対してある角（プレティルト角）をなし、かつプレティルト角が空間的に分布した状態となっていることを意味する。マイクロラビング処理法を用いると摩擦の条件を精密に制御することが可能になるが、種々の条件がプレティルト角に与える影響について考察を行った。

種々のマイクロラビング条件（ただし、金属球の直径は2mmとした）の下で評価セルを作製し、そのプレティルト角の摩擦仕事依存性を求めた結果を図2に示す。図より、異なる走査速度および荷重の下において、プレティルト角は摩擦仕事にのみ依存すること

が見て取れる。

次に、異なる金属球の直径に対して、プレティルト角の摩擦仕事依存性を測定した結果を図3に示す。図より、直径が異なる場合においては、プレティルト角は摩擦仕事のみ関数とはならず、球の直径にも依存することが分かる。球の直径が増加するとプレティルト角が変化し始める摩擦仕事（しきい値と見なせる）が増すが、これは球の直径の増加とともに球と配向膜の接触面積が増すために配向膜に印加される圧力が減少することが原因であると推測される。摩擦仕事のしきい値によって配向膜に塑性変形が誘起され始めるものと考えられる。

我々は摩擦仕事 W_a としきい値 W_{th} には

$$W_a = W_{th} + W_p \quad (1)$$

の関係があるものと仮定した。ここで、 W_p は塑性変形に費やされる摩擦仕事の成分である。図4に摩擦仕事 W_a と塑性変形に消費される成分 W_p との関係を示す。図より、プレティルト角は W_p にのみ依存することが分かる。すなわち、 W_p がプレティルト角を制御する本質的なパラメータであることが明らかとなった。

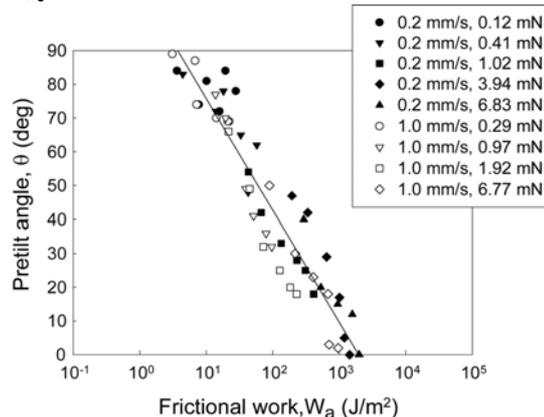


図2 プレティルト角の摩擦仕事依存性

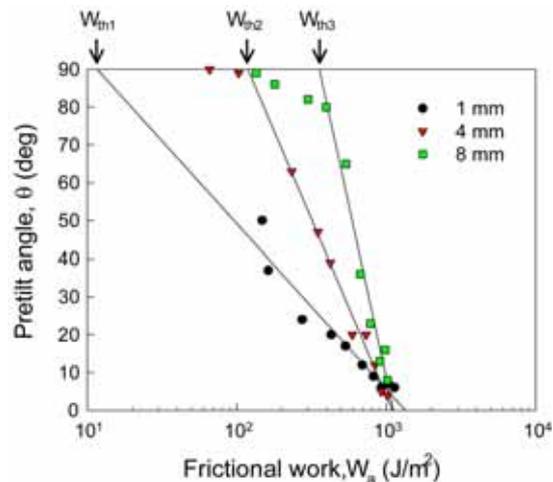


図3 異なる直径を有する金属球における、プレティルト角の摩擦仕事依存性

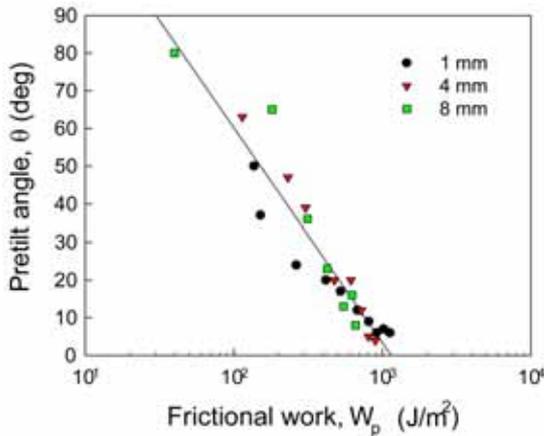


図4 プレティルト角と塑性変形に費やされる摩擦仕事の成分との関係

(2) ラビングの密度によるプレティルト角の制御

マイクロラビング処理においては微小な球や針などを用いて配向処理を行うため、セル全体に渡って処理を行う場合に費やされる処理時間が問題となっていた。そこで、大面積の液晶デバイスの作製に適用することを目指して、新たな配向制御方法、すなわちラビング密度による方法を提案した。図5にその概念図を示す。マイクロラビング処理は微小針による多数のラビングプロセスの集合であるが、その走査の密度によってプレティルト角の大きさを制御しようとする試みである。例えば、上側基板に垂直配向膜、下側基板に水平配向膜を用いた液晶セルについて考える。ラビング密度が高い領域においてはプレティルト角が小さくなるため、図1の中央領域のようにほぼホモジニアス配向（一様な配向）となる。一方、ラビング密度が低い領域においてはプレティルト角が高い値に保たれるために、ほぼハイブリッド配向（液晶の配向が $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で緩やかに変化する場合）となる。

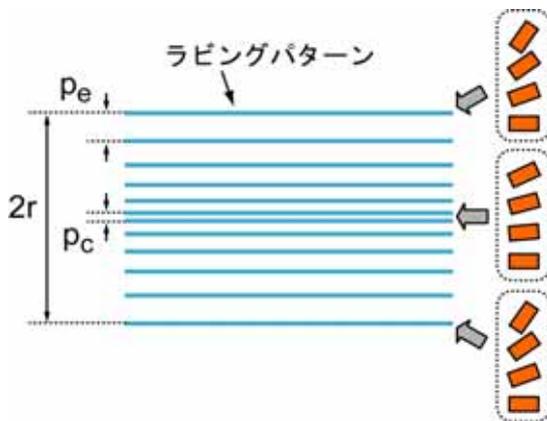


図5 ラビング密度の概念図

本手法を用いると屈折率が緩やかに分布した状態を形成することができ、電圧により焦点距離が可変である液晶レンズが実現可能となる。図6に作製した液晶レンズ（ラビング領域： $200 \times 200 \mu\text{m}$ ）における焦点距離の印加電圧依存性を示す。図より、印加電圧により制御可能な可変焦点特性が確認できる。液晶の分子軸が基板平面に対して傾いた配向状態を含むため、焦点距離が1 V以下の低い印加電圧においても液晶分子配向は変化し始め、その結果焦点距離もまた変化することが示されている。なお、0 Vにおける集光特性を挿入図として示す。集光スポットの半値幅は $3.5 \mu\text{m}$ であり、この値からレンズとして機能する有効径が $70 \mu\text{m}$ と算出される。これはラビング領域の幅（ $200 \mu\text{m}$ ）の約35%であり、この液晶レンズをアレイ化した場合には充填率が低下し大きな問題となることが予想される。

なお、ラビング領域が $200 \times 500 \mu\text{m}$ 程度の場合における処理時間は10分程度であり、これはこれまで作製された液晶デバイスにおける処理時間（数時間）よりも大幅に改善された。すなわち、本手法が大面積の液晶デバイスの作製により適していることが確認された。

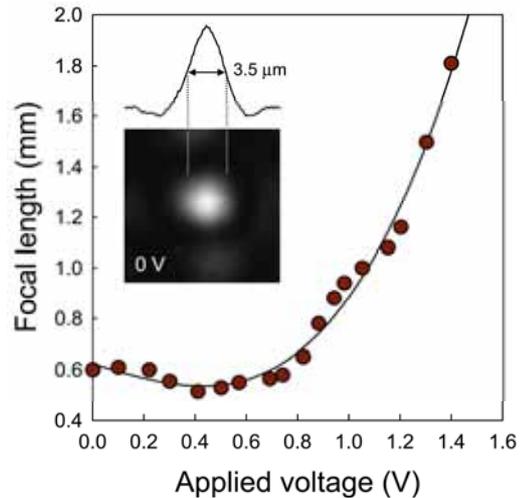


図6 可変焦点レンズの光学特性

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, Toshiaki Nose, Satoshi Yanase, Rumiko Yamaguchi, and Susumu Sato: "Liquid-crystal variable-focus lenses with a spatially-distributed tilt angles," Optics Express, 17, (2009) 査読有り.

Michinori Honma and Toshiaki Nose: "Friction as the fundamental factor controlling the pretilt angle of homeotropic liquid crystal cells: A microrubbing investigation," Journal of Applied Physics, 101(10), pp. 104903-1-104903-7 (2007) 査読有り.

Michinori Honma and Toshiaki Nose: "Pretilt Angle Dependence on Rubbing Conditions," Proceedings of the 13th International Display Workshops, LCTp2-1, (2006) 査読なし.

本間道則, 能勢敏明: "マイクロラビングによる平板型液晶回折光学素子," 液晶, 10(2), pp. 52-61, (2006) 査読有り.

[学会発表](計3件)

本間道則, 能勢敏明, 梁瀬智, 山口留美子, 佐藤進: "マイクロラビング処理法の変焦点特性を有する液晶レンズへの応用," 第33回液晶討論会講演予稿集, 2pC03, (2007).

小笠原昌則, 本間道則, 能勢敏明: "マイクロラビングによる微小な有機EL素子の作製," 第67回応用物理学会学術講演会予稿集第3分冊, 30a-ZV-2, p. 1192, (2006).

Michinori Honma and Toshiaki Nose: "Pretilt Angle Dependence on Rubbing Conditions," Proceedings of the 13th International Display Workshops, LCTp2-1, (2006).

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