

超音波と液晶を用いたフィルム型多機能レンズ

代表研究者 同志社大学 理工学部 電気工学科 教授 小山 大介
 共同研究者 同志社大学 理工学部 電気工学科 教授 松川 真美

〔研究の概要〕

本研究では、超音波によって液晶配向を変化させることにより、その焦点距離を制御可能な超薄型の可変焦点レンズについて検討した。特に、可変焦点機能にとって最適な液晶層厚み、液晶層の多層化、レンズの基板への搭載方法の3項目について検討した。レンズ内の3次元的な液晶配向分布は液晶配向膜による強制力、超音波振動による音響放射力、液晶の弾性的性質の関係によって決定され、液晶層厚みには最適値が存在することが明らかとなった。また液晶の多層化によって、単層レンズと比較し焦点変化特性は劇的に向上する結果が得られた。さらにレンズの端部を基板に固定することにより、固定前と同等の焦点変化特性を実現できた。これらの結果は将来的な超音波液晶レンズの電子デバイスへの搭載にとって非常に意義あるものとする。

〔研究経過および成果〕

本研究では、超音波によって液晶の屈折率分布を変化させることにより、光学的焦点位置を制御可能な超薄型の可変焦点レンズ(以下超音波液晶レンズ)について検討を行った。特に、研究期間内において①超音波液晶レンズの最適な液晶層厚み、②可変焦点範囲の拡大を目的とした積層型超音波液晶レンズ、③電子回路への搭載を想定した超音波液晶レンズの設置方法の3項目について検討を行った。

第1に、液晶層厚みが可変焦点機能に与える影響について検討を行った。図1は開発した超音波液晶レンズの構造を表しており、2枚のガラス円板(直径15 mmと30 mm, 厚み0.5 mm)間にスペーサを介し、液晶(5CB)を注入することにより異なる厚さ(100~300 μm)の液晶層を作成した。ガラス円板にアニユラ型の圧電超音波振動子(PZT)を接着しており、電気信号を入力することによりレンズ全体に超音波振動が励振される。図2は異なる液晶厚さを有する超音波液

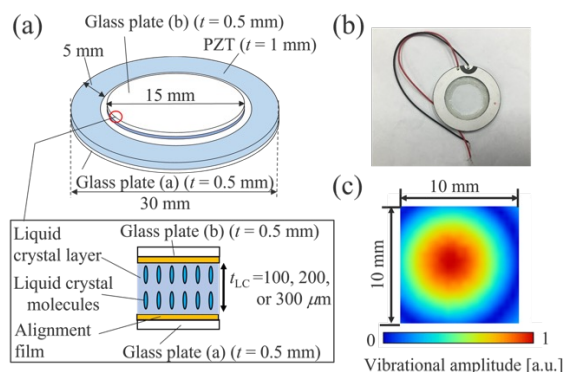


図1 超音波液晶レンズの構造と振動分布

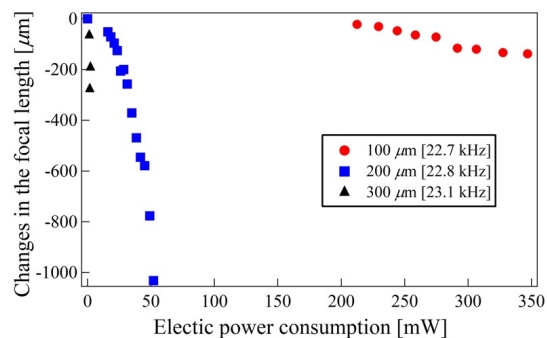


図2 液晶層厚みが異なる場合のレンズ焦点変化特性
 晶レンズの消費電力と焦点距離変化量の関係を表しており、いずれのレンズにおいても電力の増加と共に

焦点距離変化量は増大した(焦点変化量が負値であることは焦点がレンズ側に近づく、すなわちレンズは凸レンズとして動作することを意味する)。従って同結果は、入力信号振幅値によって焦点位置を制御可能な可変焦点レンズであることを表している。また、液晶層厚みが 100 および 300 μm のレンズと比較し、液晶層厚み 200 μm のレンズでは可変焦点範囲が大幅に上回ることがわかり、液晶層厚みには最適値が存在することが明らかとなった。これらの結果は、3次元的な液晶配向が液晶配向膜による強制力、超音波振動によって生じる音響放射力、液晶の弾性的性質の関係によって決定されることを示唆している。

第2に、可変焦点範囲の拡大を狙った超音波液晶レンズの積層化を検討した。図1と同構造の超音波液晶レンズの裏面にも同形状の液晶層を作成し、中央のガラス円板厚みが異なる試作器を複数作成した。単層および2層の超音波液晶レンズの焦点変化特性を測定した結果、単層レンズと比較して、2層レンズではより小さい消費電力で大きな可変焦点範囲を実現した。また、中央のガラス円板が薄いほどその可変焦点範囲は増大することが明らかとなった。

第3に、将来的な電子回路への搭載を想定した、超音波レンズの固定方法について検討した。固定対象とした基板に液晶層径とほぼ同径の穴を設け、単層レンズのガラス円板端部を基板に直接接着し、その焦点変化特性を評価した。固定前、固定後のレンズの超音波振動分布および焦点変化特性を比較した結果、固定前後にかかわらずレンズ中心部分には共振たわみ振動が励振され、ほぼ同等の焦点変化特性が得られることが明らかとなった。

[発表論文]

1. T. Iwase, J. Onaka, A. Emoto, D. Koyama, M.

Matsukawa, Relationship between liquid crystal layer thickness and variable-focusing characteristics of an ultrasound liquid crystal lens, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SG, p. SG1013 (2022)

2. J. Onaka, D. Koyama, Y. Kuroda, A. Emoto, M. Matsukawa, Optical evaluation of a double-layered ultrasound liquid crystal lens, J. Appl. Phys., Vol. 131, No. 19, p. 193103 (2022)

3. T. Iwase, Y. Kuroda, J. Onaka, A. Emoto, M. Matsukawa, D. Koyama, Orientation angles of liquid crystals via ultrasound vibrations, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. 6, p. 068002 (2022)

4. 黒田悠真, ジェシカ オナカ, 原田裕生, 江本顕雄, 松川真美, 小山大介, 基板実装型超音波液晶レンズの検討, 日本音響学会 2022 年秋季研究発表会 (2022)

5. Y. Kuroda, T. Iwase, J. Onaka, A. Emoto, M. Matsukawa, D. Koyama, Ultrasound Multi-Layered Liquid Crystal Lens, IEEE International Ultrasonics Symposium 2022 (2022)

6. 黒田悠真, 原田裕生, ジェシカ オナカ, 江本顕雄, 松川真美, 小山大介, 基板実装型超音波式可変焦点液晶レンズ, 第 43 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム (2022)

7. Y. Kuroda, T. Iwase, J. Onaka, Y. Harada, A. Emoto, M. Matsukawa, D. Koyama, Effects of the interlayer thickness on the optical characteristics of an ultrasound multilayered liquid crystal lens, Appl. Phys. Express, Vol. 15, No. 12, p. 122004 (2022)