

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：81406

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560049

研究課題名（和文） 低電圧駆動液晶ズームレンズシステムの創製に関する研究

研究課題名（英文） Research on realization of optical zoom system with low-voltage-driving liquid crystal lens

研究代表者

葉 茂 (Ye Mao)

秋田県産業技術センター・主任研究員

研究者番号：20533368

研究成果の概要（和文）：三倍程度のズーム比のため最適な液晶レンズ及びズームシステムの設計を行って実験により原理の検証を行った。極薄中間ガラス基板を用いて、液晶が3層で液晶レンズの応答時間を大幅に改善することが可能となった。高抵抗層を利用し、パターン電極と液晶層の間にある誘電層の厚みを $1\mu\text{m}$ 程度に薄くすることができ、駆動電圧が3ボルト程度に減少でき、レンズは $200\mu\text{m}$ 程度に薄くすることができた。液晶レンズを焦点調節素子としての光学システムを構築した。システムの解像力、MTFなどの評価方法を確立した。

研究成果の概要（英文）：Optical system with approximately zoom ratio of 3 is designed and tested experimentally. Extremely thin glass substrates are used to fabricate an LC lens of 3 LC layers. The response property is greatly improved. Using a high resistive layer in a LC lens, it becomes possible decrease the thickness of the insulator between the patterned electrode and the LC layer to approximately $1\mu\text{m}$. Consequently, an LC lens with approximately thickness as small $200\mu\text{m}$ and voltages as low as 3V is realized. Optical imaging system with an LC lens as a focusing element is setup. The method of analysis of the resolution and MTF, etc, is confirmed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学、工学基礎・応用光学、量子光工学

キーワード：光学素子、装置、材料、液晶光デバイス、ズーム

1. 研究開始当初の背景

液晶の屈折率は電氣的に容易に可変できるので、外部電圧印加により焦点距離を調整できる液晶光学レンズが提案されている。我々は2002年に円形パターン電極と液晶層の間に絶縁層を挿入することで、液晶レンズの開口径を数mm～数cmに拡大した大口径の焦点可変液晶レンズを

開発した。その後2004年には、2電圧により駆動するレンズ構造を提案し、ガラスレンズに近い優れた光学特性を有する液晶レンズを作製した。

しかし、電極と液晶層の間の絶縁層によりレンズが厚くなること（数mm）及び駆動電圧が高くなること（数十～百数十ボルト）は、液晶レンズを実際の光学デバイ

スへ搭載するためにはとしてはとても不利である。

また、合焦点機能が搭載されているモバイル機器（携帯電話など）のカメラモジュールが多いが、複雑な機械的移動機構が必要なズーム機能は殆ど搭載されていない。液晶レンズを用いて機械的移動なしのズームシステムを構築することが可能である。

2. 研究の目的

(1) これまで研究開発を行ってきた絶縁層を有する液晶レンズにおいて、凸及び凹レンズとしての焦点可変範囲及び最適なレンズパワー変化に基づき、三倍程度のズーム比の達成を目標として液晶レンズおよびズームシステムの設計を行うと共に、ズームレンズシステム装置を構成し、実験により原理の検証を行う。

(2) 液晶層とパターン電極との間の絶縁層の中に高抵抗層を挿入し、軸対称の不均一電界を静電的に中継することで絶縁層の厚みを減少させるという原理について、シミュレーションにより解析を行い、最適の構造パラメータ及び設計指針を確立する。

(3) 円柱形孔を有する誘電体基板を用いた新規な液晶レンズ構造において、放物面状の屈折率分布特性となる誘電体の物性及び形状・寸法等についてシミュレーションにより解析を行う。

(4) 高抵抗層を有する液晶レンズについて、シミュレーションの結果に基づき低電圧駆動の液晶レンズを作製し、高抵抗層の抵抗値や液晶レンズの開口径及び基板の厚み等のパラメータと駆動電圧及びレンズパワーの可変範囲、収差特性等について実験・測定及び評価を行う。

(5) 円柱形孔を有する誘電体基板を用いた液晶レンズについて、シミュレーションの結果に基づき低電圧駆動の液晶レンズを作製し、円形の開口径、誘電体の厚み及び誘電率等のパラメータと駆動電圧およびレンズパワーの可変範囲、収差特性等について実験測定及び評価を行う。

(6) 前項目で作製した二組の低電圧駆動液晶レンズを用いてズームレンズシステムを構成し、印加電圧によるズーム可変特性を測定する。これらの結果に基づき、三倍程度以上のズーム比を得るために必要な諸パラメータを用いて液晶レンズ及びズームシステムの設計を行い、低電圧駆動液晶ズームレンズシステムを完成する。

(7) 駆動電圧を大幅に低下した液晶レンズを用いて、携帯電話、ウェブカメラ、コンパクトデジタルカメラ、監視カメラなど、広範な分野への応用展開を目指す。

3. 研究の方法

(1) これまで研究開発を行ってきた絶縁層を有し2電圧駆動により凹から凸レンズまで可変できる液晶レンズを用いてズームレンズシステムを構成する。ズームレンズの構造は種々あるが、基本構成として中央に凸レンズを、前後に凸～凹と連続的にパワーを可変できる液晶レンズを配置する構成を採用する。

(2) 高抵抗層を挿入し絶縁層を薄くすることで低電圧駆動を行う方式について、各パラメータと抵抗値の関連についてシミュレーション解析を行い最適な設計手法を確立し、低電圧駆動の液晶レンズを作製する。

(3) 円柱形孔を有する誘電体基板を用いた新規な構造においても、同様にシミュレーション解析により最適な設計指針を確立し、低電圧駆動の液晶レンズを作製する。

(4) 前項における各々の液晶レンズの特性を比較する。

4. 研究成果

(1) 光線追跡方法などにより三倍程度のズーム比の達成を目標として最適な液晶レンズ及びズームシステムの設計を行って実験により原理の検証を行った。撮影した画像を図1に示す。およそ3倍ズーム比を達成した。一方、画質の更なる改善が課題とされている。

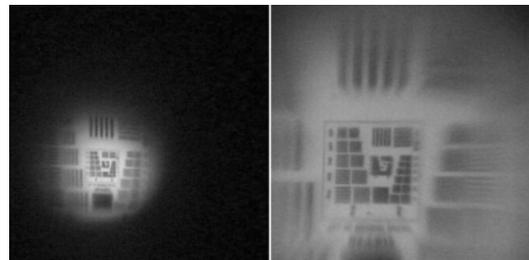


図1 撮影した画像

(2) 極薄(30 μm)中間ガラス基板を用いて、液晶が3層で層の厚みを最小20 μm まで薄くすることができた。構造を図2に示す。応答特性が大幅に改善すると共に、図3に示すように、レンズパワーを確保できるようになった。

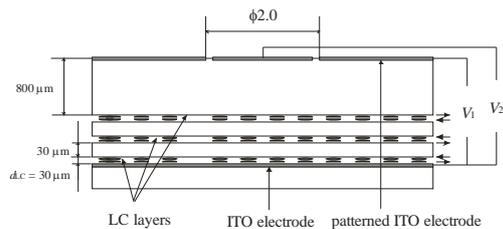


図2 液晶3層の積層構造

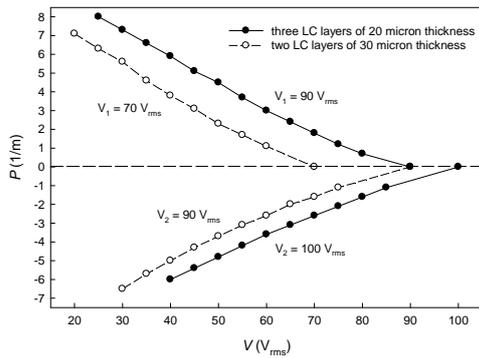


図3 光学パワー

(3) 穴がある高誘電材料を有する液晶レンズに対して高抵抗層を有する液晶レンズの優位性を確認した。高抵抗層を利用し、パターン電極と液晶層の間にある誘電層の厚みを1mm程度から1μm程度まで薄くすることができ、駆動電圧を数十ボルトから3ボルト程度まで減少できた。さらに、レンズの厚みを200μm程度まで薄くすることができた。

100μm厚のガラス基板を用いて厚みが230μmの液晶レンズを作製した。その構造を図4に示す。基板を薄くしたことで、駆動電圧が従来のおよそ70Vから24Vまで低下できた。そのレンズを二層にした写真を図5に示す。

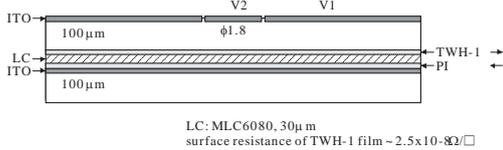


図4 高抵抗膜を用いて100μm厚みのガラス基板で作製した液晶レンズの構造



図5 セルサンプル

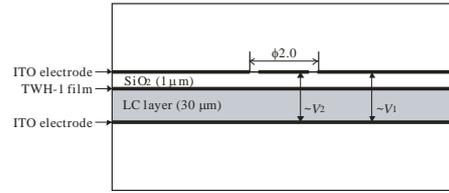


図6 3.5V程度駆動できるレンズの構造

また、ガラス基板の代わりに、パターンと液晶層の間にCVDで1μm厚みのSiO₂を設けることで、駆動電圧を3.5V程度にすることができた。この液晶セルの構造を図6に示す。また、干渉計で観察した干渉縞を図7に、電圧による光学パワーの変

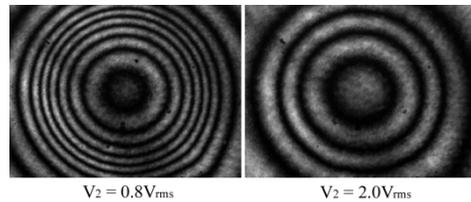


図7 干渉縞

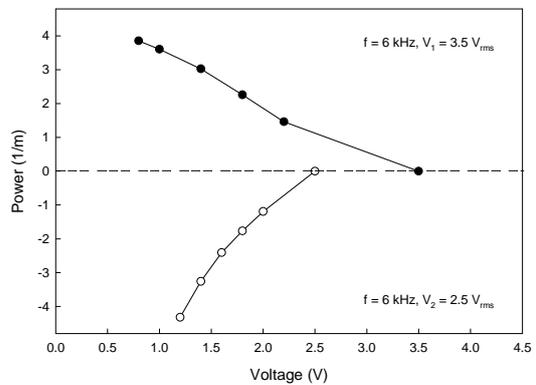


図8 光学パワー

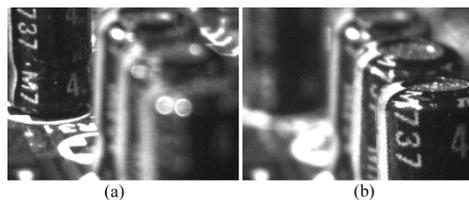


図9 写真

化を図 8 に示す。このレンズを組み込んだ光学システムで撮影した写真を図 9 に示す。低電圧化を行っても液晶レンズの高画質が維持されていることが分かる。

(4) 収差測定により最適駆動電圧及び周波数の定める方法を確立した。

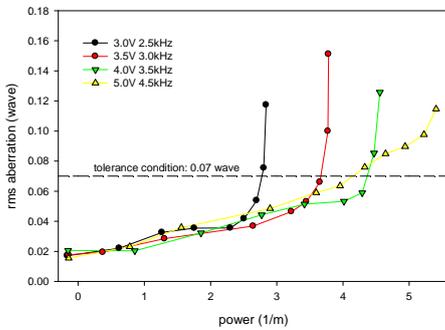


図 10 rms 収差

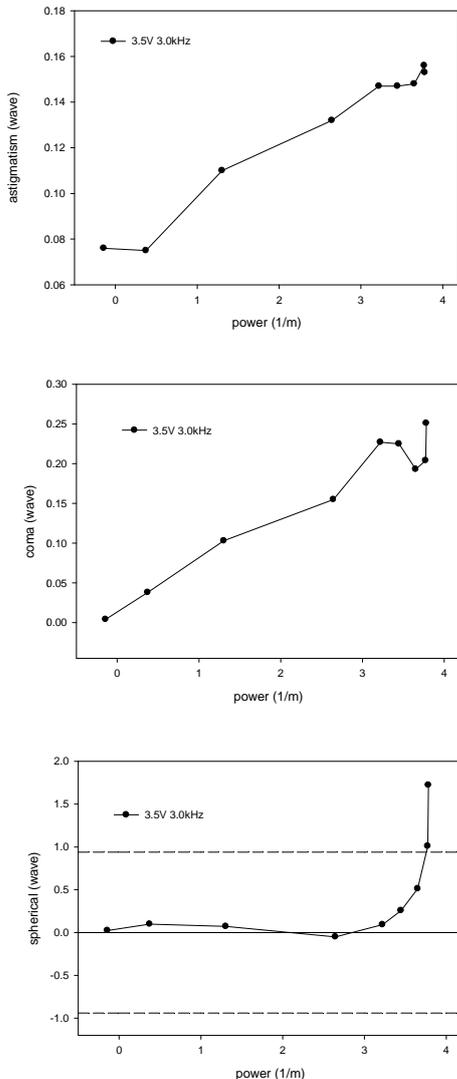


図 11 非点、コマ、球面収差

rms 収差結果 (図 10 に示す) に基づいて周波数と振幅の組み合わせの最適化によって、収差を許容範囲内 (rms 収差: 0.07wave) に抑えて、焦点可変範囲をできるだけ広げる方法を確立した。図 11 に示すように殆どの収差を許容範囲内に抑えることが出来た。

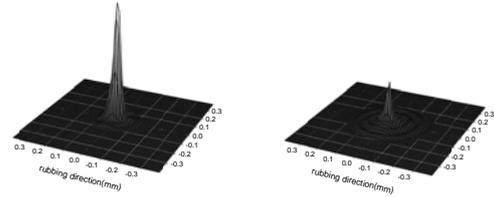


図 12 焦点強度分布

レンズの焦点の強度分布を図 12 に示す。図 12 の左図は rms 収差 0.55wave で、右図は 0.192wave である。収差が許容範囲内であれば、良好な集光特性が得られるが、収差が大幅にその範囲を超えると、集光能力が急激に悪くなることが分かった。

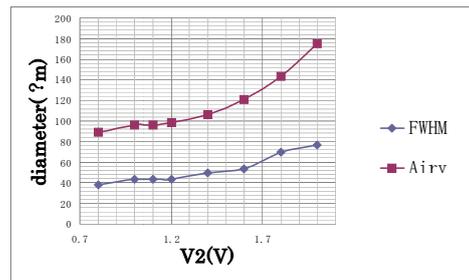
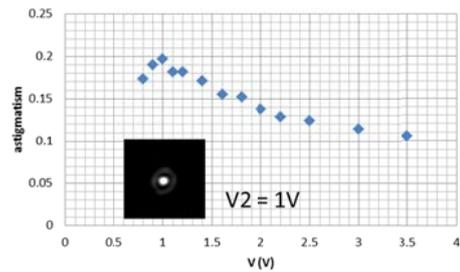


図 13 FWHM と Airy Disk の比較

収差の許容範囲内において、焦点の FWHM と Airy Disk の比較を図 13 に示す。このタイプの液晶レンズは優秀な光学特性を持つことが分かった。



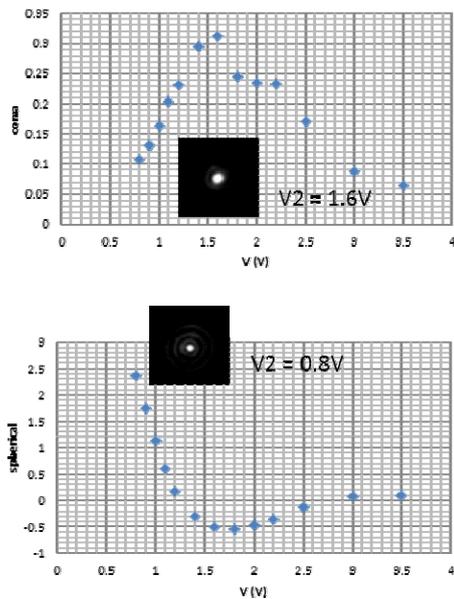


図 14 焦点形状と収差

図 14 に示すように、レンズの諸収差は焦点の形状に対する影響が分かった。



図 15 写真

(5) 液晶レンズを焦点調節素子としての光学システムを構築し、システムの解像力、MTF などの評価方法を確立した。液晶レンズをカメラモジュール (画素数: 1.3M、寸法: 携帯電話に搭載しているのと同様) の前に設置し、焦点調節素子として機能させることで、位置が異なる被写体各々に焦点を合わせて撮影した写真を図 15 に示す。鮮明な画像から、このタイプの液晶レンズの光学品質が高いことが分かった。

また、この光学イメージングシステムで撮影した iso12233 チャートの画像を分析し、システムの解像力及び MTF を分析する方法を確立した。

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 1 件)

① M. Ye, B. Wang, M. Uchida, S. Yanase, S. Takahashi, M. Yamaguchi, and S. Sato: Low-Voltage-Driving Liquid Crystal Lens, 49(2010) 100204-1

[学会発表] (計 19 件)

① 葉 茂, 王 濱, 内田 勝, 梁瀬 智, 国塚宗右, 高橋慎吾, 佐藤 進: 液晶レンズの収差及び焦点特性、15p-GP5-4、2012 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学早稲田キャンパス早稲田中・高等学校 興風館

② 梁瀬 智, 内田 勝, 佐藤 進: 可変範囲を拡大した液晶マイクロレンズの集光特性、17p-GP9-4、早稲田大学早稲田キャンパス早稲田中・高等学校 興風館

③ M. Ye, B. Wang, M. Uchida, S. Yanase, H. Kunitsuka, S. Takahashi, and S. Sato: Determination of Amplitudes and Frequency of Driving Voltages for Liquid Crystal Lens, LCTp5-2, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan

④ M. Ye, B. Wang, M. Uchida, S. Yanase, S. Takahashi, and S. Sato: Liquid Crystal Lens with Electrically Controllable Focal Length, p635, The 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2011), Beijing Empark Grand Hotel, Beijing, China

⑤ 葉 茂, 王 濱, 内田 勝, 梁瀬 智, 国塚宗右, 高橋慎吾, 佐藤 進: 低電圧駆動液晶レンズの収差特性、PA48、2011 年日本液晶討論会、東京都市大学 世田谷

キャンパス

- ⑥梁瀬 智, 国塚宗右, 葉 茂, 王 濱, 内田勝, 高橋慎吾, 佐藤 進: 低電圧駆動型液晶レンズの過渡状態の光学位相分布と結像画像の関係、PB47、2011年日本液晶討論会、東京都市大学 世田谷
- ⑦梁瀬 智, 国塚宗右, 王 濱, 葉 茂, 内田勝, 高橋慎吾, 佐藤 進: 低電圧駆動型液晶レンズの高速駆動におけるパルス電圧の効果、30p-P12-3、2011年秋季第72回応用物理
- ⑧梁瀬 智, 葉 茂, 内田勝, 佐藤 進: 低電圧駆動型液晶レンズの高速駆動特性の温度依存性、25a-KU-8、2011年第57回応用物理学会関係連合講演会、神奈川工科大学
学会学術講演会、山形大学 小白川キャンパス
- ⑨M. Ye, B. Wang, M. Uchida, S. Yanase, S. Takahashi, M. Yamaguchi, and S. Sato : Low-Voltage-Driving LC Lens、LCTp4-11、The 17th International Display Workshops (IDW10)、福岡コンベンションセンター福岡国際会議場
- ⑩梁瀬 智, 葉 茂, 内田勝, 佐藤 進: 低電圧駆動型液晶レンズの高速駆動特性、PB56、2010年日本液晶討論会、九州大学医学部百年講堂
- ⑪葉 茂, 王 濱, 内田勝, 梁瀬 智, 高橋慎吾, 山口 真紀, 佐藤 進: 超低電圧駆動液晶レンズ、3c04、2010年日本液晶討論会、九州大学医学部百年講堂
- ⑫葉 茂, 王 濱, 金高祐仁, 田中伸彦, 佐藤 進: 透明高誘電率セラミックスを用いた低電圧駆動液晶レンズの作製、15a-M-4、2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会、長崎大学文教キャンパス
- ⑬梁瀬 智, 葉 茂, 佐藤 進: 液晶レンズの高速駆動特性、20a-L-3、2010年第57回応用物理学会関係連合講演会、東海大学湘南キャンパス
- ⑭葉 茂, 王 濱, 内田勝, 山口真紀, 佐藤進: モバイルデバイス用極薄液晶レンズの開発、20a-L-2、2010年第57回応用物理学会関係連合講演会、東海大学湘南キャンパス
- ⑮佐藤 進, 葉 茂: 薄型・低電圧駆動液晶レンズのシミュレーションによる解析、20a-L-1、2010年第57回応用物理学会関係連合講演会、東海大学湘南キャンパス
- ⑯Mao Ye and Susumu Sato : LC Lens and Its Applications to Imaging Devices、invited talk、The 16th International Display Workshops (IDW'09)、World Convention Center Summit、宮崎
- ⑰葉 茂, 王 濱, 山口真紀, 佐藤 進: 薄

型・低電圧駆動液晶レンズ、PB49、2009年日本液晶討論会、東京農工大小金井キャンパス

⑱佐藤 進, 葉 茂, 王 濱: 低電圧駆動液晶レンズのシミュレーション解析、PA47、2009年日本液晶討論会、東京農工大小金井キャンパス

⑲王 濱, 葉 茂, 佐藤 進: High Speed and Low Aberration Liquid Crystal Lens、8p-Q-16、2009年第70回応用物理学会学術講演会、富山大学五福キャンパス

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

葉 茂 (YE MAO)

秋田県産業技術センター・

電子光応用開発部・主任研究員

研究者番号: 20533368

(2) 研究分担者

梁瀬 智 (YANASE SATOSHI)

秋田県産業技術センター・

電子光応用開発部・主任研究員

研究者番号: 50370242