

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：81406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560058

研究課題名(和文)集積化液晶マイクロレンズの創製と光制御応用に関する研究

研究課題名(英文)Integration of liquid crystal microlens array for light control devices

研究代表者

梁瀬 智 (YANASE, Satoshi)

秋田県産業技術センター・電子光応用開発部・上席研究員

研究者番号：50370242

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：液晶マイクロレンズを集積化したデバイスの創生と、光制御デバイスの実現可能性の探索を目的とし、円形開口およびスリット開口の液晶マイクロレンズアレイの高パワー化と光制御デバイスとしての基本特性の評価を実施した。円形開口を持つ液晶マイクロレンズは3000(1/m)以上のレンズパワーが得られ、透過光を拡散制御する効果が確認できた。スリット状電極アレイによるセルがシリンダレンズアレイとして機能し、2D/3D切替に必要な偏向を実現できた。さらに2組のスリット電極を設置することで、印加電圧の組合せによって開口サイズより大きな入射透過光を任意の方向に曲げることが出来ることが可能なデバイスを実現した。

研究成果の概要(英文)：Integrated devices of liquid-crystal (LC) micro-lens-array (MLA) were investigated as novel applications of the LC lens. A LC-MLA having 150 micron diameter of circular hole patterns on the electrode was fabricated. The Lens power was able to reach 3000 (1/m) in each microlens element, and were confirmed to be controlled by the driving voltages. It was found that the LC-MLA functions as an optical diffusion device. Moreover, a LC-MLA with micro slit electrodes was also fabricated and were confirmed to work as a cylinder lens array. Measurement results of the angular dependence were indicated to fit the 3D display application. Furthermore, by applying 2sets of slit electrode array to these LC-MLA, the gradient of one direction in the optical phase retardation distribution was observed. Then, the LC-MLA was confirmed to bend the path of the transmitted light of larger size than the slit pattern.

研究分野：液晶材料を用いた光デバイス

キーワード：液晶 マイクロレンズ アレイ 集積化

1. 研究開始当初の背景

本研究課題は、研究代表者を含む秋田県産業技術センターで研究が行われてきた『液晶レンズ』の応用開発に関わる低電圧化技術等を基に、『液晶マイクロレンズ』のレンズパワーの増加、制御範囲の拡大等の高性能化を図り、これらの『液晶マイクロレンズ』を同一面内に多数配置した全く新しい集積レンズデバイスを創製することであり、LED光源等と組み合わせて駆動・制御を行うことで照明光を集光、拡散、偏向する等の配光状態を連続的に可変・制御する集積レンズデバイス等の実用化を目指して計画されたものである。

液晶を用いた平板型ディスプレイは日本及び東南アジア諸国において基幹産業までに成長し、最近では大型平板テレビの代名詞として一般家庭にも普及し、ディスプレイの中心として確固たる位置を占めている。比較的低い電圧印加によって実効的な屈折率を大きく可変できる液晶材料の特徴は他の光学材料にはない極めて魅力的なものであるが、従来から液晶を利用した光学デバイスとしての研究開発はディスプレイの他には必ずしも活発ではなかった。

1979年に世界で初めて液晶による『焦点可変レンズ』が秋田大学の佐藤(本研究課題の開始時、当研究センター技術顧問)により実現された(Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 18, p. 1679 (1979))。同じく秋田大学の佐藤らは、レンズ効果を電圧で可変できる『液晶マイクロレンズ』(Liq. Cryst., Vol. 5, p. 1425 (1989))を開発した。このレンズ効果は円形の穴型パターンを形成した電極構造の液晶セルにおいて、軸対称の不均一電界に基づく液晶分子配向効果によって屈折率を2乗分布にすることで得られるものである。また近年には直径を数mmからcm程度まで拡大することを目的として電極と液晶層の間に『絶縁層を挿入した構造の液晶レンズ』を作製した(特許: 3913184号、文献: Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, No. 5B, p. L571 (2002))。次に絶縁層を挿入した構造の液晶レンズの外部に第三電極を設けることで、凸レンズ～凹レンズの連続的な切り替えと大幅な可変焦点特性を実現した『外部電極を有する液晶レンズ』(特許 4057597号(PTC/JP2005/015464)、文献: Appl. Opt., Vol. 43, No. 35, p. 6407(2004)、及び文献: IEEE Photon. Tech. Lett., Vol. 18, No. 1, p. 79 (2006))を開発する等、様々な『液晶レンズ』の提案がなされている。研究代表者らは、撮像デバイスへの応用・実用化を目指して、『絶縁層を有する液晶レンズ』の高性能化に取り組んできた(文献: Trans. IEICE Electronics Japan, Vol. E01-C, p. 1599 (2008))。駆動電圧が高いこと(～70V)が実用化の大きな障害であったが、研究代表者は高抵抗層を用いて駆動電圧を50%減少させた(文献: Opt. Exp. Vol. 16, p. 4302 (2008)及びJpn. J. Appl. Phys., Vol. 47,

p. 4597 (2009))。さらに2010年には高抵抗層に加えて絶縁層に薄膜を用いた新規構造により『液晶レンズ』の駆動電圧を3V程度まで大幅に低減した(文献: Jpn. J. Appl. Phys. 49, 100204 (2010))。これらの研究成果を元に、共同研究先である企業からのサンプル出荷の発表(文献: 日本経済新聞、H23.8.3および日本電気硝子ニュースリリース H23.9.29)も相次いで行われている。

近年、白色LEDを用いた照明装置は省電力や長寿命の観点から、一般家庭への普及が急激に進んでいる。しかし従来の白熱電球に比べて照明光として有効に使える範囲が狭かったり、集光レンズ等による照明ムラなどが問題になる場合がある。均一で広い配光特性を持つLED照明装置の実現のために反射板や集積レンズを用いた開発が行われているが、その配光特性は固定されたものである。この問題に対して研究代表者らは100 μ mオーダーの電極径を持つ『液晶マイクロレンズ』を集積レンズとして用いることで可変制御デバイスの実現が可能になると考えた。しかし、これまでに行われた研究結果では電極径と液晶厚みの構造パラメータによってレンズ特性がほぼ決まること、単独での特性が優れていても多数アレイ化すると特性が劣化すること、単電源による駆動であるため良好なレンズ特性での可変範囲が限られているなど、『液晶マイクロレンズ』の実用化に向けた課題が残っていた。研究代表者らは、低電圧化を実現した絶縁層を有する液晶レンズの構造を『液晶マイクロレンズ』にも展開することでレンズ特性の改善が可能になると考え、またフォトリソグラフィ技術の範囲では大面積への多数配置も容易であること等から本研究課題の着想に至ったものである。

本研究課題は、研究代表者らがこれまでに実用化に向けて研究開発を行ってきた『液晶レンズ』の技術を電極サイズが100 μ mオーダーである『液晶マイクロレンズ』に展開してレンズパワーの増加と可変範囲の拡大を実現して、その『液晶マイクロレンズ』を集積した新たな機能を持つ集積レンズデバイスの創製とその応用に関する性能の検証を行うものである。現在、開口径が2mm程度の『液晶レンズ』の応用を目指している撮像デバイスへの分野から、更に広い分野への応用展開を目的として計画されたものであり、レンズパワーを連続可変できる機械的な駆動部がない『液晶マイクロレンズ』の電極パターンのデザイン設計を含めて集積化を行うことによって、照明光のパターン制御デバイス等の新しい液晶光学デバイスを実現し、その応用を目指すものである。

2. 研究の目的

本研究課題は、数百ミクロンサイズの開口径を持つ液晶マイクロレンズのレンズパワーアップを図り、これを基本素子として平面

基板に配置・構成することで配光制御機能を持つ集積化されたレンズユニットを創製すること、及びLED照明等の配光状態の制御を可能にする液晶光デバイスの実現可能性を探ることを目的とする。すなわち従来の液晶マイクロレンズでは不足していた焦点可変量を電極配置と高抵抗層の導入により増加・向上させ、これを集積化することで新たな機能を有する集積化液晶マイクロレンズを創製し、照明装置の配光状態の制御の他、広く応用展開を図るものである。

3. 研究の方法

本研究課題における目的は、液晶マイクロレンズに代表される小口径の液晶レンズの高性能化とその集積化により得られる新たな機能を持つ集積化レンズの創製と、その応用の可能性を探ることである。これらの実現のために、以下の3つを研究課題とした。

(1)第3電極と高抵抗膜を導入した液晶マイクロレンズの作製、発生可能なレンズパワーやレンズ収差等の基本的な特性の評価。
(2)ストライプ状電極による液晶レンズの作製、およびスリット幅などの電極構造の効果の評価。

(3)液晶マイクロレンズに用いる極高い抵抗値の薄膜の作製と、その成膜制御法の確立。

本研究課題の遂行には研究代表者らが、これまでに実施してきた液晶レンズを初めとする液晶光デバイスの研究において確立してきた設計技術や微細加工技術、光学特性の評価技術、さらに高抵抗膜の開発における薄膜作製技術などの技術資源を活用することで、集積化液晶マイクロレンズの実現に係る基板技術と評価技術を確立する。

(1)レンズパワー： 3000m^{-1} を目標とした高抵抗膜および第3電極を導入した液晶マイクロレンズを作製し、その干渉縞観察の結果からレンズの集光能力を示すレンズパワーとレンズの良否の指標であるRMS誤差に注目して評価を行う。第3電極を設けない構造との特性比較を行うことでレンズ可変範囲に対する効果を確認する。液晶マイクロレンズを多数配置したアレイ構造におけるピッチと電極径がレンズ特性に及ぼす効果について実験及び評価を行う。また液晶レンズのラビング方向とレンズを並べる方向(アレイ方向)の組み合わせがレンズ特性に及ぼす影響について考察を行う。液晶マイクロレンズや液晶シリンダーレンズ等を並べて大面積の集積化液晶マイクロレンズを作製し、照明光源との組み合わせにおける照射パターン制御への応用の可能性を検証する。

(2)本研究課題における液晶レンズは、その電極構造を比較的自由に設計できることが大きな特長であり、例えばストライプ状の電極を配置した液晶レンズは、シリンドリカルレンズと同様の効果を示すことが知られてい

る。ここでは高抵抗膜と第3電極を持つ液晶シリンダーレンズを作製して、その基本特性について評価を行う。液晶シリンダーレンズアレイの電極幅やラビング方向などが基本的なレンズ特性に及ぼす影響を調べる。またアレイ構造での駆動条件を把握する。本研究課題において高性能化された液晶マイクロレンズを用いることで、分割型パターン電極構造で得られる入射光への偏向特性も増加することが期待できる。ここでは分割電極構造の液晶マイクロレンズを作製し、その集光スポットの偏向シフト量の測定・評価を行う。また得られた偏向シフト量の変化が照明光の制御デバイスとしての応用が可能であるかを考察する。

(3)液晶レンズにおける高抵抗層は、レンズとして働く電極径直下の液晶層内に適切な電界分布を形成する役割を担っている。本研究課題で取り組む液晶マイクロレンズの電極径は、これまで研究が行われてきた液晶レンズの1/10以下であり、非常に高い抵抗値($\sim 10^{11}\Omega/\square$)を実現することが重要な課題となる。そのために、高抵抗膜にZnOを母材として2桁以上の高抵抗化を実現するスパッタ成膜の条件の探索・実験と考察を行う。スパッタ条件による抵抗値の制御では透過率が低下する可能性がある。不純物としての添加材料(例えばCu₂OまたはMgOなど)を用いるか、またはTiO₂等の他の透明な薄膜材料を用いるなどの方法で高抵抗化を図る。集積化液晶マイクロレンズの効率向上を狙い高抵抗膜のパターンニングを行い、その効果を検証する。

以上により、集積化された液晶レンズユニットを創製し、LED照明等の配光状態の制御を可能にする液晶光デバイスの実現を図る。

4. 研究成果

(1)液晶マイクロレンズアレイによる光拡散デバイスの開発

集積化液晶レンズの基本単位のレンズである液晶マイクロレンズを作製して基本特性を評価した。従来の液晶マイクロレンズでは、開口電極径と液晶厚には一定の最適値があり、設計の自由度に制限があった。またレンズの可変範囲にも制限があった。本研究課題では、構造口径の大きな液晶レンズの開発において実績がある高抵抗膜と第3電極を液晶マイクロレンズにも適用・導入する試みを行った。第3電極をガラス基板の裏面に配置した電極構造と高抵抗膜を用いて、円形パターン電極径150ミクロンの液晶マイクロレンズアレイの試作・評価を行った。レンズ間の干渉や個々のレンズの独立動作を念頭に電極層を分離した構造とした。その結果、矩形波周波数50kHz、 $V_1=3V_{rms}$ 、 $V_2=10V_{rms}$ の駆動条件でレンズパワー約2000(1/m)、0.1 μm 以下のRMS収差特性を得た(図1参照)。また第3電極による制御により著しいレン

ズ特性の劣化なくスムーズにレンズパワーの可変ができることを確認した。V2>V1 に駆動条件を設定することで凹レンズ特性を示すことも確認できた。今回試作したレンズアレイの間は 30 ミクロンとしたが、ほとんどレンズ間の干渉は見られず、さらなる高密度化が可能であることが確認できた。このセルを用いて光拡散の効果について評価を行った。照明光を想定して光源にハロゲンランプを用い、φ1mm のピンホールを通して液晶マイクロレンズアレイを透過させた。この透過光の広がりを観察することで拡散角を評価したところ、レンズパワーが最大のときに約 6.8° が得られ、駆動電圧によって拡散角も変化することが確認できた。レンズパワーから推定される最大の拡散角は 8.5° であり、ほぼ一致した値が得られたと言える (図2参照)。更なる拡散効果の増加を図り、直径 75 ミクロンの円形パターン電極を用いて作製した液晶マイクロレンズアレイは干渉縞の評価からレンズパワー3600 (1/m)が推定される結果が得られた。また六方格子状に配置したパターンに対して、ラビング方向を最小ピッチ方向およびその垂直方向とした場合、隣接する開口パターンの影響を受けやすいのは最小ピッチ方向へのラビングであるこ

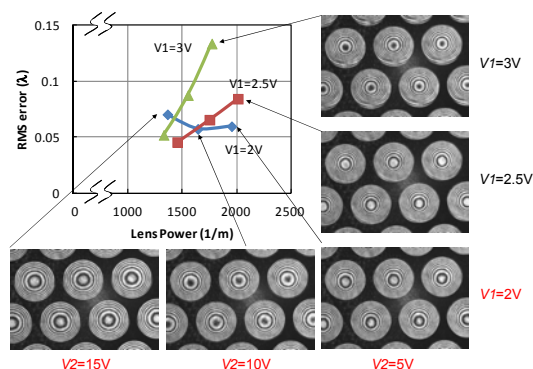


図1 液晶マイクロレンズのレンズパワーと RMS 収差の関係。駆動条件によって低い収差でのパワー可変が可能であることがわかる。

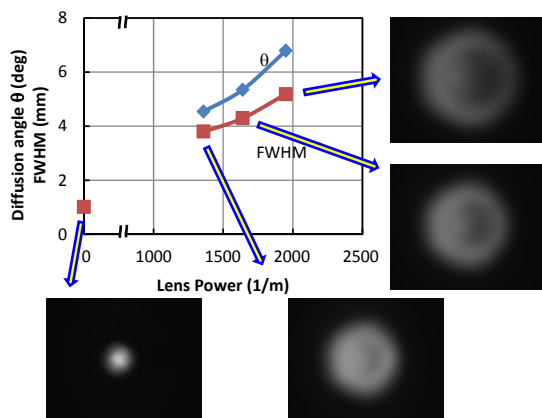


図2 レンズパワーの変化に対する投影光の半値全幅 (FWHM) と拡散角の関係。液晶マイクロレンズアレイ OFF では 1mm 径の光が、5mm 程度まで拡散していることがわかる。

とがわかった。また2つの液晶マイクロレンズアレイセルを重ね合わせた場合の効果を検証したところ、液晶レンズの作用方向であるラビング方向を合わせた場合は拡散効果が増加することがわかった。一方、ラビング方向を直交させることで偏光板なしでも散乱効果が得られることが確認できた。この光散乱効果については、RGB 3色の LED チップを同時点灯してセルを ON/OFF させることで混色として観測・確認することができた。

これらの結果は液晶マイクロレンズアレイが可変型の光拡散デバイスとして機能することを示している。また積層配置での透過状態の切替が新たな表示デバイスとして機能する可能性を示唆できた。一方、集積化デバイスとして照明制御を行うためには、その効果の増大が課題となる。

(2) スリット電極を持つ液晶シリンダレンズによる 2D/3D 切替デバイスの開発

パターン電極と同一の ITO 膜上に第3電極を配置した電極構造及び高抵抗膜を用いて、スリット幅 100 ミクロンの液晶セルの試作と評価を行った。スリット電極方向にシリンダレンズ状の光学位相分布が観察され、矩形波 200Hz、V1=5Vrms、V2=1Vrms の駆動条件でレンズパワー3000 (1/m) 程度が得られた。また 0.1λ 程度での小さな RMS 収差の範囲でパワー可変が可能であることも確認できた。またスリット電極が並ぶ方向にラビング処理を行ったセルでは、ディスクリネーションの発生が観察された。これは電圧印加によって液晶分子が立ち上がる際、その方向が一致せずに突合せ部分が生じるため、光デバイスとしては機能しにくくなる。液晶シリンダレンズアレイの応用の一つとして 2D/3D 表示の切り替えデバイスが挙げられるが、その評価の一つとして、画素パネルと組み合わせて 3D 表示状態での視野角特性を調べた。画素ピッチに応じた楕円状の視野角分布が得られ、液晶シリンダレンズにより、3D 表示が可能であることが確認できた (図3参照)。また駆動条件を変えることで角度依存性の強度分布が変化することが確認でき、視認性の最適化の可能性がわかった。2

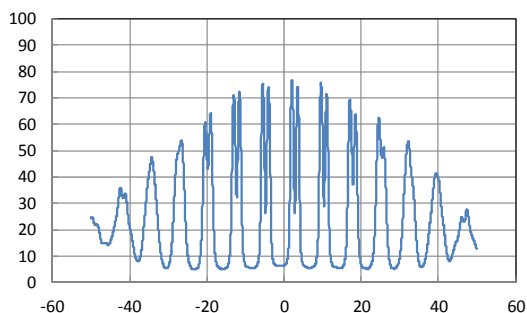


図3 パネルの L のみ点灯した場合の液晶シリンダレンズアレイの視野角依存性。ピーク位置がずれた楕円状の特性を示し、LR を分離した 3D 表示状態である。

眼式を前提にした左右強度におけるクロストークの簡易評価の結果は約8%であった。

一般に提案されている液晶を用いたシリンドラレンズは、良好な光学特性を得るためにはスリット電極開口幅と液晶厚の組み合わせに制限があるが、本研究課題におけるデバイスは駆動周波数によってこれを調整することが出来る特長を持っており、3Dデバイスへの搭載が期待される。

(3) スリット電極を持つ液晶光偏向デバイスの開発

液晶シリンドラレンズアレイを光偏向デバイスとして応用する試みを行った。2組のスリットパターン電極アレイを用いて、異なる電圧を印加することで傾斜した光学位相差分布を発生させるものである。まず光学位相差分布を調べたところ、各スリット開口において一方向の傾きを持つ（プリズム効果を持つ）形状が確認できた（図4参照）。また、この液晶シリンドラレンズアレイに無偏光のビーム光を入射して偏向状態を調べたところ、最大で±13度の偏向角が得られることが確認できた。この偏向角とスリット開口に形

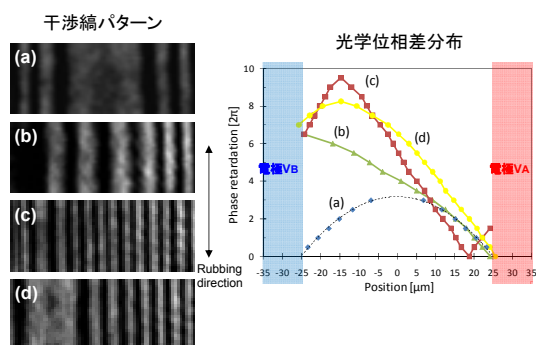


図4 液晶シリンドラレンズによる光学位相差の形成。(a) 同一電圧駆動では通常のシリンドラレンズ分布、(b)～(d)異なる条件で駆動することで一方向への傾斜分布を形成できる。

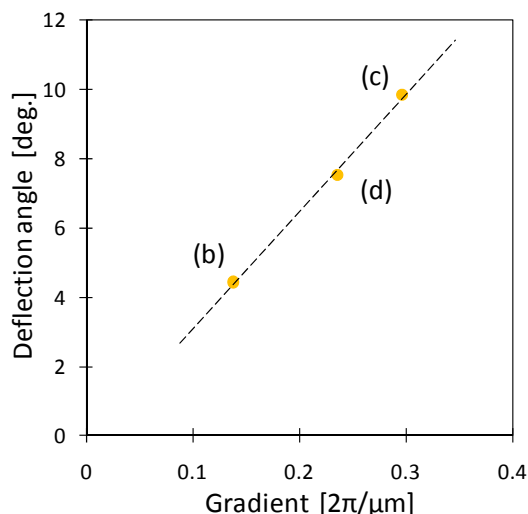


図5 光学位相差分布の傾斜と透過光の偏向角の関係。ほぼ比例した関係であることが示された。なお図中 (b)～(d) は図4の光学位相差分布と対応している。

成される光学位相差分布の傾きの大きさがほぼ比例していることも分かった（図5参照）。

直進透過成分の低減が課題であるが、液晶材料の光学異方性の向上によりさらに大きな偏向が期待できる。

(4) 超高抵抗膜の作製と安定性およびその大面積化

ミリメートルサイズの電極径の液晶レンズに求められる高抵抗膜のシート抵抗の最適値は $10^9 \Omega/\square$ であるが、開口サイズが小さくなるほど駆動周波数が高くなるため、より高いシート抵抗が必要となることがわかっている。本研究課題においても、スパッタ成膜の条件検討を行うことで $10^{10} \Omega/\square$ まで抵抗値を高めることができた。しかし後の工程での配向膜の焼成温度の影響が大きかった。そこで焼成温度とレンズデバイス化後の駆動周波数の関係を調べたところ、ある範囲で相関があることがわかり、 $10^{11} \Omega/\square$ 程度までの抵抗値の制御が可能となった。

一方でスパッタ法による ZnO の成膜では、 $\phi 5\text{mm}$ 程度よりも広い面積で均一な高抵抗膜を得ることは難しかった。本研究課題で実施している、種々のアレイ電極を使ったデバイスへの適用のためには、より広い面積への高抵抗膜の成膜が必要となる。そこで、太陽電池用に検討が行われている有機金属のジエチル亜鉛をスプレー塗布やスピコートによって成膜する検討を行った。スピコート法では、スパッタ法と同程度の膜厚で成膜することで、 $10^9 \Omega/\square \sim 10^{10} \Omega/\square$ 程度のシート抵抗が得られ、50mm 角基板内ではほぼ均一であった。一方、スピコートでも母材の濃度の調整や溶剤を適宜えらんで成膜することで $10^{11} \Omega/\square$ のシート抵抗が得られ、1 か月以上の経過に置いてその変動は数倍程度とスパッタ成膜と同等の結果が得られた。

これらの成果は、高抵抗膜を使った液晶デバイス全般に安価な製造法を提供するものであり、今後も安定した条件の調査を続ける予定である。

なお、本研究課題では集積化液晶マイクロレンズのデバイス化には至らなかったが、種々のマイクロレンズアレイによる光制御の可能性を示すことができた。今後は、具体的な応用を踏まえた集積化の実現性に向けて素子の配置や構造の検討を継続して実施していく予定である。

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2件)

① Mao Ye、Bin Wang、Masaru Uchida、Satoshi Yanase、Shingo Takahashi、

Susumu Sato, Focus tuning by liquid crystal lens in imaging system, Applied Optics、査読有、Vol. 51、2012、pp. 7630-7635

- ② Mao Ye、Bin Wang、Masaru Uchida、Satoshi Yanase、Shingo Takahashi、Susumu Sato、Measurement of optical aberrations of Liquid Crystal Lens、Japanese Journal of Applied Physics、査読有、Vol. 52、2013、pp. 042501-042505

[学会発表] (計 13 件)

- ① 梁瀬智、内田勝、葉茂、王濱、高橋慎吾、佐藤進、液晶シリンダリカルレンズにおけるラビング方向と光学特性の関係、2012 年日本液晶学会討論会、2012 年 9 月 5 日、「千葉大学 (千葉県千葉市)」
- ② 梁瀬智、内田勝、葉茂、王濱、高橋慎吾、佐藤進、液晶マイクロレンズアレイにおける第 3 電極の効果、第 73 回応用物理学会学術講演会、2012 年 9 月 13 日、「愛媛大学 (愛媛県松山市)」
- ③ Mao Ye、Bin Wang、Masaru Uchida、Satoshi Yanase、Shingo Takahashi、Susumu Sato、Resolution of Imaging System with Electrical Focusing Using a Liquid Crystal Lens、第 73 回応用物理学会学術講演会、2012 年 9 月 14 日、「愛媛大学 (愛媛県松山市)」
- ④ Mao Ye、Bin Wang、Masaru Uchida、Satoshi Yanase、Shingo Takahashi、Susumu Sato、Resolution and MTF of Imaging System with Liquid Crystal Lens as Focusing Element、The 19th International Display Workshops (IDW' 12)、2012 年 12 月 4 日、「国立京都国際会館 (京都府京都市)」
- ⑤ Mao Ye、Bin Wang、Masaru Uchida、Satoshi Yanase、Shingo Takahashi、Susumu Sato、Influence on Resolving Power of RMS Aberration of Liquid Crystal Lens、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013 年 3 月 29 日、「神奈川工科大学 (神奈川県厚木市)」
- ⑥ 梁瀬智、内田勝、葉茂、王濱、高橋慎吾、佐藤進、第 3 電極を持つ液晶シリンダリカルレンズの特性、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013 年 3 月 30 日、「神奈川工科大学 (神奈川県厚木市)」
- ⑦ 梁瀬智、内田勝、葉茂、王濱、液晶マイクロレンズアレイにおける光拡散効果とレンズ特性の関係、2013 年日本液晶学会討論会、2013 年 9 月 6 日、「大阪大学 (大阪府豊中市)」
- ⑧ 梁瀬智、内田勝、葉茂、王濱、液晶マイクロレンズアレイによる照明光の拡散効果、2013 年第 74 回応用物理学会学術講演会、2013 年 9 月 18 日、「同志社大学 (京都府京田辺市)」
- ⑨ 内田勝、梁瀬智、王濱、スリット電極型液晶シリンダリカルレンズアレイによる光

偏向効果、2014 年第 61 回応用物理学会春季学術講演会、2014 年 3 月 18 日、「青山学院大 (神奈川県相模原市)」

- ⑩ 梁瀬智、王濱、内田勝、液晶マイクロレンズに形成したポストスペーサ周辺の基板配向、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、2014 年 9 月 19 日、「北海道大学 (北海道札幌市)」
- ⑪ 内田勝、梁瀬智、王濱、スリット電極型液晶シリンダリカルレンズアレイによる光偏向効果 (II)、2015 年 3 月 18 日、「東海大学 (神奈川県平塚市)」
- ⑫ 近藤祐治、王濱、石井雅樹、梁瀬智、高橋慎吾、低電圧駆動型液晶レンズの高速駆動における解像度特性、2015 年 3 月 18 日、「東海大学 (神奈川県平塚市)」
- ⑬ 梁瀬智、内田勝、王濱、第 3 電極を持つ液晶シリンダリカルレンズの 2D/3D 切り替え特性、2015 年 3 月 18 日、「東海大学 (神奈川県平塚市)」

[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]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梁瀬 智 (YANASE Satoshi)
秋田県産業技術センター・電子光応用開発部・上席研究員
研究者番号：50370242

(2) 研究分担者

内田 勝 (UCHIDA Masaru)
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：90370238

王 濱 (WANG Bin)

秋田県産業技術センター・電子光応用開発部・非常勤研究員
研究者番号：60533370

(3) 連携研究者

なし