

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420227

研究課題名(和文) 水晶体型超音波式高速応答レンズの開発とマイクロ光デバイスへの応用

研究課題名(英文) Ultrasonic high-speed variable-focus lens and its application to micro-optical devices

研究代表者

小山 大介 (Koyama, Daisuke)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号：50401518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超音波の放射力を利用した高速応答レンズと、それを応用したマイクロ光デバイスの開発を行った。提案するレンズは、人間の眼の水晶体の様にレンズ自身の形状が変化して焦点位置を変化可能な可変焦点レンズである。高速で伝搬する超音波の放射力を利用し、従来技術である機械式と比較して1桁程度速い応答速度が期待できる。

また本技術を応用したマイクロレンズアレイ、光スキャナなどのマイクロ光デバイスの開発を行った。さらに液晶材料と超音波を組み合わせた従来にない光制御技術を提案し、超音波の放射力による液晶の配向制御技術について検討した。

研究成果の概要(英文)：In this study, high-speed optical lenses using acoustic radiation force and its application to micro-optical devices were developed. The lens can change its focal point by deforming the lens profile in a similar manner as the crystalline lens of the human eye. The high-speed response is expected by using acoustic radiation force.

The applications to micro-optical devices such as lens arrays and optical scanners were also developed. A novel technique to control the liquid molecular orientation was proposed and investigated.

研究分野：アクチュエータ工学，計測工学，超音波工学

キーワード：超音波 光学レンズ 音響放射力 液晶

### 1. 研究開始当初の背景

高速で画面奥行き方向（光軸方向）に移動する物体をカメラで撮影する場合、常に撮影対象にピントを合わせる必要があり、そのためにはアクチュエータとギア機構を通じてレンズを連続的かつ高速に光軸方向へ移動させなければならない。一部研究室レベルでは高速モータを利用した高速応答レンズが開発されているものの、装置自体が大型化する。一方、小型電子機器にカメラモジュールを組み込む場合、これらアクチュエータなどの動作機構が必要となるため大型化する傾向があり、現在応答速度の高速化とデバイスの小型化の両立が課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究では機械的可動部を持たず超音波の放射力を利用した高速応答レンズとその応用技術について検討する。従来技術より1桁程度速い応答速度1msを目指す。また本レンズ技術を応用したマイクロレンズアレイなどの高速光デバイスを開発する。レンズアレイは従来の作製技術であるシリコンプロセスを用いることなく安価に作製可能で、電氣的駆動条件を変化することによって、レンズの焦点位置、レンズピッチ、透過光波面を高速に制御することができ、CCDや画像入力装置など各種光学機器への応用が期待できる。さらに高速に光を屈折可能な本技術を利用し、血管内内視鏡用マイクロ光ファイバレンズや高速光スキャナを開発する。

### 3. 研究の方法

(1)音波の放射力（音響放射力）によって、人の目の水晶体の様にレンズ自身が変形し、その焦点距離を変化可能な可変焦点レンズについて、レンズアレイの開発を行う。粘弾性透明材料をレンズ材料に用い、基板の振動モードを利用することにより、レンズピッチを制御する。

(2)紫外線硬化樹脂と超音波を組み合わせたレンズアレイ作成手法を検討する。

(3)圧電基板上に発生する弾性表面波を利用することにより、数100マイクロメートル程度のレンズピッチを有するマイクロレンズアレイの作成を行う。圧電基板上に粘弾性透明ゲルフィルムを作成し、その動作・光学特性について検討する。

(4)入力電気信号によって、ガラスの振動モードを制御することにより、レンズアレイの空間分布の制御を行う。また、本技術を光スキャナに応用する。

(5)音響放射力による液晶分子の配向制御技術について検討する。液晶セルに超音波を照射し、その光学特性を測定する。

### 4. 研究成果

(1)焦点距離とレンズピッチを変化可能な超音波式レンズアレイの開発

焦点距離とレンズピッチの両方を変化可

能なレンズアレイを開発した。レンズアレイは超音波振動子付ガラス基板と、基板上にコーティングした厚さ数十～数百 $\mu\text{m}$ のレンズとなる透明粘弾性膜で構成される。振動子を駆動するとガラス基板に格子状のたわみ振動が発生し、基板の粘弾性膜に超音波放射力が働く。膜表面は同じ格子パターンで凸状に変形し、レンズアレイとして動作した(図1)。振動子駆動電圧振幅値を増加すればレンズの凸状変位は増加して焦点距離は短くなり、電圧振幅値によってレンズの焦点距離を制御でき、駆動周波数を高くすると基板振動の波長、すなわちレンズピッチは狭まり、周波数によってレンズピッチを制御できる。すなわち奥行き方向への焦点距離の制御、面内方向への波面の制御が可能である。

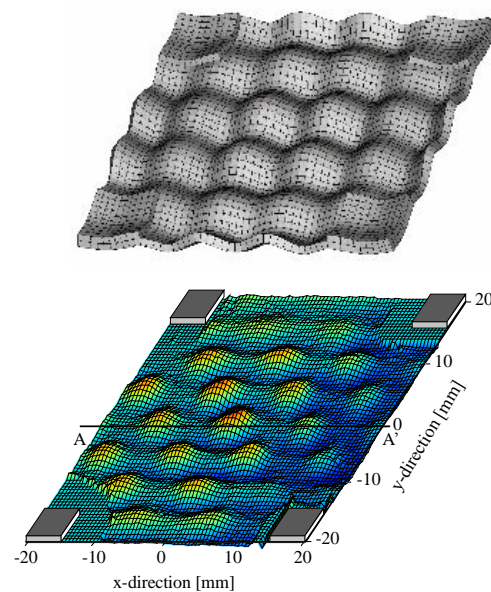


図1 (上)基板に発生するたわみ振動モードと(下)レンズアレイ形状

(2)紫外線硬化樹脂と超音波によるレンズアレイの作成

紫外線硬化樹脂と超音波の放射力を組み合わせたレンズアレイ作成技術を検討した。前項の透明粘弾性膜を紫外線硬化樹脂に置き換え、音波による樹脂の変形を保ったまま紫外線を照射してレンズを硬化させる。樹脂の硬化状態は、ガラス基板に接着した超音波振動子の電氣的アドミタンス特性（共振周波数および共振の鋭さを表すQ値）より予測することができる(図2)。振動子への入力電圧の周波数によってレンズピッチを、振幅値によってレンズ高さをそれぞれ制御可能であった。また、超音波パルス法によって、紫外線照射時の樹脂の音速変化を測定した結果、樹脂の硬化と共に音速は増加することがわかった(図3)。これらの結果より、紫外線硬化樹脂は硬化と共に音速が大きく、すなわち堅くなるもの、減衰材料として作用するためQ値は減少することが判明した。

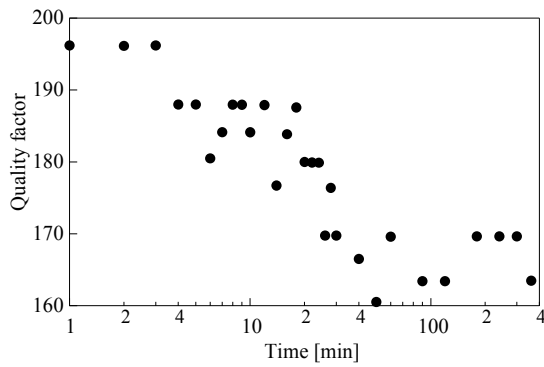


図2 紫外線照射下における樹脂硬化に伴うQ値の時間変化

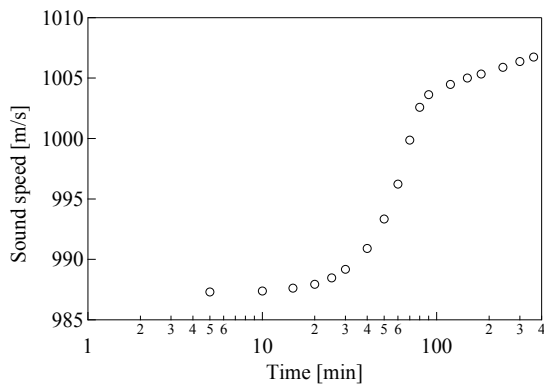


図3 紫外線照射下における樹脂硬化に伴う音速の時間変化

### (3)高周波超音波によるマイクロレンズアレイの作成

超音波によるマイクロレンズアレイの作成手法について検討した。ニオブ酸リチウム圧電基板に楕形のアルミニウム電極 (IDT) を作成し、数十 MHz の高周波信号を入力すると、基板の上に弾性表面波が発生する。基板表面に透明粘弾性膜が存在する場合、膜表面に音響放射力が働き、マイクロレンズアレイを作成することができた (図4)。入力電圧振幅値によってレンズ高さを変化可能であり、IDT の電極間電極間隔を変化することで異なるレンズピッチのレンズアレイを作成することができる。

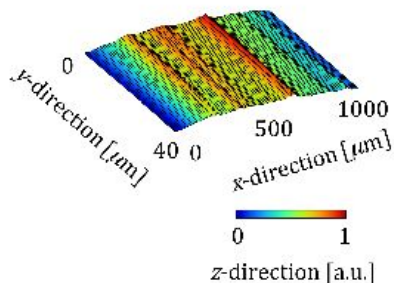


図4 高周波超音波によって作成されたマイクロレンズアレイの表面形状

### (4)レンズアレイの動作特性および光スキャナへの応用

基板の振動モードを制御することにより、レンズアレイの1次元移動および光スキャナへの応用を行った。表面に粘弾性材料膜を塗布し、圧電振動子を両端に接着したガラス基板 (図5) を共振周波数で駆動すると、長手方向にたわみ振動が励振され、音響放射力によって、膜表面にはレンズアレイが形成される。2つの振動子の駆動位相差を制御することにより、レンズアレイは長手方向に移動することができた。レンズ厚み方向にレーザを透過することにより、本レンズアレイ動作を光スキャナとして応用することができる (図6)。

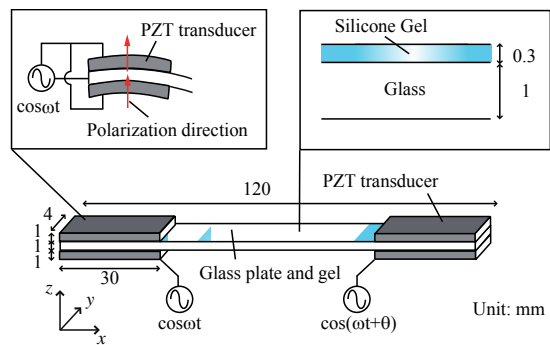


図5 1次元移動可能なレンズアレイ

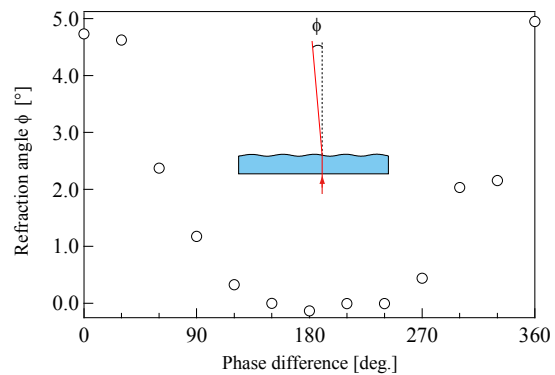


図6 超音波式光スキャナ動作特性

### (5)超音波による液晶分子の配向制御

光デバイスへの応用を目指した超音波による液晶配向技術を検討した。液晶セルに超音波振動子を接着し、液晶層中に超音波を照射した。クロスニコル条件下で液晶セルの透過光を観測した結果、超音波を照射することによって、周期的に透過光が増加することを確認した (図7)。また周波数を変化した場合、その周期も変化することがわかった。すなわち本結果は、液晶セルに発生するたわみ振動による音響放射力が、液晶分子の配向を変化させたことを示唆している。今後、本現象を利用した超音波式液晶光学デバイスの開発を行う予定である。

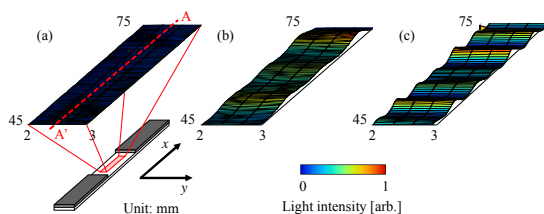


図7 超音波による液晶分子配向制御

#### (6) まとめ

本研究では音響放射力を用いた小型で高速応答可能な各種光デバイスの開発を行った。これらのデバイスは従来の機械式に比べて、ギアなどの機械的可動部を必要としないため、大幅な小型・薄型化が実現できる。また、超音波振動の共振モードを利用することにより、光の空間的分布を高速に制御することが可能であり、今後これらの特長を利用した体内診断技術など新たな光計測手法の開発が期待できる。

#### 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 3 件)

- (1) S. Taniguchi, D. Koyama, Y. Shimizu, A. Emoto, K. Nakamura, M. Matsukawa, Control of liquid crystal molecular orientation using ultrasound vibration, Appl. Phys. Lett., Vol. 108, No.10, p. 101103 (2016) (査読有り)
- (2) D. Koyama, Y. Kashiwara, M. Hatanaka, K. Nakamura, M. Matsukawa, Movable optical lens array using ultrasonic vibration, Sens. Actuators A, Phys., Vol. 237, No. 1, pp. 35-40 (2016) (査読有り)
- (3) S. Taniguchi, D. Koyama, K. Nakamura, M. Matsukawa, Fabrication of an optical lens array using ultraviolet light and ultrasonication, Ultrasonics, Vol. 58, No. 4, pp. 22-26 (2015) (査読有り)

〔学会発表〕(計 20 件)

- (1) D. Koyama, Y. Kashiwara, M. Hatanaka, K. Nakamura, M. Matsukawa, Tunable optical lens array using viscoelastic material and acoustic radiation force, 20th International Symposium on Nonlinear Acoustics (2015.6), リヨン (フランス)
- (2) D. Koyama, Optical lens array formed by acoustic radiation force and ultraviolet curable resin, Ultrasonics 2014 -Ultrasonic-based applications: from analysis to synthesis- (2014.9), リスボン (ポルトガル)

(3) D. Koyama, M. Hatanaka, K. Nakamura, M. Matsukawa, Optical lens array with variable focus length and pitch using acoustic radiation force, 10th International workshop on piezoelectric materials and applications in actuators (2013.7), ハノーファー (ドイツ)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 液晶分子配向制御方法および液晶デバイス

発明者: 小山大介, 谷口聡紀, 清水裕貴

権利者: 学校法人同志社

種類: 特許

番号: 特願 2015 - 210025

出願年月日: 2015年10月26日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://use.doshisha.ac.jp/use/Welcome2.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小山大介 (KOYAMA DAISUKE)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号: 50401518

##### (2) 研究分担者

中村 健太郎 (NAKAMURA KENTARO)

東京工業大学・未来産業技術研究所・教授

研究者番号: 20242315