

機関番号：32665

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560115

研究課題名 (和文) マイクロ成形によるフォトニクス結晶の高精度化・量産化方式に関する研究

研究課題名 (英文) Study on high precision and mass production method for photonics crystals using micro-part molding system

研究代表者

白井 健二 (SHIRAI KENJI)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：50256814

研究成果の概要 (和文)：

フォトニクス結晶を製造するための型となる PLZT の特性評価とフォトニクス結晶の材料となる光硬化性樹脂を極微量充填する装置を組み込んだ成形装置の開発を行った。ここでは PLZT を樹脂に埋め込んだ試作型を作製し、その特性を調査した。さらに位置決めを不要とする型の提案と樹脂充填量の制御を取り入れた新規の成形装置の設計を行い、試作した成形装置により実験を行った。その結果、百  $\mu\text{m}$  程度の三次元形状を積層することにより、複雑な形状を成形することに成功した。

研究成果の概要 (英文)：

his report is described about study on high precision and mass production method for photonics crystal using micro-part molding system.

Photostyictive element PLZT ceramics whose shapes can be changed using ultraviolet ray are used for the die. In this development, first a measuring device was developed in order to verify the characteristics of the PLZT ceramics.

Demands for micro parts are increasing in the fields of medicine, information technology, and precision instruments, and as a result, various micro manufacturing technologies are progressing, enabling micro parts to be fabricated at the micro and nano levels. But, present production methods require expensive equipment. This study therefore aims at the development of a micro molding system for the mass production of precision parts at low costs. It uses photostrictive element for the die.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009 年度	400,000	120,000	520,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：フォトニクス結晶，マイクロ成形，光硬化性樹脂，PLZT

1. 研究開始当初の背景

フォトニック結晶は、屈折率の異なる材料が光の半波長程度に周期的に配置された構造物である。この結晶の周期間隔や構造を変化させることにより光の透過・反射・屈折特性を制御できるため、光導波路等の光学部品として今後多くの需要が見込まれている。フォトニック結晶の構造（以後、フォトニック構造と呼ぶ）は、1次元、2次元、3次元構造の3種類があり、その周期形状は様々なものが提案されているが、シミュレーションにおいては解析できても作成は非常に困難となる場合がある。それはフォトニック構造が数百 nm レベルの周期構造となるため、その作成が困難であり、いまだに作成技術が確立されていないことによる。現状においては、平板に加工された格子構造や球を積み上げて作成する組立法または自己集積による作成方法が提案されているが、作成コスト、作成時間、光学特性を変化させる機能性欠陥の作成が難しい等問題も多い。また、実用化の点においては量産可能な製造技術が望まれるところであるが、現状においては3次元フォトニック結晶の量産化方式は確立していない。

2. 研究の目的

複雑な構造を持つフォトニック結晶を作成するため、PLZT 素子を用いた型を作製し成形を行う。そのため以下の(1)~(5)の研究テーマの掲げ研究を行った。

- (1)PLZT 型の作成・評価
- (2)成形装置の製作
- (3)成形実験
- (4)フォトニック構造の成形実験
- (5)成型されたフォトニック結晶の光学特性評価

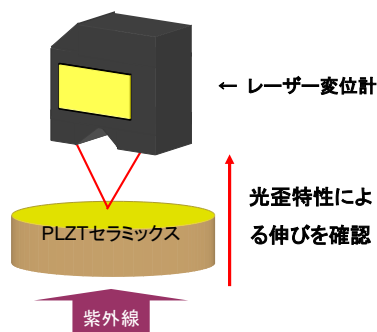


図1 変位量計測実験の概要

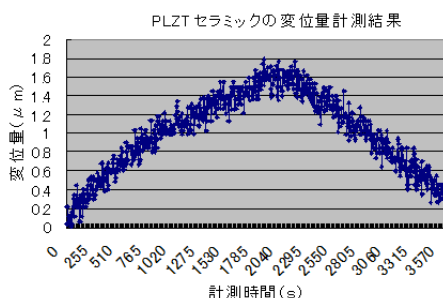


図2 計測結果

3. 研究の方法

(1) PLZT 型の作成・評価

PLZT セラミックスに紫外線を当てることによって、どのように変位がおこるか調べるために、変位量測定実験を行った。

PLZT セラミックスに紫外線を当て続け、1800 秒後紫外線照射装置のスイッチを切り、さらに、1800 秒間変位量の計測を行った。図1に概要を示す。

図2計測結果を示す。1800 秒間紫外線を当て続けたときの変位の最大値は、計測結果から 1870 秒後の 1.79 μm であり、紫外線照射装置のスイッチを切っても若干変位が伸び続けることが確認できた。そして、PLZT セラミックスが変形する時間と元に戻る時間を比べると、元に戻る時間の方が長いことを確認できた。

(2) 成形装置の開発

①成形装置のデザイン

図3に成形装置のデザインを示す。この装置は、PLZT セラミックスによる型を作成する機能と、型に流し込んだ光硬化性樹脂を硬化させる機能を持つ。下の紫外線照射装置から紫外線を照射して、反射鏡と凹凸レンズを介して、ガラスプレートの上にある PLZT セラミックスを変形させ型を作成する。次に、作成した型に光硬化性樹脂を流し込み、エアシリンダを上下させて、ガラスプレートを光硬化性樹脂に接着するように高さを調節し、紫外線を照射して硬化させ成形物を作成する。型を開いてガラスプレートに付着した成形物を取り出す。この成形装置のデザインに、立案したマイクロ成形システムに役立つ機能を添加して、デザインに改良を加える。

②マイクロ成形システム

図4に成形手順を示す。スタンパ法を参考にし、新しいマイクロ成形システムを立案した。

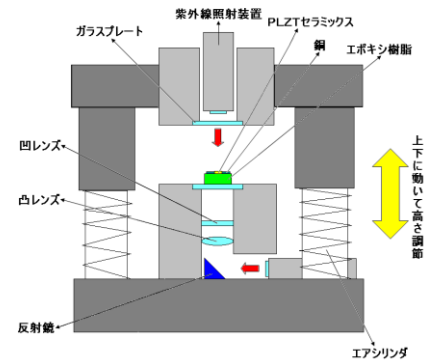


図3 成形装置のデザイン

基板に光硬化性樹脂を塗っておき、スペーサー、PLZT セラミックスを接着する。下から紫外線を照射して、PLZT セラミックスとスペーサーを固定させる。その後、光硬化性樹脂を流し込み、上に別の基板を置く。上から紫外線を照射して、光硬化性樹脂を硬化させる。上下を反転させて、上の基板とスペーサーを外して、紫外線を照射し、PLZT セラミックスを変形させ、型に凹凸を作る。型に光硬化性樹脂を流し込み、ガラスプレートを下げて、

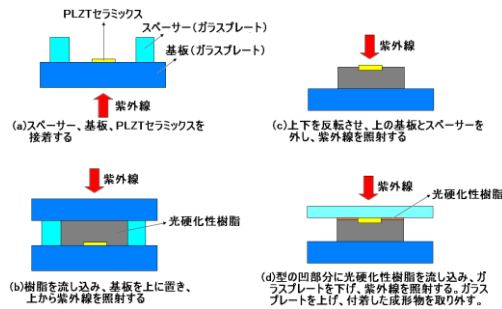


図4 成形手順

紫外線を照射し、樹脂を硬化させる。ガラスプレートを上げて、付着した成形物を取り出す。

### (3) 光硬化性樹脂による成形実験

#### ① 基礎実験

PLZT セラミックスと銅板の段差の高さを計測し、PLZT セラミックスの変位を確認するための実験を行った。

図5に成形物の成形方法の手順を示す。PLZT セラミックスと銅板の間に光硬化性樹脂を流し込み、流し込んだ光硬化性樹脂に上から紫外線を照射し、光硬化性樹脂を硬化させる。次に、成形された光硬化性樹脂の凹凸の段差の高さを計測する。この実験により、作成した成形物を用いて、PLZT セラミックスの変位量計測実験で測定した結果と近い値になることを確認する。

図6に実験結果を示す。成形された光硬化

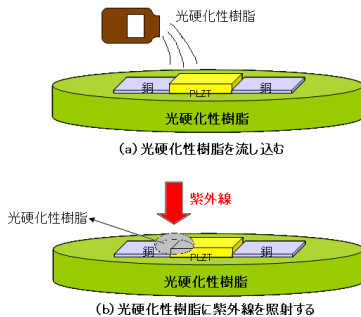


図5 成形実験（基礎実験）

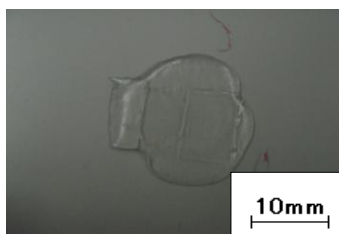


図6 成形結果（基礎実験）

性樹脂は歪があり、正確なデータを取ることができなかった。原因は、PLZT セラミックスと銅板をエポキシ樹脂に接着する際に完全に密着していなかったことや、接着する場所が水平ではなかったことなどがあげられる。

これらの問題点を解決するために成形装置の開発と新しいマイクロ成形システムを立案する必要がある。

#### ②型の生成実験

図7に型の生成手順を示す。立案したマイクロ成形システムの有効性を確認するための実験を行った。

紙コップの底に光硬化性樹脂を塗り、その上にPLZT セラミックスを置いて、紫外線を照射し、接着させる。紙コップに光硬化性樹脂を流し込み、上から紫外線を照射して硬化させる。硬化後、生成した型を紙コップから取り出す。

図8に実験結果を示す。問題点は、光硬化性樹脂の表面の一部が、気泡により凹凸があることと、PLZT セラミックスが光硬化性樹脂の表面上に出ているのか、不明であることである。原因として、前者は、光硬化性樹脂を完全に硬化させる前に紙コップから取り出してしまったことであり、後者は、PLZT セラミックスを接着する際に塗る光硬化性樹脂によって、セラミックと紙コップの境目に硬化した樹脂が入り込んでいる可能性があることである。

### 4. 研究成果

(1) PLZT 素子を型に応用したマイクロ成形機を製作し、成形実験を行った。その結果、数  $\mu\text{m}$  程度の表面段差を成形形状とした成形物を作製した。

(2) PLZT 素子の変位をサブ  $\mu\text{m}$  ~ 数  $\mu\text{m}$  の間で制御できるため、素子の形状を楕円にするな

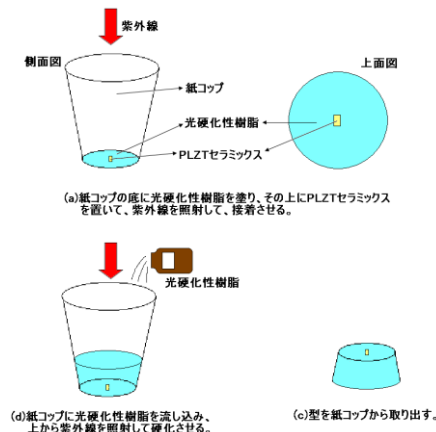


図7 成形原理

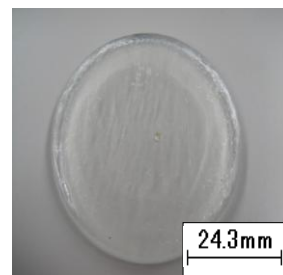


図8 成形結果（型を使用）

どしてフォトニック構造化し、成形することでフォトニック結晶を作製できる。

#### 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 23 件)

- ① H. Tachika, Y. Takaya, T. Hayashi, K. Kokubo, K. Suzuki, K. Shirai: A novel CMP process using the size-controllable poly-hydroxylated fullerene cluster, euspen2008, 査読有, pp460-464, 2008. 5
- ② 福瀧僚浩, 井坂茂倫太, 小林義和, 白井健二: 画像認識を用いたマイクロマニピュレータ用自動位置決めシステムの開発, 日本大学工学部紀要 第 50 巻 第 1 号, 査読有, pp27-30, 2008. 9
- ③ 相澤大輔, 田中祥一郎, 小林義和, 白井健二: 自己変形型を用いた微小部品成型システムの開発-PLZTセラミックスの特性計測装置の試作とその計測実験-, 日本大学工学部紀要 第 50 巻 第 1 号, 査読有, pp31-34, 2008. 9
- ④ N. Ikeda, Y. Kobayashi, K. Shirai, K. Tozawa: ANALYSIS OF SURFACE ACCURACY BY END MILLING, ASPE2008 Annual Meeting, 査読有, CD-R 4 pages, 2008. 10
- ⑤ 池田博充, 原靖彦, 小林義和, 白井健二: 3次元位置合せによる微小立体形状の再構成, 日本大学工学部紀要 第 50 巻 第 2 号, 査読有, pp49-55, 2009. 3
- ⑥ T. Hayashi, Y. Takaya, K. Shirai: 3D microfabrication of silver nanoparticle composite with mesoporous structure, euspen2009, 査読有, pp41-44, 2009. 6
- ⑦ Y. Tominaga, Y. Kobayashi, K. Shirai: DETERMINING TOOL DIAMETER FOR MACHINING OF SURFACE TEXTURE, ASPE2009 Annual Meeting, 査読有, CD-R 4 pages, 2009. 10
- ⑧ 林亮 (株式会社ナノ), 小林義和, 白井健二, 原靖彦: 規則的パターンを持つ表面テクスチャの 5 軸制御加工, 精密工学会誌 Vol. 75 No. 12, 査読有, pp1459-1463, 2009. 12
- ⑨ 河田成広, 原靖彦, 白井健二, 小林義和, 足立英之, 滝沢義信, 菅野純一: 画像歪み補正を採用した 3 角測量方式微小球体高さ検出, 日本大学工学部紀要 第 51 巻 第 2 号, 査読有, pp57-62, 2010. 3
- ⑩ Yoshikazu KOBAYASHI, Kenji SHIRAI, Kiyotaka KAWASAKI: GENERATION AND ASSESSMENT OF RANDOM SURFACE TEXTURE IN WIDE AREA, ISMQC2010, 査読有, pp016,

2010. 9. 7

- ⑪ 小林義和, 白井健二: 表面模様 (テクスチャ) の設計とエンドミル加工, 砥粒加工学会誌 Vol. 54 No. 9, 査読有, pp6-7, 2010. 9.
- ⑫ Kiyotaka KAWASAKI, Tetsuya MURATA, Yoshikazu KOBAYASHI, and Kenji SHIRAI, Tsukasa KONDO: REDUCTION OF NC MACHINING BY CIRCULAR APPROXIMATION OF DISCRETE POINTS, ASPE2010 Annual Meeting, 査読有, 2010. 11. 2
- ⑬ 近藤司, 熊谷卓也, 白井健二: C1 連続円弧当てはめに関する研究, 函館工業高等専門学校紀要第 45 号, 査読有, pp7-11, 2011. 2
- ⑭ Yoshikazu Kobayashi, Kenji Shirai, Yasuhiko Hara, Tomohiro Mizoguti, and Kiyotaka Kawasaki: Generation and Assessment of Random Surface Texture over a Wide Area, International Journal of Automation Technology Vol. 5 No. 2, 査読有, pp185-189, 2011. 2

[学会発表] (計 73 件)

- ① 磯俊介, 小林義和, 白井健二, 戸澤幸一 (日産自動車株): エンドミル加工による表面テクスチャの解析と精度補正の評価, 2008 年度 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp107-108, 2008. 9
- ② 林亮, 花井雄三, 飯島大典 (株ナノ), 山中将 (東北大学), 白井健二, 小林義和: マイクロ生産設備向けの BT-05 シャンク対応型マニピュレータの開発, 2008 年度 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp507-508, 2008. 9
- ③ 磯俊介, 小林義和, 白井健二: 表面テクスチャを対象としたエンドミル加工の精度補正法の評価, 第 51 回日本大学工学部学術研究報告会講演要旨集, PP111-112, 2008. 12. 6
- ④ 田中祥一郎, 小林義和, 白井健二: 微小部品を対象とした順送り方式による積層成形, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp515-516, 2009. 3
- ⑤ 磯俊介, 小林義和, 白井健二, 戸澤幸一 (日産自動車株): エンドミルによる溝加工の精度解析と補正, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp607-608, 2009. 3
- ⑥ 中石雅之, 小林義和, 白井健二: 基本形状へのテクスチャ形状のマッピングに関する一検討, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp1095-1096, 2009. 3
- ⑦ 高橋善重, 小林義和, 白井健二: 画像認識を用いたハンドロボットによる微小物体把持動作の自動化, 動的画像処理実利

用化ワークショップ 2009 講演論文集,  
pp123-126

- ⑧ 中石雅之, 小林義和, 白井健二: イメージキルティングを用いたテクスチャ形状の接合と形状評価, 型技術ワークショップ 2009in 金沢, pp120-121, 2009.11
- ⑨ 富永良和, 小林義和, 白井健二: 表面テクスチャ加工における工具径の決定法とその加工面評価, 2010 年度精密工学会春季大会学術講演会, pp245-246, 2010.3
- ⑩ 高橋善重, 小林義和, 白井健二: 画像認識を用いた把持ロボットによる部品の積み上げ作業の自動化, 2010 年度精密工学会春季大会学術講演会, pp675-676, 2010.3
- ⑪ 中石雅之, 小林義和, 白井健二: イメージキルティング法によるテクスチャ形状の接合と加工, 2010 年度精密工学会春季大会学術講演会, pp919-920, 2010.3
- ⑫ 川崎清貴, 小林義和, 白井健二, 近藤司: 離散点群の円弧近似法による NC 加工データ量の削減と実加工による評価, 型技術者会議 2010, pp180-181, 2010.6
- ⑬ 庄内俊, 近藤司, 小西崇仁, 白井健二: 熟練技能者の作業ノウハウを実現可能な穴あけ工作機械の開発, 2010 年度精密工学会北海道支部学術講演会, pp85-86, 2010.9.4
- ⑭ 吉田拓文, 小林義和, 白井健二: ロボットハンド用微小物体位置検出システムの開発, 2010 年度精密工学会秋季大会学術講演会, pp441-442, 2010.9.27
- ⑮ 川崎清貴, 溝口知広, 小林義和, 白井健二, 近藤司: 離散点群の円弧近似法による NC データ量の削減と加工面評価, 2011 年度精密工学会春季大会学術講演, pp189-190, 2011.3.14
- ⑯ 吉田拓文, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 画像認識による微小物体位置決めシステムの開発, 2011 年度精密工学会春季大会学術講演, pp753-754, 2011.3.15
- ⑰ 渡辺暁, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 電動スライダを用いた塗装ロボットに関する基盤的研究, 2011 年度精密工学会春季大会学術講演, pp11025-1026, 2011.3.15

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

**白井健二 ( SHIRAI KENJI )**

日本大学・工学部・教授

研究者番号: 50256814

### (2) 研究分担者

**吉川義雄 ( YOSHIKAWA YOSHIO )**

日本大学・工学部・教授

研究者番号: 00059932

研究分担者

**小林義和 ( KOBAYASHI YOSHIKAZU )**

日本大学・工学部・准教授

研究者番号: 60277390