

1. 研究課題名

MEMSテクスチャスキャナ

2. 氏名

長澤 純人

3. 研究のねらい

本研究の目的は MEMS(MicroElectroMechanical Systems) 技術を用いて、実際の物体表面での光学異方性を持った反射特性や色情報をスキャンし、CG モデルに即時適用可能なテクスチャ情報を取得することである。また、そのための光学的な要素デバイスの試作・評価も行う。

4. 研究成果

(a) MEMSプロセスに適した自己クロニング型フォトニック結晶による動的光学フィルタ

MEMS 構成要素として、物体表面の色情報(可視光領域におけるスペクトル情報)を得るデバイスが必要である。これまでの MEMS デバイスにおけるフォトニック結晶の利用は、図 1 に示すような直径数百 nm の穴を規則正しく配列させて開けるスラブ型のもので、扱える波長域

もシリコン構造体を導波路とするために赤外線領域での動作が多かった。本研究で利用したフォトニック結晶は東北大学の川上らによって確立された自己クロニング法によって作られた、2次元もしくは3次元の立体構造を持つフォトニック結晶である。構造ピッチは 190nm、可視光領域(500nm 近傍)で動作する。本課題で試作しデバイスは、可視光線領域で動作するフォトニック結晶デバイスであり、2006 年度の MEMS 国際学会でも、スラブ型とは異なる方式で MEMS プロセスに適合できる自己クロニング法を利用する提案は、多くの研究者が非常に高い関心を示していた。

図 2a) に自己クロニング法の製作方法を示す。自己クロニング法は、スパッタリングによって2つの屈折率の異なる光学材料を堆積・エッチングを繰り返して製作する。この手法は構造材料の堆積とエッチングの繰り返しによって微小構造を作りだすMEMSのファブリケーションプロセスと適合性が高い。例えば図 2b) に示すように、SOIウエハを用いてSiO₂中間層を露出させ、透明基板として用いる。ここに数百nmオーダーの凹凸を作る。その上で、自己クロニング法を適用すれば、完全にMEMS構造とフォトニック結晶が融合したデバイスを作成することができる。

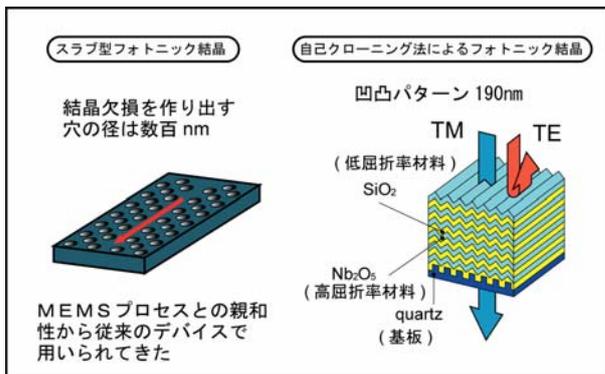


図1 スラブ型と自己クロニング法

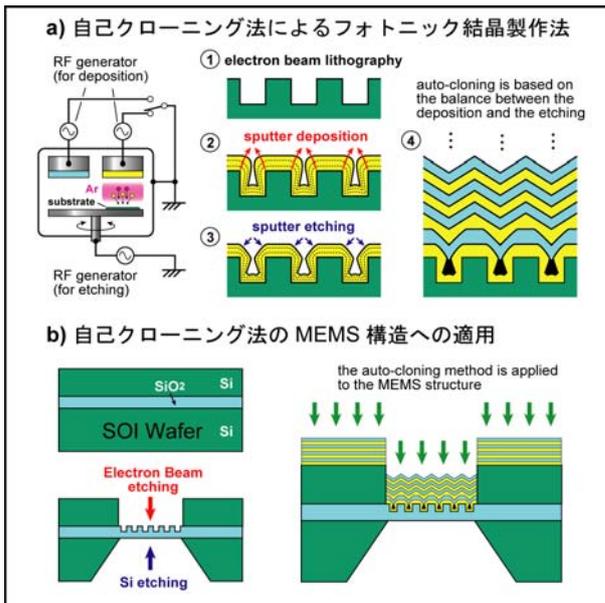


図2 MEMS 構造への自己クロニング法の適用

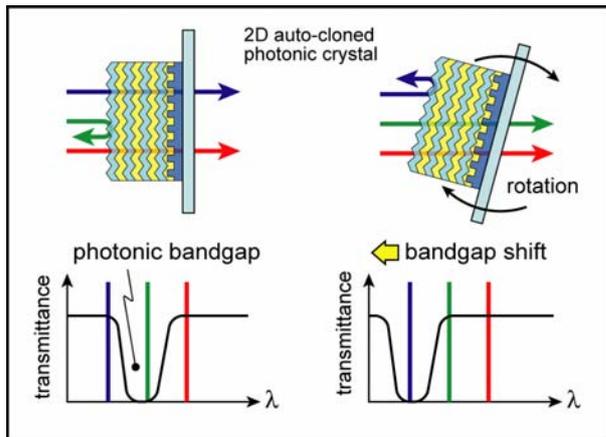


図3 MEMS で駆動される動的光学フィルタ

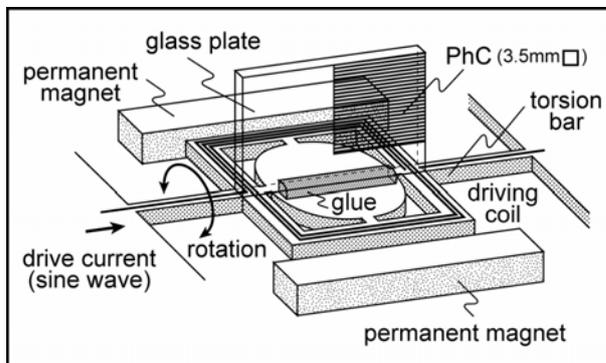


図4 MEMS で駆動される動的光学フィルタ

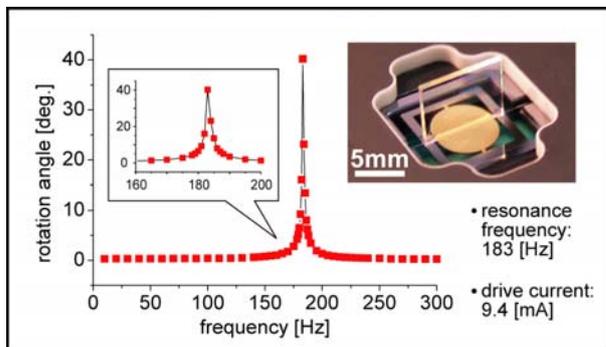


図5 PhC をつけた試作デバイスの共振周波数

図3に示すように、フォトニック結晶に入射する入射光方向を制御することで、フォトニック・バンドギャップを動的にシフトさせることが可能である。本研究では、入射光角度の制御に MEMS デバイスを用いた動的光学フィルタの試作・評価を行った。

フォトニック結晶の入射光角度を変化させる駆動機構として MEMS デバイスを利用している。図4に試作した MEMS 動的光学フィルタの構成を示す。駆動用 MEMS デバイスとして、日本信号の Eco Scan ESS115B を使用した。このデバイスは両持ち梁で支えられた可動構造に駆動用のコイルが形成されている。外部永久磁石による磁界の中で、駆動コイルに電流を流したときにローレンツ力が発生し、可動構造が振動する仕組みである。振動の周波数と振幅は、駆動コイルに印加する駆動電流によって制御される。デバイスの仕様は共振周波数 540Hz、約 20mA 程度の駆動電流で光学角±34度(構造体の振動角度はその半分)である。フォトニック結晶は可動構造の上に接着剤で固定した。フォトニック結晶を取り付けたことでデバイスの共振周波数は図5に示すように 183Hz に低下したが、振幅角度としては駆動電流 9.4mA で光学角 40 度を実現しており、十分な入射光角度変化が得られた。

この試作デバイスの評価として、1～5Hz でスイッチング特性を計測した。波長 420nm における入射角度変化に対する透過率変化は、0 度付近で 0～40% の範囲で劇的に変化しており、MEMS 駆動による光のスイッチングが確認された。

(b) マイクロバブルによる駆動構造を持たない入射光のスキャニング機構

マイクロヒータ・アレイは、MEMS 要素としては比較的プロセスが容易で、その発生熱量の制御も電流制御が可能である。マイクロヒータを液体の中で発熱させると、マイクロバブルが生成する。マイクロバブルは、生成・分解の応答性が非常に速く、応用が期待されている技術の一つである。ヒータ電力と供給時間によって、ヒータでの供給電力量が決定され、バブル径を任意に制御することが可能である。マイクロバブルの位置は、ヒータによって精密に決められているので、入射光をコリメートしておき、ピンホールを介してバブルに入射すれば、バブル径を調節することで、その入射光方向を制御し、駆動構造を持たずにスキャニング機構を実現することができる。

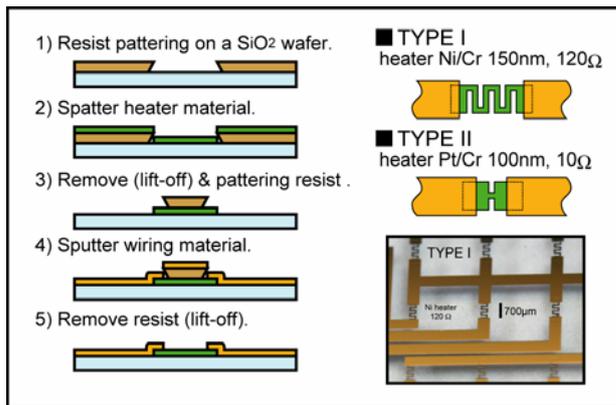


図6 マイクロヒータ・アレイの試作プロセス

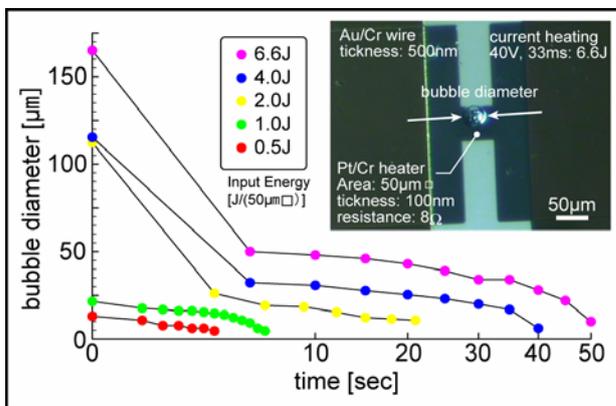


図7 生成されたマイクロバブル径の時間推移

マイクロバブル生成のための、マイクロヒータ・アレイを試作した。試作プロセスを図6に示す。ヒータ部に Ni (150nm, 120ohm)を用いて折り返し形状とした TYPE I と、Pt (100nm, 10ohm)を用いて絞った形状とした TYPE II の2タイプを試作した。TYPE I は広域を均一に加熱し、比較的大きなバブルを生成することを目的としている。TYPE II は局所的な部分(50μm 角)で加熱し、比較的小さいバブルを生成する。

Pt をエッチングすることが困難なので、リフトオフでパターンングを行っている。配線は電気分解を起こさないようにイオン化傾向の低い Au 配線とした。生成されるバブルの生成・消滅過程は、倒立顕微鏡に取り付けた CCDカメラで撮影し、画像解析してバブル径やその時間遷移を解析している。

図7に TYPE II のマイクロヒータで生成されたマイクロバブルを示す。このヒータでは、数十ミクロン径のバブルが生成される。ヒータ部は 50μm 角しかないが、バブル径は 100μm を超えるものが生成される。小さいバブルを生成させれば高速な動作が期待できる。

(c) カスタムASICによるベアチップ周辺回路の試作

MEMS センサデバイスは微弱な物理量を検知し、それを電気信号に変換するトランスデューサである。このためデバイスの直ぐ傍でインピーダンス変換をするのが望ましい。電気学会マイクロマシニング・マルチチップサービスを利用して MEMS デバイス用のベアチップ周辺回路を試作した。高入力インピーダンスタイプのオペアンプを前段にしたインストルメンテーションアンプを構成している。また、後段の増幅回路は最小限の外付け部品でゲインを調節できるように工夫した。また、測定信号には1/fノイズ軽減のため高周波変調をかけることがあり、その復調器も構成できる。

(d) MEMSミラーと受光素子アレイを用いた試作テクスチャスキャナ

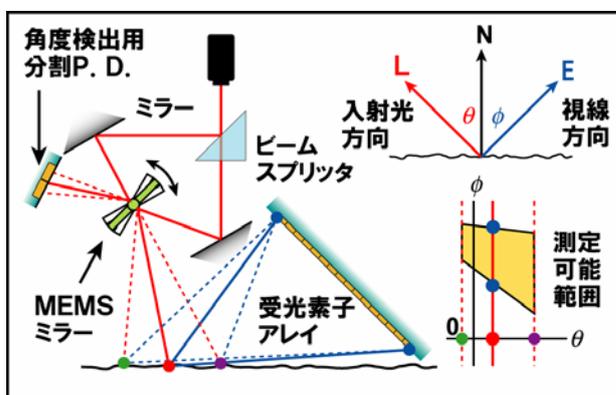


図8 MEMSミラーと受光素子アレイによる構成

MEMS ミラーと受光素子アレイ(フォトダイオードアレイや CCD など)を組み合わせた試作テクスチャスキャナを試作した。本装置は主要なテクスチャ情報である物体表面での光学異方性反射分布を計測する。MEMS ミラーによるスキャニング機構を用いた構成例を図2に示す。特定の測定可能範囲でしか測定値が得られないため、リファレンスとしての光学異方性反射分布ライブラリを用意し、測定データとフィッティングすることにより、全方向からのテクスチャ情報を補完する。

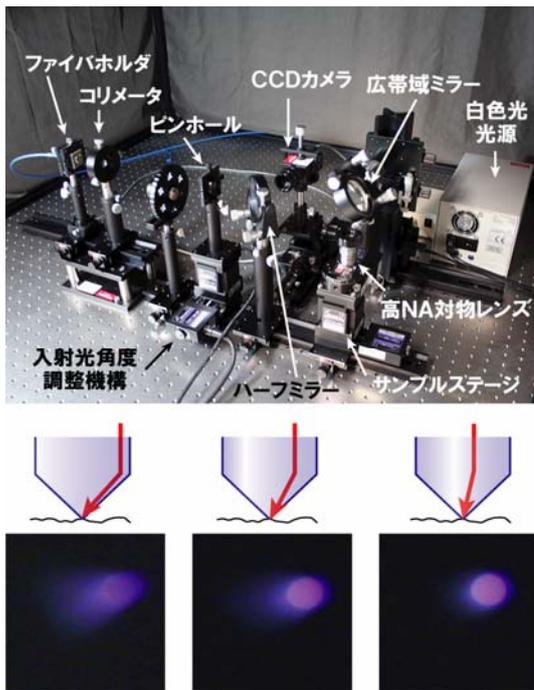


図9 リファレンス用の光学異方性取得実験系

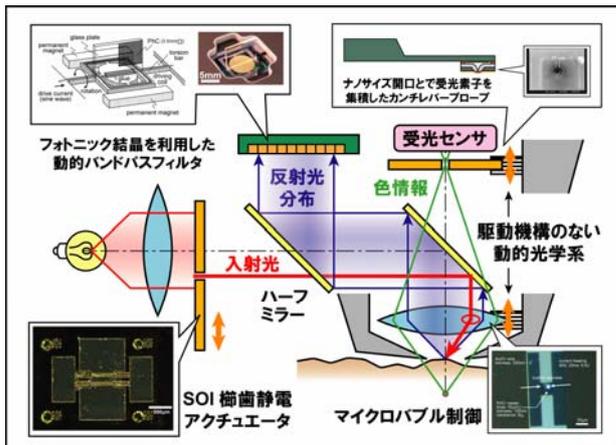


図10 MEMS構成要素への置き換え

5. 自己評価

本研究では、MEMS テクスチャスキャナを構成する要素デバイスの試作・評価、それに伴うMEMSプロセス研究展開のフェーズ、それらを統合してMEMSテクスチャスキャナを構成・評価するフェーズに分かれる。先のフェーズにおいては、自己クロニングフォトニック結晶を用いた動的光学フィルタをはじめ、動的要素を持たない光学デバイス、ベアチップ周辺回路、SOI櫛歯アクチュエータなど多くの要素デバイスの試作・検討を行うことができた。また、これらの試作に際して得られたスキルから、MEMS プロセスに関して多くの展開研究(微小開口、PZT薄膜、SAW素子、微小カンチレバ、高アスペクト比微小ニードル、エレクトレット発電など)を行うことができた。次の統合フェーズでは、従来の光学部品で組み上げた光学特性実験系の各要素を、MEMSデバイスで置き換えていくのだが、要素デバイスは単独では動作するのだが、統合して動かすのは非常に困難であった。主要テクスチャ情報であるBRDFをMEMSミラーと受光素子アレイだけで計測する試作テクスチャスキャナも検討を行っている。

リファレンスとする光学異方性分布は、図9に示す装置で計測を行った。本装置は、高NAの対物レンズを用いて対象サンプルの表面の一点に様々な方向から測定光を入射させ、反射光分布を計測する。対物レンズへ入射する平行光の入射位置を変えることで、入射光方向を変化させることが可能で、計測点での異方性反射分布が計測できる。従来の測定装置は、光源・カメラ・サンプルを動かしながら反射分布を計測するため、非常に大掛かりなシステムとなっていた。本装置は物体表面での光学異方性分布を得るための装置としては、コンパクトな構成である。駆動部は精密ステージで制御されるため、再現性の良い計測が可能である。本装置の目的の一つに光学異方性反射分布のライブラリ化がある。実際に計測だけから求めるには、精密かつ非常に多くの繰り返し計測が必要となる。試作テクスチャスキャナでは、実測によってライブラリから適合データを照合できるだけの特徴点を検出するのが現実的である。また、この作業にはMERLのBRDFライブラリなど公的に利用可能な情報も参考にしている。

MEMSミラーだけでなく、これまでに試作・評価したMEMS構成要素の統合デバイスとしてのテクスチャスキャナを図10に示す。これを従来の機能要素部品で構成したものが図9の実験系であり、順次試作したMEMS構成要素と置き換え・評価を行っている。

6. 研究総括の見解

テクスチャ(質感)は、重要な画像情報の1つである。しかし、テクスチャ情報は、これまで専門性の高いソフトウェアを使いこなすか、大型の測定装置でしか得ることが出来なかった。今回の研究は、MEMS(MicroElectroMechanical System)による要素技術開発を行い、それらを組み合わせた計測システムの原理の確立を目指した。この技術開発により、物体表面に押し当てただけで簡単にテクスチャ計測できる装置を実現することへの道筋が得られる。

要素技術としては、波長分光のための動的光学フィルタ、光の方向をスキャンングするためのマイクロバルブ制御などの開発が行われた。特に動的光学フィルタ開発では、従来あったスラブ型フォトニクス結晶から自己クリーニング法によるフォトニック結晶に変更し、その結晶の傾斜角を動的に制御する技術開発を行った。その結果、可視光領域(500nm 近傍)でバンドギャップの狭い光学フィルタが作られた。このことには、MEMS 分野の専門家が強い関心を示した。また、今回開発した MEMS 構成要素を統合し計測システムを構築し、スキャナとしての原理的な確認を行った。

今回の研究で、小型化のための要素技術の確立はできたと評価できる。また、スキャナ装置としての原理的なシステムの構築・確認まではできたので、装置化については今後の研究に期待する。なお、MEMS は産業面・医療面など実用面で大きな期待が寄せられている技術であるが、本研究を契機に文化・芸術への応用という新しい分野が立ち上がることが期待される。

7. 主な論文等

A. さきがけの個人研究者が主導で得られた成果

(1)論文(原著論文)発表

1. Sumito Nagasawa, Takashi Suzuki, Yusuke Takayama, Kuni Tsuji, Hiroki Kuwano, "Mechanical Rectifier For Micro Electric Generators," Technical Digest of The 21st IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2008), pp.992-995 [204-Th], JW Marriott Starr Pass Resort & Spa, Tucson, USA, Jan. 13-17, 2008.
2. S. Nagasawa, T. Onuki, Y. Ohtera, H. Kuwano, "MEMS Tunable Optical Filter Using Auto-Cloned Photonic Crystal," Technical Digest of The 19th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2006), pp.858-861 [WP39], Lütfi Kırdar Convention and Exhibition Centre, Istanbul, Turkey, January 22-26, 2006.
3. S. Nagasawa, H. Arai, R. Kanzaki, I. Shimoyama, "Integrated Multi-Functional probe For Active Measurements in a Single Neural Cell," Digest of Thechnical Papers of The 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS' 05), pp.1230-1233 [3D2.3], Convention and Exhibition Center (COEX), Seoul, Korea, Jun. 5-9, 2005.
4. Sumito Nagasawa, Isao Shimoyama, "Calcium concentration measurement by local fluorescent-dye Injection," Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.102, pp.7-13, 2004.

(2)特許

[1] 発明者: 長澤純人 (25%)、岩瀬英治 (25%)、松本潔 (25%)、下山勲 (25%)

発明の名称: 質感情報取得装置及び質感情報取得方法

出願人: オリンパス株式会社

出願日: 2006年11月8日

出願番号: 特願 2006-301805

(3)口頭発表

なし

B. その他の成果

(1)論文(原著論文)発表

1. Katsuhiko Tanaka, Hiroki kuwano, Sumito Nagasawa, and Takahito Ono, "A Novel Scanning Thermal Microscopy System," Technical Digest of The 20th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2007), pp.627-630 [TP25], Kobe Portopia Hall and Kobe Portopia Hotel, Kobe, Japan, Jan.21-25, 2007.

(2)特許出願

- [1] 発明者: 長澤純人 (25%)、岩瀬英治 (25%)、松本潔 (25%)、下山勲 (25%)

発明の名称: 画像表示装置

出願人: オリンパス株式会社

出願日: 2006年11月8日

出願番号: 特願 2006-302566

- [2] 発明者: 長澤純人 (25%)、桑野博喜 (25%)

発明の名称: マイクロ発電装置

出願人: 長澤純人、桑野博喜

出願日: 2008年1月10日

(3)口頭発表

1. H. Okamoto, T. Onuki, S. Nagasawa, H. Kuwano, "Efficient Energy Harvesting from Wideband Vibrations by Active Motion Control", Technical Digest of PowerMEMS2007, Congres and Convention Center, Freiburg, Germany, pp. 101-104, Nov. 28-29, 2007.
2. Riyo Konno, Misato Mitsui, Hiroki Kuwano, Sumito Nagasawa, Koji Sano, Junichi Hayasaka, "A Highly Sensitive Strain Sensor Using Surface Acoustic Wave and Its Evaluation for Wireless Battery-less Sensor Network," Proceedings of The 6th IEEE Conference on Sensors (SENSORS2007), pp.407-408 [B4P-F13], Hyatt Regency Atlanta, Atlanta, USA, Oct. 28-31, 2007.
3. Takuya Sano, Masato Sato, Hiroaki Kuwano, Sumito Nagasawa, "A Novel LiNbO3 Surface Acoustic Wave Pump onto Micro Channel Wall," The Proc. of Micro Total Analysis Systems (μ TAS2007), La Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris, France, Oct. 7-11, 2007.
4. 長澤純人, 小貫哲平, 桑野博喜, "自己クローニング法によるフォトニック結晶を用いた動的光学フィルタ," Dynamic Optical Filter by Tilting Auto-Cloned Photonic Crystal, 電気学会研究会資料センサ・マイクロマシン部門総合研究会, pp.53-56 [MSS-07-12], 筑波大学, July 2-3, 2007.
5. 三井望聖, 佐野広滋, 桑野博喜, 長澤純人, 早坂淳一, "表面弾性波応用超高感度ひずみセンサの研究," Highly Sensitive Strain Sensor using Surface Acoustic Wave, 第23回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, pp.308-311 [Po-39] (abst. p.73), サポート高松, 高松市, Oct.5-6, 2006.