

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13320

研究課題名(和文) 構造色によるマルチフィジックスセンサーの実証

研究課題名(英文) Study on multiphysics sensor by structural color

研究代表者

山本 貴富喜 (Yamamoto, Takatoki)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：20322688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：波長160nm以下の高いエネルギーを有する真空紫外光によって改質した表面をコンタクトすることにより、PDMS、COP、PMMA、PCといった、一般的な光学プラスチックを相互に接合する手法の実証を行い、いくつかの同種・異種の組み合わせでの接着の実証に成功した。さらに、FTIRやTOF-SIMSなどの表面分析から接合のメカニズム解明に取り組み、真空紫外光照射により表面にOH基が導入されることから、表面のOH基が接合に重要な役割を果たしていることが判明した。光接合のデザインルールの確立に取り組む。以上の研究を通じて、真空紫外光による光接着法という新たな学術領域の創成を目指す。

研究成果の概要(英文)： We successfully developed and demonstrated the use of vacuum ultraviolet (VUV) irradiation in the bonding of various substrates, including polycarbonate (PC), cyclic olefin polymer (COP), polydimethylsiloxane (PDMS) and polymethyl methacrylate (PMMA). In contrast to previous applications of this technique, the present study used VUV radiation at wavelengths below 160 nm so as to take advantage of the higher energy in this range. We also analyzed VUV modified surface by water contact angle measurements, attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR), time of flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS) and atomic force microscopy (AFM). As a result, it was found that the bonding mechanism would rely on both surface roughness and hydroxyl group concentration induced by VUV irradiation.

研究分野：Biomimetic sensor

キーワード：Biomimetics MEMS NEMS Biosensor Photonic sensor

1. 研究開始当初の背景

本研究で提案するような3次元形状による構造色の研究は、微細加工技術が進んだ2000年代になってようやく登場し、収束イオンビーム加工などで人工的に再現するなど、いくつか報告例はある。ただし、これまでの研究は構造色の実証に主眼が置かれ、構造の変化をセンサーとして活用する視点からの研究は未開であった。

2. 研究の目的

本研究では、図1に示すように、圧力、剪断応力、温度、屈折率など、様々な物理量を樹状構造の形状変化に伴う色の変化に変換して、1つのセンサーで多項目センシングが可能である、構造色センサーの実証を目指す。限られた時間での実証に当たり、まずは温度センシングを実証する。さらに、大面積での分布測定と大量生産に対応するため、モールドイングで複製する技術も検討する。モールドイングでは、従来の熱硬化型シリコンゴムで問題となる、熱応力による転写精度劣化(収縮率約3%)に対し、光硬化で非熱プロセスのため高精度の型取りが可能となる、光硬化型シリコンゴム(収縮率約0.02%)を活用する。

3. 研究の方法

構造色センサーのナノ加工に関しては、代表者が現有する装置を利用して作製する。測定に関しても代表者現有の顕微分光装置を利用して、温度変化を加えながらセンサーの分光特性を測定することで実証する。さらに、H28年度からは、センサーの評価と平行して、熱収縮による形状劣化が生じないため高精度の型取りができる光硬化型シリコンゴムや、真空紫外光による表面処理技術を応用しながら、モールドイングによる構造色センサーの作製と技術にもチャンレンジする。

4. 研究成果

数mm角程度の小面積で、構造色センサーの作製プロセスの開発を行った。作製手順は、まず、図2に示すように、フォトリソグラフィでセンサーの鋳型となるようなパターンをフォトリソで形成しておき、ガラス基板上に構造色センサーの必要レイヤー分だけイオンビームスパッタでCrとTiの多層膜を積層した。この時、シミュレーションでの評価を元に、各レイヤーの膜厚は数10~数100nmで作製した。次に、鋳型となっているレジストを剥離(リフトオフ)後、ドライエッチングでTi製の樹状の構造体センサーを作製した。その結果、予定通りの構造色センサーの作製に成功した。

次に、作製した構造色構造に対して、温度変化させながらその反射率特性を評価したところ、温度上昇に対して、シミュレーション通りにスペクトルが変化する様子が観察され、狙い通り、熱膨張による構造変化で温

度を光に変換して計測可能であることが実証された。また、本構造を鋳型とした型取りにより、シリコンゴム製の構造色構造の作製プロセスの開発にも成功し(図3)、温度センサーとしても利用可能であることを確認した(図4)。

さらに、構造色センサーの反射スペクトルの屈折率依存性より、液体の屈折率センシングを行った。サンプルとしてはエタノールを用いたところ、図6に示すように、理論値と遜色なく、エタノールの屈折を計測することに成功した。

以上、スペクトルの強度自体は弱いものの、温度と屈折率のセンシングにおいて、理論値とほぼ同等の制御性の良いセンシングが可能であることが示された。

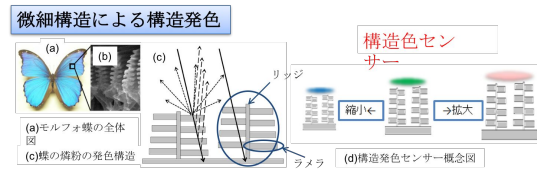


図1 構造色センサーの概念図

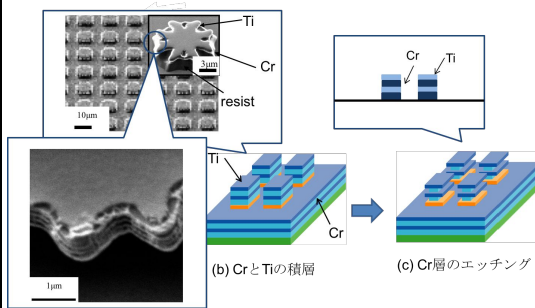


図2 構造色センサーの作製方法

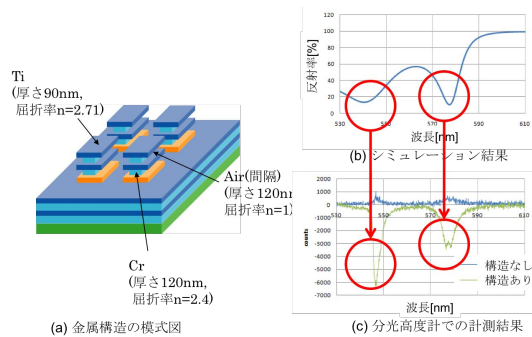


図3 熱応答スペクトルの計算値と実測値

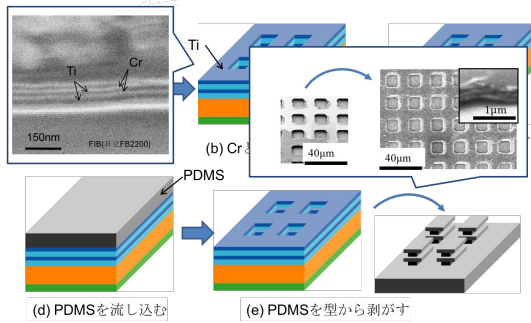


図4 マイクロモルディングによるPDMS製構造色センサーの作製

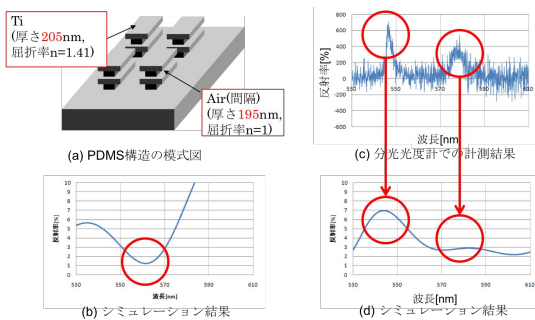


図5 PDMS製構造色センサーの熱応答スペクトルの計算値と実測値の比較

反射スペクトルの屈折率依存性より屈折率を検出

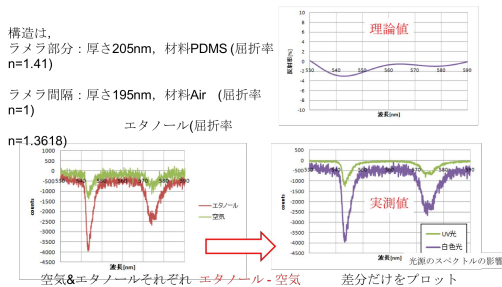


図6 屈折率応答スペクトルの計算値と実測値の比較

### 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)

Yuki Hashimoto, Katsuo Mogi, Takatoki Yamamoto, Vacuum ultraviolet light assisted bonding and nanoscale pattern transfer method for polydimethylsiloxane, *Microelectronic Engineering*, 査読有, Vol.176, 2017, pp.116-120

橋本 優生, 茂木 克雄, 山本 貴富喜, 真空紫外光によるシリコンのガラス化を利用したガラス製モスアイ構造の作製法, *電気学会論文誌 E*, 査読有, Vol.136, 2016, pp.488-492

茂木 克雄, 林田 圭, 本田 文江, 山本 貴富喜, 超高感度センシングに向けたイオン枯渇領域の制御によるウイルス濃縮デバイスの開発, *電気学会論文誌 E*, 査読有, Vol.136, 2016, pp.363-369

〔学会発表〕(計4件)

Yuki Hashimoto, Katsuo Mogi, Takatoki Yamamoto, THREE-DIMENSIONAL VISUALIZING METHOD AT NANOSCALE RESOLUTION FOR PRINTING BEHAVIOR, *IEEE NANO 2015, Rome*, 27-30 July, 2015

橋本 優生, 茂木 克雄, 山本 貴富喜, 真空紫外光によるシリコンのガラス化を利用したガラス製モスアイ構造の作製法, 第32回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 新潟, 10月27-30日, 2015

Yuki Hashimoto, Katsuo Mogi, Takatoki Yamamoto, Release Agent-free Low-Cost Double Transfer Nanoimprint Lithography for Moth-Eye Structure, *IEEE NANO 2016, Sendai*, 22-25 August, 2016

Yuki Hashimoto, Katsuo Mogi, Takatoki Yamamoto, Vacuum ultraviolet light assisted nano-pattern transfer to fabricate nanostructure with heterogeneous materials, *42nd Micro and Nano Engineering, Vienna Austria*, 19-23 September, 2016

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 貴富喜 (YAMAMOTO, Takatoki)  
東京工業大学・工学院・准教授  
研究者番号：20322688

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )