

課題番号 : F-17-OS-0011  
利用形態 : 機器利用  
利用課題名(日本語) : シリコンミー共振器によるフルカラー生成  
Program Title (English) : Full Color Generation by Silicon Mie Resonators  
利用者名(日本語) : 高原淳一  
Username (English) : J. Takahara  
所属名(日本語) : 大阪大学, 工学研究科, 精密科学・応用物理学専攻  
Affiliation (English) : Dep. of Applied Physics, Grad. School of Engineering, Osaka University  
キーワード/Keyword : metasurface, optical antenna, color printing, リソグラフィ・露光・描画装置

## 1. 概要 (Summary)

光のメタマテリアル (metamaterial) とはメタ原子 (metaatom) とよばれる人工的な光共振器構造を多数並べて構成される 3 次元有効媒質である。メタ表面 (metasurface) とは 2 次元のメタマテリアルのことをいう。これは基板の表面に 2 次元的にメタ原子を配列することで実現でき、表面からの光の反射、吸収、透過を自在に制御できる。

これまで金属・誘電体・金属構造をもつメタ原子を用いたプラズモニックメタ表面におけるカラー生成の研究が多数報告されてきた。これはプラズモニックカラーとよばれ、100,000 dpi (dot per inch) もの高解像度カラー画像生成への応用が期待される。しかし、高い解像度を得ようとすると金属のもつオーミック損失による吸収のためにプラズモニックメタ原子の Q 値が低下し、色空間の拡がりには制約がある問題点があった。本研究では可視域で吸収の少ない誘電体のみを用いて全誘電体メタ表面による彩度の高いカラー生成を実現することを目的とした。

本研究ではシリカ基板上に直方体型のシリコン (Si) ナノ光共振器を配置し、誘電体のみからなるメタ表面とすることで Mie 共振をおこし、反射スペクトルを制御することに成功した。これにより回折限界の解像度を持つカラーパレットを実現することができた。本成果は偽造防止用の微細なカラー画像などに応用できる。

## 2. 実験 (Experimental)

### 【利用した主な装置】

超高精細電子ビームリソグラフィ装置  
ナノ薄膜形成システム (EB 蒸着)

### 【実験方法】

直方体型 Si ナノ光共振器からなるメタ表面によるカラーパレットを作製し、光学顕微鏡下でのカラー観測を試み

た。

はじめに単結晶 Si/シリカ ( $\text{SiO}_2$ ) 基板上に塗布したレジストに超高精細電子ビームリソグラフィ装置を用いてパターンを描画した。現像の後、ナノ薄膜形成システム (EB 蒸着) によりクロム (Cr) 薄膜を形成した。リフトオフ後、Cr 薄膜をマスクとしてドライエッチングを行い、厚さ 150 nm、周期 300 nm の Si ナノ光共振器を基板上に作製した (Fig. 1)。このときカラーパレットの色を変化させるため、色領域 (一辺 10  $\mu\text{m}$  の正方形) ごとに共振器の横幅を 60 nm ~ 200 nm に変化させている。

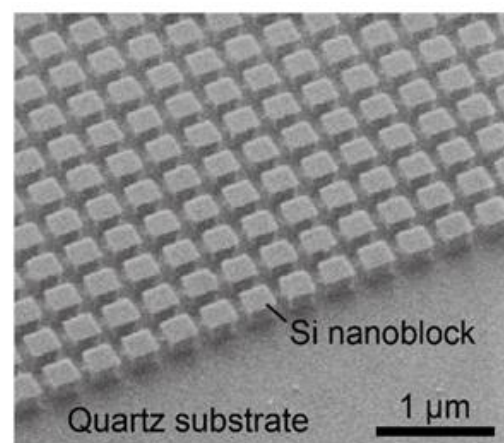


Fig. 1 Scanning Ion Microscope image of the Si nanoblocks array with widths of 200 nm, a thickness of 150 nm, and a period of 300 nm.

測定は暗視野光学顕微鏡において、白色光源としてハログランプを用いて、対物レンズ (20 倍,  $\text{NA}=0.45$ ) を通してサンプル基板を観測し、分光器で反射スペクトルを取得した。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig. 2 に得られた光学顕微鏡像を示す。RGB を含む広い色空間にわたるカラーパレットを実現できていることがわ

かる。

Si ナノ光共振器のサイズ(60-200 nm)は可視光波長と同程度であるので、Mie 共振を示す誘電体光アンテナとしてふるまう。Mie 共振モードには電気双極子と磁気双極子の2つのモードがあり、それぞれ共振波長が異なっている。このためサイズを変えることによりMie 共振の散乱スペクトルが変化し、散乱光に色がみえることになる。ここでは、共振器の横幅と周期をシミュレーションによりあらかじめ計算し、カラーパレットを設計している。

本成果を用いると光学顕微鏡の解像度の限界である回折限界の解像度をもつカラー画像を実現できる。これは偽造防止用の微小カラータグや長期保存可能な光メモリーなどに応用できると考えられる。

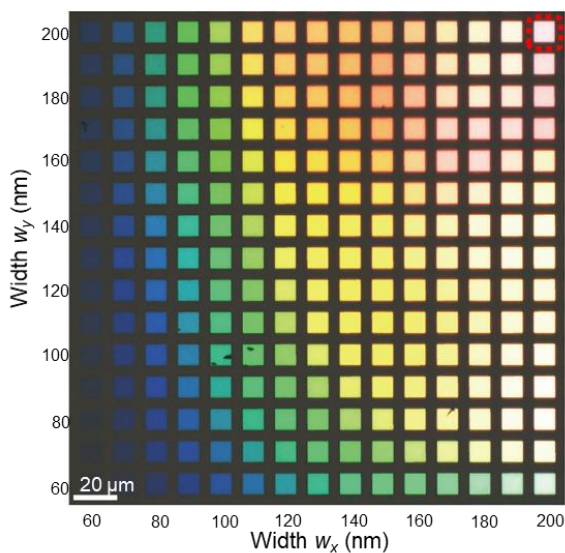


Fig. 2 Optical microscope image of the fabricated all-dielectric nanoblock arrays through a 20×objective (NA: 0.45) irradiated with polarized white light. The widths are changed from 60 to 200 nm in 10 nm increments. Scalebar: 20 μm.

#### 4. その他・特記事項 (Others)

関連する課題番号:S-17-OS-0011

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) Yusuke Nagasaki, Masafumi Suzuki, and Junichi Takahara, "All-Dielectric Dual-Color Pixel with Subwavelength Resolution", Nano Lett. 17, 7500-7506 (2017).

(2) Yusuke Nagasaki, Masafumi Suzuki, Ikuta Hotta and Junichi Takahara, "Control of Si-Based All-Dielectric Printing Color through Oxidation", ACS Photon., (2018) in press. DOI: 10.1021/acsp Photonics.7b01467

(3) Masafumi Suzuki, Yusuke Nagasaki and Junichi Takahara, "Subwavelength Color Printing with Mie Resonance-based Si Nanostructures", 30pON7, OSJ-OSA Joint Symposia, Optics & Photonics Japan, Tokyo, Japan, October 30 (2017).(Best Presentation Award)

(4) Hirofumi Toyoda and Junichi Takahara, "Thermal emission spectral control in wide range by refractory metal nitride plasmonic resonators", Core-to-Core Symposium "Global Nanophotonics 2017", Abstract p.45, Palawan, Philippines, December 7 (2017).

(5) Masafumi Suzuki, Yusuke Nagasaki and Junichi Takahara, "Resolution limit of all-dielectric color printing by Si nanoblocks", Core-to-Core Symposium "Global Nanophotonics 2017", Abstract p.43, Palawan, Philippines, December 7 (2017).

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし