

課題番号 : F-18-OS-0007
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の生成と制御
Program Title (English) : Full Color Generation and Control 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、100,000dpi (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メタ原子の共振の Q 値が低下し、色純度に制約があった。昨年度までに、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、オーム損失の極めて少ない誘電体メタ表面による Mie 共振を利用して、構造色を実現することに成功した。本研究ではこのミー共振による構造色を用いて、さらに彩度の高いカラー生成を実現することを目的とした。

本研究では従来のシリコン (Si) ナノ光共振器上にクロム (Cr) マスクを付加し、Mie 共振の共振周波数と Q 値を制御することにより、構造色の高い解像度を保ったまま彩度を向上させることに成功した。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

EB 蒸着装置

【実験方法】

円筒型 Cr/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 (SiO₂) 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、EB 蒸着によりクロム (Cr) 薄膜を 30nm 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 150nm、周期 300nm の Cr/Si ナノ光共振器を基板上に作製した (Fig. 1)。このとき Si ナノ光共振器の上部に Cr マスクを残すようにエッチング条件を調整している。

測定は光学顕微鏡において、白色光源としてハロゲンランプを用いて、対物レンズ (20 倍, NA=0.45) を通してサンプルを観測し、分光器で反射スペクトルを取得した。

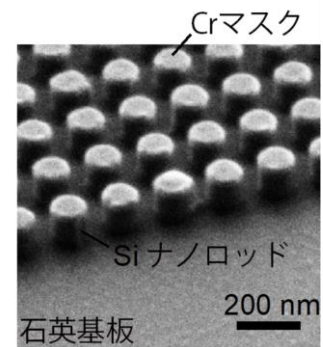


Fig. 1 Scanning ion microscope image of Cr masked Si nanorod array with radius of 50 nm, a thickness of 150nm, and a period of 300 nm.

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig. 2 に作製したカラーパレットの光学顕微鏡像を示す。RGB を含む広い色空間にわたり高彩度のカラーパレットが実現されていることがわかる。これは従来の誘電体のみからなるものと異なり、高い解像度と分解能を両立できる新しい方式の構造色といえる。

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。

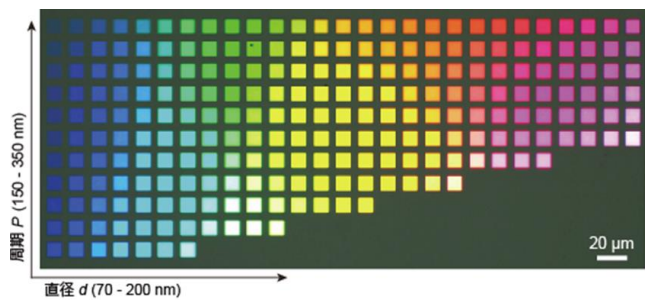


Fig. 2 Optical microscope image of the fabricated Cr/Si nanorod arrays through a 20×objective (NA:0.45) irradiated with white light. The parameters are changed from 70 to 200 nm in diameter and 150 to 350 nm in period. Scalebar: 20 μm.

4. その他・特記事項 (Others)

関連課題番号:S-18-OS-0007

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) Yusuke Nagasaki, Ikuto Hotta, Masafumi Suzuki, and Junichi Takahara, "Metal-Masked Mie-Resonant Full-Color Printing for Achieving Free-Space Resolution Limit", ACS Photonics 5, 3849-3855 (2018).

(2) 長崎裕介, 鈴木優史, 堀田郁人, 高原淳一:「Mie共振器を用いたサブ波長解像度を有するフルカラー画素生成」、第79回応用物理学会秋季学術講演会21a-224A-9(開催地:名古屋国際会議場)平成30年9月21日.