

課題番号 : F-19-OS-0004
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 金属・誘電体ハイブリッド型メタマテリアル
 Program Title (English) : Metal-Dielectric Hybrid Metamaterial
 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。また、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ている。これらの新しいタイプの構造色は回折限界解像度のカラー画像を実現できることから、偽造防止用印刷などへの応用が期待される。

本研究では円筒型 Cr/Si ナノ光共振器の反射スペクトルの角度依存性について調べ、その特異な Brewster 角を解明することを目的とする。

2. 実験 (Experimental)

【利用した主な装置】

超高精細電子線リソグラフィ装置

EB 蒸着装置

【実験方法】

Fig 1(a)に示す円筒型 Cr/Si ナノ光共振器からなるメタ表面を作製し、反射スペクトルの角度依存性を調べた。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高精細電子線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 キャップ層をマスクとし

てドライエッチングを行い、厚さ 150nm、周期 250nm の Cr/Si ナノ光共振器を基板上に作製した (Fig. 1(b))。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。

測定には白色光源として波長域 450 -2500 nm の Super Continuum 光源 (NKT Photonics 製) を用い、回転ステージ上に設置したサンプルに p,s 直線偏光を基板に斜入射し、サンプルからの反射光を入射角度を変えて分光器 (Ocean Optics 製, LS-1) によって測定した。反射光はピンホール (直径 500 μm) を用いて、サンプルからの反射光のみを分光器に入射した。

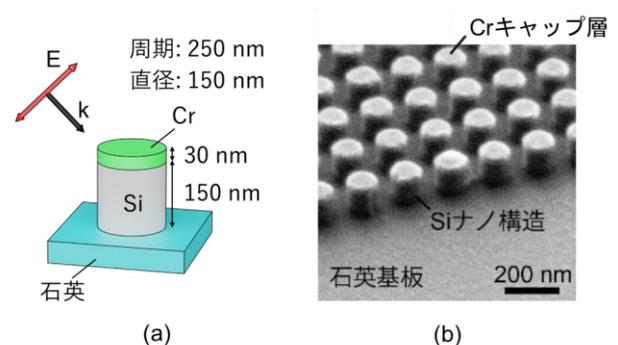


Fig. 1: (a) Schematic view of a cylindrical meta-atom and (b) scanning ion microscope image of Cr masked Si nanorod array with the radius of 150 nm, the thickness of 150nm, and the period P of 250 nm.

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

斜入射測定の結果、反射率は s 偏光ではほとんど変化せず、p 偏光のみ大きく変化することがわかった。計算値と測定した p 偏光に対する反射率の角度依存性の比較を Fig. 2 に示す。実測値と計算値はよく一致している。 $P = 250$ nm の場合、波長 $\lambda = 600$ nm に観測されるミー共振による反射ピークが入射角 $\theta = 50^\circ$ までは維持される

が、 $\theta = 60^\circ$ ではピークが非常に弱くなり、反射が抑制されることがわかる。また、構造の周期を変えることで、異なる入射角依存性を示すこともわかった。

このような反射ピークの抑制は空気と石英基板の Brewster 角が 56.6° であることから説明できる。それ以下の角度域における $\lambda = 500 \text{ nm}$ 付近に観測される無反射波長帯の存在は、メタサーフェス自体のもつ基板とは異なる Brewster 角の効果と考えられる。

このような特異な角度依存性は構造色の制御にもつながると考えられる。これを応用することにより偽造防止用カラーイメージのさらなる高機能化が期待できる。

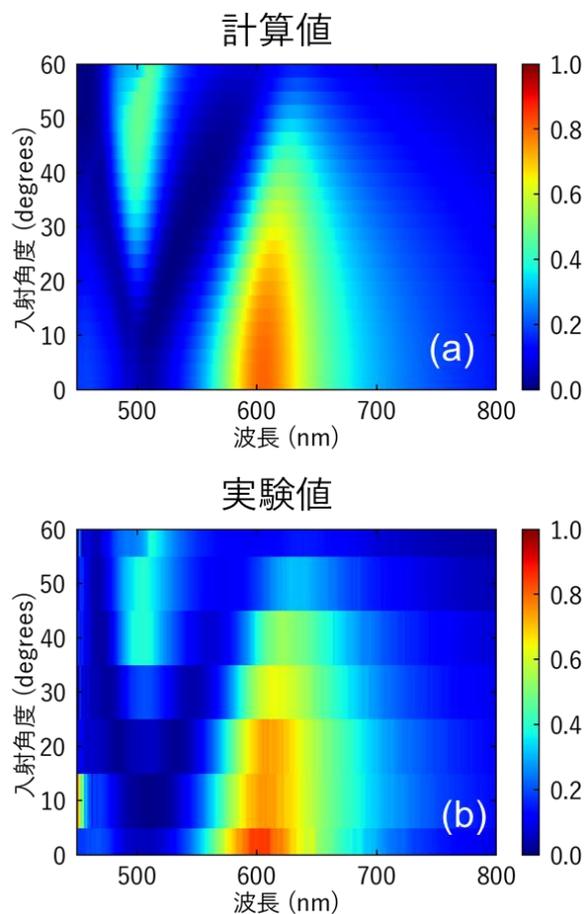


Fig. 2: Reflectance spectral map for metasurface based on Cr/Si Mie resonators with respect to incident angle: (a) calculated and (b) experimental results for $P=250\text{nm}$.

4. その他・特記事項 (Others)

なし。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) 高原淳一、長崎裕介、堀田郁人：「誘電体光アンテナ高解像度カラー画像」、応用物理, 88(4), (2019) pp.276-280.

(2) 堀田郁人, 長崎裕介, 鈴木優史, 高原 淳一：「Crマスク Si カラーピクセルによる回折限界解像度カラー印刷」、第16回プラズモニクスシンポジウム (大阪府立大学 I-Site なんば) 2019年6月7日.

(3) P. H. Wu, Y. L. Tang, K. Nishida, Hotta, I., K. Fujita, J. Takahara, and S. W. Chu, "Resolution Enhancement via Optical Nonlinearity on Silicon Nanostructures", Core-to-Core Symposium: Global Nanophotonics 2019, Abstracts, Poster-03, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, December 10 (2019).

(4) Y. L. Tang, Y. S. Duh, Y. Nagasaki, P. H. Wu, H. Y. Chneg, T. H. Yen, H. X. Ding, K. Nishida, Hotta I., J. H. Yang, Y. P. Lo, K. P. Chen, K. Fujita, C. W. Chang, K. H. Lin, J. Takahara, and S. W. Chu, "Ultrasmall-All-Optical Switch in a Single Silicon Nanostructure", Core-to-Core Symposium: Global Nanophotonics 2019, Abstracts Poster-02, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, December 10 (2019).

6. 関連特許 (Patent)

なし。