

課題番号 : F-20-OS-0020
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 赤外メタサーフェス
 Program Title (English) : Infrared Metasurface
 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, 物理学系専攻
 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)

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。メタサーフェス (metasurface) とは 2 次元のメタマテリアルのことをいう。

我々はオーム損失の極めて少ない誘電体メタサーフェスに注目して研究を行っている。これまでに石英基板上に直方体型や円筒型のシリコン (Si) ナノ光共振器を配置し、反射・透過・吸収スペクトルの制御を実現してきた。特に、その応用の一つとして Mie 共振を利用して周期性を利用しない新しいタイプの構造色を提案し、回折限界の解像度 (100,000 dpi) をもつ微細カラー画像を実現してきた。

メタサーフェスはメタ原子のサイズを変えるだけで様々な波長域に容易に拡張できる。特に近～中赤外波長域は様々な物質の指紋スペクトルをはじめ、生体や大気などの透明窓をもつ応用上重要な波長である。そこで本研究では近～中赤外メタサーフェスとその応用を目的に Si メタサーフェスの研究を行った。

本研究では赤外メタサーフェスによる秘匿画像の実現を目的とし、「可視域では識別できないが、赤外線カメラでのみ高いコントラストをもち識別できる」特性をもつメタサーフェス画像を実現した。

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】

Fig. 1 に円筒型 Si ナノ光共振器からなる赤外メタサーフェスの模式図を示す。ここではメタサーフェスの構造パラメータとして、波長 $1.5 \mu\text{m}$ のみに高い反射率をもたせなが

ら、可視域においては色が変わらない (色空間内の点間の距離が極めて近くに位置する) 2 種類のメタ原子構造を設計した。このメタ原子を組み合わせる秘匿画像 ("IR" の文字) を作製し、光学顕微鏡画像と赤外顕微鏡画像を用いてその見え方を比較した。

はじめに単結晶 Si/シリカ (SiO_2) 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 30 nm 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 500 nm 、直径 $200\text{-}300 \text{ nm}$ 、周期 $1.0\text{-}1.2 \mu\text{m}$ の Si ナノ光共振器を基板上に作製した。

可視画像はハロゲン光源を照射して対物レンズ ($\times 50$, $\text{NA}=0.80$) を通して光学顕微鏡像により取得した。赤外域では波長 $450\text{-}2500 \text{ nm}$ の Super Continuum 光源 (NKT Photonics 製) を用いて白色光を照射し、近赤外対物レンズ ($\times 50$, $\text{NA}=0.42$) を通して InGaAs 赤外カメラ (感度波長 $900\text{-}1700 \text{ nm}$) を用いて近赤外画像を取得した。

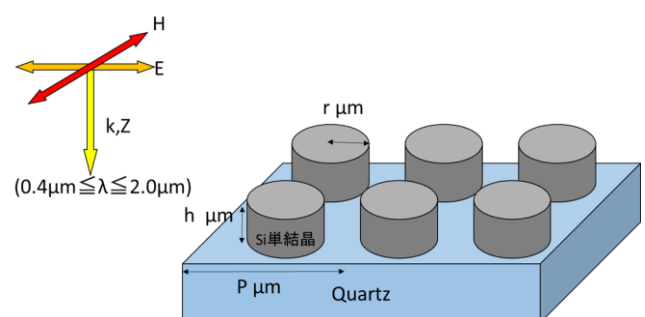


Fig. 1: A schematic view of cylindrical meta-atoms on a quartz substrate. Single crystalline Si nanorod array with the radius of $200\text{-}300 \text{ nm}$, the thickness of 500 nm , and the period P of $1.0\text{-}1.2 \mu\text{m}$ was fabricated by EB lithography and dry etching.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

光学顕微鏡と赤外顕微鏡の画像の結果を Fig. 2 に示す。可視光画像ではコントラストが低く文字を識別しにくいことに比較して、赤外画像は文字部分の反射率が高く、高いコントラストが得られていることがわかる。

これまで提案されてきた秘匿画像は偏光などの自由度を利用するものが多い。本提案は汎用の赤外カメラのみで偽造防止用画像への応用が期待できる。

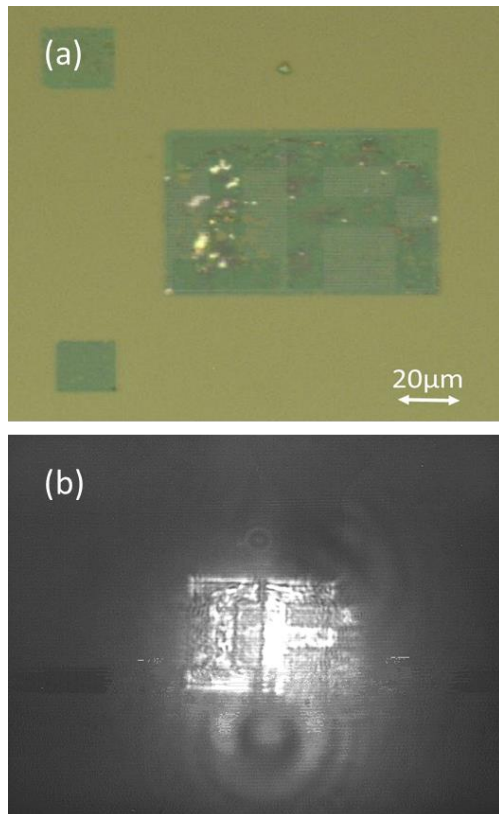


Fig. 2: Reflection images of the fabricated IR metasurface obtained by (a) conventional optical microscope (x50, NA=0.80) and (b) near-IR microscope (x50, NA=0.42). A halogen lamp and super continuum light source were used for light source in (a) and (b), respectively.

4. その他・特記事項 (Others)

なし

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) Rongyang Xu, Tianji Liu, Junichi Takahara, “Field enhancement by thin dielectric nanodisks as Mie resonator”, JSAP-OSA Joint Symposia 2020,

The 80st JSAP Autumn Meeting 2020 (online), 9p-Z16-12, 2020.9.9.

(2) 高原淳一:「誘電体ミエ共振器を用いたメタサーフェスとその応用」、2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会 光エレクトロニクス研専・レーザ・量子エレクトロニクス研専共催 依頼シンポジウム 「ナノフォトニクスの最前線」 CI-1-4 (online) 2020年9月17日 (依頼公演) .

(3) 石丸弘之、高原淳一:「単結晶シリコン Mie 共振器を用いた近赤外画像生成」、日本光学会年次学術講演会 OPJ2020 17pC1 (online) 2020年11月17日.

6. 関連特許(Patent)

なし