

※課題番号 : F-12-OS-0002
※支援課題名 (日本語) : メタマテリアルによる中赤外領域熱輻射スペクトルの制御
※Program Title (in English) : Spectral Control of Thermal Radiation at Mid-Infrared Region by Metamaterial
※利用者名 (日本語) : 高原 淳一
※Username (in English) : Junichi Takahara
※所属名 (日本語) : 大阪大学大学院工学研究科精密科学・応用物理学専攻 高原研究室
※Affiliation (in English) : Takahara laboratory, Dept. of Applied Physics, Osaka University

※概要 (Summary) :

本課題は電球のような熱輻射を用いて、半導体光源とは全く原理が異なる新しい中赤外光源を実現する研究です。熱輻射スペクトルは金属表面に設ける人工構造によって制御可能です。我々はそれを金や銀の分割リング共振器の形状をした光アンテナアレイ (メタマテリアル) によっても可能なことを世界ではじめて示した。本課題により中赤外分光用の安価な光源が見込める。

※実験 (Experimental) :

サンプル作製

図 1(a), (b)に作製したメタマテリアル光源サンプルの外観と顕微画像を示す。基板はガラス/Cr 2.3 nm/Ag 150 nm/Cr 2.3 nm/SiO₂ 36 nm のような多層膜構造である。Cr/Ag/Cr 層はガラス基板からの輻射を防ぐ反射層であり、基板全体としての輻射率を抑えている。メタマテリアルのサンプルは次のプロセスで作製した。まずガラス基板に貴ナノテクノロジープラットフォームの RF スパッタリングを施し、反射層と SiO₂ 層を設けた。次に我々の電子ビーム露光によってパターンリングを行った。最後に真空蒸着 (Cr 2.3 nm, Au 80 nm) とリフトオフによってメタマテリアル構造を設けた。その結果、サイズ $L_x = L_y = 3.2 \mu\text{m}$, $w = 0.7 \mu\text{m}$ のメタマテリアル光源サンプルが得られた。

評価方法

図 1(c)にサンプル加熱ホルダーを示す。電力一定制御 (10 W) でセラミックヒーターにより加熱し、フーリエ変換赤外分光光度計 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR) で分光した。測定条件は周波数範囲 22 ~ 95 THz、分解能 4 cm⁻¹、受光器は Tri-Glycene Sulphate (TGS)を用いた。水と二酸化炭

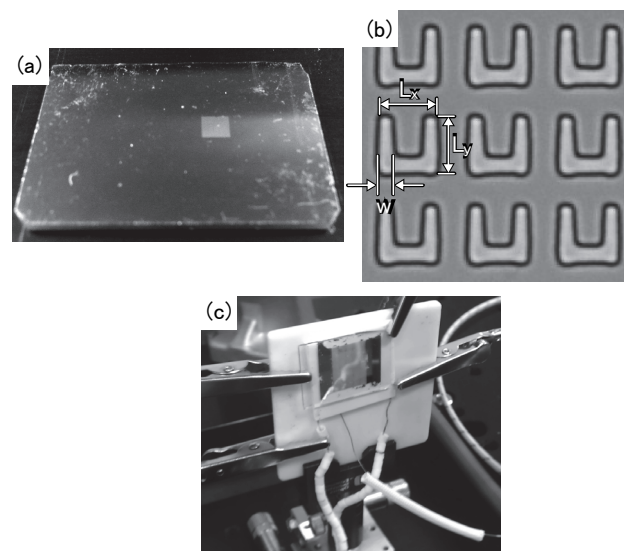


図 1. (a) The outside appearance of the metamaterial sample. (b) Microscope image of the metamaterial sample. (c) The holder for sample heating.

素の吸収を減らすため真空雰囲気中にて測定を行った。

※結果と考察 (Results and Discussion) :

図 2 (a)に輻射スペクトルの分光結果を示す。38 THz および 65 THz にてスペクトルの増強が得られた。基図 2 (b)に基板からの輻射と比較した相対輻射率を示す。メタマテリアル構造を設けることで、3 倍から 5 倍の熱輻射増強が得られたことを確認した。

次に相対輻射率と相対反射率を比較する。反射分光実験は室温、真空雰囲気中で行った。分光実験の結果を図 2 (c)に示す。相対反射率が減少するピークの周波数位置と相対輻射率が増加するピーク位置がよい一致を示している。この結果は、垂直輻射率と半球吸収率が等価であると述べた Kirchhoff の輻射則を示唆している。

シミュレーションとの比較も行った。Kirchhoffの輻射則を適用することで、RCWA法による電磁界ソルバーで得た半球反射率スペクトルから輻射率を計算した。図2(d)に相対輻射率の計算結果を示す。周波数75 THzでスペクトルが分断しているのは、計算に用いた誘電分散のフィッティング関数が75 THzを境に異なるためである。実験結果(図2(b))と比較したところ、周波数75 THzのピークはメタ材料の形がCADで再現しきれなかったからなのか大きく位置が異なってしまったが、他のピークについてはシミュレーションと良く一致した。

メタ材料構造サンプルを加熱分光し、そのサイズによって熱輻射制御が可能であることを実験的に示した。熱輻射を増強するメタ材料の共鳴モードも確認した。今後、メタ材料の新しい応用例として、TPV発電や中赤外・テラヘルツ光源デバイスの実現を目指す。

※その他・特記事項 (Others) :

参考文献

[1] J. A. Schuller, T. Taubner, and M. L. Brongersma, Nat. Photonics, 3, 658, 2009.

共同研究者等 (Coauthor) :

上羽 陽介

flat

論文・学会発表

(Publication/Presentation) :

1. Y. Ueba, J. Takahara, "Spectral Control of Thermal Radiation by Metasurface with Split-Ring Resonator," Appl. Phys. Express, Vol. 5, No.12, 122001 (2, 2012)
2. 上羽陽介, 高原淳一, "スプリットリング共振器による熱輻射制御", 信学会技報, LQE2012-158, pp197-200 (2013)
3. Y. Ueba, J. Takahara, "Enhancement of Thermal Radiation by U-shaped Split-Ring Resonator," The Japan Society of Applied Physics, the 73 Autumn Meeting, 14a-F8-6, Ehime University and Matsuyama University, Ehime (Sept. 14, 2012)

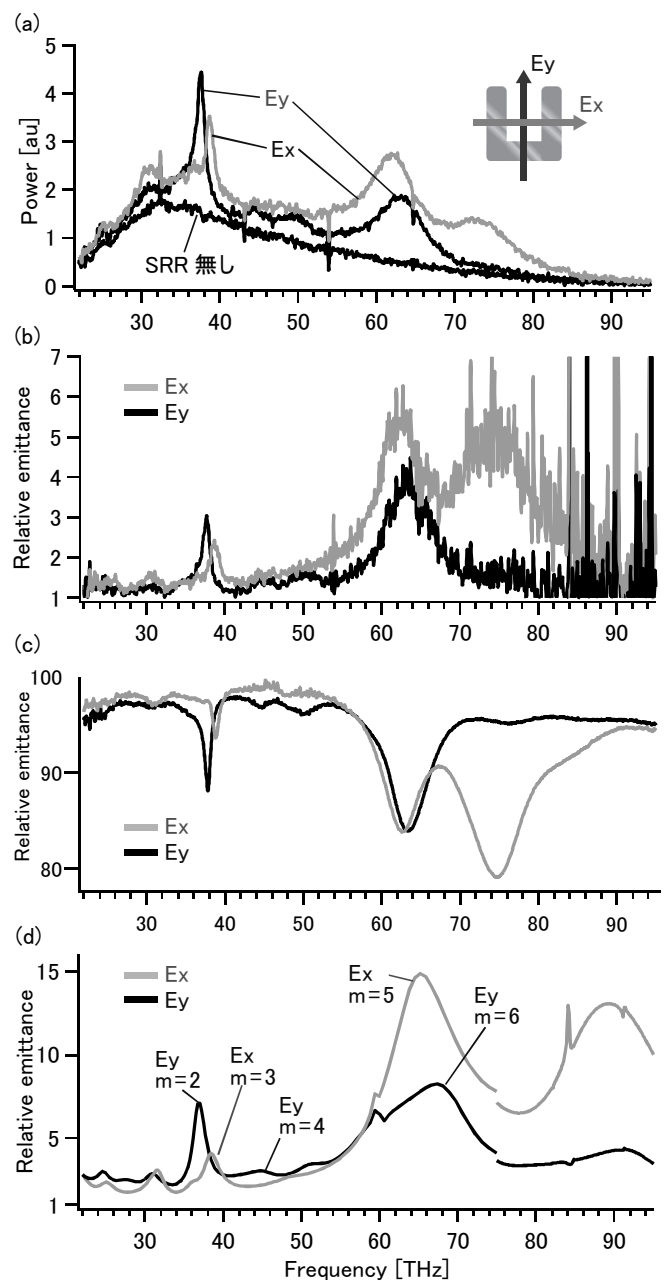


図2. (a) Measured thermal radiation spectra of the SRRs. (b) Experimental results of relative emittance spectra. (c) Experimental results of relative reflectance spectra. (d) Simulated results of relative emittance spectra.