

課題番号 : F-19-IT-0025  
 利用形態 : 技術代行  
 利用課題名(日本語) : 電子線励起によるプラズモニックナノ構造の研究  
 Program Title (English) : Characterization of a plasmonic nano-structure by STEM-CL  
 利用者名(日本語) : 山本直紀, 三宮工  
 Username (English) : N. Yamamoto, T. Sannomiya  
 所属名(日本語) : 東京工業大学 物質理工学院 材料系  
 Affiliation (English) : Materials Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology  
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、プラズモニック結晶、カソードルミネセンス

## 1. 概要(Summary)

プラズモニック結晶 (PIC)と呼ばれる周期構造を持つ金属表面で、表面プラズモンポラリトン(SPP)はブロッホ波として振る舞い、そのバンド構造にはバンドギャップが開く。バンド端における定在波やバンドギャップ幅の表面構造依存性は、PIC を用いた SPP の伝播や光変換の制御において重要である。バンド端で状態密度が高くなることを利用し、プラズモニック結晶の近くに発光物質を配置することで、その発光効率や発光寿命を変化させることができると予想される。今回、その効果を調べるために走査型透過電子顕微鏡(STEM)-Cathodoluminescence(CL)法により詳細な分析を行った。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

電子ビーム露光装置 ・ 電子ビーム露光データ加工ソフトウェア

### 【実験方法】

InP 基板の表面に電子線リソグラフィーを用いて六方格子型 PIC 構造(円柱および円形穴を格子点間隔 400,500,600,700,800nm で配列した構造: Fig.1(a))を作製し、その上から厚さ 200 nm の銀を真空蒸着した。円柱の高さ及び穴の深さは 50nm である。STEM 装置内で電子線により SPP を励起し、プラズモニック結晶を介して起こる発光を放物面ミラーで平行光に変換し、STEM 装置外に導かれた光を分光分析した。光検出装置の前には放射角選択用のピンホールがあり、角度分解スペクトル(ARS)パターンを取得することができる。第 1 段階として、ARS 測定により PIC のバンド構造を明らかにした。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

本研究の対象の一つである六方格子型 PIC には、銀円柱が銀平面上に周期的に配列された構造がある (Fig. 1(a))。Fig.1(b)に、空格子近似により求めた六方格子型 PIC のバンド構造(格子間隔 600nm)を示す。波数 0 の

$\Gamma$  点で 6 個のブロッホ波のモードがエネルギー的に縮退するように、円柱の直径を格子間隔の 0.528 倍になるように設計した。これによって縮退したエネルギーで SPP モードの状態密度が高くなり、発光の共鳴エネルギーと一致させることで、発光の光と SPP との相互作用を大きくすることができる。今回作製した試料で、格子間隔(P)が 500, 600, 700nm の場合の ARS パターンの結果を Fig.1(c)-(e)に示す。これらは Fig.1(b)に赤丸で示す  $\Gamma$  点付近のバンド構造を表しており、2.5, 2.3, 1.8 eV 付近で分散線が交差するのが確認できた。

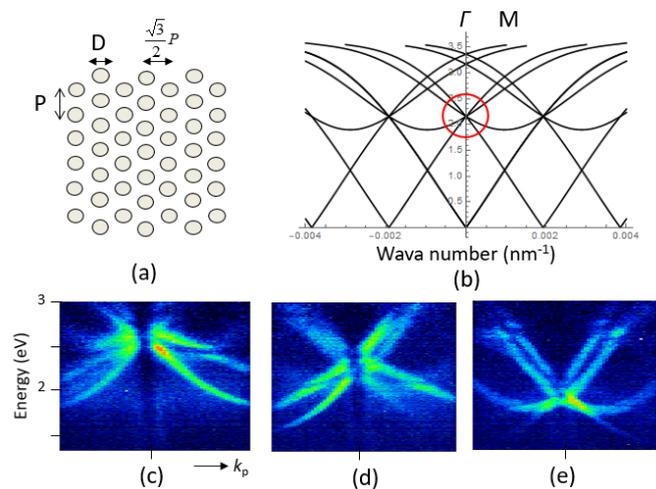


Figure 1. (a) A schematic diagram of a 2-dimensional plasmonic crystal (PIC) with a hexagonal lattice and (b) dispersion curves on the cross-sectional plane along the  $\Gamma$ -M direction (empty lattice approximation). ARS patterns taken from the PICs of pillars with lattice periods of (c) 500 nm, (d) 600 nm and (e) 700 nm, are shown using non-polarized light.

## 4. その他・特記事項(Others)

なし。

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

- (1) K. Ozawa and N. Yamamoto, *Phys. Rev. B* **100** (2019) pp.075406.

## 6. 関連特許(Patent)

なし。