

3次元規則配列光学材料に向けた新奇作製技術開発と光学特性

神戸大学 工学研究科 電気電子工学専攻 メゾスコピック材料学研究室

青木画奈

マイクロ・ナノスケールの構造体を作製する場合、どのような構造が出来つつあるのか、見えない状態で作製プロセスを進め、全てのプロセスが終了した後に、ようやく各種顕微鏡で形状を確認できるというもどかしさがある。また、精度を求めると、構造作製の自由度や生産性が急激に落ちるといった難点がある。講演者は、光波長域3次元フォトニック結晶やプラズモン共振器の実現に取り組む上で、これらの課題解消に拘った結果、マイクロマニピュレーション法と磁場アセンブリ法という、従来の微細加工技術の枠を超えた、少し変わった作製技術を確認するに至った。本公演では、これらの作製技術や、作製した3次元フォトニック結晶、プラズモン共振器の光学特性について紹介する。

光の波長と同程度の周期で屈折率が変化する構造内では、ブラッグ反射による多重干渉により、特定の波長の光が互いに打ち消しあい、構造中に存在できなくなる。このような人工構造物をフォトニック結晶と呼ぶ。全方向に周期性を持つ、完全光制御が可能な3次元フォトニック結晶構造を、既存技術で作製可能な2次元部品の集合体と捉え、2次元部品の結晶成長・電子線描画・エッチングなどの従来法で作製し、それらを走査型電子顕微鏡内でリアルタイムで観察しながら精密に組み立てた。作製した構造は数値計算による予測と一致する波長帯にフォトニックバンドギャップを発現した。また、点欠陥共振構造および量子ドット発光体を導入した場合は、光励起された量子ドットからの発光を点欠陥共振器の共振モードに結合させ、共振波長での発光強度を選択的に向上させることができた。

金や銀などに光を照射すると表面自由電子による集団振動（プラズマ振動）が易励起される。このような材料からなる球や円盤をリング状に配列した構造は、増強電場やファノ効果を発現させる好適な共鳴構造として知られる。常磁性微粒子と反磁性体微粒子を磁性流体中に分散した溶液に磁場を印加すると、常磁性球と反磁性球中にはそれぞれ外部磁場方向に平行、反平行な磁気ベクトルが生じ、平行な磁気ベクトル同士は反発し、反平行な磁気ベクトル同士は引き合う結果、常磁性球の周囲を反磁性球が取り囲んだ、あるいは常磁性球を反磁性球が取り囲んだ土星状構造が自発的に形成される。円環を形成する微小球表面を金属被覆すると、上記のプラズモン共鳴構造として機能する。磁性流体濃度や構成微粒子の磁場特性を制御し、任意形状の共鳴構造を一括大量形成できることを実験的に確認した。数値計算により、共鳴波長を4 μm ~500 nmの範囲で調整するための設計指針を得た。

Development of exotic fabrication methods for three-dimensionally-ordered optical materials

Kanna AOKI

Assistant Professor,

Mesoscopic Materials Laboratory

Department of Electrical and Electronic Engineering

Graduate School of Engineering

Kobe University

The speaker introduces fabrication technologies for three-dimensional micro-and nano-scale optical elements which would contribute to deliver emerging optical components such as photonic crystals and plasmonic resonators.

Fabrication of microscopic objects is normally carried out without being able to see the process, and we can see the outcome after all fabrication steps were over. A technology, which enables us to handle micro- components with watching the process in real time, will allow us to explore microscopic world deeper than ever. In this talk, the speaker introduces a micromanipulation system for visually monitored assembly of components in micro- to nano-meter scale, which was established through the development of 3D photonic crystals.

Precision assembly and mass production of micro- and nano-scale components are often incompatible targets. The speaker is developing a magnetic assembly method to solve the problem. If a magnetic field were applied to a mixture of ferrofluid, paramagnetic beads, and diamagnetic particles, paramagnetic beads instantly align in the direction of magnetic field, and diamagnetic particles gather around an equator of a paramagnetic bead to form a Saturn-like ring in a normal plane to the direction of external magnetic field. Assembled Saturn-like rings possess predesignated numbers of plasmonic hot spots in a structure. Numbers of identical plasmon enhancing ring structures are assembled instantly throughout areas where the external magnetic field was applied, thus this approach is beneficial for mass production of plasmon enhancing unit components.