

Applied Research Utilization

光を操る結晶をつくる 3次元フォトニック結晶生成実験

3D Photonic Crystal Growth Experiment

背景と目的

結晶というと、ダイヤモンドとか水晶の結晶を思い浮かべるかもしれませんが。ダイヤモンドでは炭素原子が、水晶ではシリコンと酸素の原子が交互に、規則正しく並んでできあがっています。これらに限らず原子や分子が規則正しく並んだものを一般に結晶と呼んでいます。

一方、100ナノメートル程度大きさの微粒子が、光の波長と同じくらいの周期で規則的に並んでいる構造では、その周期で決まるある色(波長)の光は反射されて中を進むことができなくなったり(図1)、その中を通る光の速度が遅くなったりします。このような物質を、原子分子の結晶に倣ってフォトニック結晶と呼びます(図2)。これをうまく使えば、光の流れを操ることができるようになります。このような、光を操る物質は大量の情報処理を可能にする光情報技術や、強力なレーザー光を制御する技術などに応用できると期待されています。

微粒子が透明な液体の中で立体的かつ規則的にならんでいる“3次元”フォトニック結晶を光産業に応用するには、屈折率の高い材料で作った微粒子を用いる必要があります。屈折率が高い材料は光制御の効率はよいものの、一般に比重が大きく、地上では重力によって微粒子が少しずつ沈んでしまいます。そのため、できた結晶にゆがみが生じてしまい、均一な大型の結晶をつくることができません。しかし、宇宙ステーションの微小重力環境を利用すれば“沈む”ということがないので、高屈折率の微粒子を用いた大型の3次元フォトニック結晶をつくれる可能性があります。そのため結晶生成技術を確立することが、この実験の目的です。

光の波長 = 格子の周期の半分

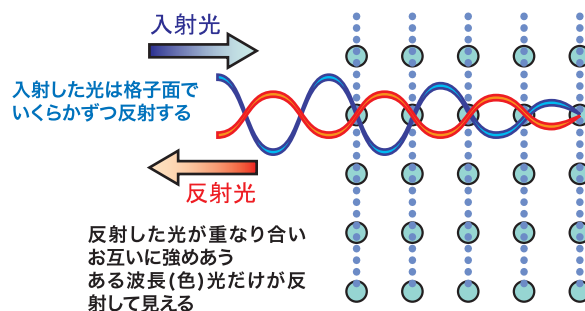


図1 フォトニック結晶の性質

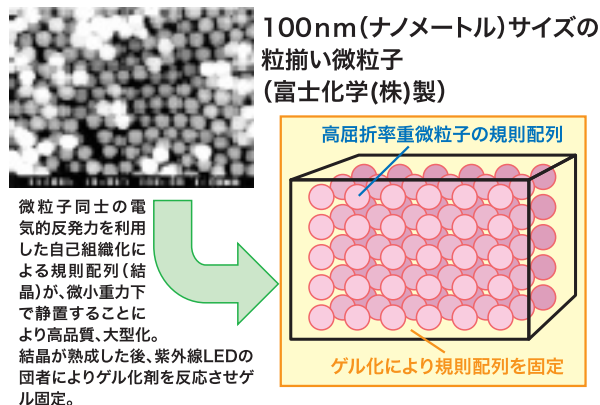


図2 微粒子が並んだ3次元フォトニック結晶

メンバー



伊藤 研策

富山大学大学院 理工学研究部 准教授

山中 淳平

名古屋市立大学大学院 薬学研究部 准教授

瀧口 義浩

浜松ホトニクス(株) 中央研究所 主任部員

ほか

実験内容

JAXAでは2005年～2006年にかけて、国際宇宙ステーションのロシアサービスモジュールにおいて、最初の3次元フォトニック結晶生成実験を行い、宇宙環境の利点を生かすことにより、地上よりも均一性に優れたフォトニック結晶が得られることを実証してきました(図3)。2007年中に、ロシアサービスモジュールを利用した次の宇宙実験を行う計画ですが、将来的に宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」でも、こうした成果を生かし、3次元フォトニック結晶を作る実験を行う予定です。

宇宙での実験方法は比較的単純で、まず地上で実験容器(セル)の中に、結晶の材料となる微粒子、微粒子表面の電荷を制御するための試薬、そして、できた結晶を固めるための材料(ゲル材料)を水などの媒体と混ぜて入れ、蓋をします。そのまま装置に組み込んで、ロケットに搭載し、打上げ、宇宙ステーションの電気コンセントに接続して、装置の電源を入れます。宇宙ステーションに載せられて地球を回っている間に、封入された実験セルの中で、微粒子が表面の電荷により電気的に反発し合っ等間隔に並び、結晶を作ります。時間が来たところで、装置内部で紫外線が照射され、ゲルの材料が反応して結晶を固定します。あとは、できた結晶を装置ごと地上に持ち帰ります。

この宇宙実験はほとんど自動的に行われ、宇宙飛行士の作業をなるべく減らすようにしています。実験セルの中で自動的に良い結晶ができるようするためには、中に入れる微粒子表面の電荷の制御、試薬の量、結晶が生成する速さの制御など、最も良い条件を選ぶ必要があります。そのため、研究者達は地上でたくさんの実験をしたり、セルの構造を工夫したりしています(図4)。

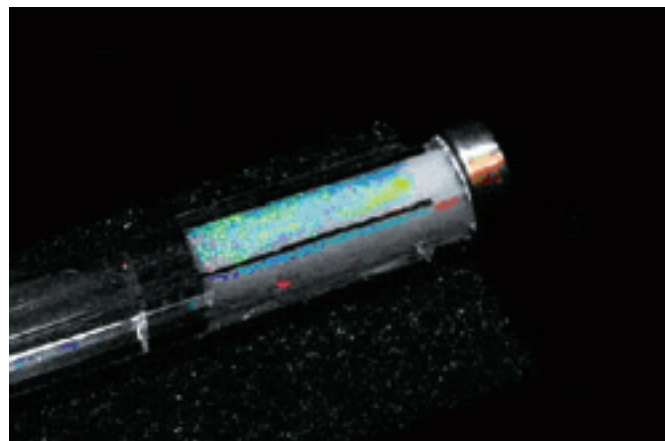
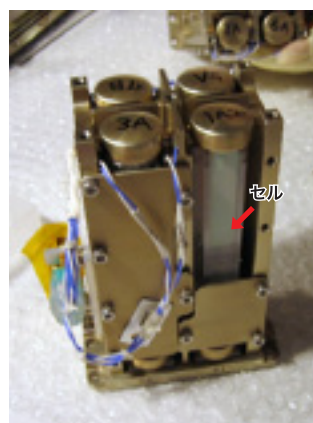


図3 宇宙でつくったフォトニック結晶



セルユニット



結晶生成セルの入ったセルユニットを二つ搭載

ココがポイント!

この実験でめざしているのは、微粒子の規則的な配列を弾性のある樹脂(ゲル)で固めたフォトニック結晶をつくることです。こうしたフォトニック結晶は圧縮することによって、微粒子間の距離を自由に変えることができるので、これで光素子をつくると、1つの素子でさまざまな波長の光を制御できるようになります。



図4 実験装置と実験セル