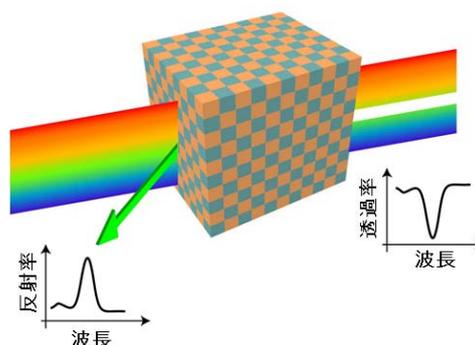


ディビジョン番号	2
ディビジョン名	光化学

大項目	2. 光化学の応用展開
中項目	2-3. フォトニクス
小項目	2-3-2. フォトニックバンド

#### 概要（200字以内）

光を閉じ込める、或いは光の群速度制御することが可能なフォトニック結晶は、無閾値でのレーザー発振の実現や、光と分子を強く相互作用させることができる新しい光化学反応場としても注目されている。特に、3次元フォトニック結晶は、高い光閉じ込め効果を示すことが理論的に示されており、半導体加工のみならず、微粒子の集積化や、レーザーを用いた2光子重合反応による構造形成など、化学的手法による作製も試みられている。

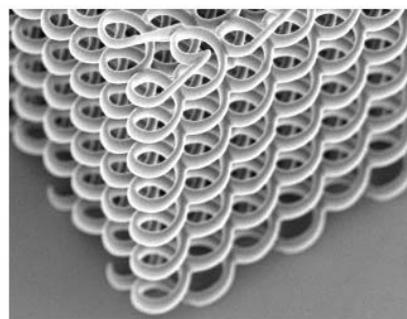


#### 現状と最前線

誘電体の周期構造と電磁波は特異的な相互作用を示し、その誘電率や周期に対応した波長帯域の電磁波の伝播は強く抑制される。このような帯域はフォトニックバンドギャップ、またその誘電体の周期構造はフォトニック結晶と呼ばれる。フォトニック結晶は光導波路や低閾値レーザーへの応用が期待され、これまでに半導体加工技術、あるいは微粒子の自己組織化を用いた作製法が開発され、活発に研究が進められている。さらに、フォトニック結晶内に任意に欠陥構造を導入することにより、欠陥部位に極めて効果的に光を局在化させることも可能である。これを利用して高いQ値を有する無閾値レーザーの実現や、最近では欠陥において光と分子を強く相互作用させて光化学反応を行う光反応場への展開も期待されている。フォトニック結晶には、その周期構造の空間次元性によって1次元、2次元、3次元構造が存在するが、3次元フォトニック結晶はあらゆる方位に対して光の伝搬を制御するフォトニックバンドが形成される可能性があるため、理論や実験など様々な角度から広く研究が行われている。特にダイヤモンド構造の結晶形を有する周期構造は全方位に対してフォトニックバンドを形成することが理論的な研究から示されているが、現在の微細加工技術や、微粒子の自己組織化によってダイヤモンド構造を有するフォトニック結晶を忠実に作製することは極めて困難である。一方、ウッドパイル、またはログパイルと呼ばれる構造は、ダイヤモンド結晶構造の近似的な構造体であり、この構造体によって完全フォトニックバンドを形成させることが可能であることが理論的に予測されている。ログパイル構造とは、第1層目の等間隔に配列させた直線的な棒状構造

と直交するように第2層目の棒状構造を配置し、第3層目は第1層目と同じ方向ではあるが、半周期構造を移動して配置させ、微細な棒状構造をあたかもキャンプファイアの薪のように配列させた構造である。このようにログパイル構造は、各層ごとに加工し積み上げられる layer-by-layer 構造であるため、これまでに半導体加工技術を用いて作製され、その光学特性も明らかにされている。

一方、フェムト秒レーザーを用いた光造形法により、ログパイル構造に加えて、螺旋構造を有する3次元フォトニック結晶の作製も報告されている（下図参照）。螺旋構造もダイヤモンド構造の近似構造であるが、ログパイル構造と比較して、よりダイヤモンド構造に近く、優れた光学特性を示すことが理論的に予想されている。しかし、これまで半導体加工技術で作製することは極めて困難であった。一方、光造形法は、高分子材料への加工であるため、半導体のような高屈折率材料での直接的な作製は不可能であるが、光造形法により作製した構造を鋳型とし、化学気相成長法（CVD法）によってシリコンなどの高屈折率材料による3次元フォトニック結晶の作製も試みられている。



1  $\mu\text{m}$

レーザー光造形法により作製した螺旋型3次元フォトニック結晶

K. K. Seet, H. Misawa et al. *Adv. Mater.* **17**, 541 (2005).

上野貢生, 三澤弘明 *光化学* **36**, 128 (2005).

#### 将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
  - 1) 光造形法で作製した構造を鋳型とした高屈折率材料によるフォトニック結晶の作製
  - 2) 低閾値レーザー媒体の実用化
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
  - 3) 欠陥モードを利用した高Q値・無閾値レーザーデバイスの実現
  - 4) 短時間・大面積への3次元ダイヤモンド型フォトニック結晶の作製技術の確立

#### キーワード

3次元フォトニック結晶・フォトニックバンドギャップ・光閉じ込め・無閾値レーザー・レーザー光造形法

(執筆者： 三澤弘明)