複数層一括融着による3次元フォトニック結晶作製

Fabrication of 3D Photonic Crystals by Batched Wafer Bonding Process of Multiple Layer

京大院工 [1], 学振特別研究員 [2] ○北野 圭輔 [1,2], 石崎 賢司 [1], 野田 進 [1]
Kyoto Univ.[1], JSPS Research Fellow[2], ○K. Kitano[1,2], K. Ishizaki[1], and S. Noda[1]
E-mail: k.keisuke@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

我々は, 立体的な光制御の実現に向けて, ストライプ積層型 3 次元フォトニック結晶（3D PC）の開発を行い，2 次元構造を形成した層をウエハ融着法を用いて順次積層する手法[1]により，面内方向・面外方向の導波路やナノ共振器を導入し，3 次元光制御の基礎実証を行ってきた [2]．また，ストライプ積層型 3D PC について，より多層の構造を簡便に形成する手法として，大面積の基板に複数の 2 次元を配置し，2 次元構造の位置を合わせた一括ウエハ融着工程と，分割工程を繰り返すことによる，少ない工程数での 3D PC の形成法の開発を行ってきた（図 1）．今回，本手法を，4 層以上の多層構造へ適用した結果を報告する．

融着時の位置合わせ接合では，2 枚の基板上に離して配置した 2 つのマーカの重ね合わせ像を観察することで，基板の並進ずれ，回転ずれを見積もり，制御する．本手法を適用することで大面積の基板であっても並進ずれを 20 nm 以下，回転ずれを 2×10^{-4}deg 以下と基板位置を精密に制御しながら，接合させることが可能となった[3]．本手法をもって形成した 4 層時点での 3D PC の上面電子顕微鏡（SEM）像を図 2 に示す．各層へ積層型斜め導波路を形成するための点欠陥を導入しており, 欠陥位置を設計と対応する位置へ配置した，3 次元構造の作製が確認できる．このような 3 次元構造に対し，32 層へ積層した場合の積層型導波路の光学特性を解析した．図 3 に解析した導波路の透過スペクトルを示す．解析では，3D PC 内部に形成した積層型斜め導波路の透過率を，有限差分時間領域法により解析した．この際，3D PC の各層間に図 2 で示した構造で生じた層間の位置ずれを導入している．構造は格子定数 a=580 nm，ロッド幅 w=170 nm，ロッド高さ h=230 nm とした．図ペクトルより導波路の有無によって透過率が 3 桁以上増大し，導波路形成による光導波を確認できる．積層ずれを生じた場合には，ずれの無い場合と比較して，特定の周波数において，急峻な透過率の低下がみられる．しかしながら，導波路を形成しない場合の透過率と比較し 1 桁以上の透過率の差を有し，多層となった場合においても有効であることを示した．

多層構造を形成した結果など，詳細は当日報告する．本研究の一部は，経産省プロジェクト，科研費の支援を受けた．

【参考文献】[1] S. Noda, et al., *Science* **289**, 604 (2000). [2] K. Ishizaki, et al., *Nature Photon.* **7**, 133 (2013). [3] 北野, et al., 春季応物 (2017) 14p-P7-1.

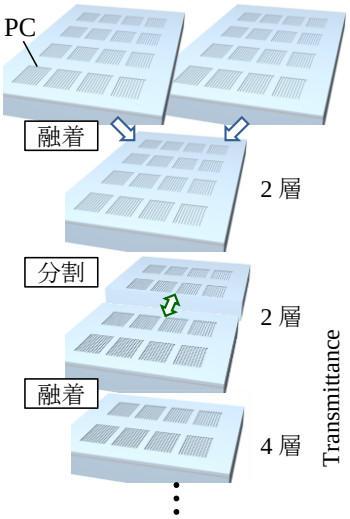

図 1. 複数層一括融着法による 3D PCの作製.

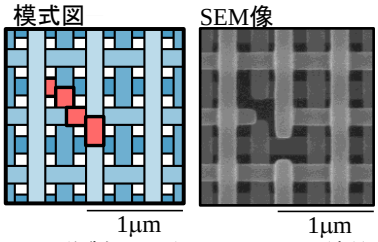

図2. 作製した3次元フォトニック結晶.

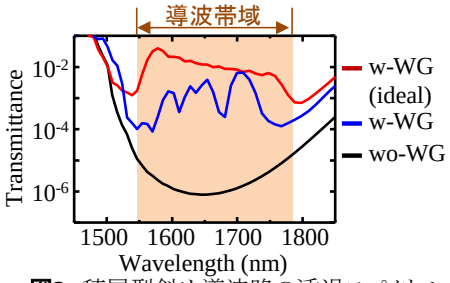

図3. 積層型斜め導波路の透過スペクトル.