

## 渡辺義見・金翼水

目的別テーマ：ハイパフォーマンス/ハイブリッド繊維合体の開発

17年度研究テーマ

15-5-7：繊維形状物質を利用したフレキシブル・ウェアラブルフォトニック結晶の開発

### ABSTRACT

*Cotton yarn / TiO<sub>2</sub> dispersed resin photonic crystals were fabricated successfully by applying textile technology. However, it is difficult to apply for practical use because these photonic crystals cannot change their shape flexibly. In this study, we have tried to fabricate the flexible photonic crystals using high dielectric constant fibers. The high dielectric constant fibers were made by inserting alumina balls into Teflon tubes of superior electric properties. The crossed linear-fiber laminated fabric and multi layered woven fabric with an fcc lattice structure were structured by aligning the high dielectric constant fibers periodically. These photonic crystals consist of air and high dielectric constant fibers. The attenuation of transmission amplitude through the photonic crystals was measured using a network analyzer. The photonic crystal of crossed linear-fiber laminated fabric exhibits a forbidden gap in the range from 16 to 18 GHz range. On the other hand, the photonic crystal of multi layered woven fabric, which was fabricated by the same parameter with crossed linear-fiber laminated fabric, also exhibits a forbidden gap in the range from 13 to 16 GHz range. Thus, we can successfully fabricate the flexible photonic crystals of woven fabric using the high dielectric constant fibers.*

### 研究目的

本研究では、アルミナ球と誘電損失が少なく電気的特性が非常に優れたテフロンチューブとを用いて高誘電率繊維を作製し、その繊維によって構成される織物構造のフォトニック結晶を作製することを目的とした。本研究で作製するフォトニック結晶は、空気と繊維を媒体としているため、これまでの研究で作製された結晶に比べ、安価で容易に作製でき、かつ結晶の形状を自由に变化することができる特徴を有する。マイクロ波領域にフォトニックバンドギャップを持つフォトニック結晶を作製することで、携帯電話、GPS、衛星放送、電磁波防護服および導波管などの応用に対し、フレキシブルなものへの展開を目指す。

### 一年間の研究内容と成果

テフロンチューブにアルミナ球を挿入し、凹凸のない繊維を作製した。この繊維を用いて線形糸直交構造を作製した。試料写真および概念図をFig.1に示す。線形糸直交構造は、繊維を1層目に間隔Lで配列させ、2層目に1層目を90°回転させた状態で配列し、3、4層目は、それぞれ1、2層目と同様に配列したものを

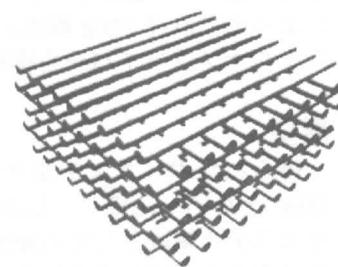
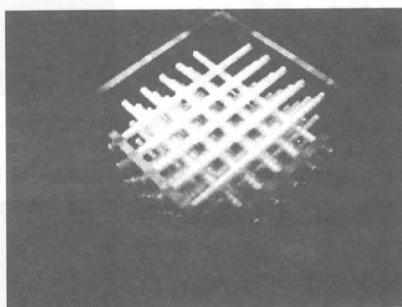


Fig.1 Photographs and schematic illustrations of alumina ball / Teflon tube photonic crystals.

L/2だけずらし配列させた構造 (Fig.1) で、繊維の交差する点がダイヤモンド構造をとる。[001]方向に対しダイヤモンド格子が2層重なった構造である。

線形糸直交構造における[001]方向からの電磁波透過特性をFig.2に示す。15.7~18.5GHzにわたり幅の広いフォトニックバンドギャップが形成され、鋭い透過率の減衰が見られ、明確なフォトニックバンドギャップが形成された。電磁波の透過率の減衰は約15dBであった。テフロンチューブのみで作製した線形糸直交構造の測定結果は、電磁波の遮断はしているが、目的とするフォトニックバンドギ

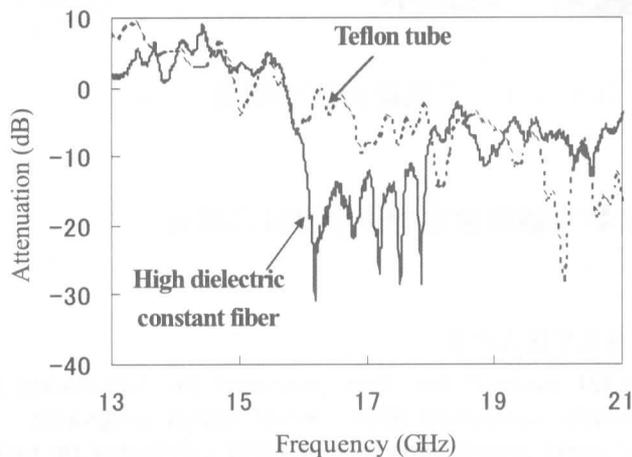


Fig.2 Transmission attenuations through the photonic crystals of crossed linear-fiber laminated fabric with high dielectric constant fiber and Teflon tube.

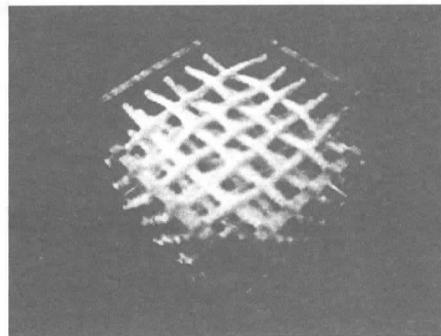


Fig.3 Photographs and schematic illustrations of alumina ball / Teflon tube photonic crystals.

トップの形成は確認できなかった。よって、アルミナ球を導入することで目的とするフォトニックバンドギャップが形成されることが確認できた。

上述の線形糸直交構造と同じ繊維の誘電率および周期で、多層織物構造を作製した。これは、2次元的には縦糸と横糸が交互に織られた平織り構造を有し、層ごとに繊維の間隔  $L$  を  $L/2$  ずらして重ねた構造である。試料写真を Fig.3 に示す。

多層織物構造の試料の  $[001]$  方向からの電磁波透過特性を Fig.4 に示す。フォトニックバンドギャップは 12.4 ~ 15.7GHz と幅広く形成された。しかし、同じ条件で作製した線形糸直交構造と比較すると、低い周波数の位置にフォトニックバンドギャップが形成している。これは織物構造を用いているため、基本格子中を占める繊維の割合が増えている。そのため、線形糸直交構造と比較すると、基本格子あたりの巨視的な誘電率が高くなることにより、フォトニックバンドギャップが低い周波数域に形成されたものと考えられる。また手織りで作製しているため周期構造の乱れも原因の一つである。電磁波の減衰率が約 10dB と線形糸直交構造とほぼ同程度の減衰能を有することがわかった。これにより、高誘電率繊維を用いて織物構造を作製することで、フォトニック結晶へ応用することが可能であることが見いだされた。

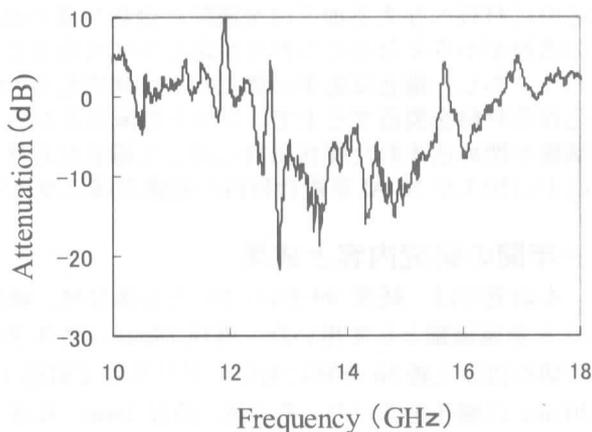


Fig.5 Transmission attenuations through the photonic crystals of multi layered woven fabric.

## 展望

本手法を用いると、安価かつ大量に軽量のフォトニック結晶を製造し得る。また、フレキシブルでウェアラブルなフォトニック結晶の製造も可能となる。そのため、種々な分野での工業的展開が見込まれる。例えば、電磁波の導波管、電磁波防護服などがあげられる。