

ミリ波・テラヘルツ波におけるフォトニック 結晶構造を応用した次世代無線通信用 高性能機能デバイスの開発

神奈川大学 大学院工学研究科
工学専攻（電気電子情報工学領域）
准教授 陳 春平

2021年12月7日

研究分野の背景①

- 次世代移動体通信技術のBeyond 5G/6Gは、2030年以降に実現するSociety 5.0/IoT (Internet of Things) 社会のバックボーンとして中核的な機能を担うことが期待される。
- Beyond 5G/6G無線システムの要件：
 - ① 5G の10倍ともなる100Gbps (1Tbps (コア速度)) の超高速・大容量化；
 - ② 5G の10倍の同時接続端末の増大；
 - ③ 無線区間の遅延を5Gの1/10の0.1ms以下の超低遅延化；
 - ④ 5G の1/100の超低消費電力化。

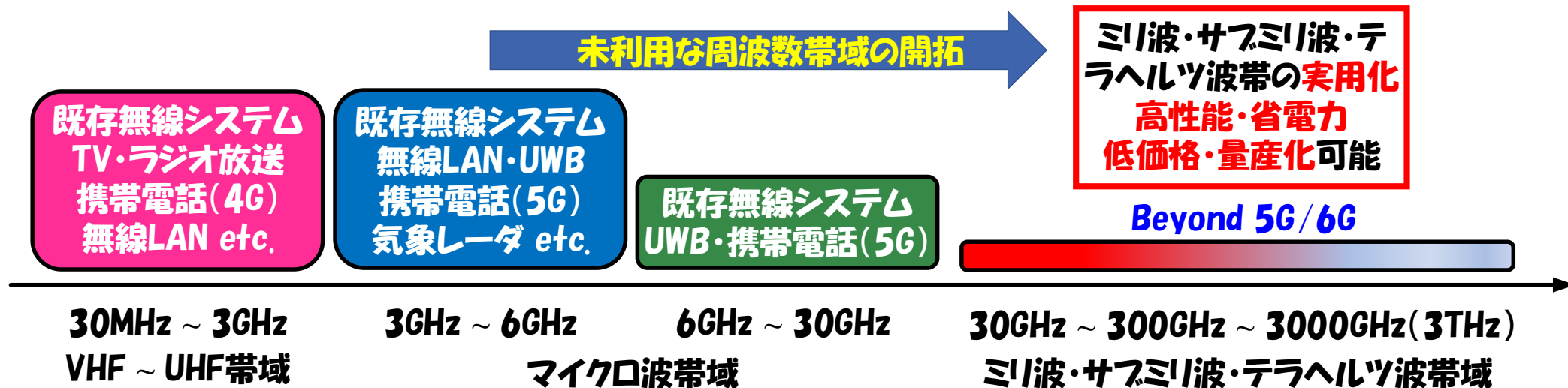
研究分野の背景②

■ Beyond 5G/6Gに必要な帯域幅

通信容量: 100Gbps~1Tbpsのビットレート

➡ 7.5GHz~75GHz(シャノン限界値)

➡ ミリ波・サブミリ波・テラヘルツ波帯域を利用
(マイクロ波帯域には空きがないため)



従来技術とその問題点

■ 既存技術①: 平面導波路 (MS、CPWなど)

利点: 作製しやすい

問題点: 高損失 ($4\sim 25\text{dB/cm}@100\text{-}300\text{GHz}$)

■ 既存技術②: 導波管

利点: 低損失 ($\sim 0.4\text{dB/cm}@100\sim 300\text{GHz}$)

問題点: 寸法が小さく、製造コストが高い

(例えば、導波管R1400 (周波数範囲: $110\text{-}170\text{GHz}$ 、 $1.65 \times 0.83\text{mm}$))

課題: ① **ミリ波・サブミリ波・テラヘルツ波** 帯で応用可能な **低損失・低コストの伝送線路** の提案、② **機能デバイス** の設計

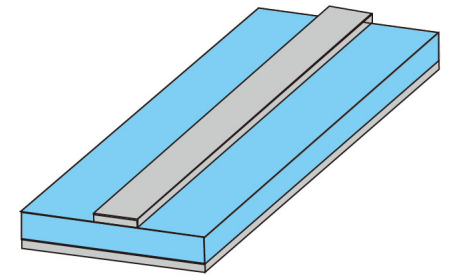


図 マイクロストリップ (MS) 線路

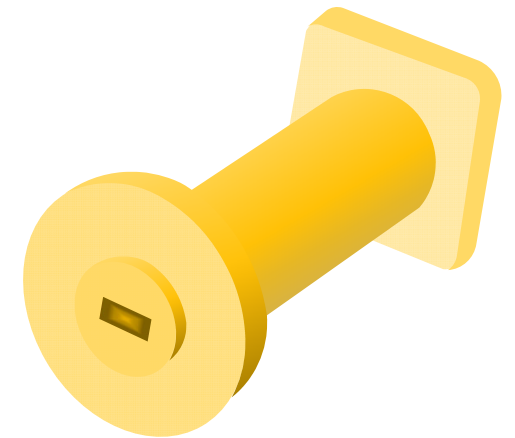


図 導波管

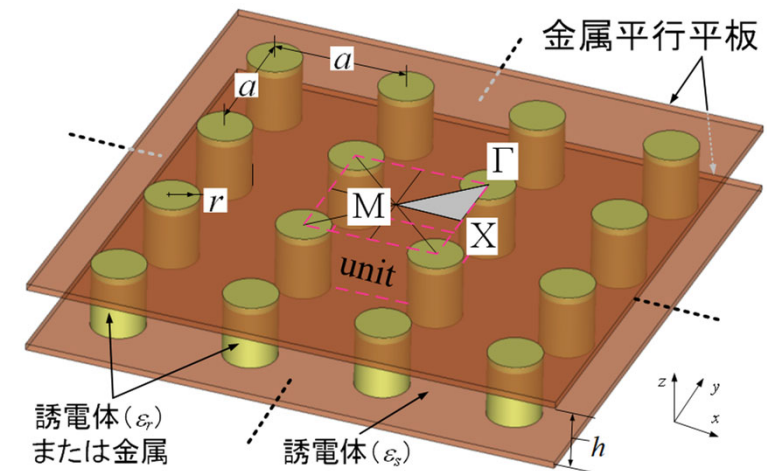
新技術の特徴・従来技術との比較

■ 提案の新技術

フォトニック結晶 (PhC) 伝送線路

■ 新技術の特徴

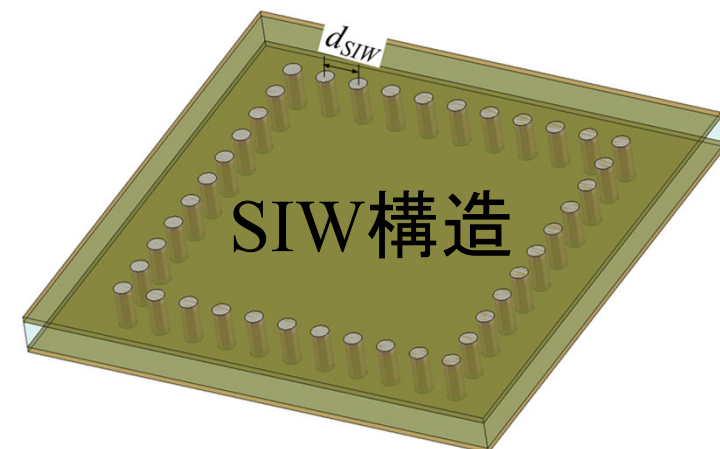
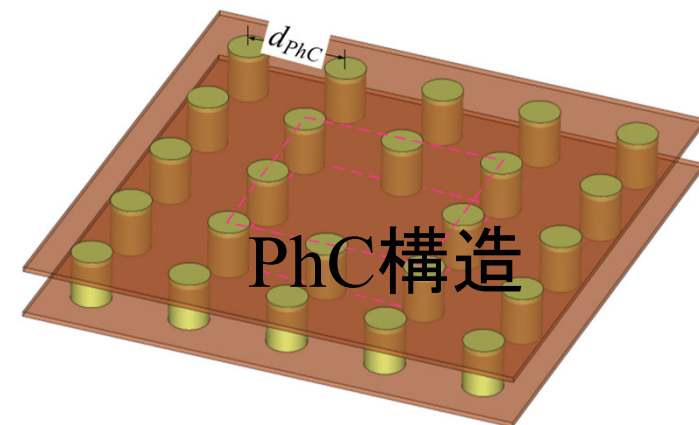
- 平行平板メタル導波路中に**金属/誘電体円柱構造**を動作**波長程度のスケール**で**周期的に配置した格子構造**
- 電磁波の伝播が許される**通過帯域** (パスバンド) および**禁制帯域** (バンドギャップ、遮断域) がある
- マイクロ波の分野ではPBG、EBG構造とも呼ばれる



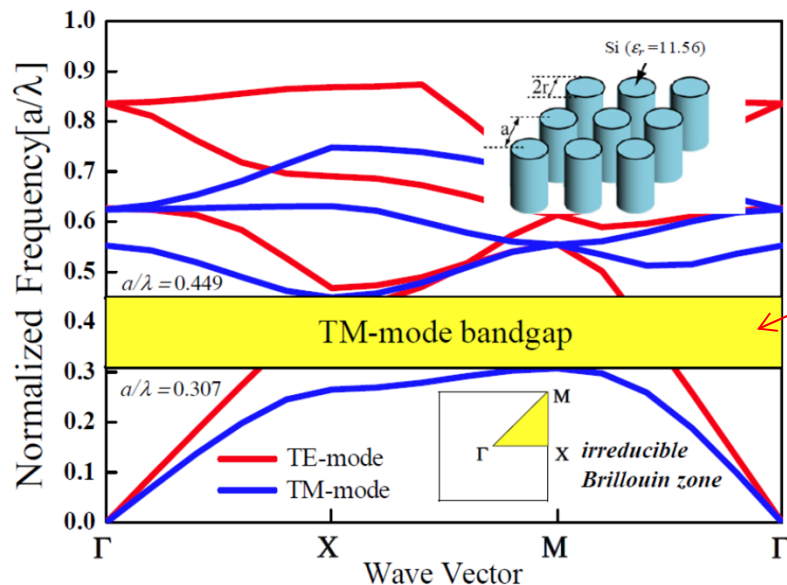
新技術の特徴・従来技術との比較

■ 新技術の特徴・従来技術との比較

- 金属円柱(ビアホール)/誘電体円柱を周期的に並べた構造
- 円柱の間隔は動作波長程度で、SIW構造より広い ($d_{PhC} > d_{SIW}$)
- 導波管と同程度の損失
- 100GHz以上のミリ波回路を低コストで作製可能
- 平行平板メタル導波路, SIW 構造などとの組み合わせも可能



フォトニック結晶のバンドギャップ



バンドギャップ

図 誘電体PhCのバンドギャップ構造

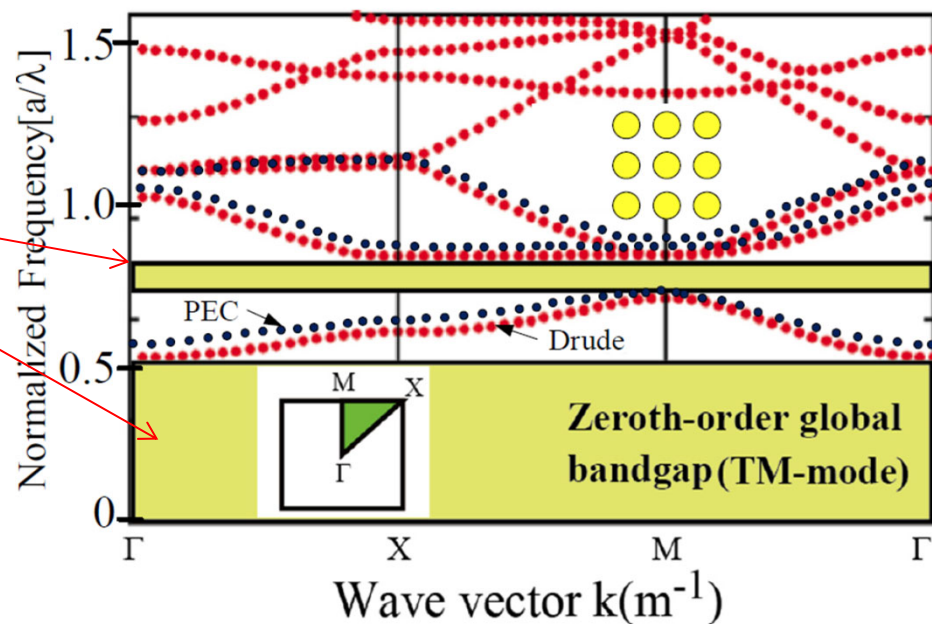
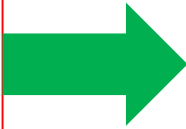
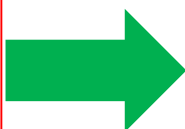


図 金属PhCのバンドギャップ構造

金属/誘電体構造がバンドギャップを有する

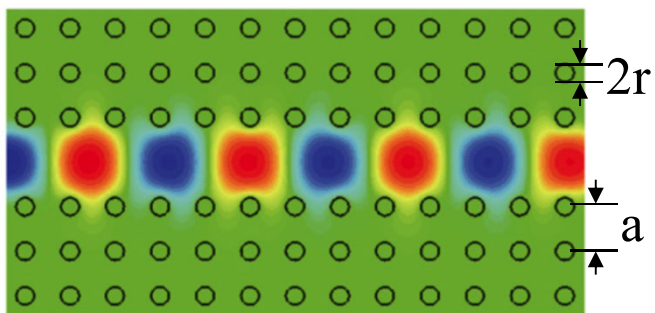


電磁界を閉じ込めることができる

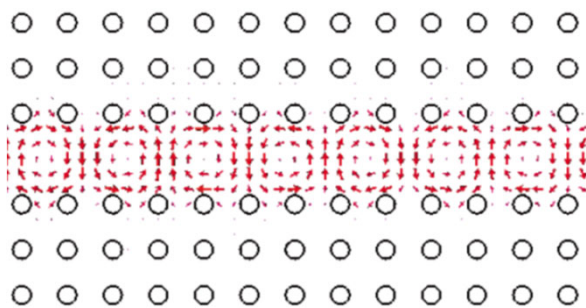


ミリ波・サブミリ波・テラヘルツ帯の低損失・低コスト伝送線路として利用できる

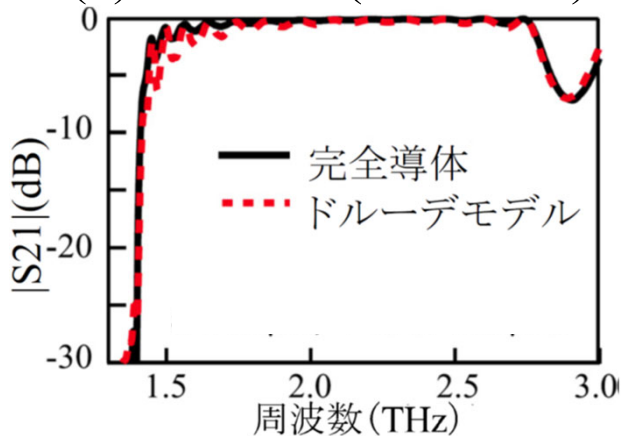
フォトニック結晶直線線欠陥導波路



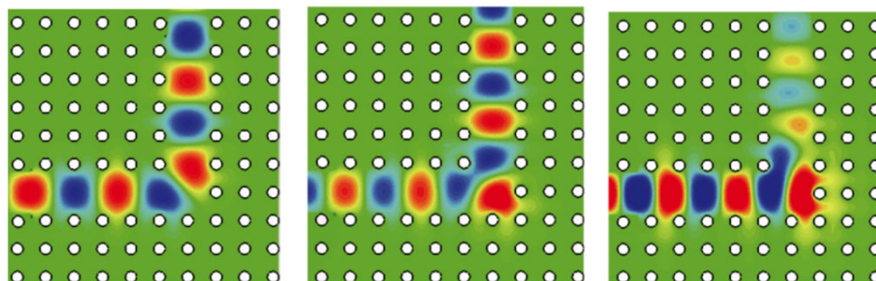
(a)電界分布($f=2.0\text{THz}$)



(b)磁界分布($f=2.0\text{THz}$)



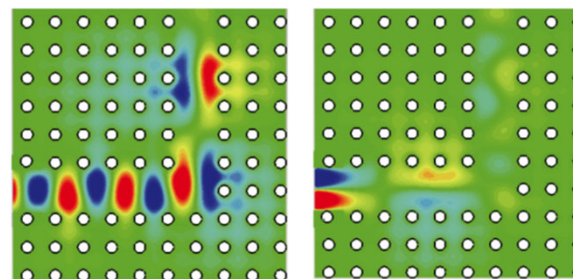
直線線欠陥導波路($r/a=0.2$)



$f=2.2\text{THz}$

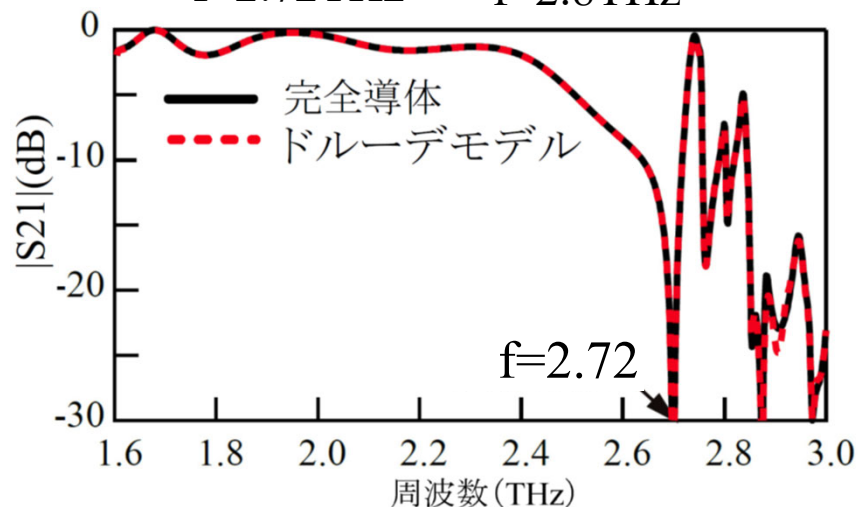
$f=2.4\text{THz}$

$f=2.6\text{THz}$



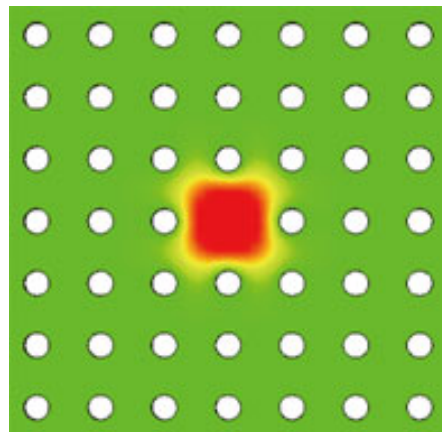
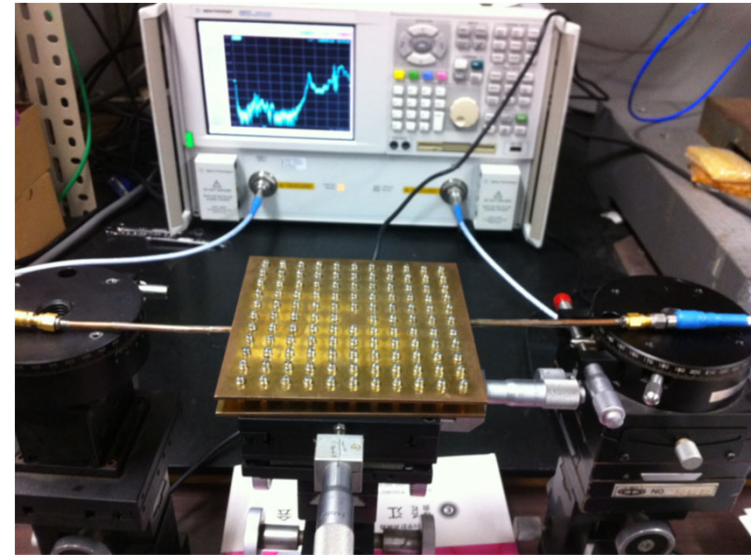
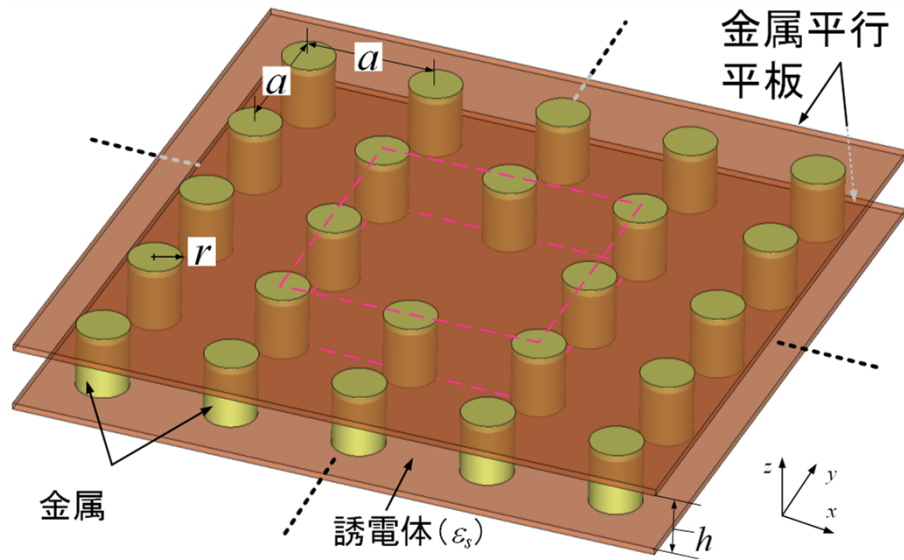
$f=2.72\text{THz}$

$f=2.8\text{THz}$

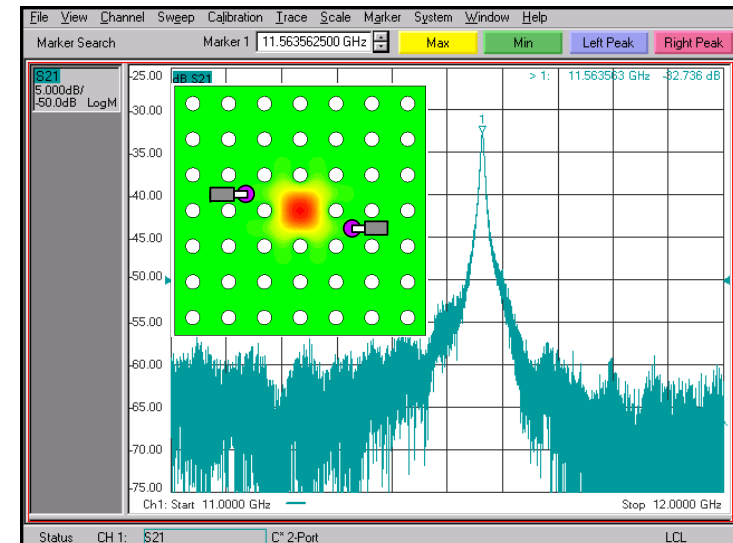


線欠陥直角ベンド導波路($r/a=0.2$)

フォトニック結晶点欠陥共振器



正方格子金属PhC
共振器の電界分布



フォトニック結晶フィルタの一例

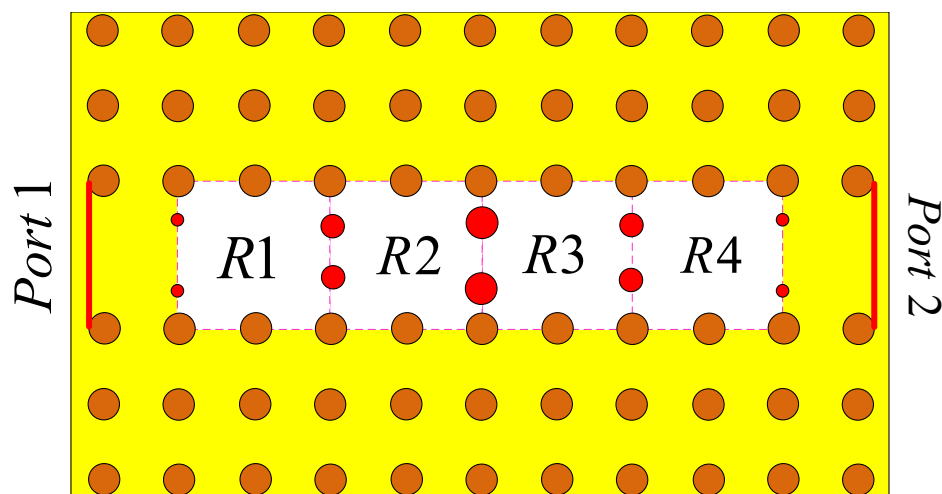


図 金属PhC構造を用いた準ミリ波帯バンドパスフィルタの構造図

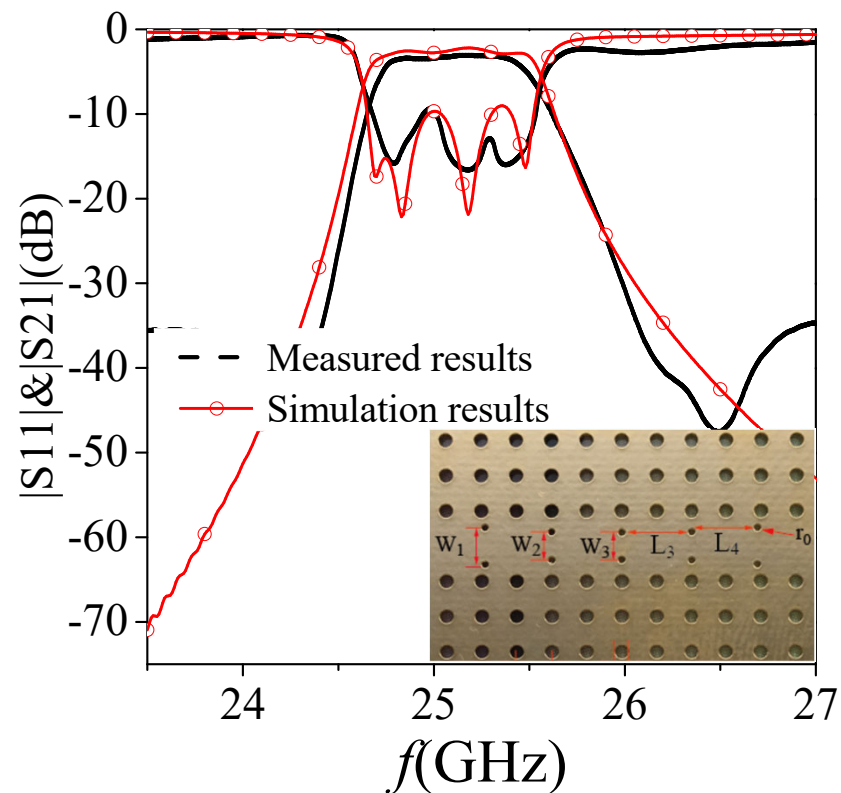


図 準ミリ波帯バンドパスフィルタの周波数特性

想定される用途

本技術の特徴である製造しやすいおよび低損失を生かした用途として次の用途が考えられる。

- 5G/Beyond5G 無線・レーダーなどのミリ波・サブミリ波・テラヘルツ波帯通信システムに必要な不可欠な高性能・低コストの機能デバイス
 - (1) フィルタ回路、(2) アンテナ、(3) 電力分配器、(4) 位相器、(5) マッチング回路、(6) センサーなど
- また、空気ギャップによるバンドギャップの制御により、可変機能デバイスの設計への応用も可能

実用化に向けた課題

■ 解決済みの課題

- バンドギャップの理論計算
- フォトニック結晶フィルタの設計理論を構築
- ミクロ波・準ミリ波帯フィルタの設計と実験による検証

■ これから解決しようとする課題

- μm オーダーの円柱(ビアホール)の微細加工
- 100GHz~テラヘルツ波帯回路の測定
- 空気隙間などによるバンドギャップの制御

企業への期待

- 未解決の μm オーダーの回路加工については、CMOS技術により克服できると考えている。
- 微細加工技術、100GHz～テラヘルツ波帯測定器を持つ、企業との共同研究を希望。
- 高周波電子部品（基地局の高周波機能デバイス）・自動車（衝突防止レーダシステム）・宇宙航空（ミリ波センサー）・医療機器（テラヘルツ測定器）分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

産学連携の経歴

- 2013年～ 神奈川大学にて研究実施

お問い合わせ先

神奈川大学研究支援部

産官学連携コーディネーター 尾谷 敬造

TEL 045-481-5661 (代)

FAX 045-481-2764

e-mail fs1301775kp@kanagawa-u.ac.jp