



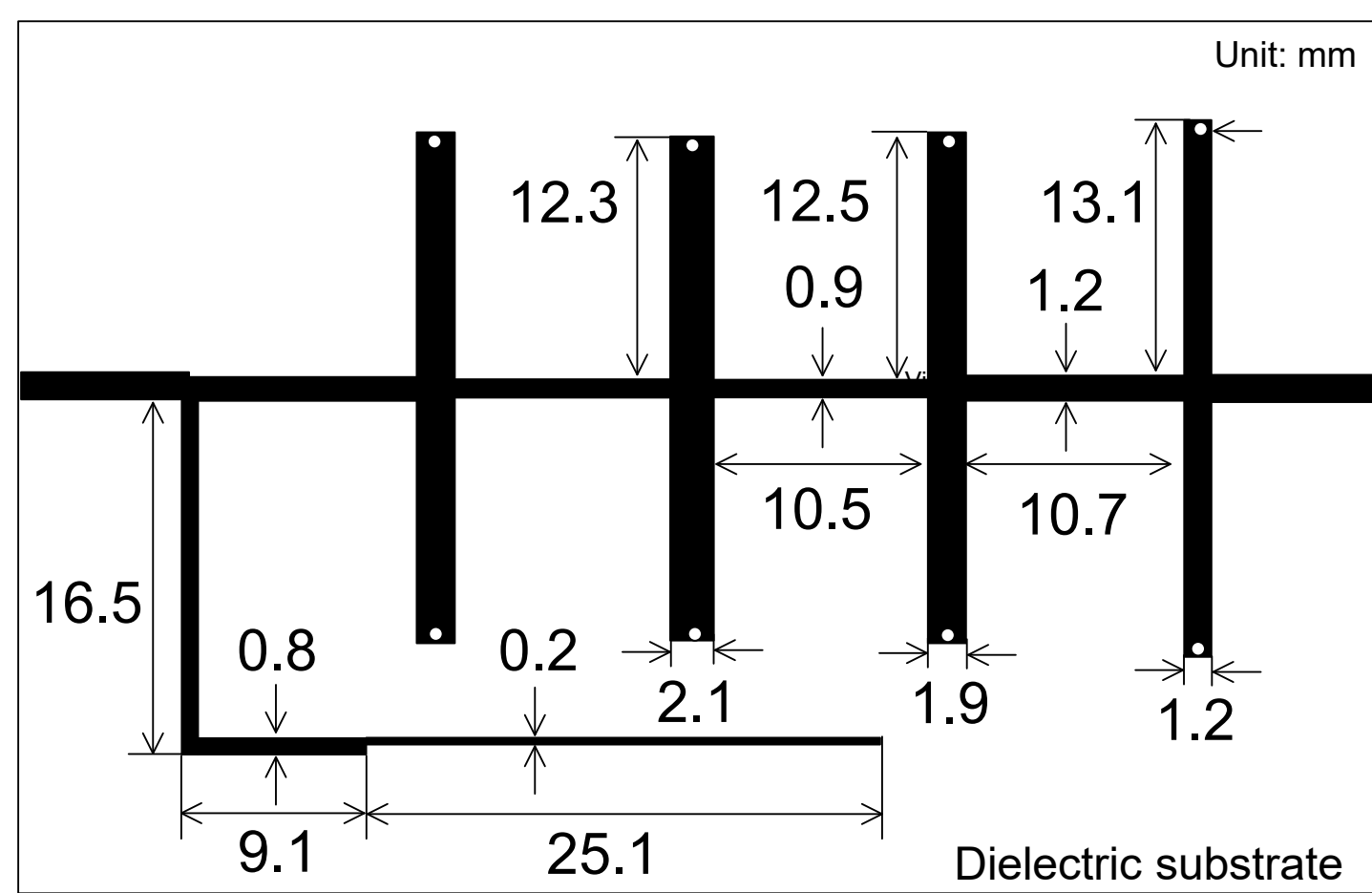
小型高性能マイクロ波受動回路の研究開発

Research and Development of Miniaturized High-Performance Microwave Passive Circuits

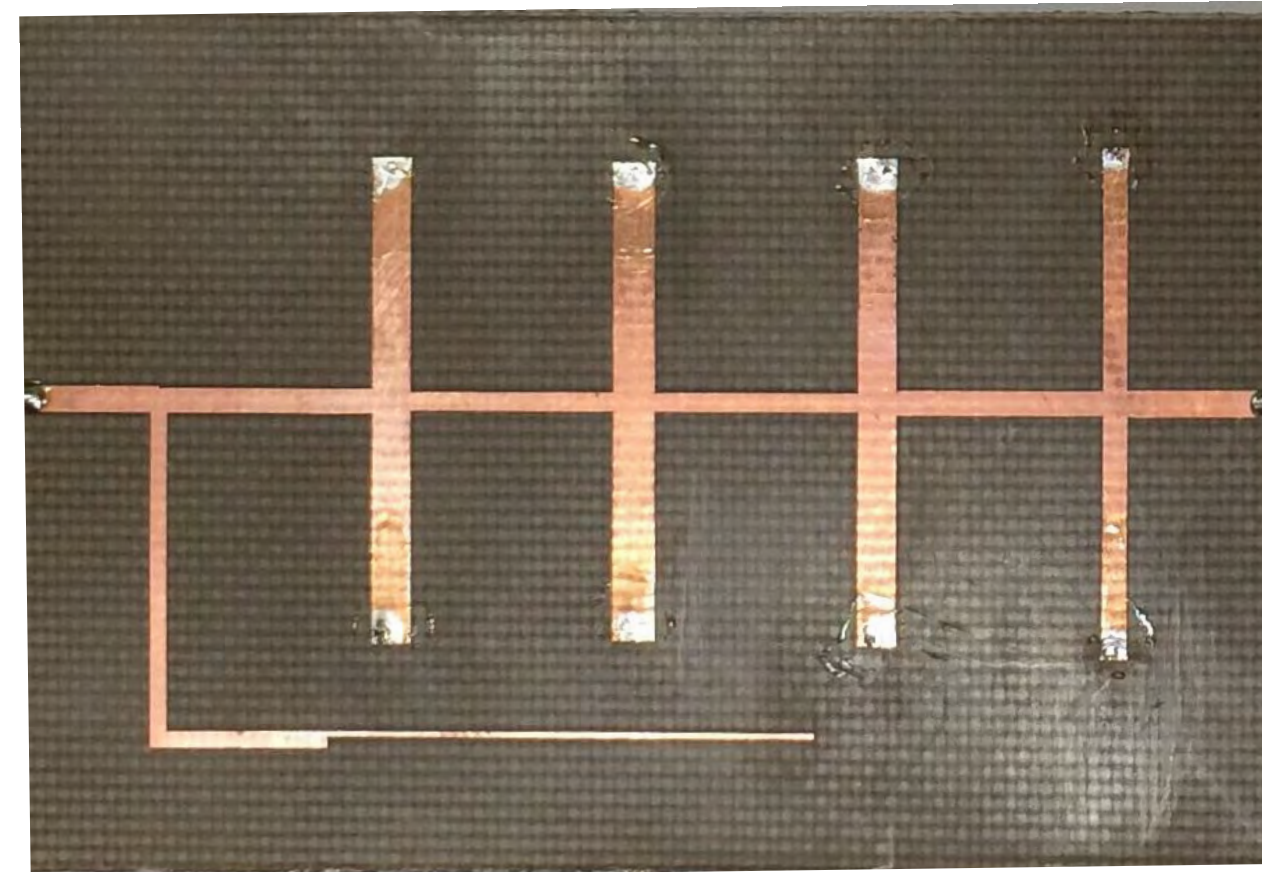
Ma, Ohira & Misawa Laboratories, Saitama University, Japan

マイクロ波・準ミリ波帯広帯域バンドパスフィルタ

- 広帯域・低損失・高い周波数選択特性を有し、製作が容易なバンドパスフィルタ

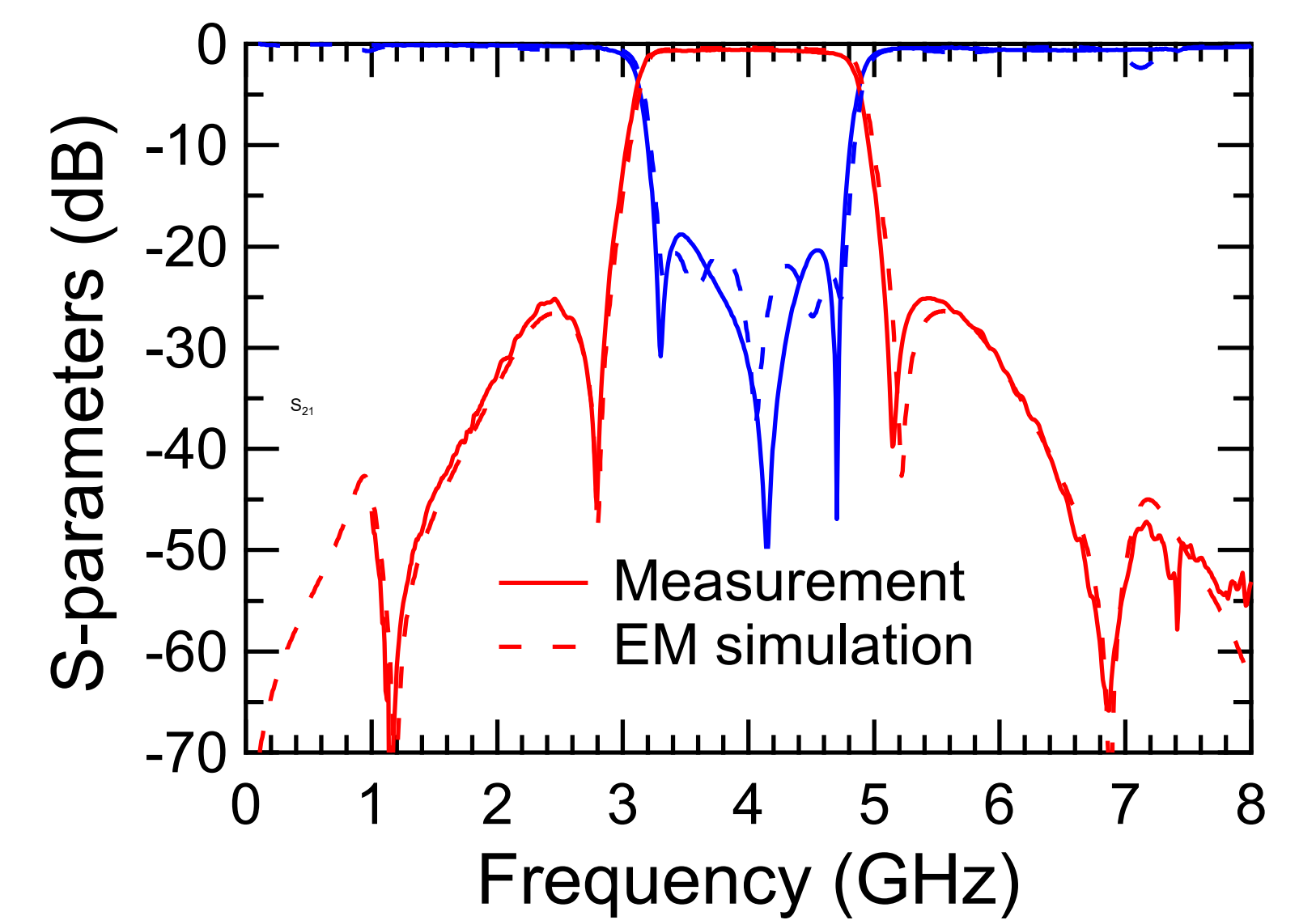


複数の伝送零点を有する5段広帯域BPF ($f_0=4$ GHz, $FBW=40\%$)

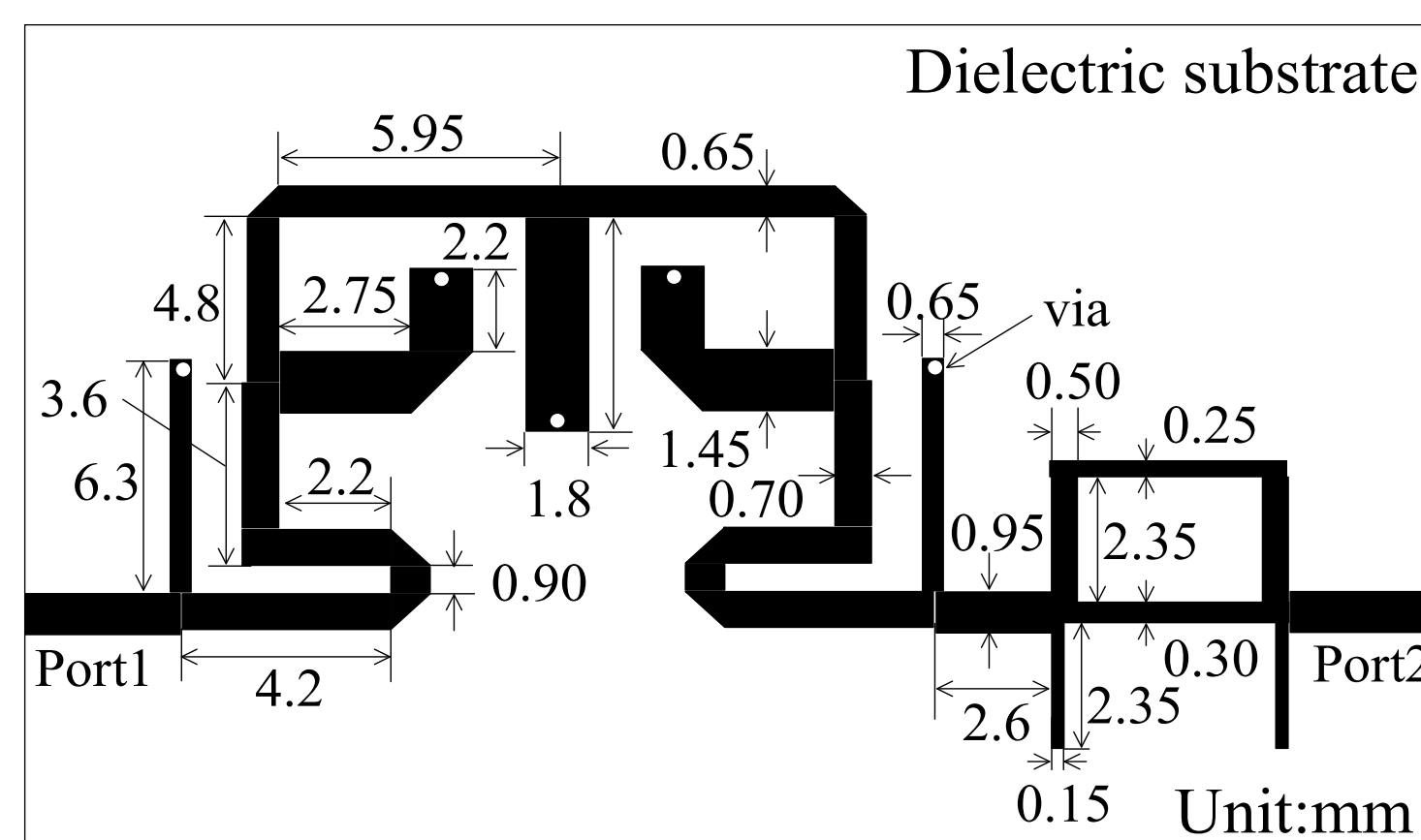


Substrate with $\epsilon_r=2.9$, thickness $t=0.5$ mm

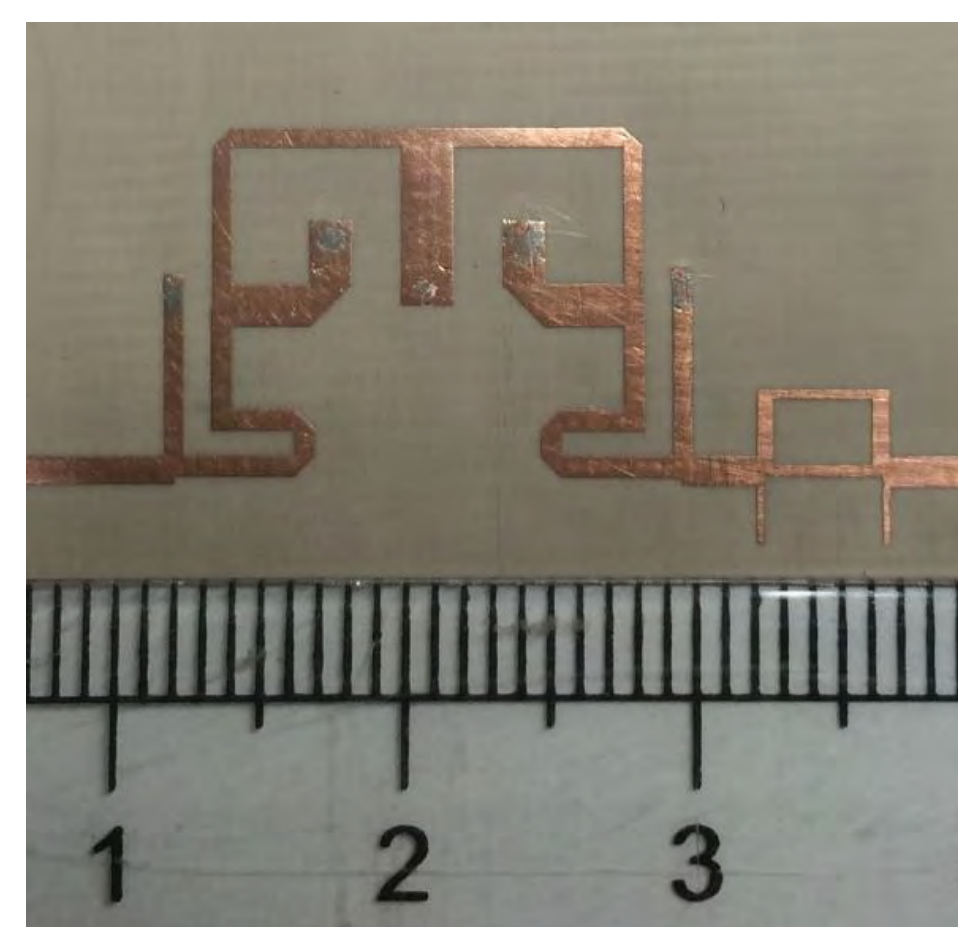
試作フィルタ



周波数特性

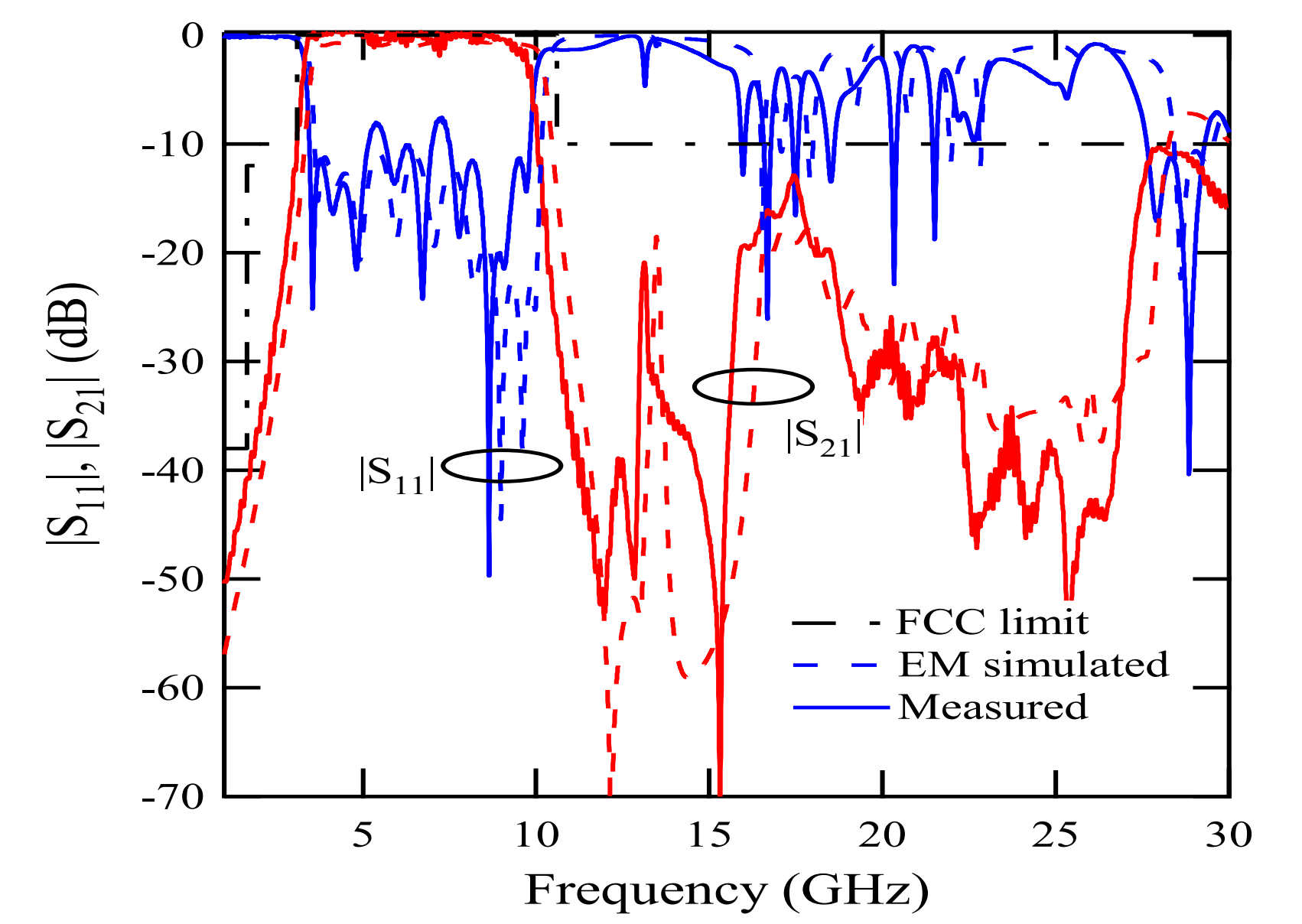


広い阻止域を有する9段UWB BPF ($f_0=6.85$ GHz, $FBW=95\%$)

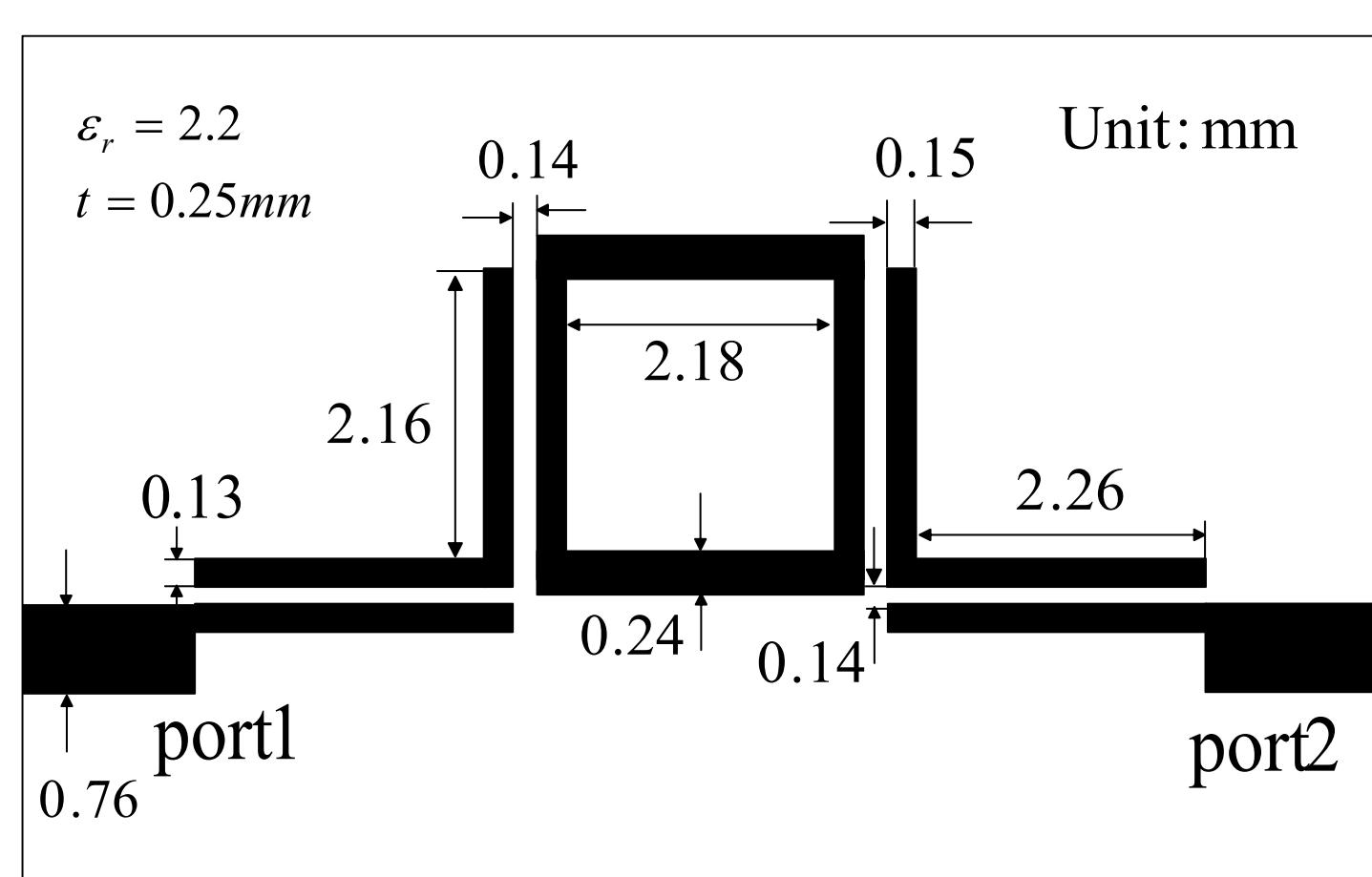


Substrate with $\epsilon_r=4.5$, thickness $t=0.5$ mm

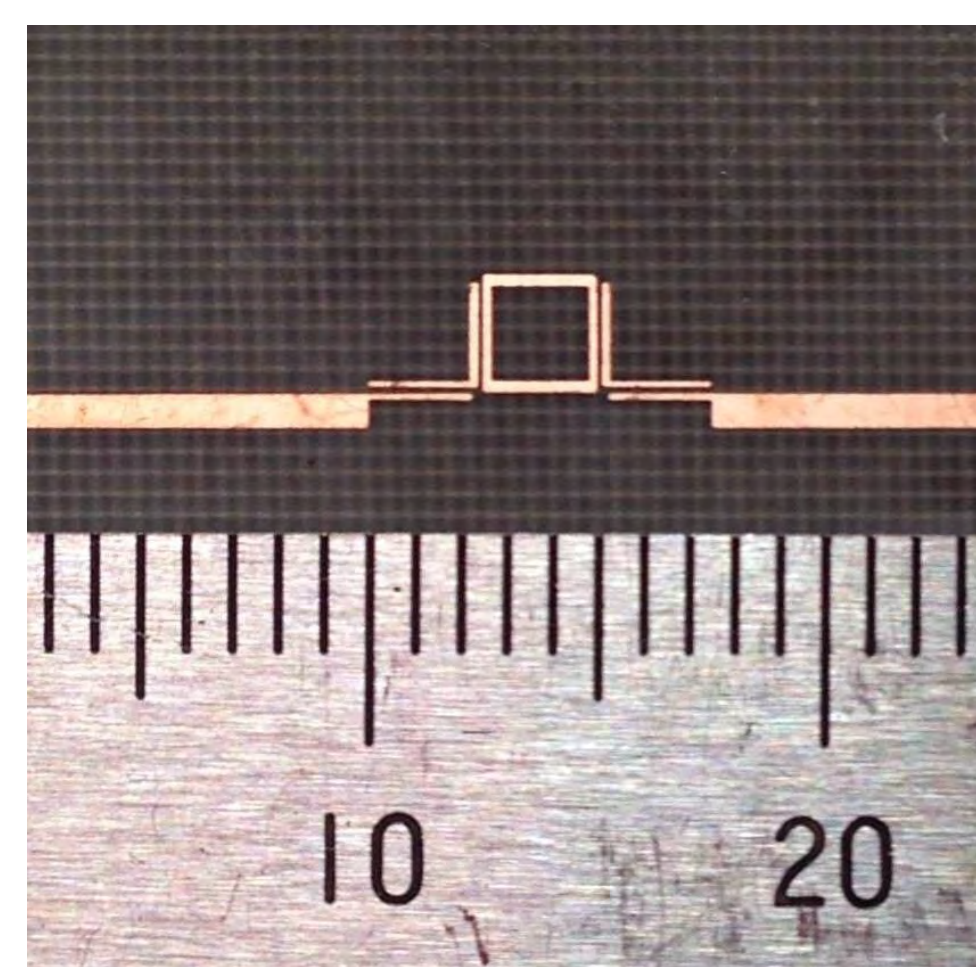
試作フィルタ



周波数特性

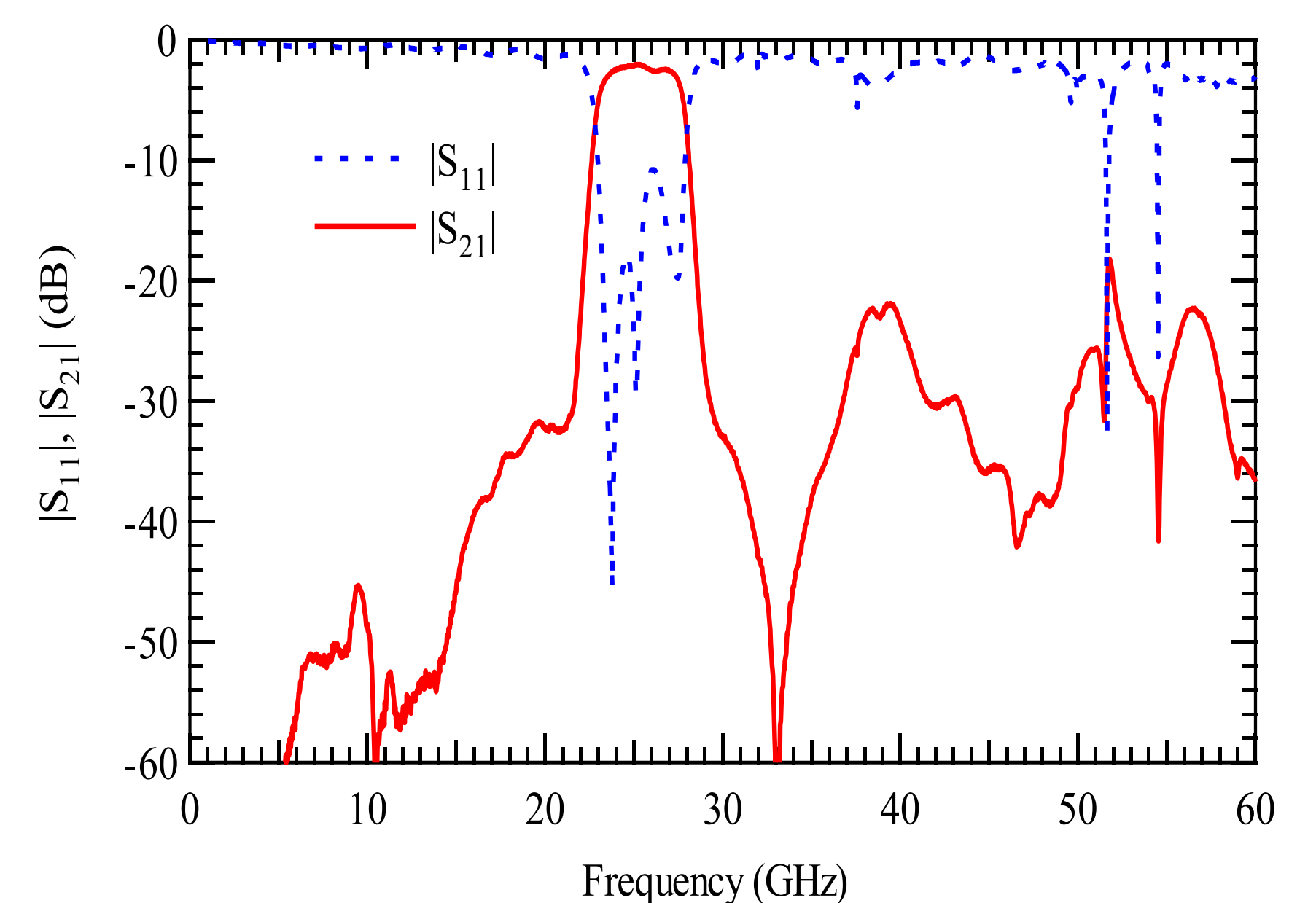


準ミリ波帯4段UWB BPF ($f_0=25.5$ GHz, $3\text{dB-}FBW=20\%$)

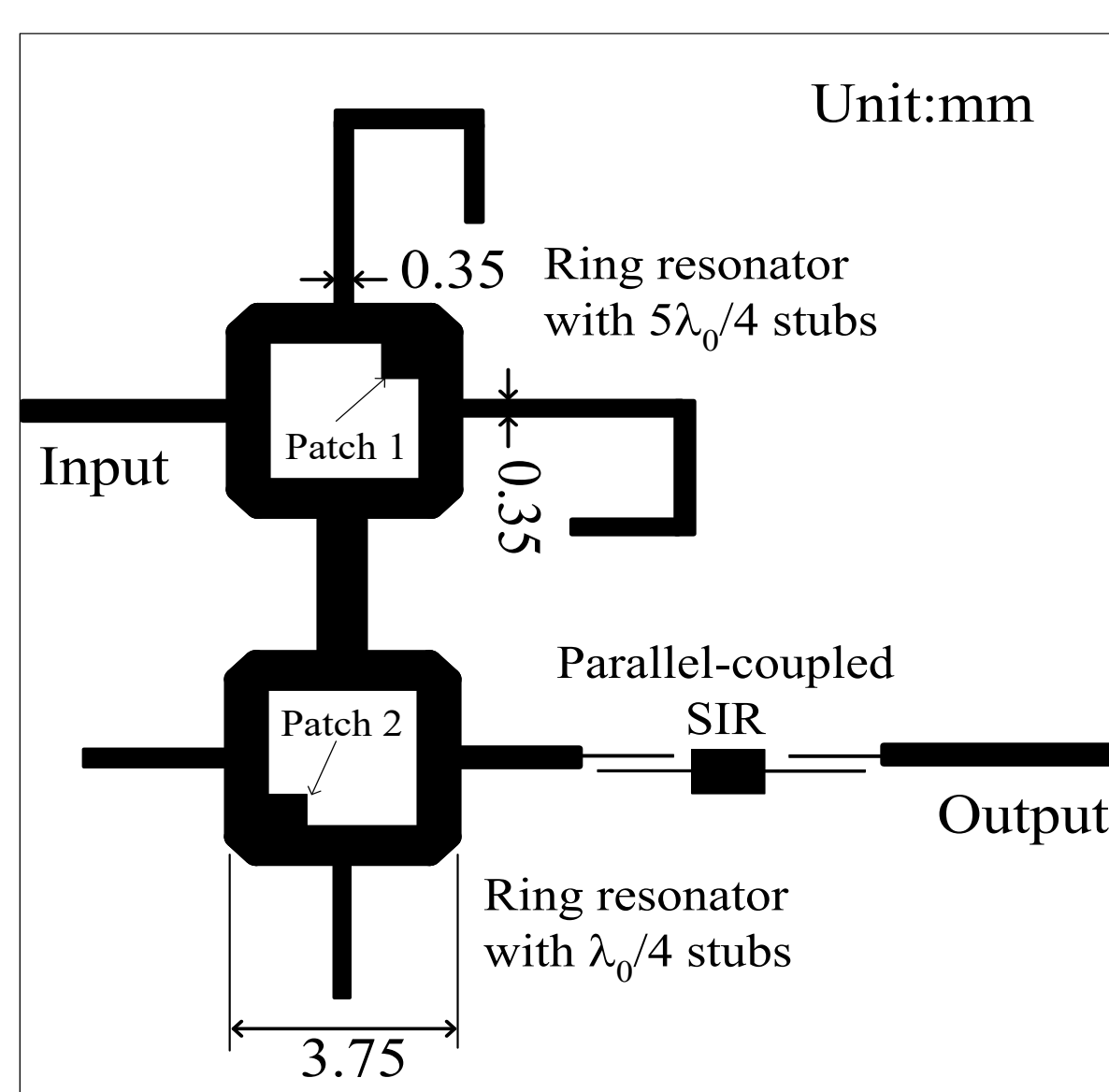


Substrate with $\epsilon_r=2.2$, thickness $t=0.25$ mm

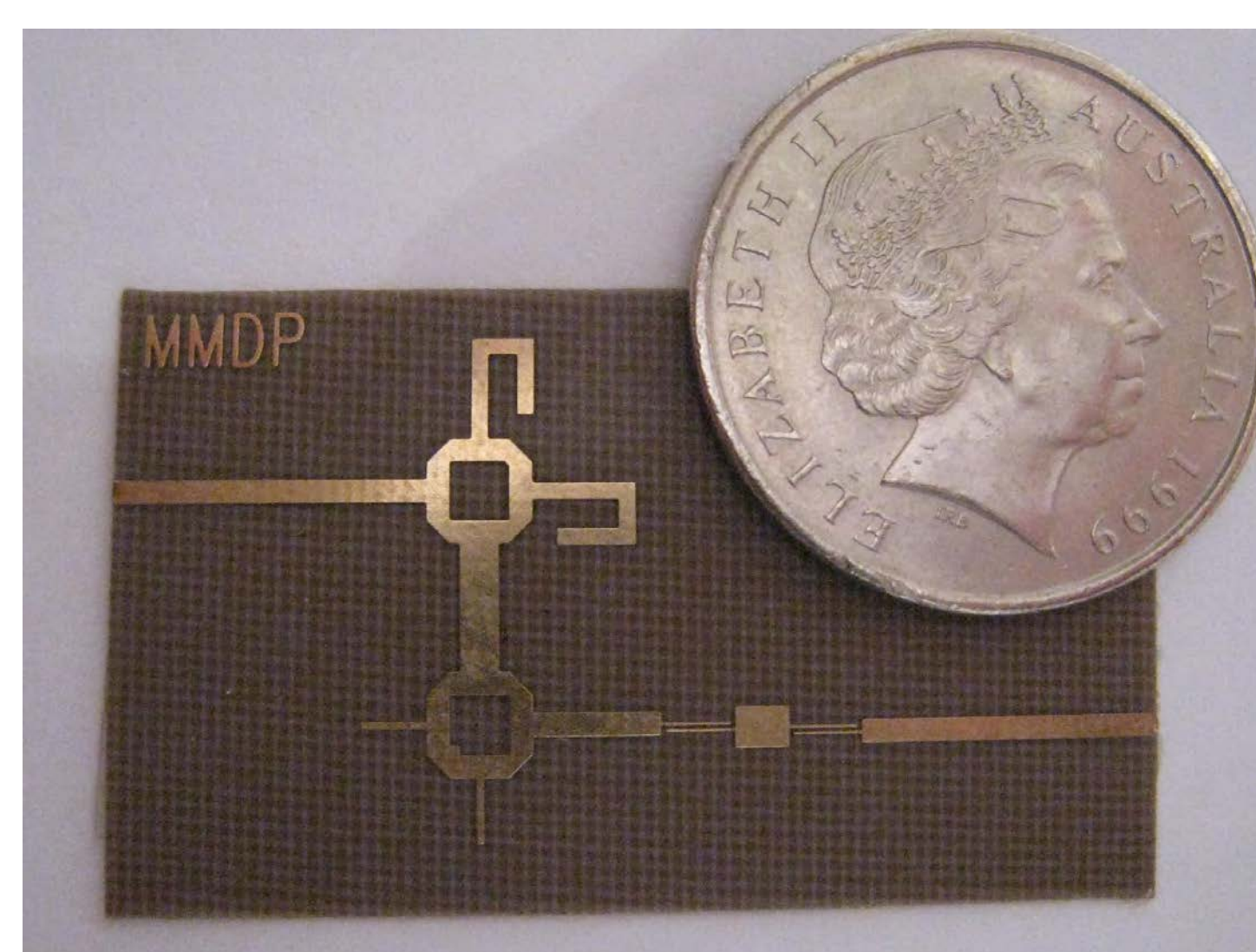
試作フィルタ



周波数特性

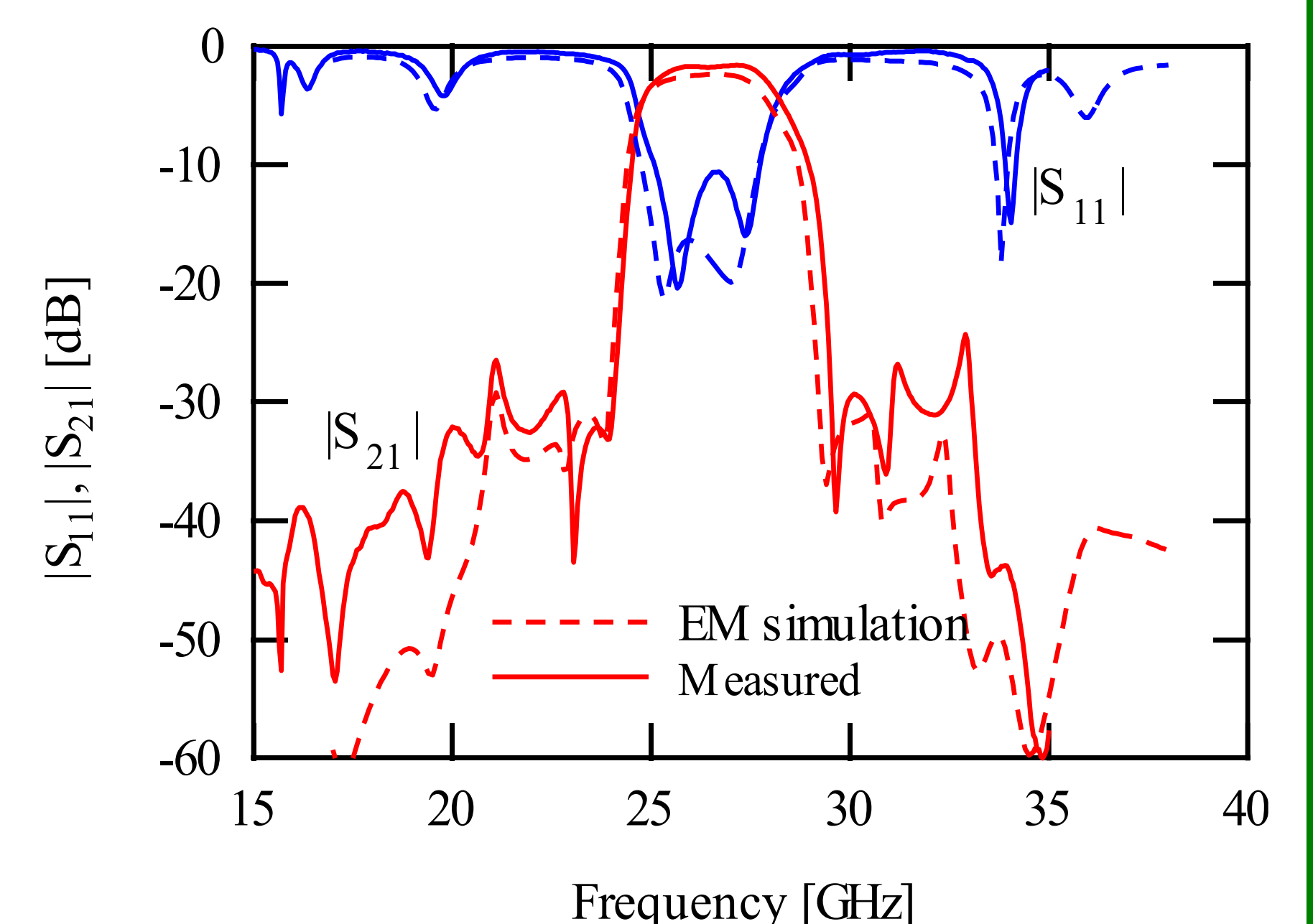


準ミリ波帯4段UWB BPF ($f_0=25.5$ GHz, $3\text{dB-}FBW=20\%$)



Substrate with $\epsilon_r=2.2$, thickness $t=0.25$ mm

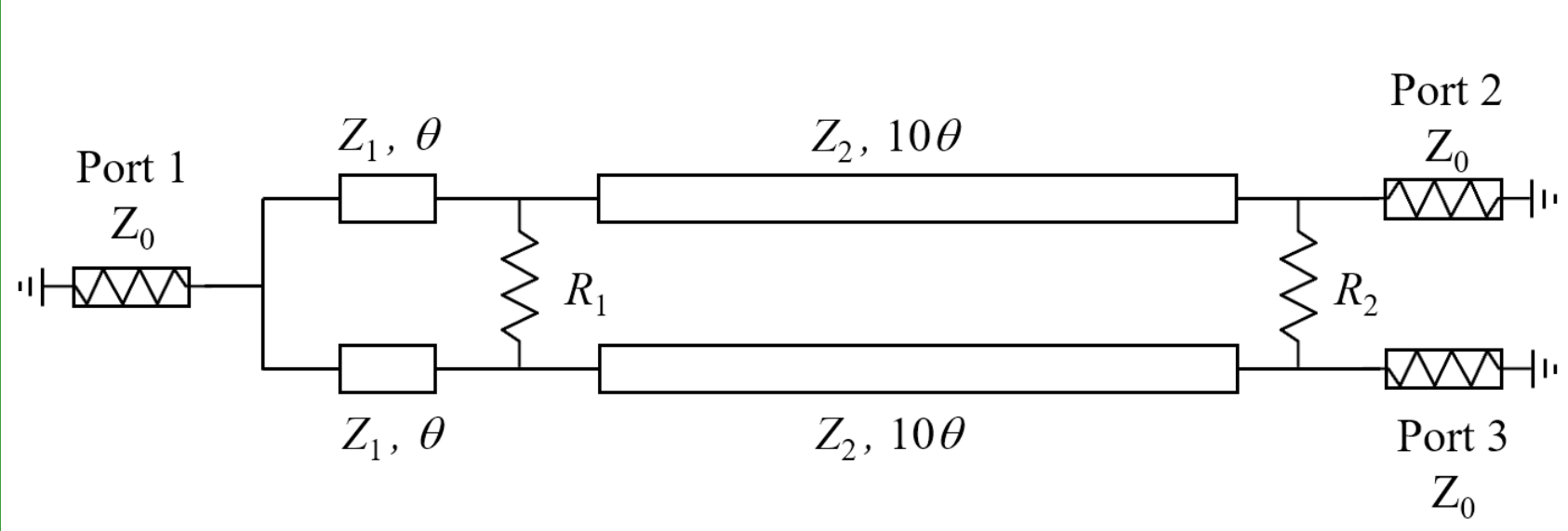
試作フィルタ



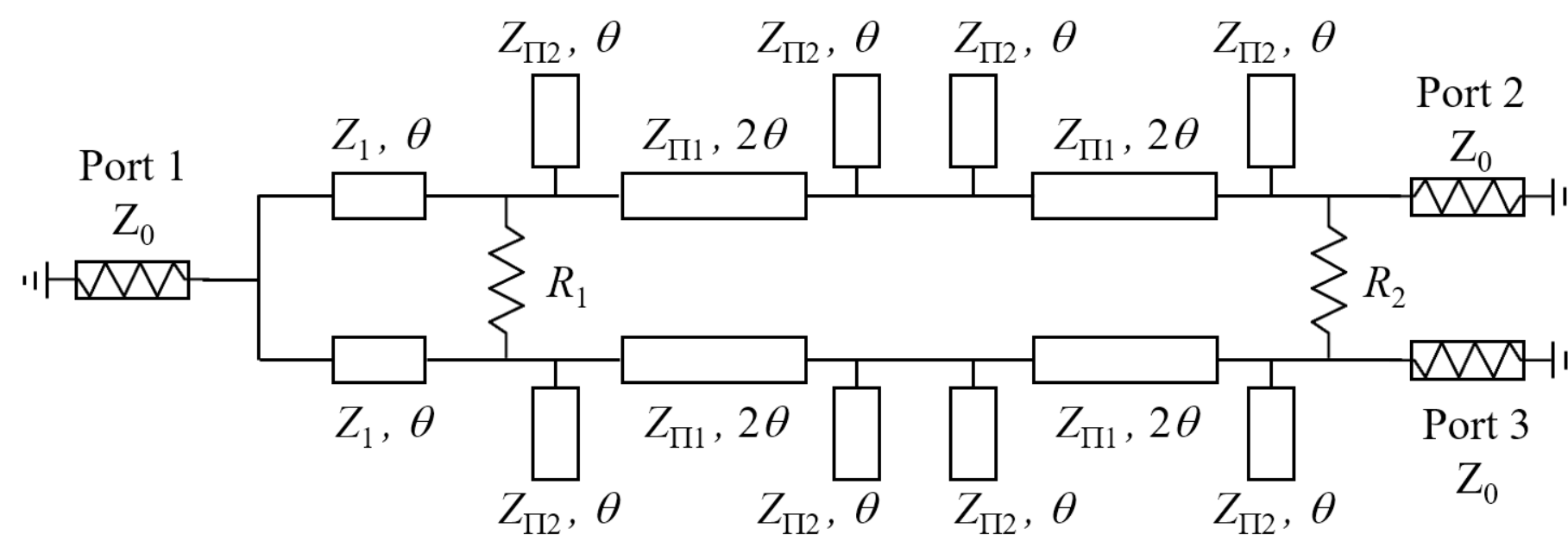
周波数特性

デュアルバンドウィルキンソン型電力分配器

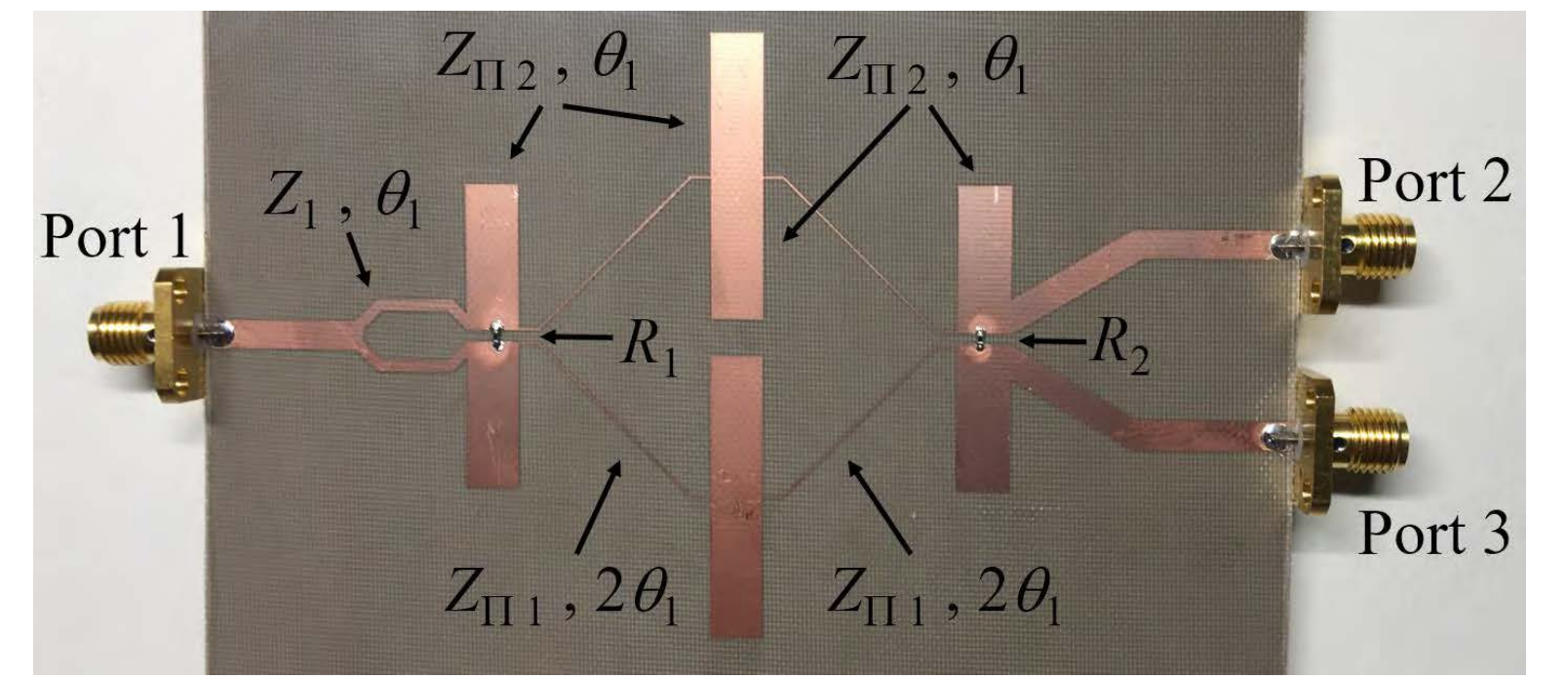
- 非常に広い周波数比 ($f_2/f_1 = 1 \sim 20$) のデュアルバンド設計が可能
- 均一伝送線路の代わりにスタブ付き線路を用いて非常に広い阻止域を実現



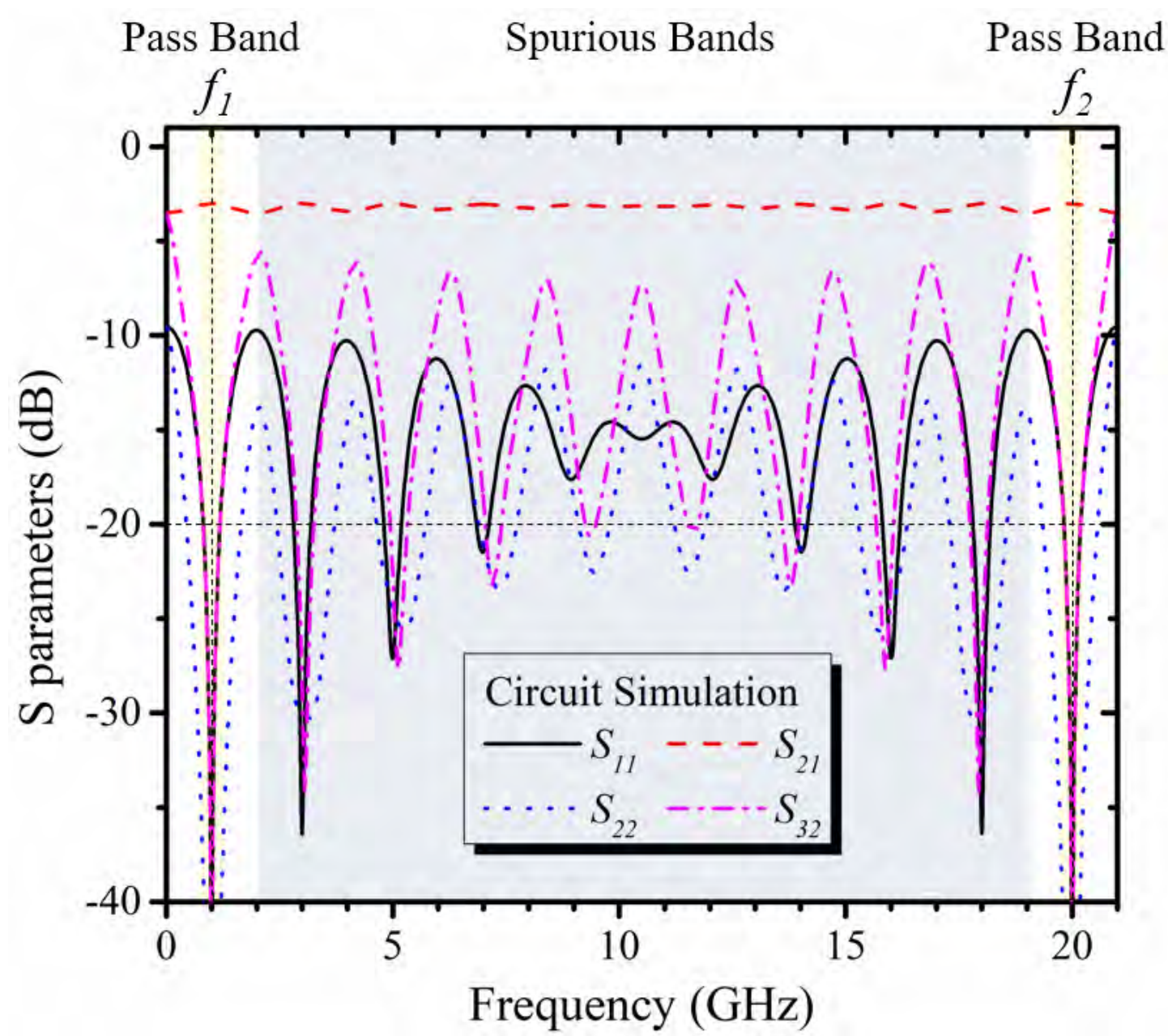
提案デュアルバンド電力分配器



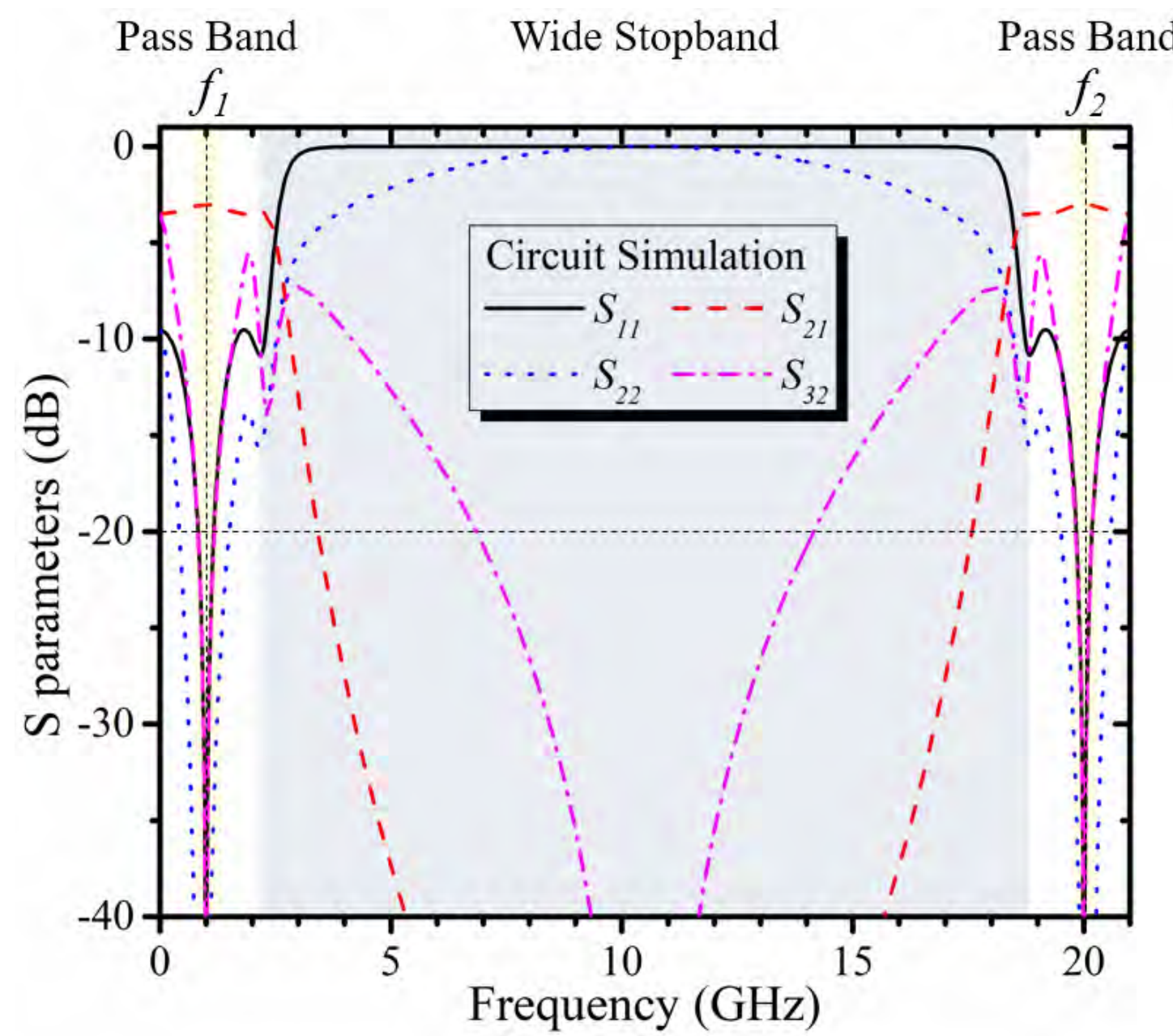
スタブ付き伝送線路を用いた提案電力分配器



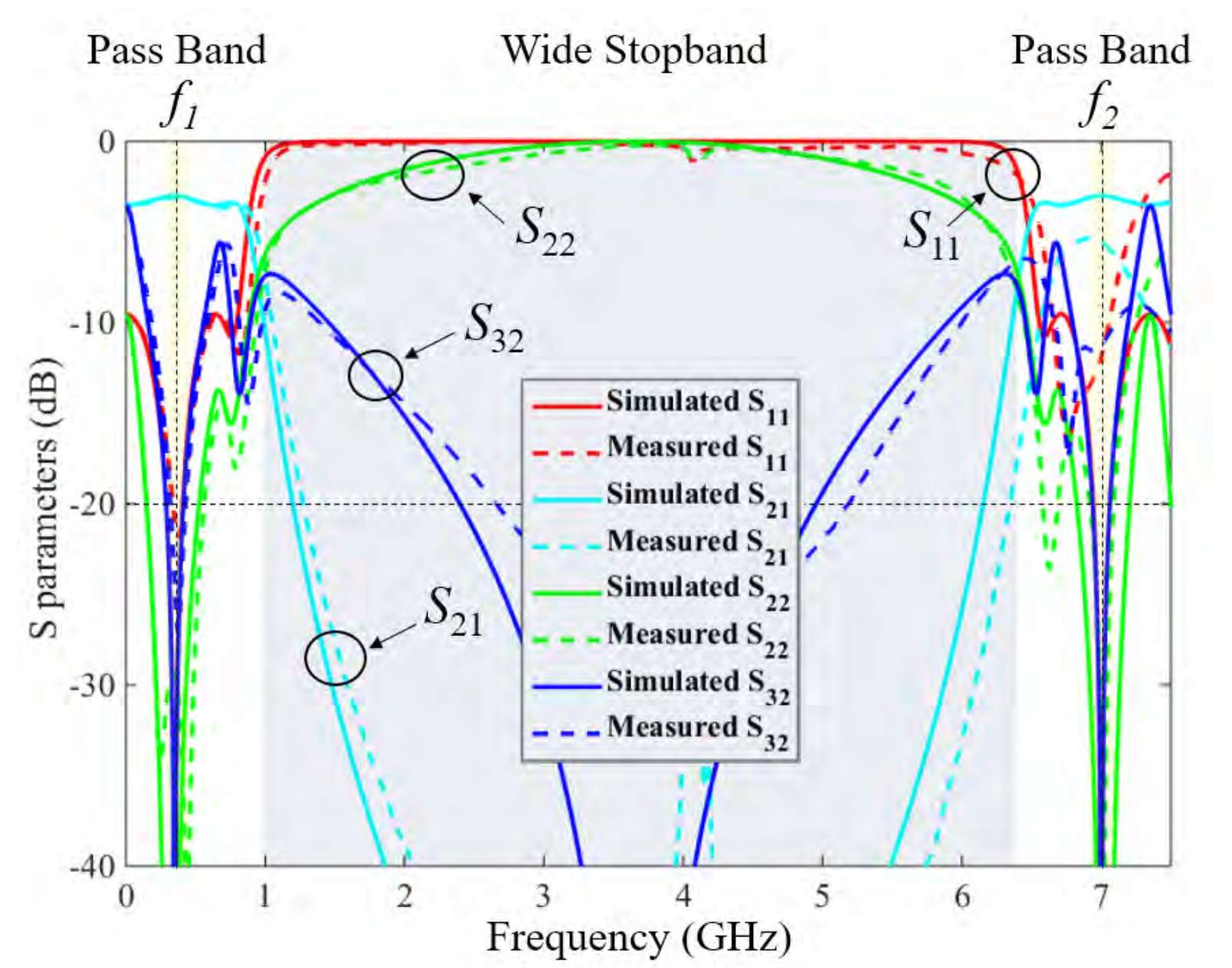
試作回路



回路シミュレーション結果



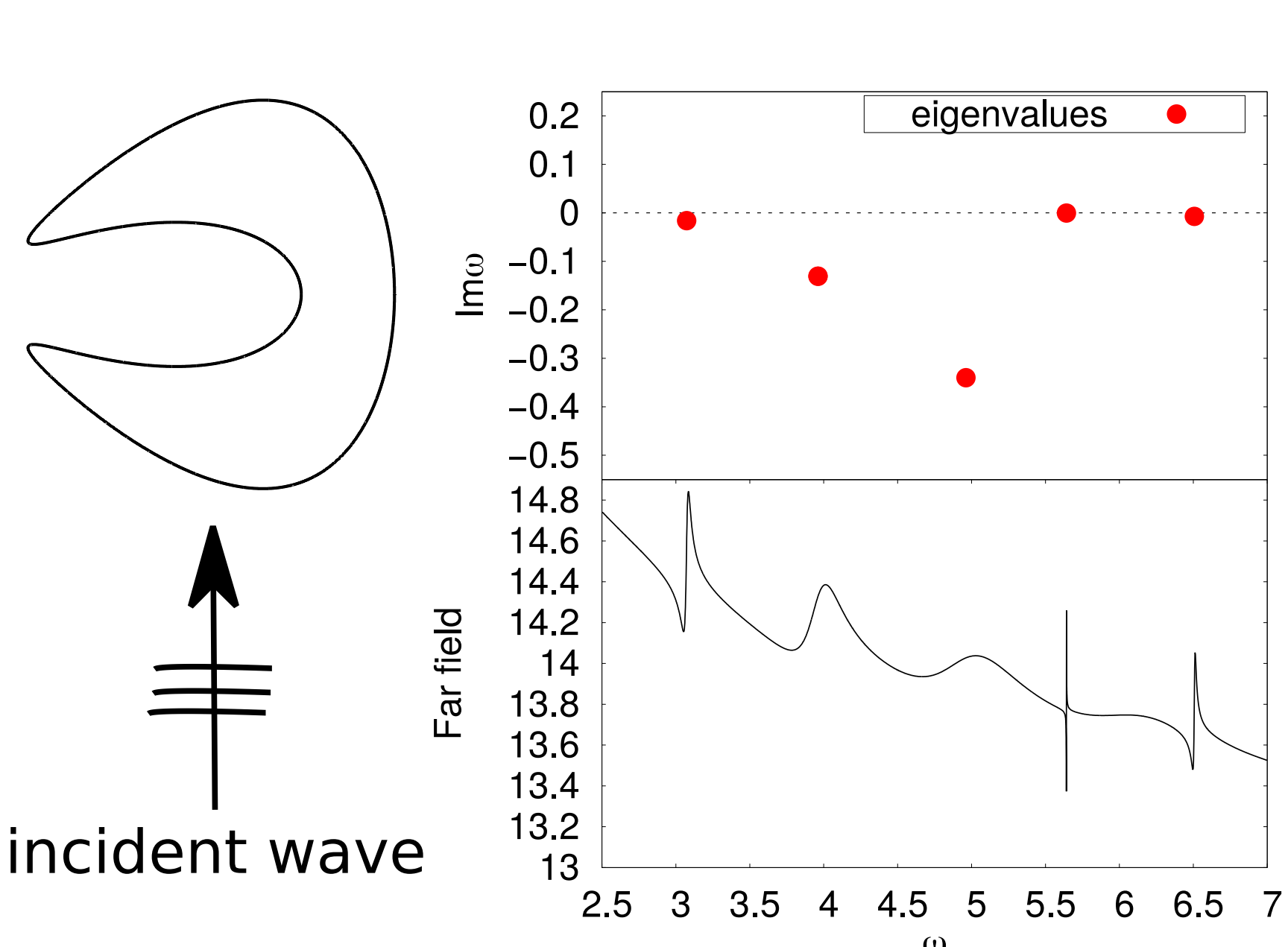
回路シミュレーション結果



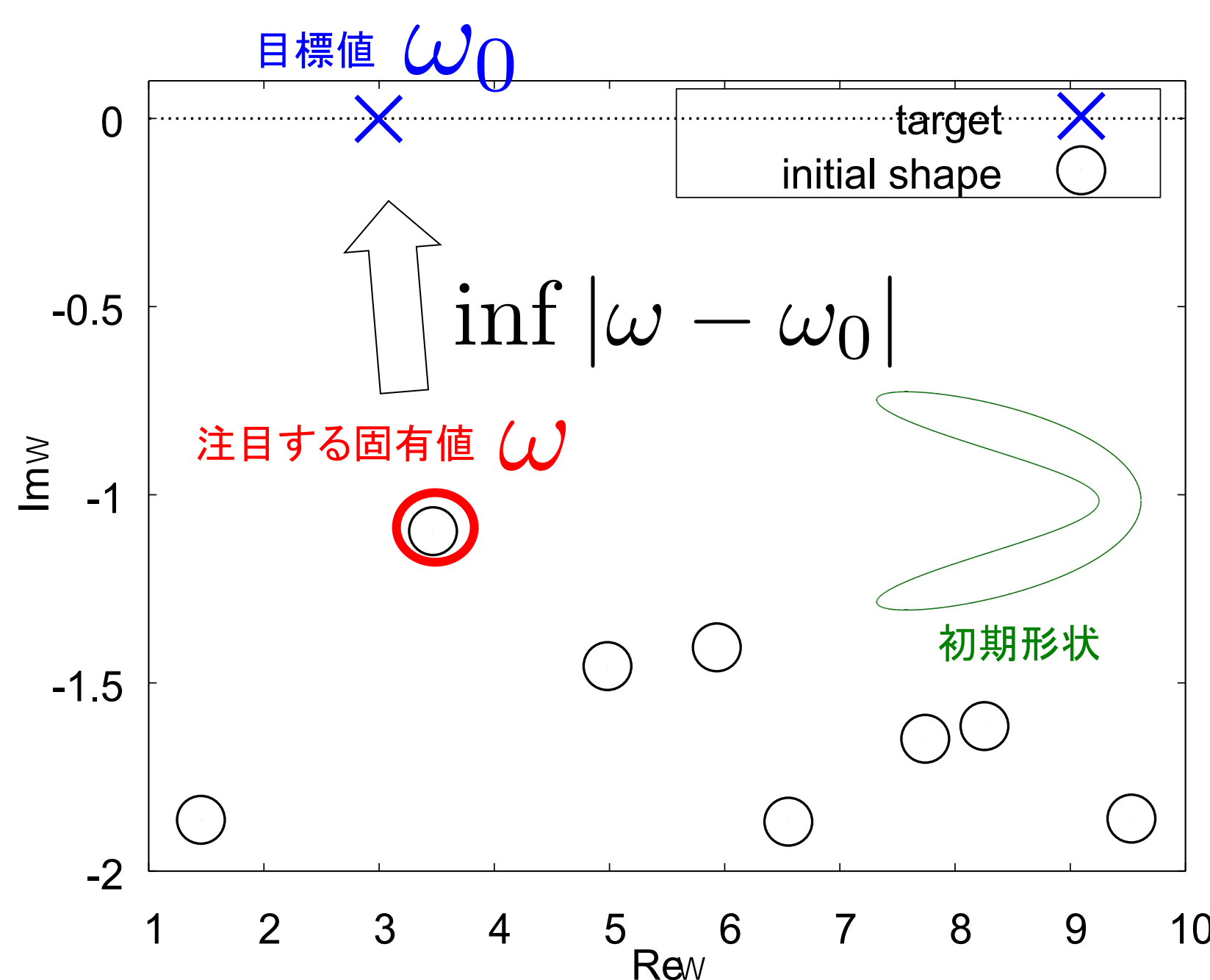
電磁界解析結果と測定結果

散乱問題の複素固有値を対象とした形状最適化

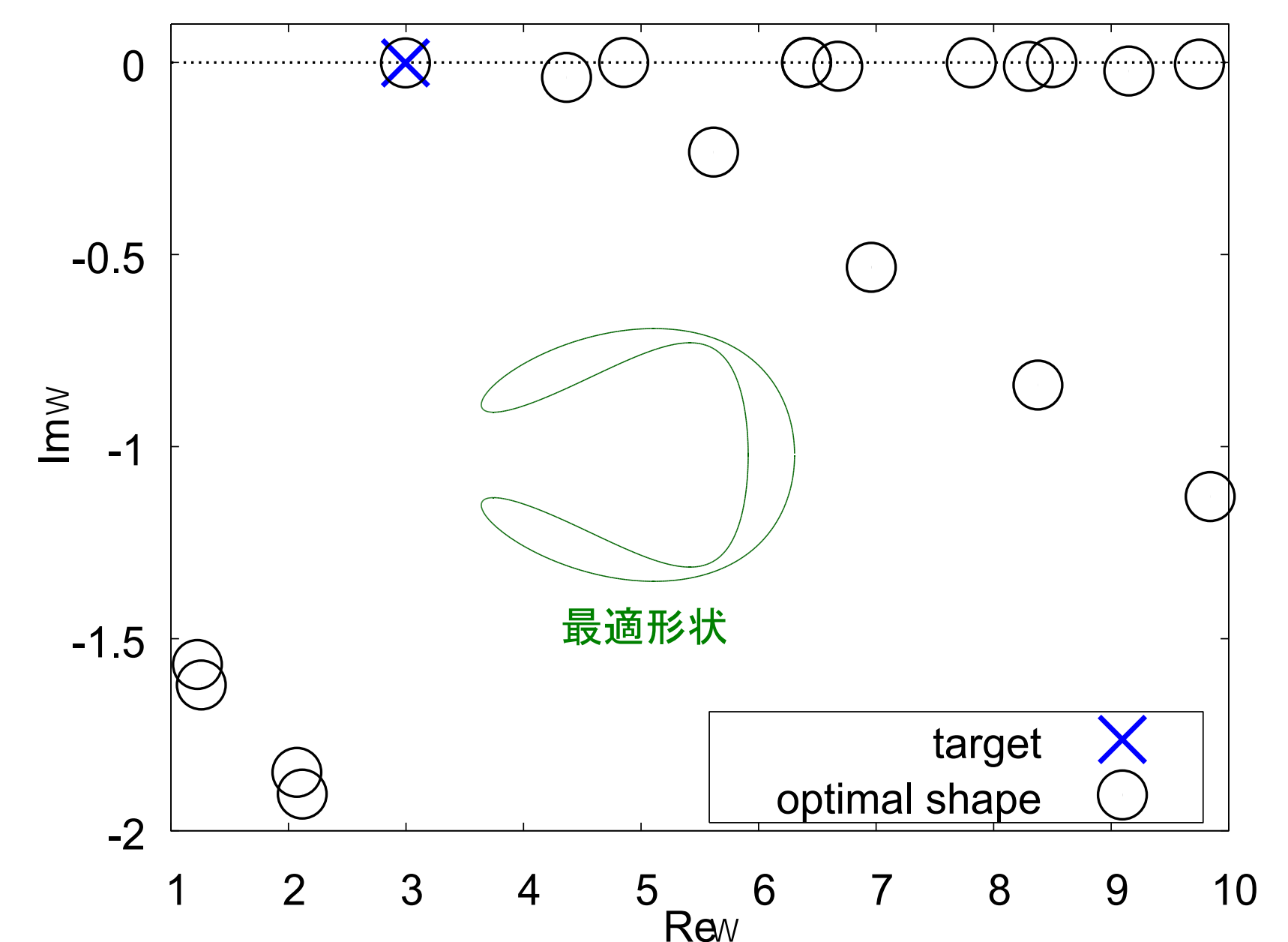
- 散乱問題の複素固有値(固有周波数)：開領域の散乱波の振る舞いの特徴を捉える
- ⇒ 所望の値の複素固有値を持つような散乱体の形状設計
- 散乱問題の複素固有値計算に適する境界積分方程式法を用いたパラメトリック形状最適化



複素固有値分布と散乱特性の関係例



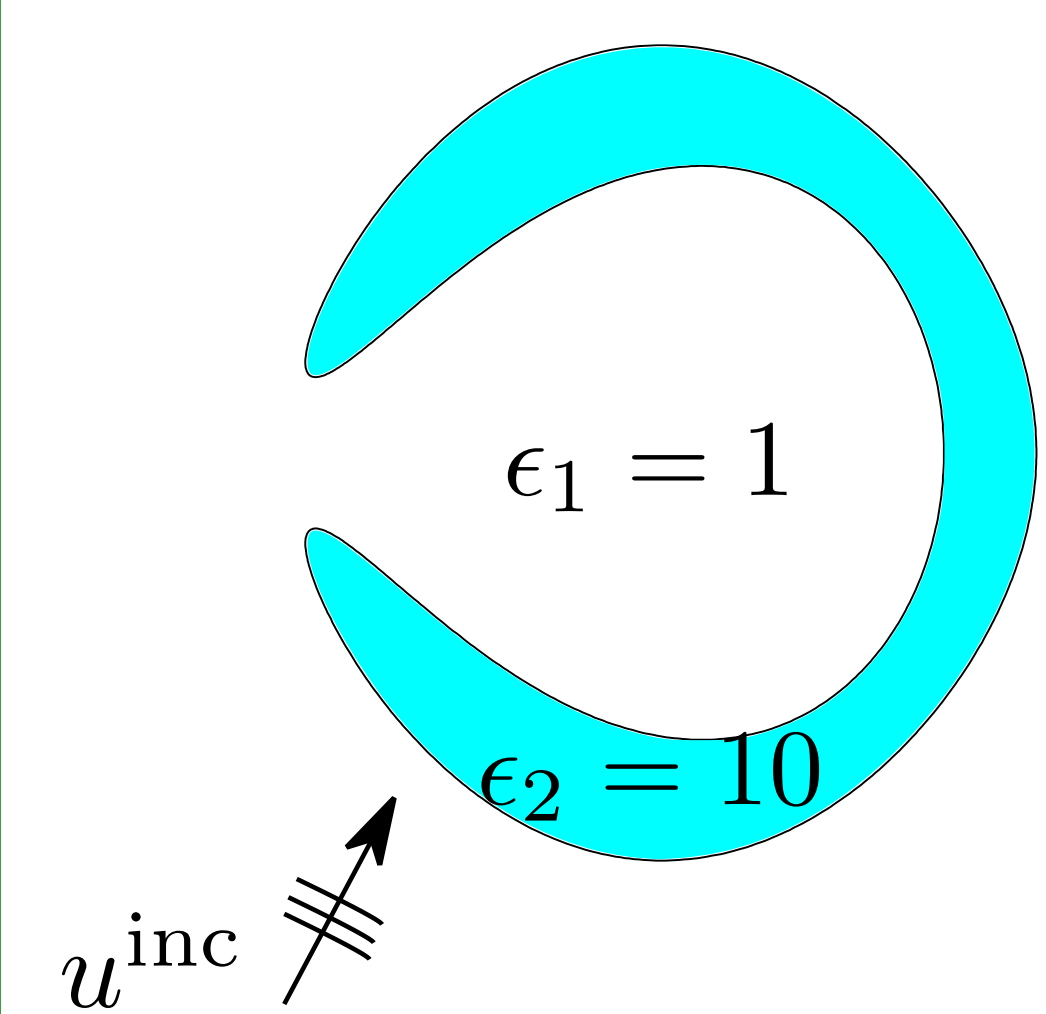
問題設定：初期形状の固有値分布



得られた最適形状と固有値分布

見かけの複素固有値を考慮した境界積分方程式の定式化

- 電磁界解析における境界積分方程式⇒実軸に近い偽固有値(見かけの固有値)による精度悪化
- 2次元凹型誘電体の見かけの複素固有値を実軸から分離し精度の良い境界積分方程式の検討

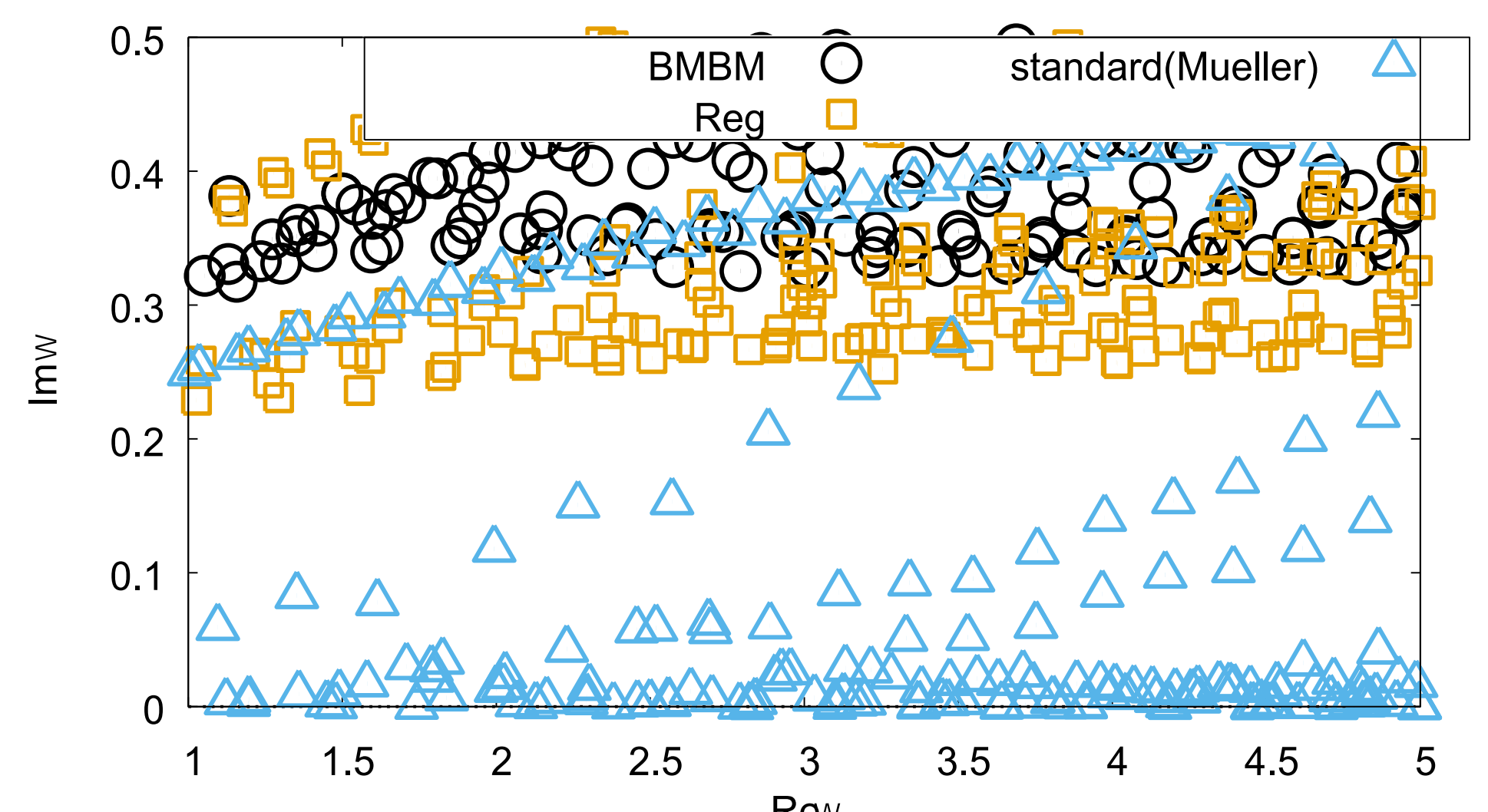


2次元凹型誘電体散乱体

標準的なMueller型[左図standard(Mueller)]
 内・外の領域積分表現・その法線微分の積分核の特異性を打ち消すように足し合わせた形
 ⇒実軸に近い見かけの固有値が多数出現

内・外部ともにBurton-Miller(CFIE)型の定式化[左図BMBM]
 内・外の積分表現 + 係数 × 法線微分を並べた形
 BMBM型の法線微分項を正則化したもの[左図Reg]
 積分表現 + 係数 × 湯川型一重層ポテンシャル × 法線微分
 ⇒誘電体散乱体の見かけの複素固有値の実軸からの分離効果

境界積分方程式

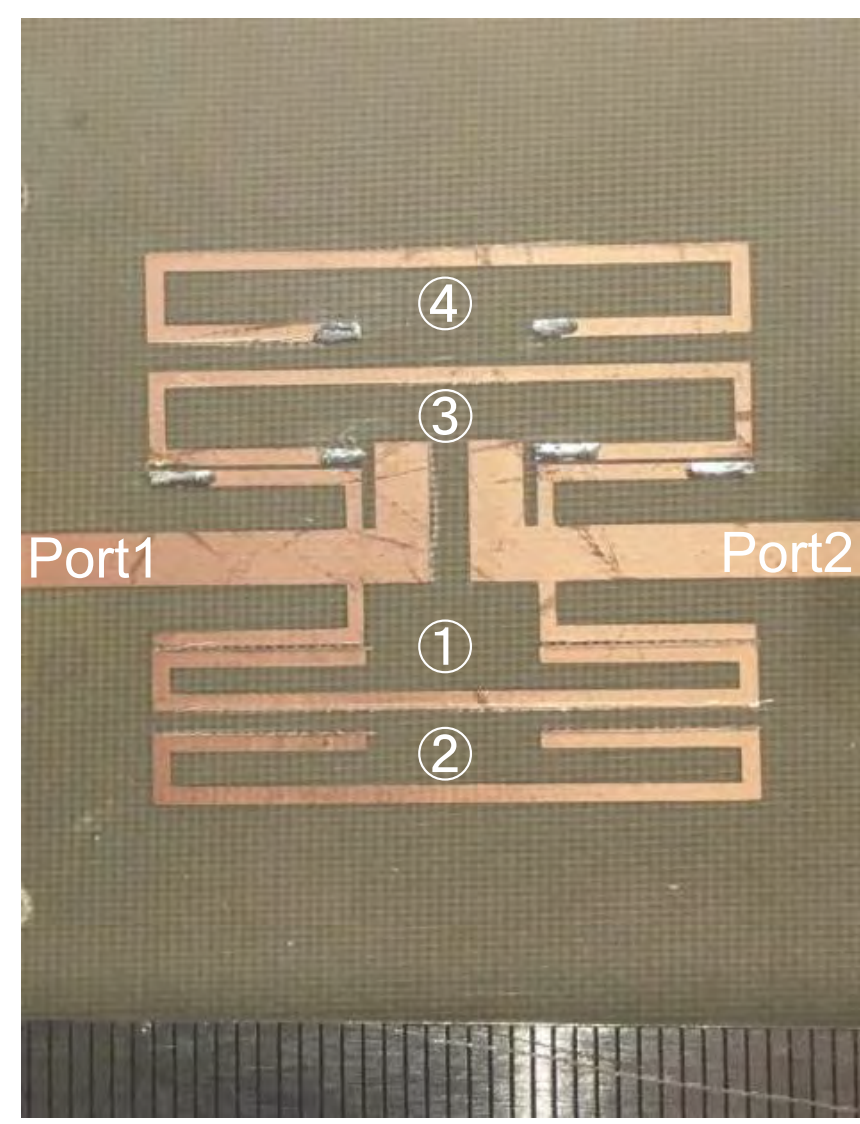


見かけの複素固有値分布

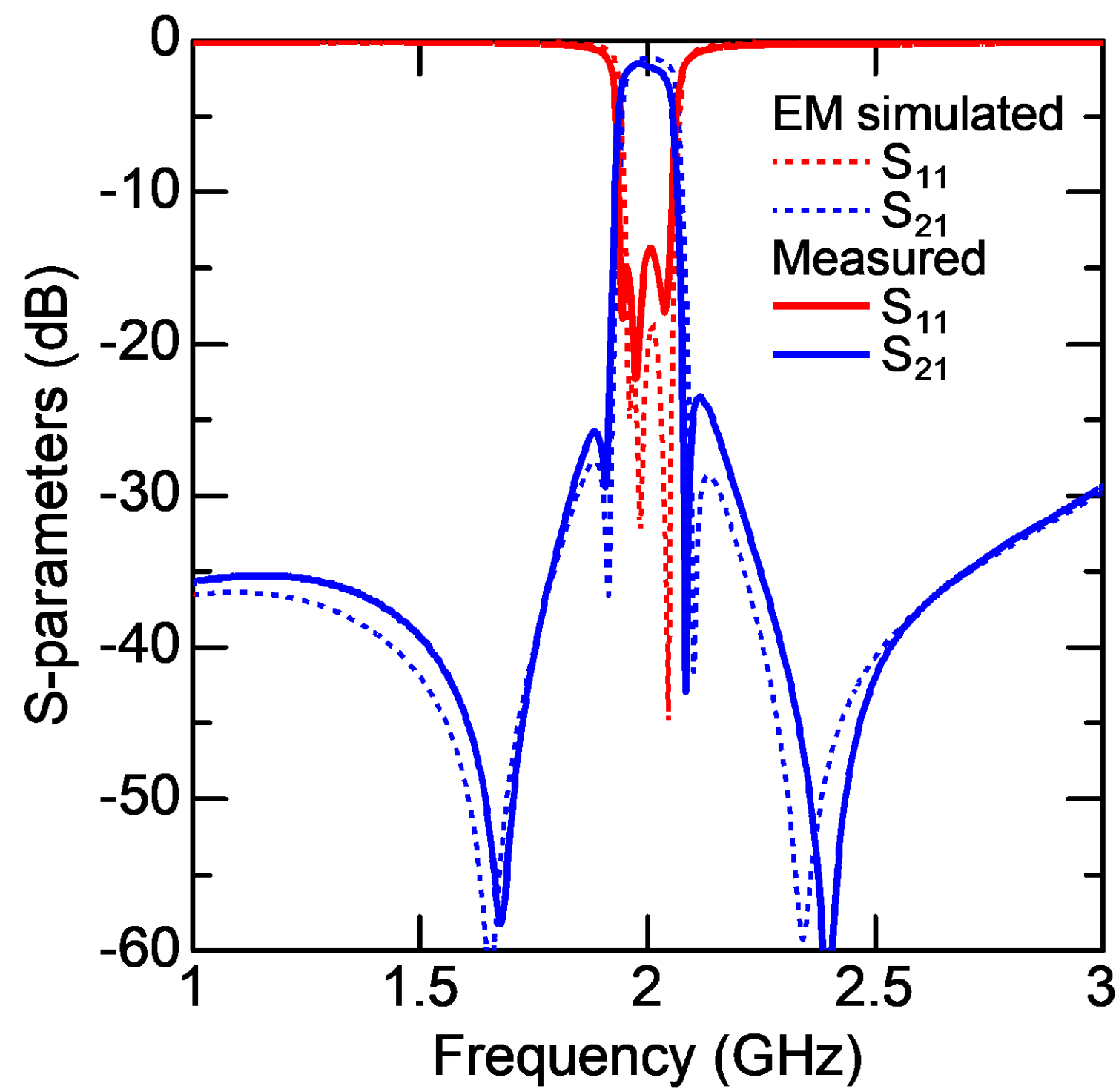


バンドパスフィルタ

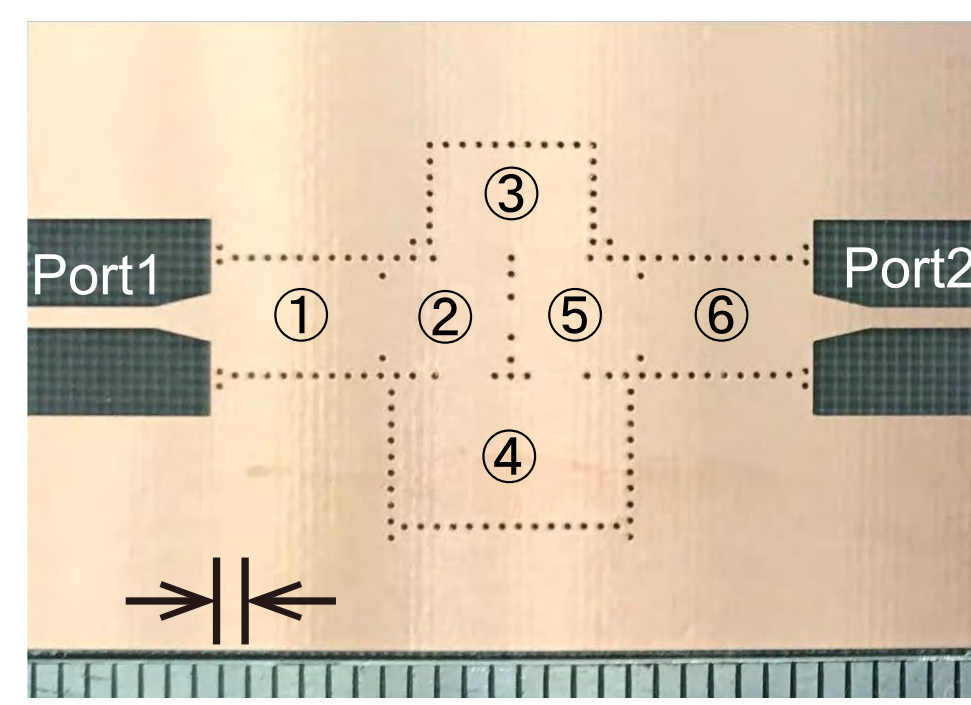
- 一般化チェビシェフ特性が実現できる**新しい結合トポロジーによる有極フィルタ**
- 複数の伝送零点によって**急峻なスカート特性を実現**
- マイクロ波帯・ミリ波帯、平面構造・立体構造でも設計可能な**結合行列による高い設計技術**



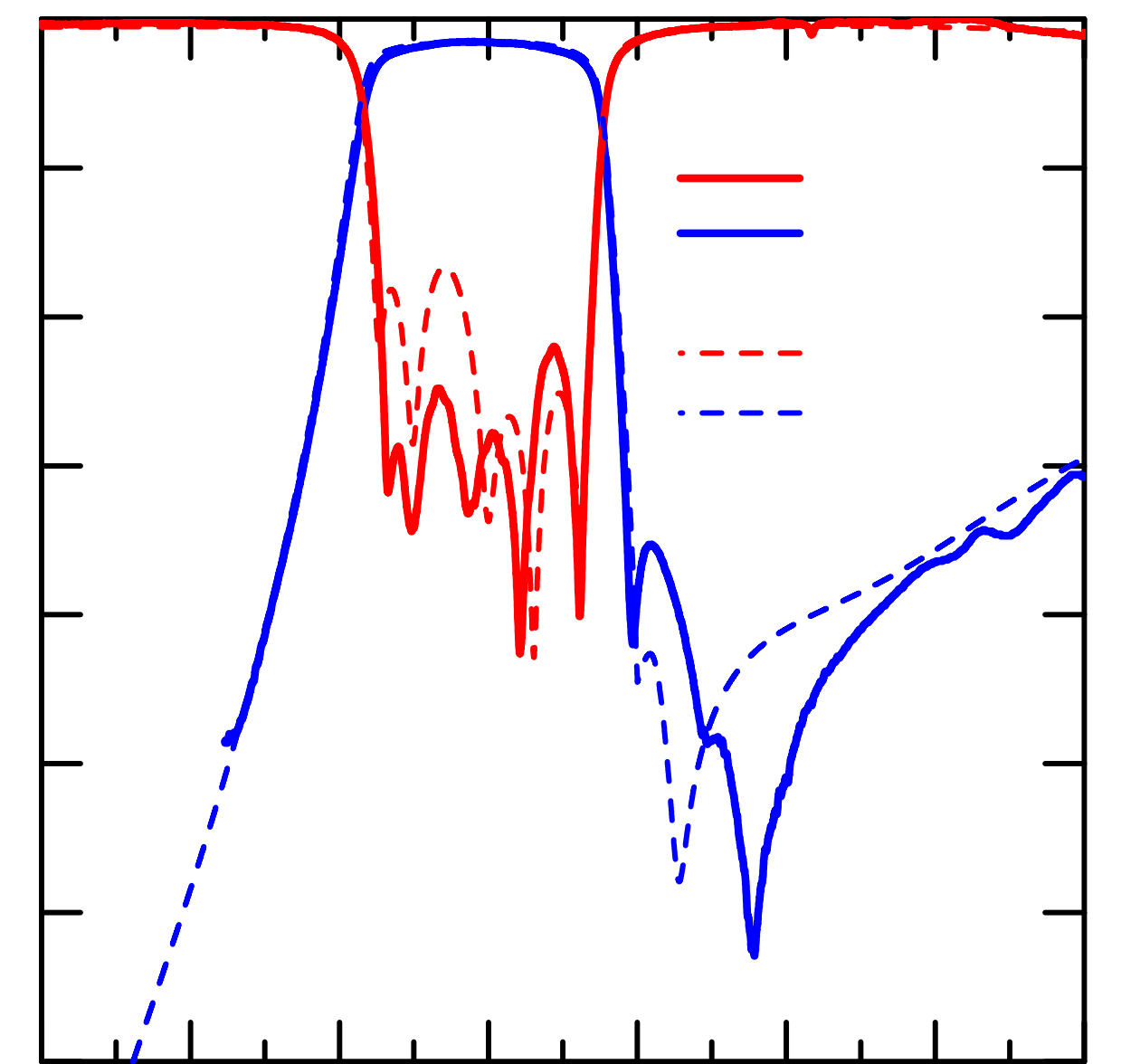
Substrate with $\epsilon_r=2.6$ and thickness $t=1.0$ mm



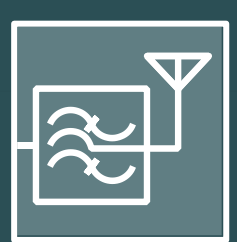
4 段Cul-de-Sac結合マイクロストリップBPF
($f_0=2$ GHz, $\Delta f=100$ MHz)



Substrate with $\epsilon_r=2.2$ and thickness $t=0.254$ mm

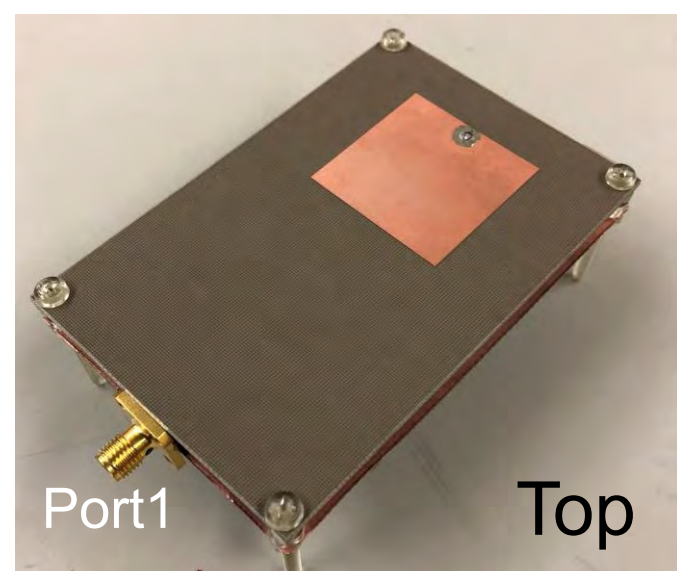


28 GHz帯6段box結合SIW BPF
($f_0=28$ GHz, $\Delta f=3000$ MHz)

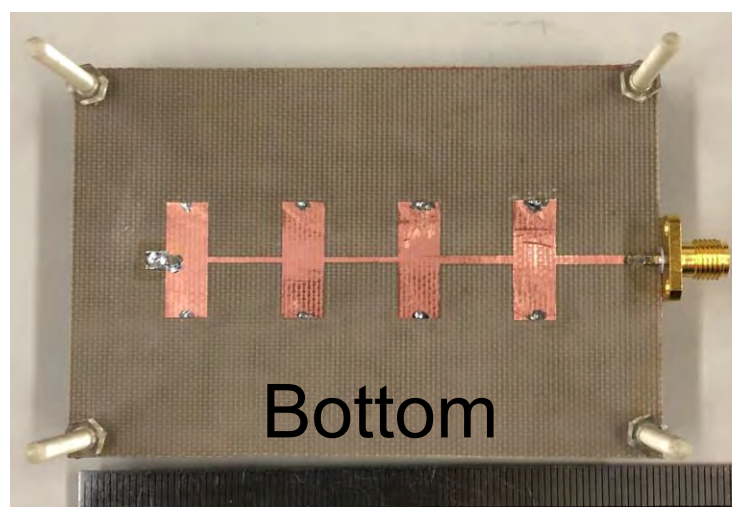


フィルタリングアンテナ (フィルテナ)

- フィルタの回路合成理論に基づく**フィルタ・アンテナ一体設計**
- アンテナの放射機能とバンドパスフィルタの周波数選択機能を同時に実現

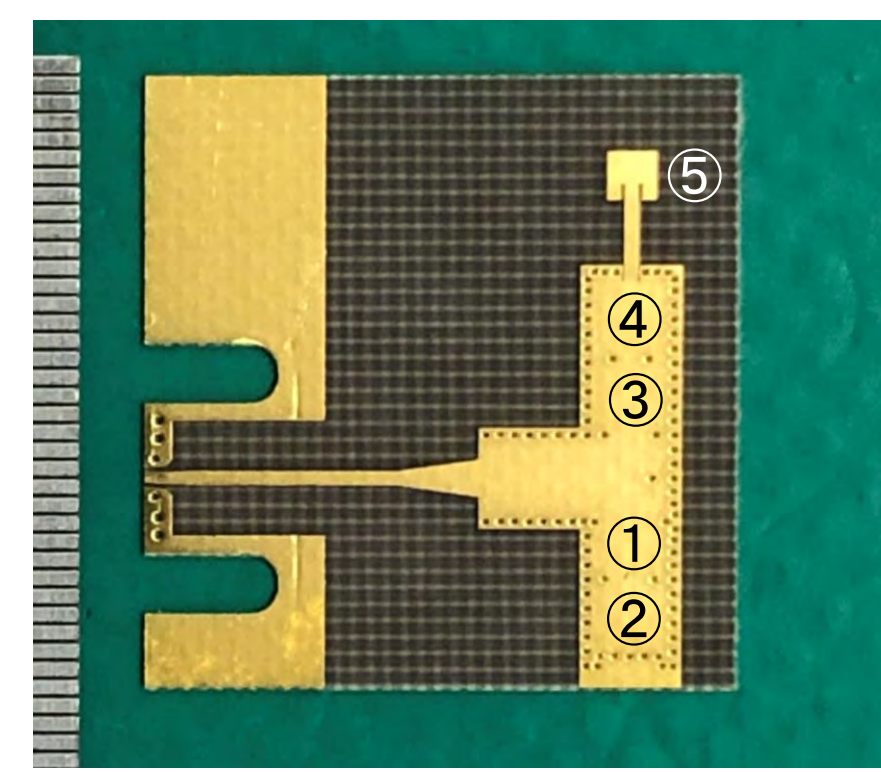
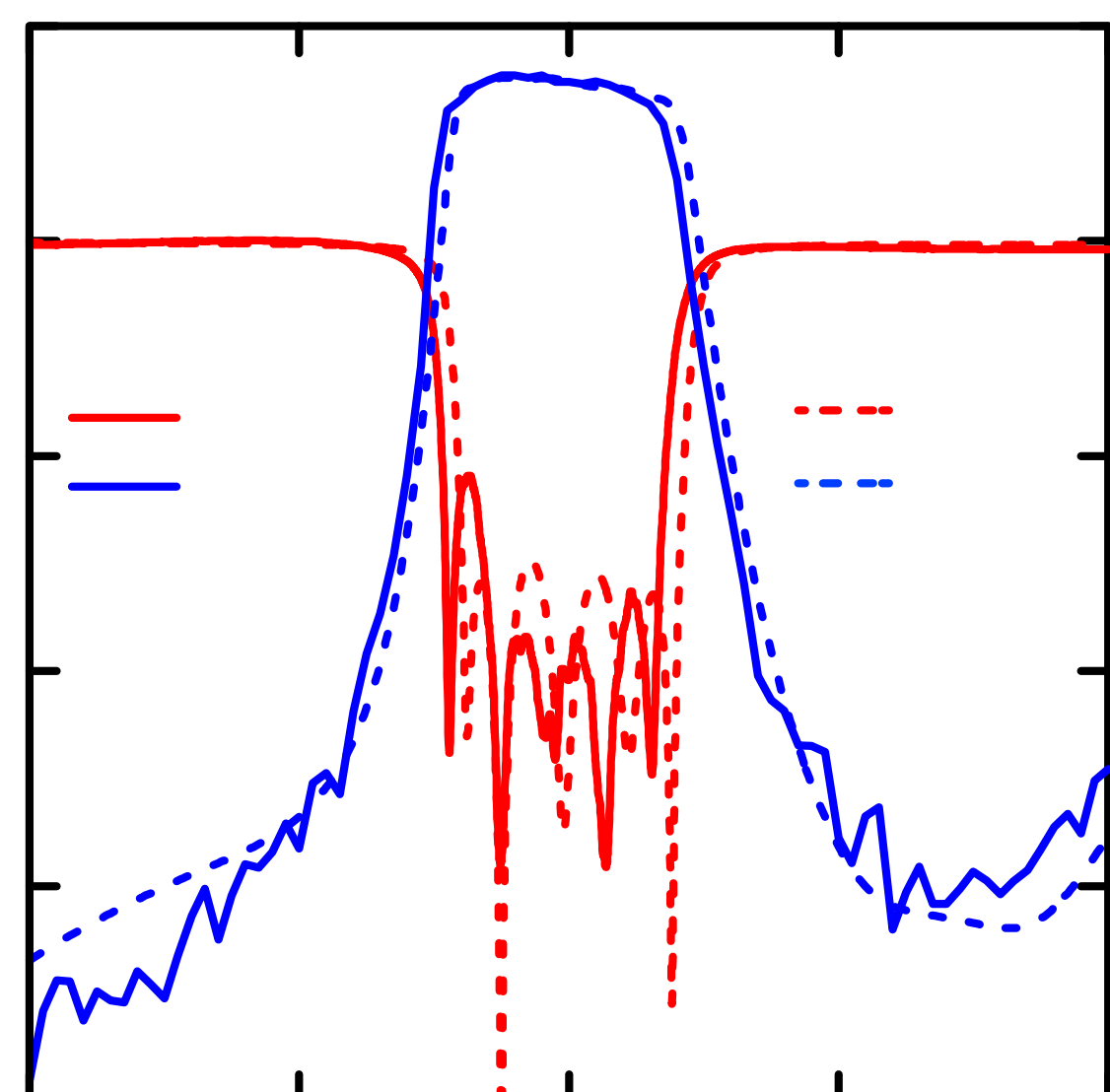


Substrate with $\epsilon_r=2.6$ and thickness $t=1.0$ mm

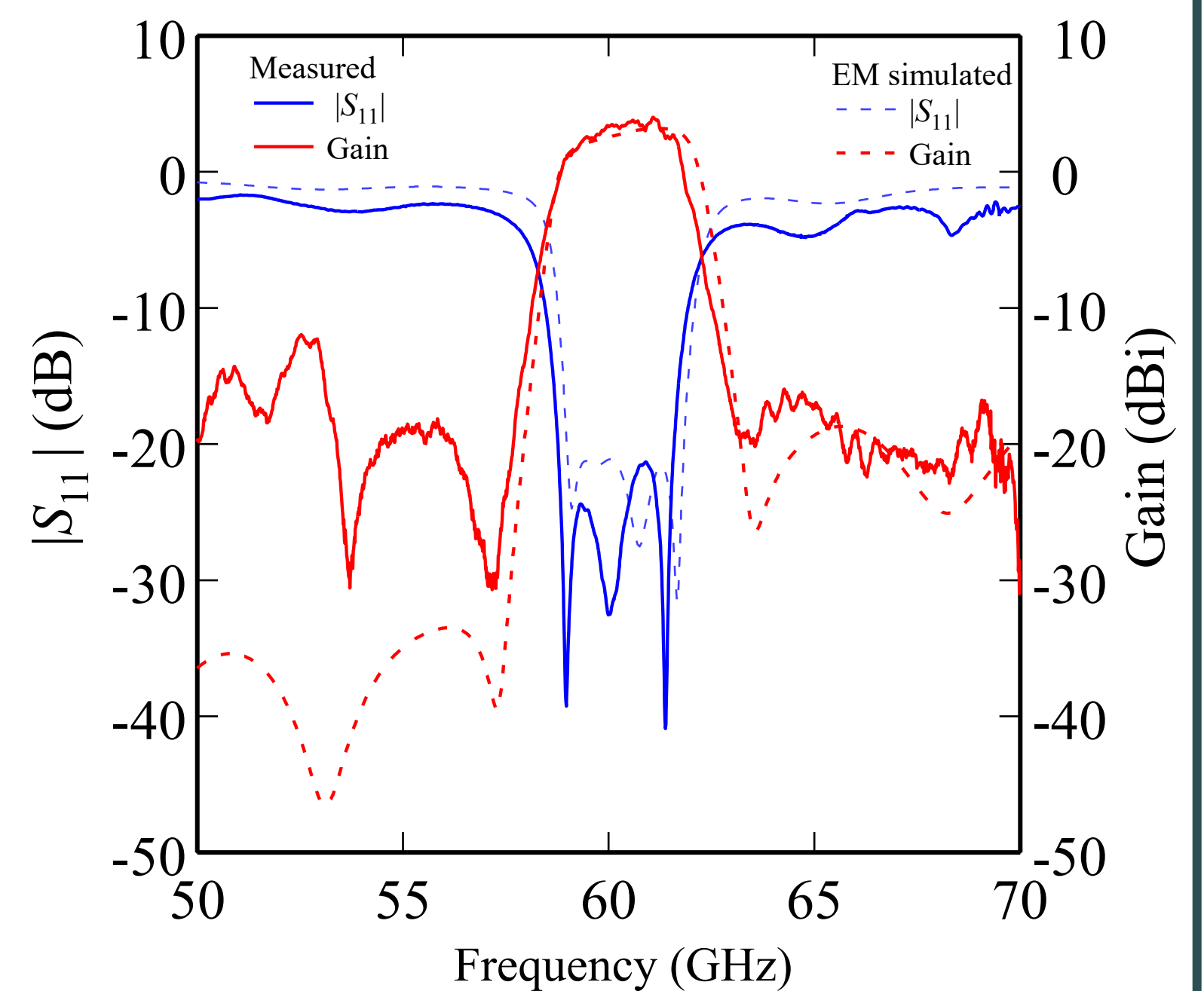


Substrate with $\epsilon_r=2.9$ and thickness $t=0.5$ mm

5 段広帯域マイクロストリップフィルテナ
($f_0=4.0$ GHz, $FBW=20\%$)

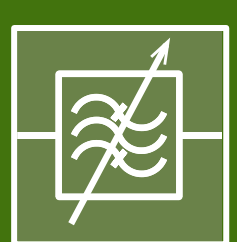


Substrate with $\epsilon_r=2.2$ and thickness $t=0.127$ mm



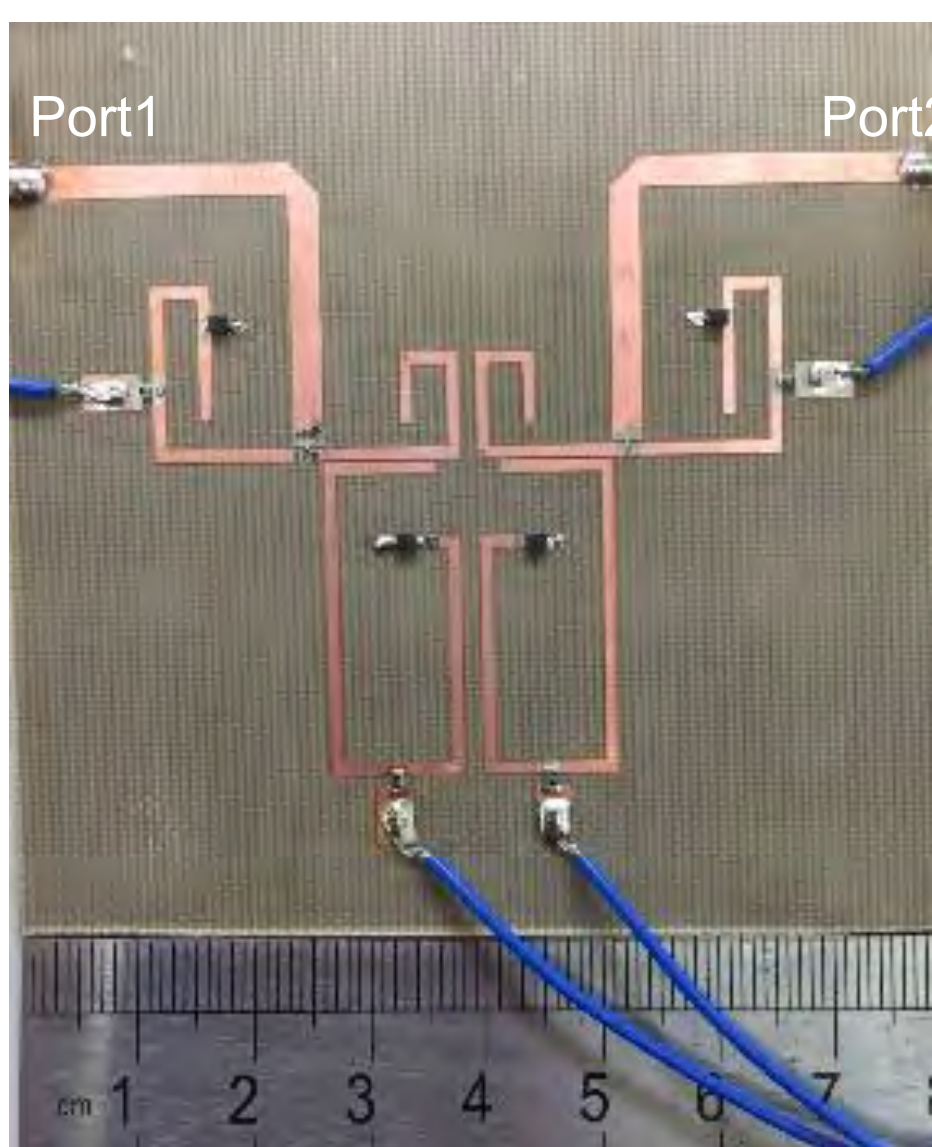
60 GHz帯5段インライン型有極SIWフィルテナ*
($f_0=60.5$ GHz, $FBW=5\%$)

*本研究開発は、総務省の「電波資源拡大のための研究開発(JPJ000254)」によって実施した成果を含む



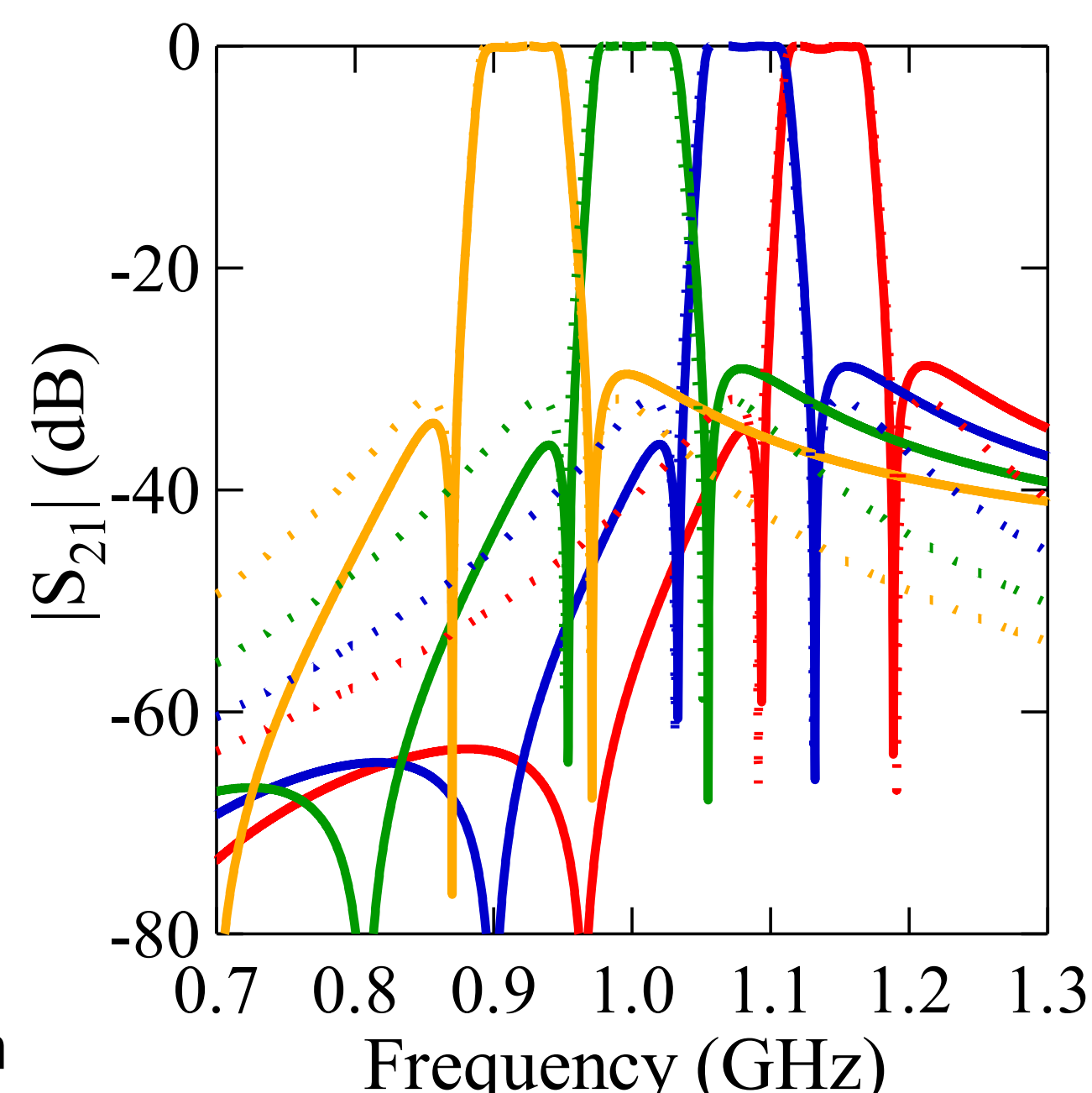
チューナブルバンドパスフィルタ

- 一つのバイアス電圧のみで**絶対帯域幅一定のまま、中心周波数を可変**
- 通過域両側の伝送零点の生成による**急峻なスカート特性を実現**

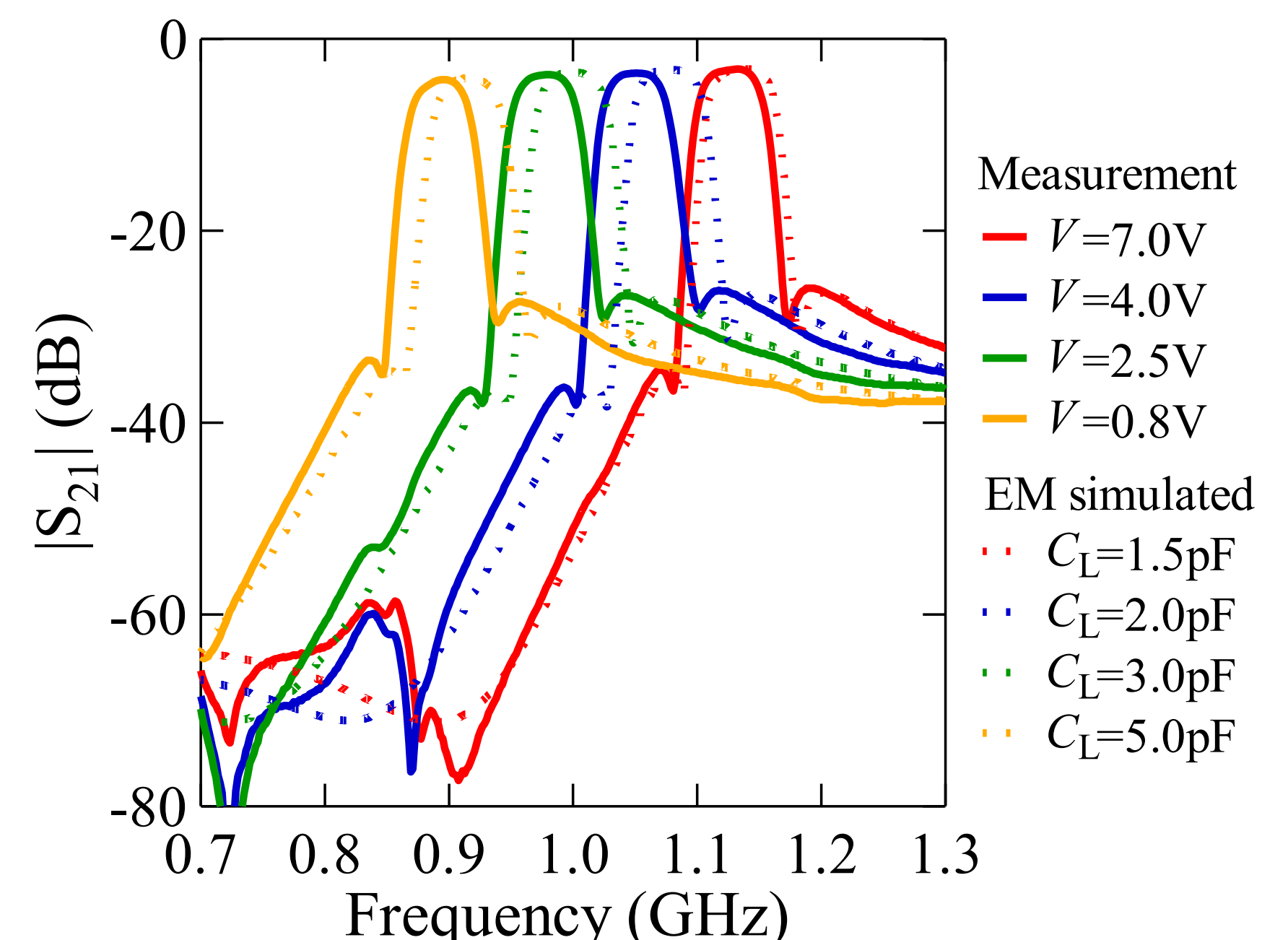


Substrate with $\epsilon_r=2.81$, thickness $t=1.0$ mm

**バラクタダイオードを用いた
4 段チューナブルBPF**



**電磁界シミュレーション結果
(理想特性との比較)**

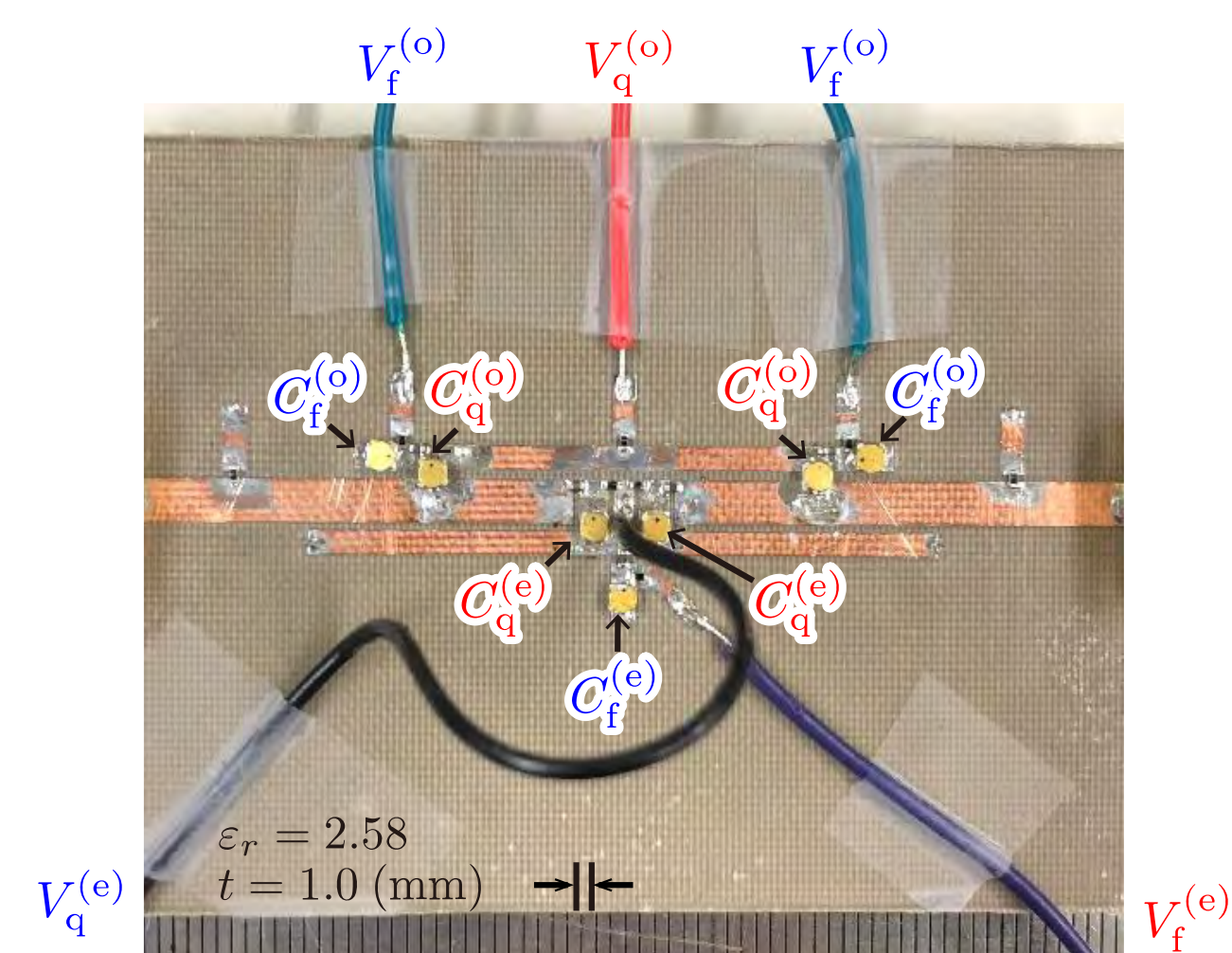


測定結果 (電磁界シミュレーション結果との比較)

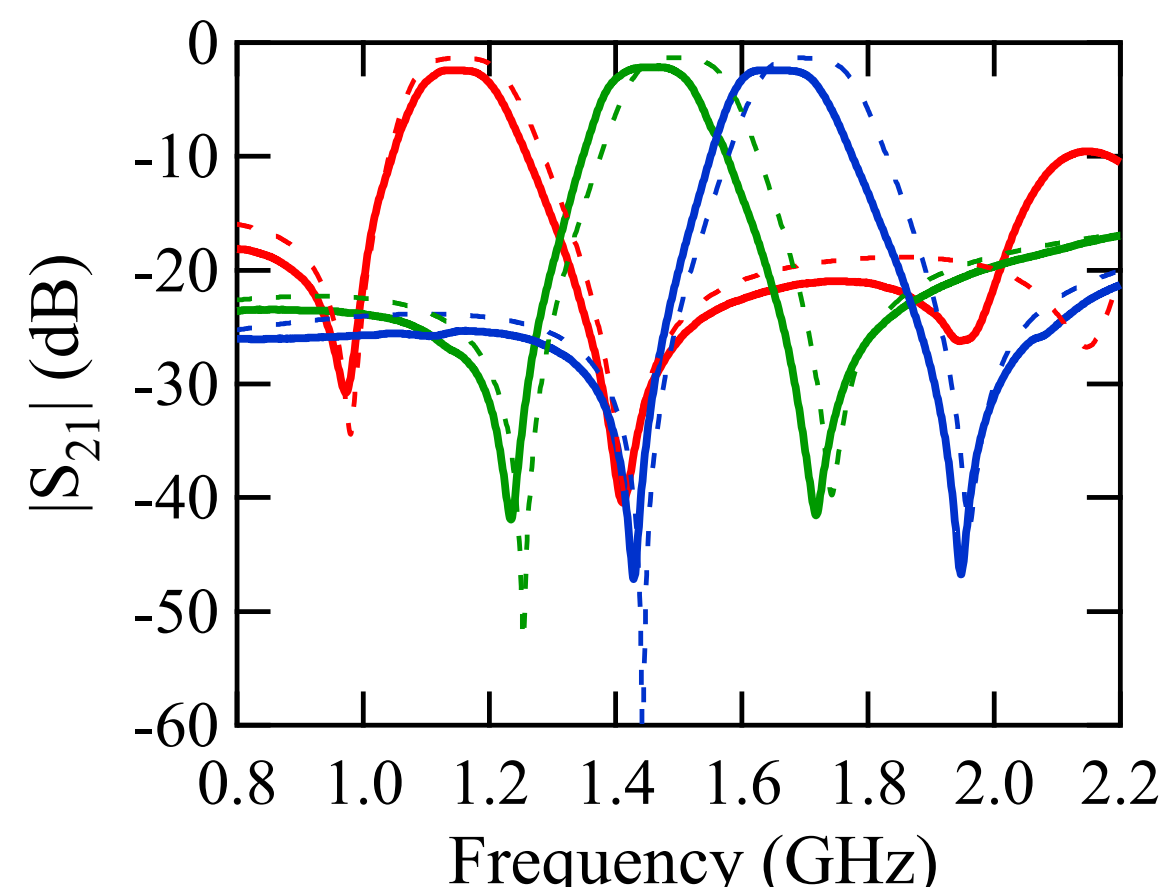


リコンフィギャラブルフィルタ

- 電圧で4つの容量値の組合せを変えて、**中心周波数・帯域幅・伝送零点周波数**を全て可変

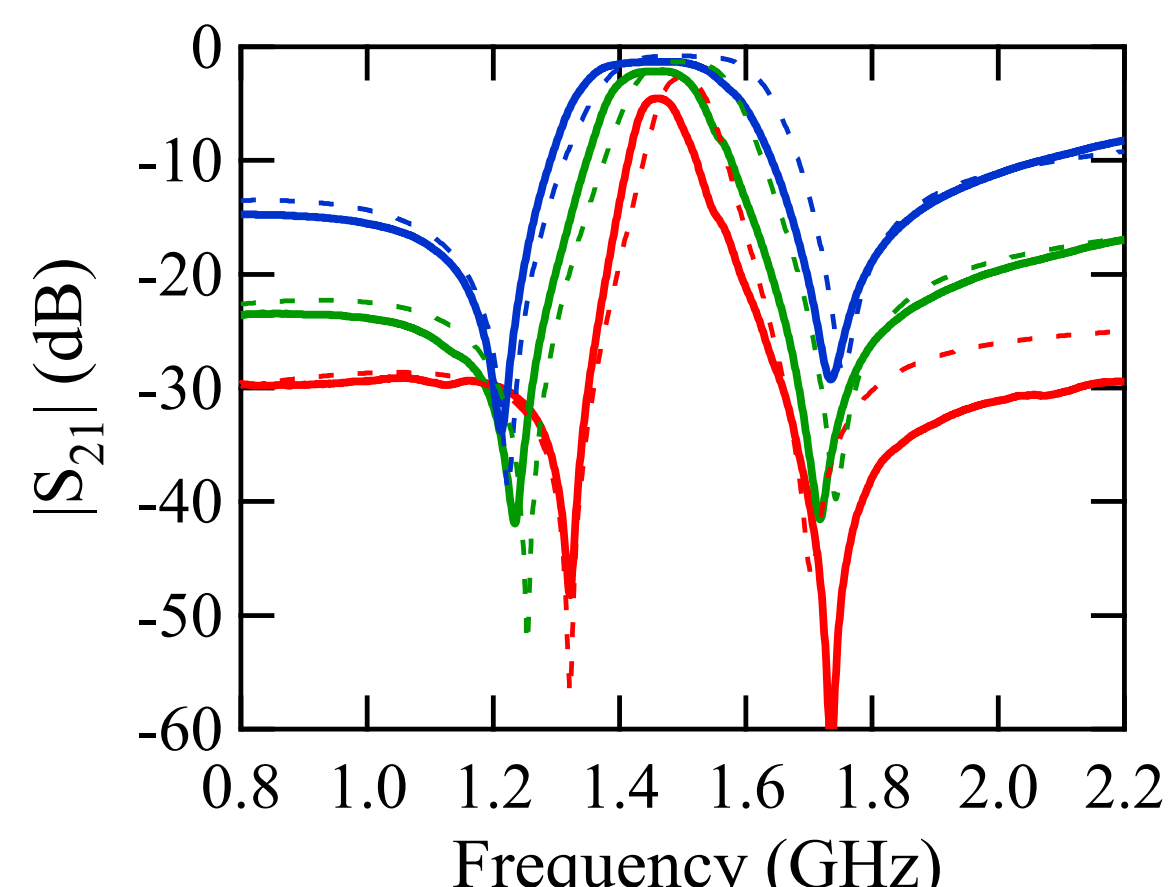


バラクタダイオードを用いた
2段リコンフィギャラブルフィルタ



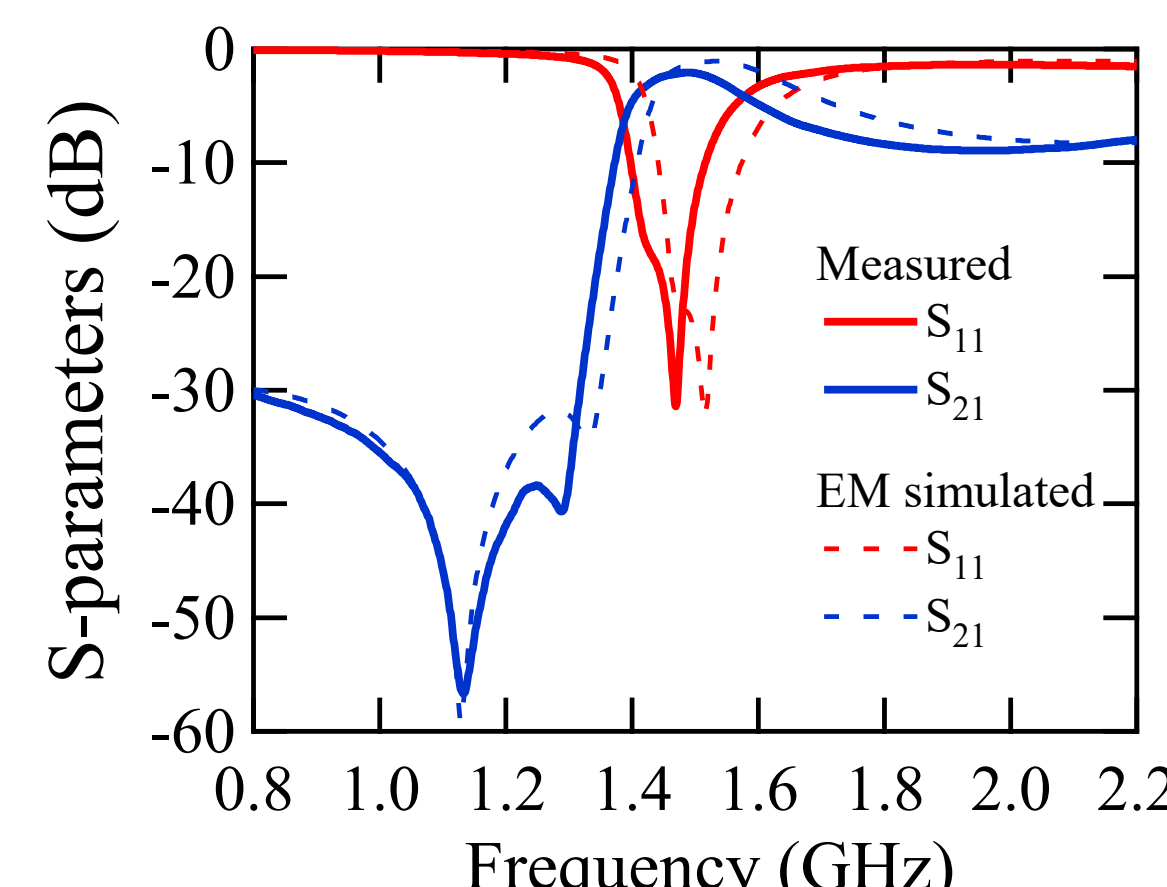
— Measured — EM-simulated

中心周波数可変

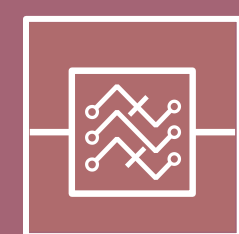


— Measured — EM-simulated

帯域幅可変



伝送零点周波数可変

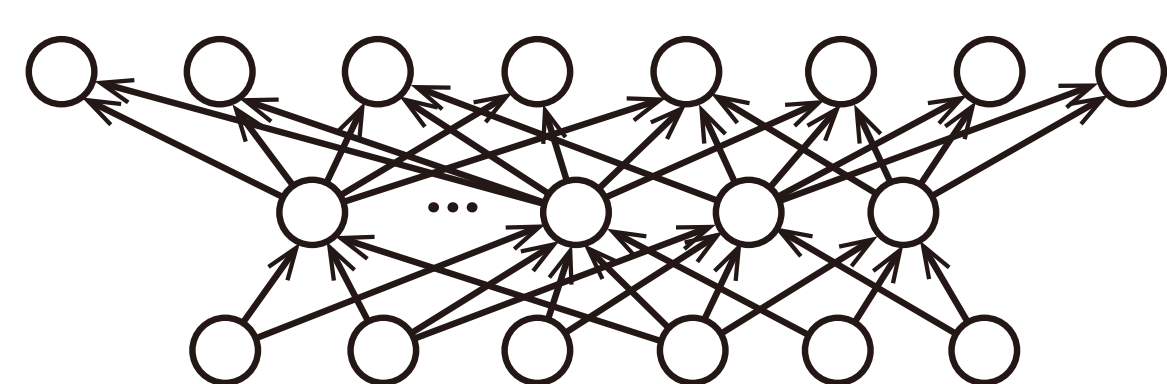


ニューラルネットワークによるフィルタ自動設計

- 構造パラメータとその結合行列の関係を**ニューラルネットワーク(NN)**で学習
- 理想特性の結合行列を**逆モデルのNN**に入力すれば**瞬時に構造パラメータの初期値**を出力
- 電磁界シミュレータの代わりに**順モデルのNN**を用いて**高速に構造パラメータを最適化**

① 順モデル

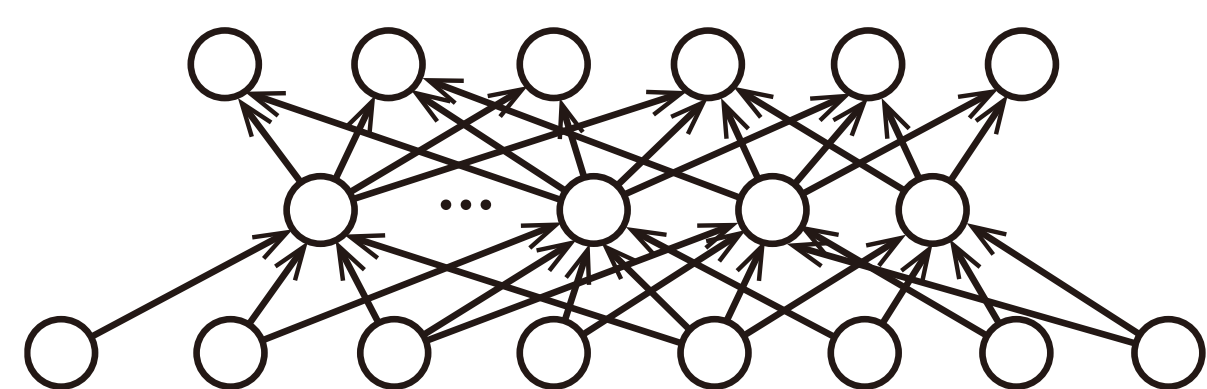
結合行列の要素 (出力)



BPFの構造パラメータ (入力)

② 逆モデル

BPFの構造パラメータ (出力)



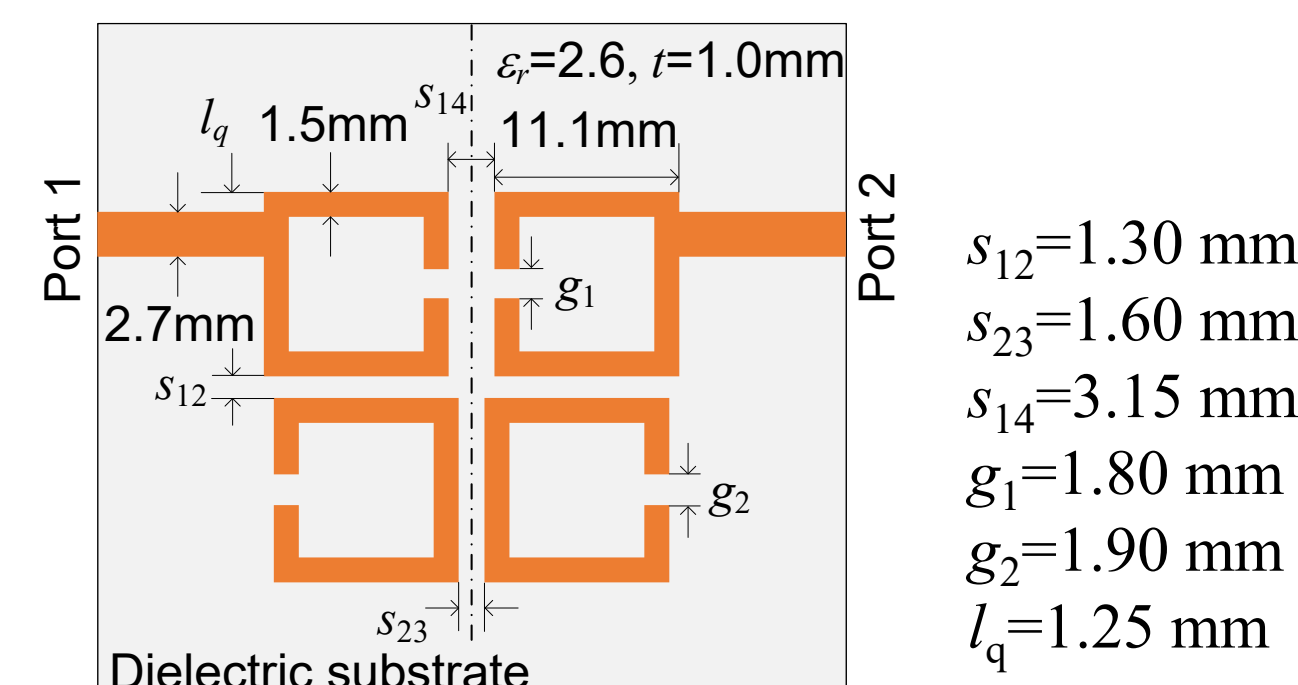
結合行列の要素 (入力)

逆モデルに入力された結合行列

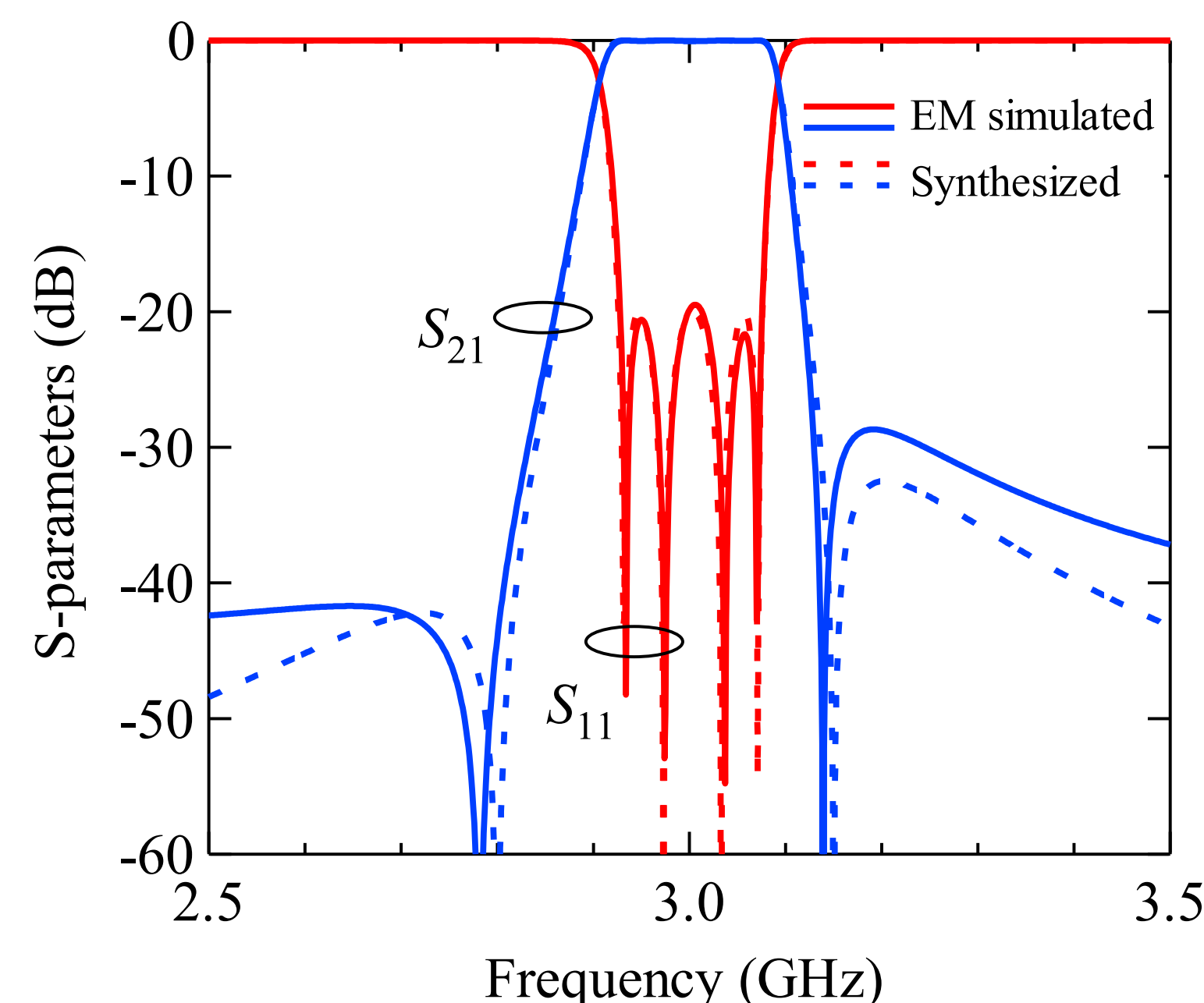
$$[M_i] = \begin{bmatrix} 0 & 0.401 & 0.605 & 0.628 & 0.363 & 0 \\ 0.401 & 1.316 & 0 & 0 & 0 & 0.401 \\ 0.605 & 0 & -0.735 & 0 & 0 & 0.605 \\ 0.628 & 0 & 0 & 0.609 & 0 & -0.628 \\ 0.363 & 0 & 0 & 0 & -1.278 & -0.363 \\ 0 & 0.401 & 0.605 & -0.628 & -0.363 & 0 \end{bmatrix}$$

構造パラメータの初期値を出力

順モデルを用いて構造パラメータを最適化



最適化された構造パラメータ



順モデルと逆モデルのニューラルネットワークを併用して設計したBPFの周波数特性と理想特性の比較



フィルタの結合行列合成・抽出ソフトウェア

① 結合行列の合成機能

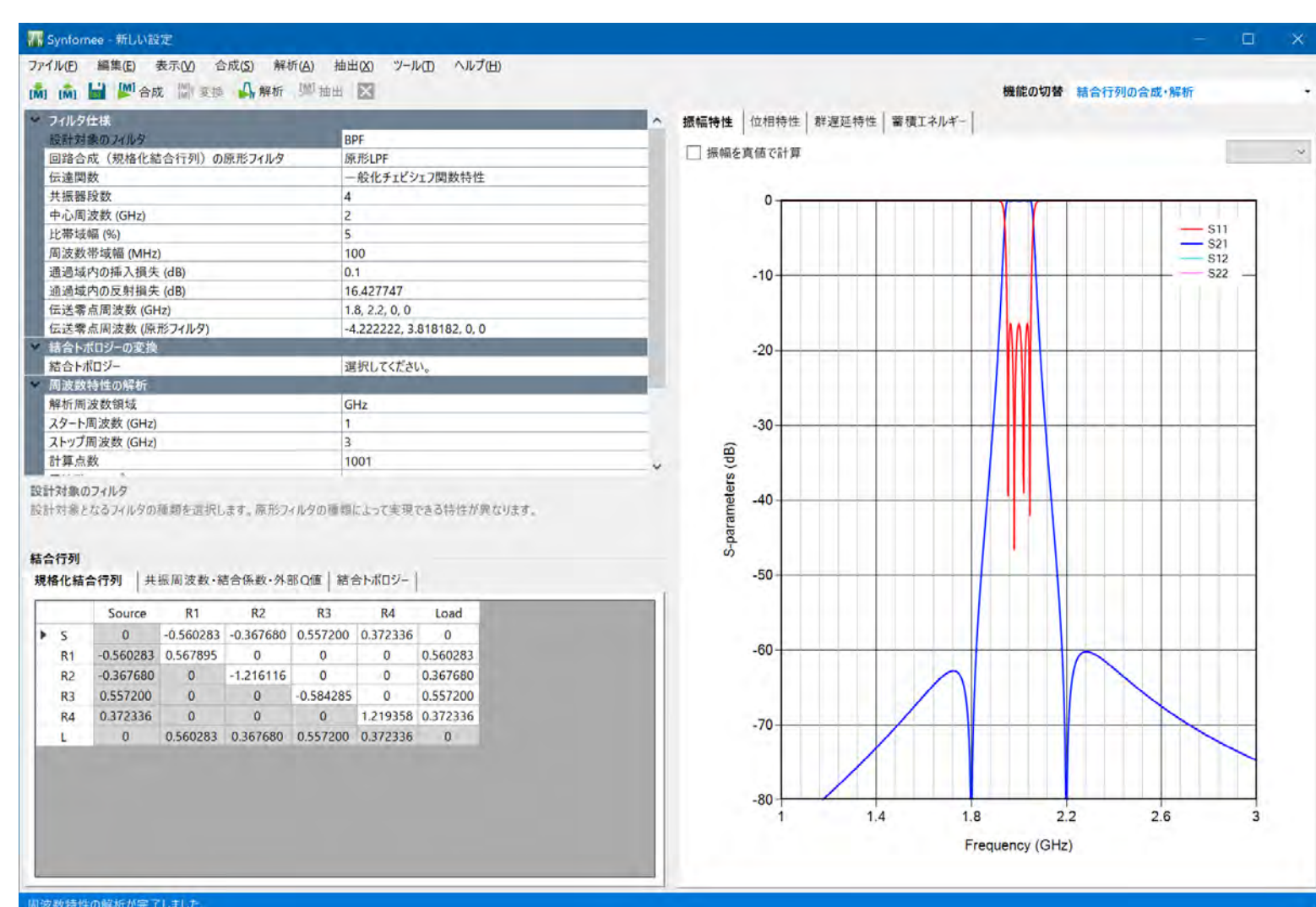
- 設計仕様から**無極フィルタ** (バターワース特性・チェビシェフ特性のBPF) ならびに**有極フィルタ** (楕円関数特性や一般化チェビシェフ特性のBPFまたはBSF) の回路合成が可能

② 結合行列の抽出機能

- **Sパラメータ** (解析・測定結果) から**結合行列**をベクトルフィッティング法によって抽出
- 共振器の**無負荷Q値**や**入出力直接結合量**も抽出可能

合成

仕様
↓
結合行列



抽出

周波数特性
↓
結合行列

