

メタマテリアル技術を応用したEBG構造の検討

上谷 純 城田 健一
八木 貴弘 中澤 哲夫

近年、電磁波工学の分野でメタマテリアルに関する研究が注目されていて、このメタマテリアル技術を用いたEBG(Electromagnetic Band Gap)構造によるノイズ抑制や干渉制御などへの応用が考えられている。ここで注目すべきことはEBG構造が従来のプリント基板の材料と製造技術を用いて製作が可能であり、様々な応用が期待できることである。

当社では、これまでにプリント基板によるEBG構造の有効性の検証として2GHz近辺での阻止帯域を持つ小型ビアレスEBG構造の試作、評価を進めてきた¹⁾。

本報告では、開発を進めている小型ビアレスEBG構造について、その設計手法および試作評価結果について紹介する。

メタマテリアルとは

メタマテリアルとは、自然界に通常存在しない特異な特性を持つ人工物、あるいは合成物質の構造と定義されている²⁾。特に、波長に比べて小さい材料個片を単位粒子として、これを並べて構成し、電気的特性を持たせた構造体を電磁メタマテリアルと言う。このような構造を形成することで、透磁率や誘電率を自在に制御することが可能となる。一例として、透磁率と誘電率が同時に負となる負屈折率媒質が挙げられる。負屈折率媒質中での電磁波は群速度の方向に対し位相速度の方向が逆となる性質を持つ。近年、このような特異性を応用した様々なメタマテリアルが提案されている³⁾。

プリント基板でのメタマテリアル

これまでに様々なメタマテリアルが検討されているが、平板構造をとるメタマテリアルの多くがプリント基板での実現が可能である。プリント基板でメタマテリアルを実現することにより、以下のようなメリットが挙げられる。

- ①従来の材料、製造プロセスで製作可能であり、設計や評価といった環境もそのまま活用ができる。
- ②厚みが実質ゼロである。

- ③特性は、プリント基板の高い製造精度によるため、ばらつきが極めて小さい。
- ④実測値とシミュレーション値との整合性が高く、設計段階での特性の把握が容易であり、試作回数の削減ができる。

EBG構造の特徴と課題

(1) EBG構造の特徴

EBG構造とは、特定の周波数帯において電磁波伝搬が抑制される特性(阻止帯域)を持つメタマテリアルの一つである。導体や誘電体などで構成される単位セルを、1個または複数個を周期的に配列させて形成する。

プリント基板では周期的なパターンを形成することでEBG構造が得られ、その電気的特性は、基板材料およびパターン形状によって決まる。

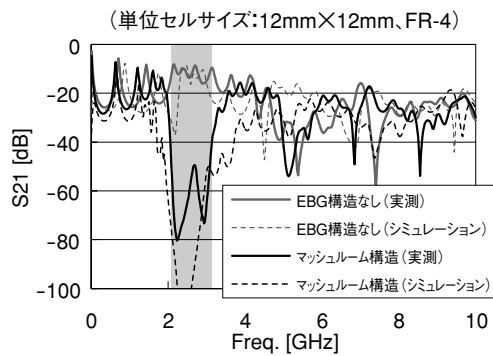
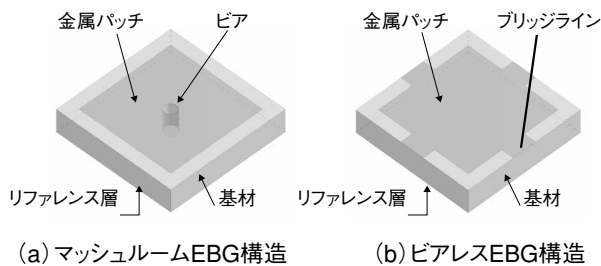
特定の周波数帯の電磁波を抑制する特徴をもつEBG構造を利用し、アンテナの相互結合抑制や回路ブロック間の干渉抑制、あるいは特定の周波数帯域のノイズ抑制などの活用が考えられる。

(2) 一般的なEBG構造

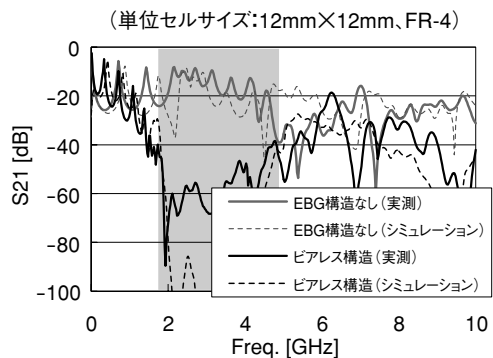
① マッシュルームEBG構造

マッシュルームEBG構造は、リファレンス層にビアを介した金属パッチを周期的に配置し構成される(図1(a))。この構造による伝送特性の例を図1(c)に示す。このように構成されたマッシュルームEBG構造は右手/左手系複合線路として知られており、右手系と左手系の周波数帯の間が阻止帯域となる⁴⁾。

マッシュルームEBG構造は、金属パッチを配置する層を追加し、接続するIVH(Interstitial Via Hole)などのビアを設ける必要があるため、製造コストが増加する。一方、リファレンス層自体は既存のままで、マッシュルーム構造を適用箇所に追加する構造であるため、大電流が必要となるアプリケーションでは有効であると考えられる。



(c) マッシュルームEBG構造の伝送特性例



(d) ビアレスEBG構造の伝送特性例

図1 EBG構造

②ビアレスEBG構造

ビアレスEBG構造は、リファレンス層と対向する層に金属パッチとそれを接続するブリッジラインからなる単位セルを周期的に配置した構成となる(図1(b))。

このように構成されたビアレスEBG構造は、インダクタとキャパシタの並列回路を周期的に配置した構成と見ることができ、その共振に起因する阻止帯域を持つ(図1(d))。また、対向する層との間に形成される容量成分と併せて考えると、右手/左手系線路の阻止帯域を併せ持つことも可能である。

ビアレスEBG構造は、新たな層やビアが不要で、適用

層のパターニングだけで形成が可能である。

(2) EBG構造の課題

EBG構造の特性は、基板材料およびパターン形状によって決定される。そのため、周期構造をなす単位セルのサイズが阻止帯域の周波数に大きく影響する。図2に阻止帯域が現れる周波数帯と単位セルサイズの関係の例を示す。例えば、一般的な電子機器でのノイズ抑制への応用を考えると、ターゲットとする低い周波数帯では単位セルのサイズが大きくなる。そして、電子機器へ組み込みやすい小さなサイズでは阻止帯域の周波数帯が高くなるというトレードオフの関係となっていることがわかる。このように、一般的な電子機器で使用するためには単位セルの小型化が必要となるが、単純な小型化は難しいことがわかる。

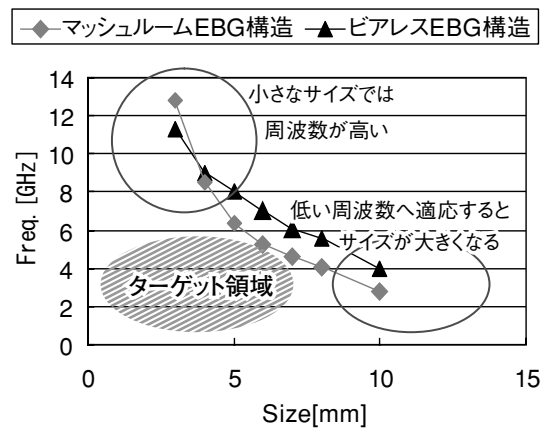


図2 阻止帯域と単位セルサイズ

EBG構造の小型化検討

今回、既存の製造プロセスを活用し、安価で設計自由度の高いビアレスEBG構造についての検討を行った。ターゲットとする周波数帯は、身近となっている無線LAN等で使われる2.4GHzとした。一般的に、この周波数帯に対応した受動部品は高価であるため、これらの部品の採用はコスト増となる。しかし、これらの電子部品の機能を、パターンのみで構成されるビアレスEBG構造が適用できればコスト削減につながる。そこで、この帯域近辺で阻止帯域を持つような小型のEBG構造を得るための検討を行った。

(1) 等価回路

ビアレスEBG構造の等価回路を図3(次ページ)に示す。ビアレスEBG構造は金属パッチ部の L_1 と金属パッチとリファレンス間の C_1 をブリッジラインの L_1 とセル間のキャ

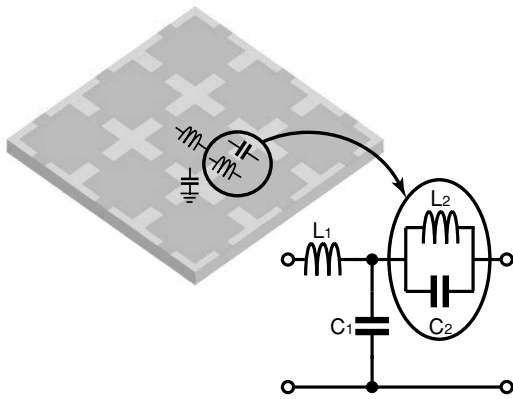


図3 ピアレスEBG構造の等価回路

パシタンス C_2 で接続した回路と表すことができる。

このうち、 L_2 と C_2 によるLC共振回路の共振周波数は

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$$

となる。この共振により伝搬が抑制され、阻止帯域を持つこととなる。よって、低い周波数帯での阻止帯域を得るためには、 L_2 および C_2 を大きくする必要がある。

(2) 小型ピアレスEBG構造の設計

セルサイズを小さくする必要があるため、セル間のキャパシタンスを大きく取ることは難しい。よって、低周波領域で必要な阻止帯域を得るために、ブリッジラインのインダクタンスを大きくするようなパターンを設計する必要がある。つまり、ラインを極力細く長くすることが小型低周波化に有効である。そこで、ライン幅を細くし、ブリッジラインをセル内で引き回して延長させ、インダクタンスを大きくすることで、小型ピアレスEBG構造の実現を目指した。ブリッジラインは、図4の矢印で示すように、①任意の場所での折り曲げ、②ミアンダ形状、③スパイラル形状で延長させた。単位セルサイズを5mm×5mmとし、①～③の形状にて設計した小型ピアレスEBG構造にて、2GHz以下からの阻止帯域をシミュレーションおよび実測にて確認した。

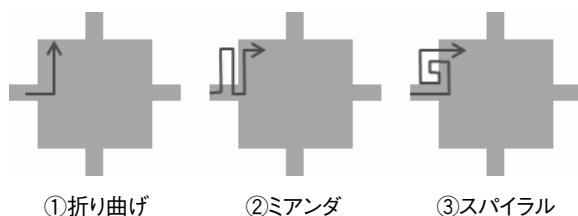
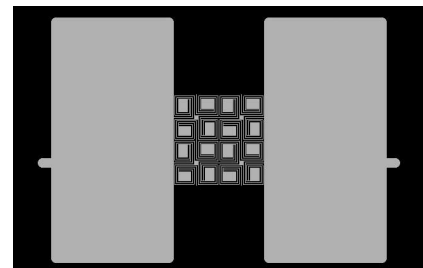


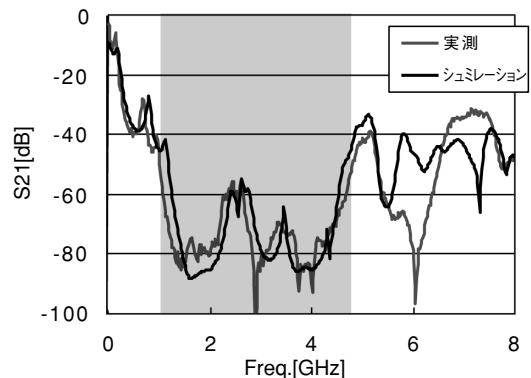
図4 ブリッジラインの設計手法

設計したパターン例を図5(a)に、伝送特性を図5(b)に示す。一般的な従来構造で2GHz近辺での阻止帯域を実現するためには10mm×10mm以上の単位セルサイズが必要となる例が多い。今回のようにブリッジラインを適切に設計することによって5mm×5mm程度の単位セルサイズで2GHz以下の阻止帯域を実現することが可能となった。



単位セル(5mm×5mm)を2×2個配置

(a)パターン例



(b)伝送特性

図5 小型ピアレスEBG構造の設計事例

(3) 1列配置小型ピアレスEBG構造の設計

これまで検討してきたピアレスEBG構造を実際に電子機器に組み込むことを想定すると、さらに小型なものを要求される可能性がある。ここではWi-Fiなど2.4GHz帯の電子機器への組み込みを目的とし、ピアレスEBG構造のさらなる小型化を検討した。

そのために、単位セルの配置を2次元配置から1列配置とした(図6)。1列配置とすることにより、隣り合う単位セルを接続するためのブリッジラインの一部が不要になる。このブリッジラインをなくし、残りのブリッジラインの引き回しを工夫することにより、さらなる小型化が期待できる。

具体的には図7に示すように、サイズ5.1mm×2.4mmの単位セルを5個配置し、阻止帯域の中心周波数が2.4GHz

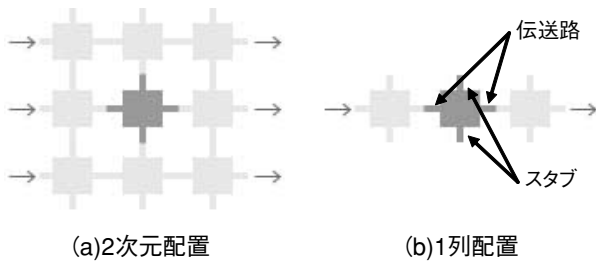
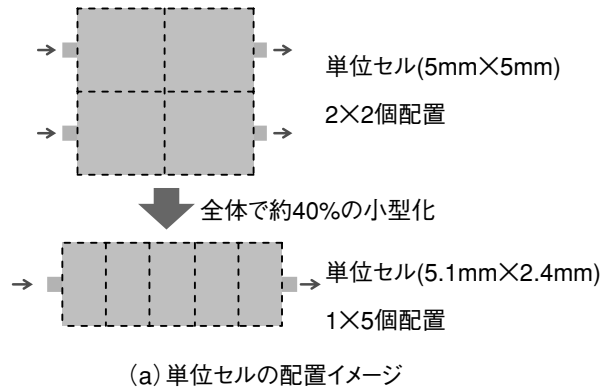
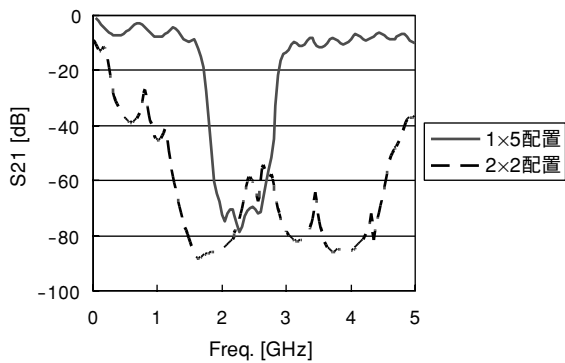


図6 単位セルの配置

となるような設計としたところ、2.4GHz付近で約1GHzの阻止帯域幅を持つことをシミュレーションにより確認した。これまで検討してきたビアレスEBG構造に対して、阻止帯域の幅は狭まったが単位セルサイズで約半分、全体で40%の小型化を実現した。また、設計においては単位セルを形成するパターンの最適化により阻止帯域を制御することが可能である。



(a) 単位セルの配置イメージ



(b) 伝送特性例

図7 1列配置小型ビアレスEBG構造の設計事例

まとめ

今回、メタマテリアル技術の応用として、小型ビアレス

EBG構造をプリント基板で実現し、さらなる小型化の可能性を示した。このようなEBG構造はプリント基板の従来の製造プロセスが活用できる。その結果、特定の受動素子で構成される電子回路の機能をプリント基板のパターンで実現することが可能となり、様々なアプリケーションへの展開が期待される。◆◆

参考文献

- 1) 上谷純 他：メタマテリアル技術を応用したEBG構造の検討ービアレスEBG構造による電源系ノイズ抑制ー，MES2011，2C1-1，2011年
- 2) 真田篤志：メタマテリアルとは何か，2006年電子情報通信学会総合大会，BT-1-1,2006年 など
- 3) C.Caloz,T.Itoh：“Metamaterials for High - Frequency Electronics”，PROCEEDINGS OF THE IEEE VOL. 93 NO.10, 2005 など
- 4) D.sievenpiper,*et al.*：“High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band”，IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES VOL.47 issue 11, 1999

筆者紹介

上谷 純：Jun Kamiya. 沖プリントドサーキット株式会社 技術本部 商品開発部 基礎技術開発チーム
 城田健一：Kenichi Shirota. 沖プリントドサーキット株式会社 技術本部 商品開発部 基礎技術開発チーム チームリーダー
 八木貴弘：Takahiro Yagi. 沖プリントドサーキット株式会社 技術本部 商品開発部 基礎技術開発チーム チームリーダー
 中澤哲夫：Tetsuo Nakazawa. 沖プリントドサーキット株式会社 技術本部 担当部長