

周期構造体を用いた電磁波制御に関する研究

製品・機能評価課 宮田直幸

1. 緒言

電子機器は電磁ノイズを発生し、それによる誤動作が問題となることから、EMC(Electromagnetic Compatibility)に関する国際規格 CISPR では許容される放射エミッション等の限度値が規定されており、電子機器を製造・販売するためにはそれらの規格値を満たすことが重要となっている。

とりわけデジタル LSI における CMOS の同時スイッチングが PI (Power Integrity) の低下とともに EMI (Electromagnetic Interference) を引き起こすために問題となっている。これに対しては、デカップリングコンデンサを使った対策がよく行われるが、もう一つの対策として、メタマテリアルの一種である EBG (Electromagnetic Bandgap) 構造を利用した方法が提案されている¹⁾²⁾。これは、導体に周期的な構造を持たせることで電磁波の分散関係にギャップが開き、ギャップ内の周波数では電磁波が伝播できなくなることを利用したものである。高周波の場合、集中定数的な見方は通用しなくなり、構造同士の幾何学的配置が重要となってくるが、EBG 構造の方法は、それを積極的に利用した方法と言える。

そのようなプリント基板における EBG 構造を低周波数側に適用しようとした場合、周期構造の単位セルを小さくとれるものとして、オープンスタブ EBG がある。本研究では前年度にオープンスタブ EBG と異なる構造として考案し、数値計算による検討を行った構造を試作し、その性能について実験による評価を行った。

2. 手法

2.1 計算手法

具体的な計算手法として、等価回路を用いた計算を行い、検討したうえで、前年度同様 FDTD 法⁴⁾を用いた。境界条件には吸収境界条件ではなく、Bloch の定理による境界条件を課し、時間波形を FFT することでバンド分散を得ることができる。

2.2 実験手法

プローブを当てるためのパッドを、1、2、4、8 セルを間に挟むように設けた 20×20 セルの評価基板を作製し (Fig. 1)、Rohde & Schwarz 社製のベクトルネットワークアナライザ ZVA24 で通過特性 S_{21} を測定した。正方形単位セルの一辺 2.7mm、電源/グラウンド層間の誘電体厚

み 0.736mm、導体厚み 0.018mm、ビアの直径 0.25mm、最小線幅 0.1mm、最小線間ギャップ 0.1mm、誘電体の比誘電率 4.5 とした。今回実験を行った構造は最小の場合 2.1mm 四方で実現できるものであるが、実際の基板ではビアを通すための間隙も必要となるため、2.7mm 四方の単位セルとした。既存の EBG 構造についてもこの事情は同様である。内部構造は前年度の計算で用いたものと同じであるが、製造法上の課題により、厚みだけを増している。具体的な構造については本研究報告では述べない。

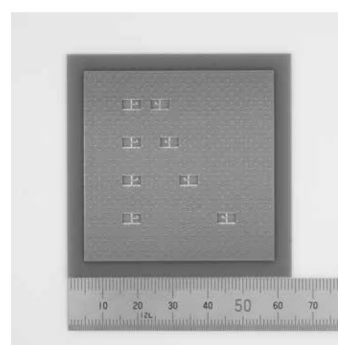


Fig. 1 A fabricated sample board with a novel EBG structure

3. 結果

3.1 計算結果

Fig. 2 に等価回路を用いた計算と FDTD 法を用いた計算による結果を示す。前年度の等価回路の層間容量の計算においては、内部構造が入る面積も含む単位セル全体

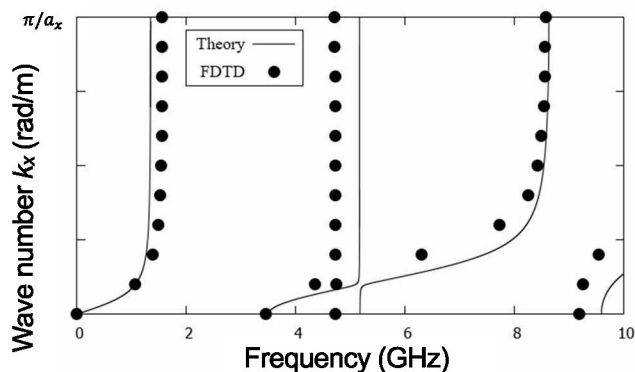


Fig. 2 Dispersion diagram of a novel EBG structure

の面積を考慮することで、数値計算との良好な一致を得たが、今回は層間容量として層間において内部構造が入らない面積だけを考慮した。前年度の計算においては層間が薄く、導体端部の影響が小さかったが、層間が厚くなると簡易的な等価回路による近似が成立しなくなることが原因と考えられる。今回はさらに面積を小さくするために伝送線路の線路幅に対して線路間を狭くしたため、意図しない結合の影響が出やすくなっていることと、考案した EBG 構造では、理論的に層間の容量の影響が大きいことも誤差を大きくしていると考えられる。その意味では、等価回路を用いた計算は、意図しない結合が含まれない構造の範囲で行うか、定性的な性質を知る目的で行うことになる。

数値計算の結果としては、低周波数側から 1.55～3.46GHz、4.72～4.73GHz、8.57～9.19GHz の範囲にバンドギャップができてることがわかる。考案した EBG 構造は、層間の厚みが小さいほど最初のバンドギャップの幅が広いことがわかっているが、前年度のものよりも層間の厚みが増したことで、バンドギャップ幅が狭くなっている。

3.2 実験結果と考察

Fig. 3 に実験の結果を示す。数値計算で得られたバンドギャップの上端と下端の位置を破線で示した。最初のバンドギャップの位置では、パッド間のセル数が増加するにつれて S_{21} が単調に低下していることがわかる。既存のオープンスタブ EBG において線路長をただ長くした場合、全体が縮小され、バンドギャップは低周波数側にシフトするが、幅もその分縮んでしまう。考案した EBG 構造では、同時に幅をも広げることが可能にし、それが一つの利点であると言える。

4. 結言

考案した EBG 構造について実験による評価を行った

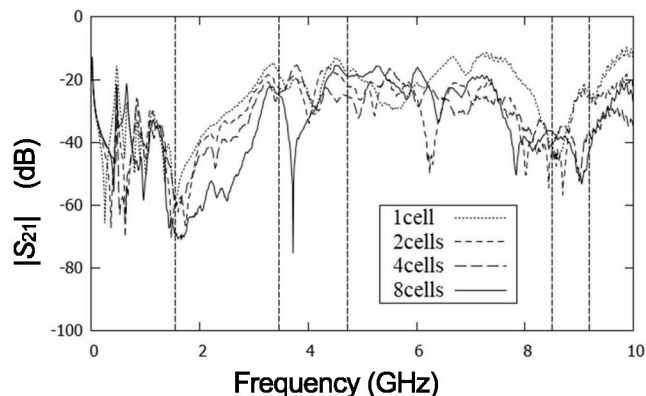


Fig. 3 Measured transmission coefficient (S_{21})

ところ、数値計算結果による予測と良好な一致を示した。 S_{21} の低下から、本構造により多層基板端部から放射される電磁ノイズ(放射エミッション)が低減されるという有用性が確認できたとともに、数値計算による事前のバンドギャップの見積もりの有効性を確認した。

考案した EBG 構造は、既存のオープンスタブ EBG 構造と同様に、基板上の小さい単位セル面積のまま、より低い周波数帯に電磁ノイズ抑制効果を持たせられることを特徴として持つが、考案した EBG 構造においては、さらに層間を薄くすることで、より広い周波数範囲で効果を持たせることができる。これは、基板の薄型化が求められる場合、望ましい性質であると考えられる。

参考文献

- 1) R. Abhari *et al.*, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on., Vol. 51, No. 6, pp. 1629-1639 (2003)
- 2) T. L. Wu *et al.*, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on., Vol. 53, No. 9, pp. 2935-2942 (2005)
- 3) H. Toyao *et al.*, IEIEC TRANSACTIONS on Communications, Vol. E93-B, No. 7, pp. 1754-1759 (2010)
- 4) A. Taflove and S. C. Hagness : Computational electrodynamics, ARTECH HOUSE (2005)

キーワード : EMC、電磁波、EBG

Suppression of Electromagnetic Noise using Periodic Structures

Product and Function Evaluation Section; Naoyuki MIYATA

An electromagnetic bandgap (EBG) structure formed on power/ground planes of a multilayer printed circuit board was studied. A sample board with a novel EBG structure was fabricated and its transmission coefficient S_{21} was measured using network analyzer. The magnitude of S_{21} was significantly suppressed in bandgap frequency ranges estimated by using FDTD simulation, which indicates the validity of the novel EBG structure as a power/ground plane in an actual board.