

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は PI(Power Integrity) の低下とともに EMI(Electromagnetic Interference)を引き起こし、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⁾³⁾。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。Fig. 1 にそのような構造の例を示す。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 構造の方法はそのこと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 構造がある。本研究では、既存のオープンスタブ EBG 構造とは異なる EBG 構造を考案し、数値計算によりその有効性について検討した。

2. 手法

2.1 計算手法

具体的な計算手法として、まず等価回路から理論的な分散関係を計算することで、小さい面積で低周波数(ここでは 1.4GHz 程度)から幅広い周波数帯にバンドギャップを持つものを検討し、次に数値計算により等価回路では含まれなかった効果を検証する。

等価回路を用いた計算を以下で説明する。EBG 構造は 2 次元格子であるが、簡単のため 1 次元方向(ここでは x 軸の方向)のみを図示すると、Fig. 1(b)のように等価回路を考えることができる。ここでそれぞれの要素には、インピーダンス Z としてプレーンのインダクタンス、アドミタンス Y としてプレーン間のキャパシタンス(の逆数)が

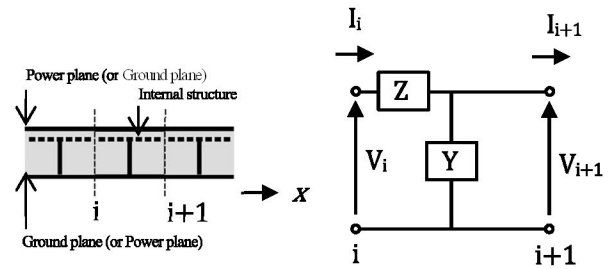


Fig. 1 (a) Cross sectional view of an EBG structure (Black : PEC, Other color : dielectric substrate) and (b) Equivalent circuit of a unit cell of an EBG structure

必ず入り、考える EBG 構造によって追加される要素は異なる。2 次元の場合は同様に考えることができ、特に正方格子の場合を考えると、 $i(i=x,y)$ 方向の波数を k_i 、周期を $a_i(=a)$ として、次の式 (1) のような $k_y=0$ 上の k_x と周波数 f の関係(分散関係)からバンドギャップを見積もることができる。

$$\cos(k_x a_x) - 1 = ZY/2 \quad (1)$$

ここで EBG 構造の型について説明する。単位セルにおける電圧と電流の關係に Maxwell 方程式との対応があることから Fig. 1 のような構造をメタマテリアルの一種と見なすことができるが、その対応から Z の虚部と Y の虚部がそれぞれ μ と ε に対応し、 μ が負かつ ε が正の場合を μ ネガティブ型、 ε が負かつ μ が正の場合を ε ネガティブ型と呼ばれる。 μ ネガティブ型の EBG 構造は電源/グラウンド層に使うものとしては電流値が制限される欠点があり、適していないと考えられる。既存のオープンスタブ EBG 構造と考案した EBG 構造はどちらも ε ネガティブ型である。

数値計算法としては、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 の定理による周期境界条件を課し、時間波形を FFT することで分散関係を得ることができる。

2.2 計算対象

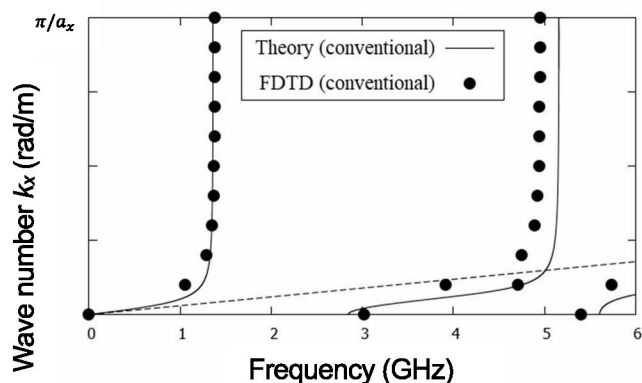
具体的な計算対象としては、正方形セルの一辺 2.1mm、電源/グラウンド層間の誘電体の厚み 0.216mm、最小線幅 0.1mm、最小線間ギャップ 0.1mm、正方形ランドの一辺 0.5mm、ビアの直径 0.25mm、誘電体の比誘電率 4.5 とした場合の EBG 構造で、可能な限り 1.4GHz~幅広い周

* 昨年の研究報告発行時において特許出願手続中であったため公表を差し控えていたもの。

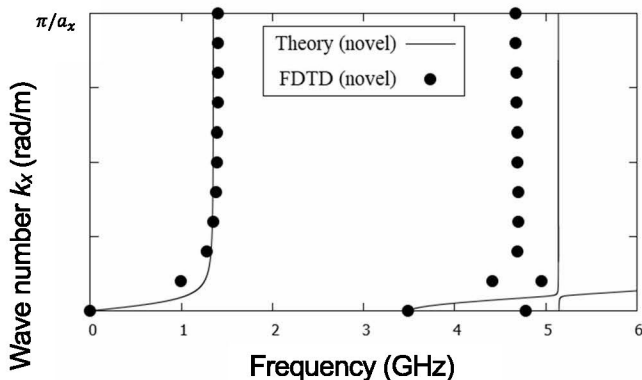
波数帯にバンドギャップを持つものを検討した。具体的な構造については本研究報告では述べない。

3. 結果

Fig. 2 にそれぞれの等価回路を用いた計算と FDTD 法による結果を示す。(a)の既存のタイプと(b)の新規のタイプのどちらも等価回路を用いた計算と FDTD 法による計算では若干のずれがあるものの、最初のバンドギャップ



(a)



(b)

Fig. 2 Dispersion diagram of EBG structures.

(a) Conventional open stub type (b) Novel type

の周波数帯は概ね一致しており、(a)では1.38~3.02GHzに、(b)では1.40~3.49GHzにバンドギャップができてることがわかる。高周波数側でずれが大きくなっているのは、等価回路を用いた計算が波長に対して小さい構造であることを利用した近似であるためと考えられる。ここで、Fig.2(a)の破線は、既存のタイプの計算において、プレーンに必ず間隙が必要となるが、吸収境界条件を用いた場合計算量が増大するため、代替的な計算手法として、プレーンをz軸の方向に追加することでz軸の方向に関して閉じたためである。そのような場合、電源/グラウンド層間のモード以外にも破線のようなプレーン間の平面波のモードが現れる。

4. 結言

既存のオープンスタブ EBG 構造と今回考案した EBG 構造について数値的な評価を行ったところ、等価回路を用いた計算と FDTD 法による数値計算とは概ね一致した。既存の EBG 構造とは異なり、考案した EBG 構造では、等価回路を用いた計算により、理論的に電源/グラウンド層間を薄くしながらバンドギャップを広げられる性質がわかっており、薄型化の観点からも優れていると考えられる。数値計算によっても実際その通りの結果が得ることができた。

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

Electromagnetic bandgap (EBG) structures formed on power/ground planes of multilayer printed circuit boards were studied. Conventional and novel EBG structures were evaluated in terms of bandgap frequency ranges which were estimated by using FDTD simulation. We found that the lowest bandgap of the novel EBG structure was wide compared to that of the conventional one of the same unit cell size.