

電磁ノイズ抑制構造に関する研究

製品・機能評価課 宮田直幸 佐々木克浩

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。

特に多層基板における電源/グラウンド層間の端部から漏れる電磁ノイズはPI (Power Integrity) やSI (Signal Integrity) の観点からも問題となっているが、高周波のため寄生インダクタンスが問題となり、デカップリングコンデンサを使った対策が難しい。

この問題に対し、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バンド分散にギャップが開き、ギャップ内の周波数では伝播できなくなることを利用したものである。

本研究では、前年度に続き、EBG 構造の単位胞の面積を小さく保ったまま最低バンドのバンドギャップ下端周波数を小さくし、バンドギャップを広くする方法を検討した。

2. 手法

2.1 計算手法とその高速化

様々な形状を検討するためにはそれだけ数値計算による計算時間が必要となる。本研究では、検討に進む前に計算の高速化の手段として、前年度には用いなかった GPGPU (General Purpose Graphics Processing Unit)⁴⁾を用いた。これはグラフィックス処理用の GPU を科学計算等の一般的な用途に使用しようとする際の GPU とその枠組みを指す。GPU は多数のコアを持ち、一つ一つのコアは CPU と比べて演算速度等は落ちるものの、計算対象が並列計算に適していれば、多数のコアに並列で計算させることで計算を高速化することができる。

具体的な計算手法として、前年度同様 FDTD 法⁵⁾を用いた。時間領域の数値計算法である FDTD 法は有限要素法等と異なり、各点の近傍の場の値のみを使って次の時刻の場を求めていくものであるから、並列計算に適した手法である。FDTD 法は位相速度の周波数依存性が知られているが、特に今回のような用途では各周波数成分に

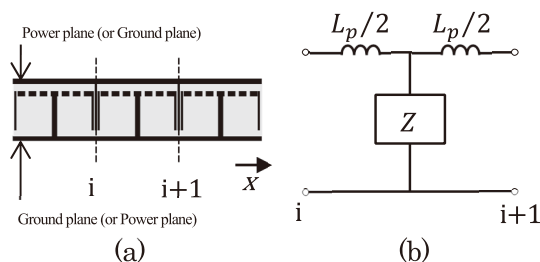


Fig. 1 (a) Cross sectional view of EBG structure formed on power/ground plane and (b) its equivalent circuit

分解して考えるのみの線形の問題であるから、問題にならない。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。

今回使用した NVIDIA 社製 GPU は (CUDA) コア数が 512 のものであり、GPU 版コードは CPU 版と比べて 10 倍程度に高速化することができた。実際にはメモリへのアクセスを最適化すること等により、より高速化することもできると考えられるが、高速化手法の開発が主目的ではないため、これで十分とした。

2.2 形状の検討

前年度扱ったオープンスタブ EBG 構造は基板の製造工程を変えないため、低コストで実現できるという意味で有用である一方、基板に水平な方向にマイクロストリップ線路を延ばすしかなく、性能を維持したままのさらなる小面積化は難しいと考えられる。そこで本研究では製造法やコストはあえて考慮せず、基板に垂直な方向にも構造を入れ、基板上の面積を保ちながら元の性能を改良できるかを検討した。

しかしながら、基板に垂直な完全導体の仕切り板を入れた場合であれ、ワイヤを並べた場合であれ、オープンスタブの場合の最低バンドのバンドギャップ下端の 1~2GHz には及ばず、どれも 10GHz 以上となった。

これは単位胞のサイズが数 mm しかなく、等価回路が少数個の C や L で近似される時、形成される C や L に限度があるためと考えられる。そこで伝送線路の形状は必須と考え、オープンスタブの枠内で検討することにした。前年度の検討⁶⁾より、既に先端の幅が広いオープンスタブでは最低バンドのバンドギャップ下端周波数を低くしつつバンドギャップを広くし得ることがわかっているため、Fig. 1 (a)および Fig. 2 (b)のようにオープンスタブ先端の

幅が広い部分を垂直に延長し、同時にプレーン層からも板を垂直に出し、マイクロストリップ線路を垂直に形成することで、基板上のサイズを保ちつつ、先端部分のワイド化を図ったものを考えた。

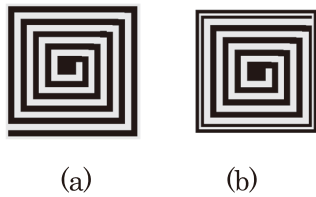


Fig. 2 Top view of open stubs
 (a) conventional type
 (b) club-shaped type.
 (Black : PEC, Other color : dielectric substrate)

2.3 計算結果

Fig. 3 に FDTD 法による結果を示す。線路長は Fig. 2(a) の従来からある形状よりむしろ小さいが、最低バンドのバンドギャップ下端周波数は小さくなり、バンドギャップも若干広がっていることがわかる。Fig. 2(a), (b) に共通するパラメータは、マイクロストリップ側基板厚 0.065mm、層導体間 0.495mm、導体厚 0.035mm、正方形角柱で置き換えたビアの一边 0.24mm、線幅 0.1mm、線間ギャップ 0.1mm、誘電体 (Fig. 1、2 のグレー部分) の比誘電率 4.2 とした。また、Fig. 2(a) 単位胞の一边 $a_x = 2.18\text{mm}$ 、Fig. 2(b) 単位胞の一边 $a_x = 1.88\text{mm}$ 、Fig. 2(b) の幅が広い部分の幅 0.33mm、幅が広い部分とプレーン層から延長された仕切り板厚み 0.04mm とした。ここでは形状の変更により改良し得ることをデモンストレーションすることを目的としており、製造法は考慮していないことに注意されたい。

3. 結言

今年度の検討においては、数値計算のある程度の高速度化を達成し、それを用いて新奇 EBG 構造を模索したが、

十分な性能を持つものを発見することはできなかった。一方、Fig. 3 に示したように、比較的簡素な形状であっても従来のオープンスタブ EBG 構造と同等の単位胞の面積で低い周波数に対応した EBG 構造は少なくとも計算上は存在することがわかった。今年度の経験により、伝送線路の構造は必須と考えられるため、次年度においては、既存の構造ではあるもののオープンスタブ EBG 構造の試作と実験的評価に取り組みたい。

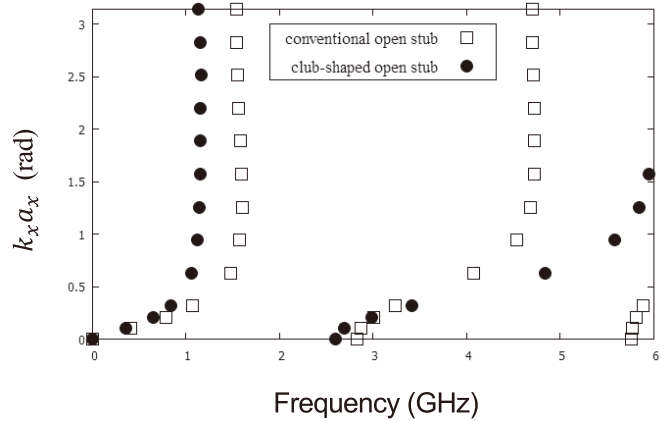


Fig. 3 Dispersion diagram of EBG structures

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., IEIEE TRANSACTIONS on Communications, Vol. E93-B, No. 7, pp. 1754-1759 (2010)
- 4) 青木 他, はじめての CUDA プログラミング, 工学社 (2009)
- 5) A. Taflove and S. C. Hagness : Computational electrodynamics, ARTECH HOUSE (2005)
- 6) 宮田 他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, No.32, pp.46-47(2018)

キーワード : EMC、電磁波、EBG

Study on Techniques for Suppression of Electromagnetic Noise

Evaluation Technology Section; Naoyuki MIYATA and Katsuhiko SASAKI

An improvement of the open stub electromagnetic bandgap (EBG) structure formed on power/ground plane of multilayer printed circuit boards was studied. A club-shaped open stub which has a vertically arranged wider strip was examined with the help of FDTD simulation, and was found to exhibit the lower lowest X-point frequency and the wider lowest bandgap compared to those of conventional ones.