

平成23年 5月13日現在

機関番号：15301
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560328
 研究課題名（和文）電磁的バンドギャップ（EBG）構造による電磁干渉抑制に関する研究
 研究課題名（英文）A Study on Suppression of Electromagnetic Interference by
 Electromagnetic Bandgap (EBG) Structure

研究代表者

豊田 啓孝 (TOYOTA YOSHITAKA)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：20311798

研究成果の概要（和文）：

電子装置の電源/グランド層に対して周期構造とフェライト磁性薄膜の導入を試みた。これにより、電磁的バンドギャップを形成するだけでなく、磁気損失の効果も加えたことで、高周波ノイズの伝搬阻止を効果的に行えることを、実験と電磁界シミュレーションの両面から検討し、その実現可能性を示した。さらに、実ボードを想定した模擬電源回路を構築し回路シミュレーションを行った結果、電源品質の劣化も生じない電源/グランド層が実現できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A periodic structure and a thin ferrite film were applied to power/ground layers of electronic devices, which realize efficient noise suppression due to not only electromagnetic bandgap (EBG) formed but also magnetic loss. This investigation was carried out by both experiments and full-wave simulation. Through circuit simulation of a real power-supply circuit for obtaining power-integrity characteristics, furthermore, the proposed structure was found to suppress power bounce sufficiently.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：環境電磁工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電子デバイス・電子機器

キーワード：多層プリント回路基板 不要電磁波伝搬抑制 セグメンテーション法 スリット

電磁結合 プレーナ EBG 磁性膜 電源品質

1. 研究開始当初の背景

(1) 電子機器に搭載される多層プリント回路基板の電源供給系は、平板(プレーン)構造にして低インピーダンスとする。しかし、この電源/グランドプレーンは高周波では特定の周波数で共振が生じる。図1に示すように、ICやLSIの電源端子から流れ出す高周波のノイズ電流により、特に反共振が生じる場合には不要電磁波放射などが問題となる。製品では、バイパスコンデンサを設置する方法が一般に採用されるが、対症療法的で根本的な問題解決策ではない。



図1 電源/グランド層で生じるノイズ問題

(2) このようなプレーン間の不要電磁波の伝搬抑制法に、周期構造を形成した電磁的バンドギャップ(EBG)構造がある。種々の形状が提案されているが、EBG構造を実際の製品に採用するには多くの課題があり、実際の製品に搭載するには、これらの克服が必須である。図2はプレーナEBG構造と呼ばれ、本研究の検討対象である。

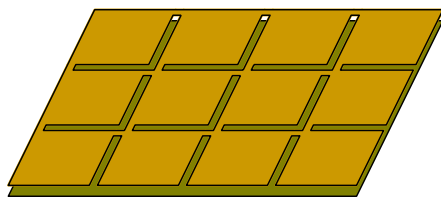


図2 プレーナ EBG 構造

2. 研究の目的

- (1) 電磁波伝搬の減衰効果の大きいEBG単位セル設計アルゴリズムの構築
- (2) 磁性膜と組み合わせ十分なノイズ抑制効果を有するプレーナEBG構造の実現

3. 研究の方法

(1) プレーナEBG構造では、幅の狭いスリットを導入することでEBG単位セルのパターン形状を実現する。平板構造へのスリット導入が一つのポイントである。これに関連して以下の2点を実施した。

①市販の電磁界シミュレータを用いてスリット近傍の電磁界分布の評価を行い、スリットの効果を明らかにする。

②EBG単位セル設計では、単位セルの等価回路解析が有効である。狭いスリットを含むことによる計算コスト上昇を避けるため、スリットの等価回路モデル化を行う。

(2) 実際のプリント回路基板と同じ製造工程でフェライト磁性薄膜を導入したEBG構造など、4種類のテスト基板を試作し、ベクトルネットワークアナライザとFPCプローブを用いた2ポート測定により特性の評価を行う。

(3) 実ボードにおけるノイズ抑制特性、並びに、電源品質特性を評価するため、(2)で得られた測定データを2ポート回路の回路パラメータで表現し、これを市販の回路シミュレータに導入した。図3は、回路シミュレーションに用いた実ボードの模擬電源回路の等価回路である。2ポート回路の左側が電源側、右側がIC側である。テスト基板の両側に同じ電気的特性のバイパスコンデンサを配置している。

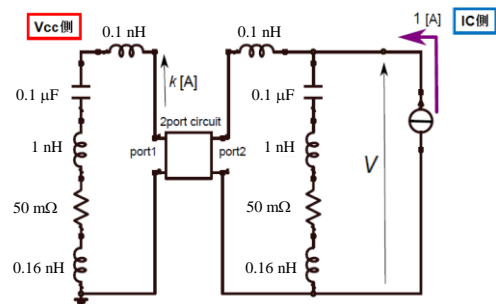


図3 ノイズ抑制特性、並びに、電源品質特性を評価するための模擬電源の等価回路

4. 研究成果

(1) スリット導入に関連して実施した成果を以下に示す。

① 予備実験として、EBG構造に導入する磁性膜に、市販のノイズ抑制シートを用いた場合とフェライト磁性薄膜を用いた場合について透過特性を測定したところ、その結果の傾向は異なった。市販の3次元電磁界シミュレータを用いて電磁界解析を行い、磁性膜と誘電体層の厚さの関係で電磁界分布が変化し、以下の現象が生じていることを明らかにした。

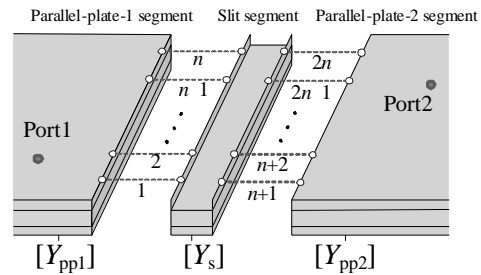
- ・ 阻止域の低周波側へのシフトには、誘電体層が薄い場合は磁性膜の比透磁率が、一方、厚い場合は比透電率が主として作用することを明らかにした。

- ・ 阻止域の拡大については、比透磁率の虚部の方が比透電率の虚部に比べて有効に作用することを明らかにした。

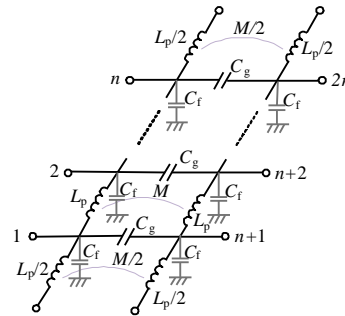
実ボードの多層プリント回路基板では誘電体層は薄くなる傾向にあるため、磁性膜の導入により、磁性膜の比透磁率がより有効に作用することが期待できる。

② スリット間の電磁結合やエッジのフリッジング効果を表現できるスリットモデル構築の様子を図4に示す。図4(a)は、単一のスリットのみを含むスリットセグメントの分離を示しており、このスリットセグメントは、結合マイクロストリップ線路から求めた等価回路モデルを用いて表現できる。このスリットモデルは、従来のスリットモデルでは表現できなかったスリット幅を表現することができる。よって、スリット幅の大小を考慮する必要がなく、セグメンテーション法との親和性が高いことが最大の利点である

セグメンテーション法を適用することで、グリーン関数のモード展開を利用するポート間インピーダンス解析手法に組み込むことが



(a) スリットセグメントの分離



(b) スリットセグメントの等価回路モデル

図4 スリットのモデル化

できる。これは、高速かつ実用的な計算精度での電磁界解析が可能であることを意味する。実験結果を比較対象として従来のスリットモデルと比較したところ、今回のモデルは、同等以上の計算精度を有することが判明した。以上より、EBG単位セル設計に用いることができる。

(2) 電源/グランド層が従来の平行平板構造の場合ならびにEBG構造を導入した場合、さらに、フェライト磁性薄膜の有無により、4種類の1次元構造のテスト基板を作製した。これを図5の(a)～(d)に示す。図中の数字の単位はmmである。図5(e)はテスト基板の断面構造を示している。テスト基板は3層構造であり、図に示すM1が測定用ランド層、M2が電源層でEBGパターン面である。M3はグランド層である。M1にあるパッドは、ビアを介してM2、M3と接続されている。6 μ m厚のフェライト磁性薄膜はM2と0.16mm厚の誘電体(FR-4)の間にある。図6は使用したフェライト磁性薄膜の比透磁率の周波数特性である。

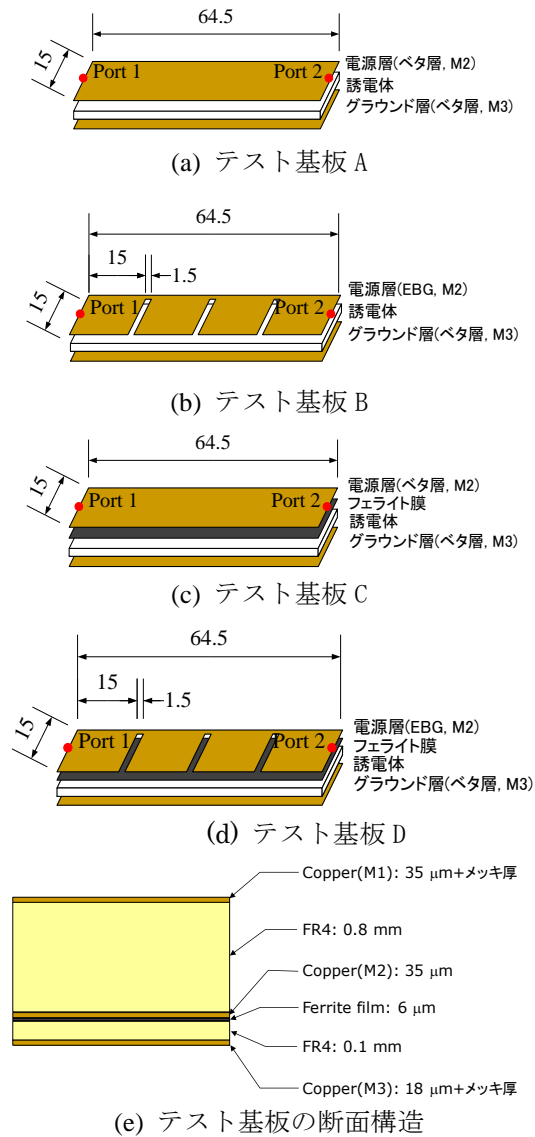


図5 使用したテスト基板

4種類のテスト基板の測定結果を図7に示す。透過特性 S_{21} によりノイズ伝搬阻止特性を、駆動点インピーダンス Z_{11} により電源品質特性を評価する。 S_{21} が小さくなるほど高周波ノイズの伝搬を阻止するためノイズ伝搬阻止特性はよいと判断できる。一方、 Z_{11} が小さいほど高周波ノイズ電流が流れたときに発生する電圧が小さいので、電圧変動が小さく電源品質特性はよいと判断できる。EBGパターンとフェライト磁性薄膜を組み合わせたテスト基板Dが最もノイズ伝搬阻止特性がよい。電源品質特性についてはフェライト磁性薄膜を導入した

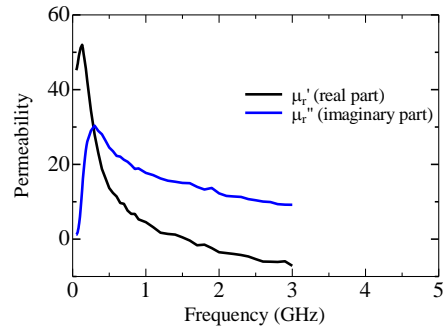
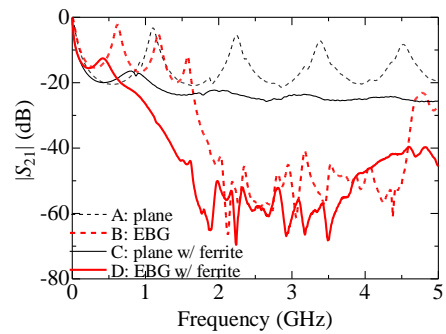
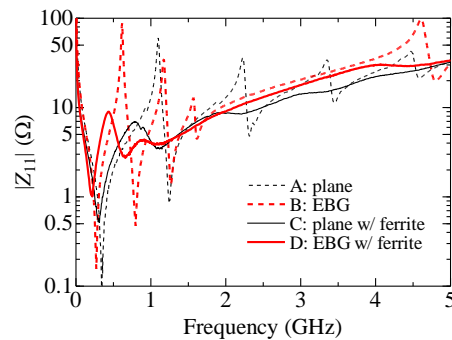


図6 フェライト磁性薄膜の比透磁率の周波数特性



(a) 透過特性



(b) 駆動点インピーダンス

図7 テスト基板の測定結果の比較

テスト基板BとDがほぼ同等の性能を示している。EBGパターンとフェライト磁性薄膜を組み合わせることで、十分なノイズ伝搬阻止特性を有し、電圧変動の小さい電源/グランド層を得られることが分かる。

(3) 実回路への導入を想定して、(2)の結果を

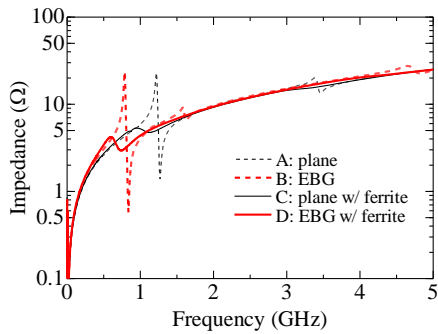


図8 図3のIC側から見たインピーダンス

組み込んだ回路シミュレーションを実施した結果を図8に示す。図8は、図3のIC側から見たインピーダンスを示している。

回路計算の評価では、市販の回路シミュレータを用いた。フェライト磁性薄膜のないテスト基板AとBでは反共振によるインピーダンス上昇が観測された。これは図7(b)の結果に起因していることが分かる。IC側から見たインピーダンスには電源/グランド層の Z_{11} が大きく影響を及ぼしていることが確認できた。

フェライト磁性薄膜を組み合わせたテスト基板C、Dでは両者とも反共振時のインピーダンスの上昇をダンピングできている。EBG構造の有無で大きな差は見られないため、フェライト磁性薄膜の特性により決まることが分かる。

以上の結果から、スリットの特性を電磁界シミュレーションにより理解し、有効に活用することで、フェライト磁性薄膜を組み合わせたプレーナEBG構造により十分なノイズ抑制効果を有し、さらに、電源品質の劣化も生じない電源/グランド層が実現できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① Y. Toyota, K. Kondo, S. Yoshida, K. Iokibe, R. Koga, Stopband Characteristics of Planar-type Electromagnetic Bandgap

Structure with Ferrite Film, Proc. 2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 査読有, pp.676-679, 2010.

- ② Y. Toyota, K. Iokibe, R. Koga, K. Kondo, S. Yoshida, Suppressing Power Bus Resonance and Radiation Using Magnetic Material and EBG Structure, Proc. 19th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, 査読有, pp.574-577, 2008.

〔学会発表〕(計5件)

- ① 矢野誠士, 豊田啓孝, 五百旗頭健吾, 古賀隆治, 近藤幸一, 吉田栄吉, EBG構造を形成した電源/グランド層へのノイズ抑制シート適用による不要電磁波伝搬抑制効果の評価, 電子情報通信学会環境電磁工学研究会, 2009.4.24, 岡山市.

- ② 濱上雄大, 豊田啓孝, 五百旗頭健吾, 古賀隆治, 単一のスリットセグメントへの領域分割によるプリント回路基板の電源系共振の高速解析, 電子情報通信学会環境電磁工学研究会, 2009.3.13, 東京都港区.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

豊田 啓孝 (TOYOTA YOSHITAKA)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：20311798