

# 磁性膜を配置した MSL の磁気回路解析によるインダクタンス推定

三上 貴大、室賀 翔、田中 元志  
(秋田大学大学院理工学研究科)

Inductance estimation of MSL with magnetic film using magnetic circuit analysis

Takahiro MIKAMI, Sho MURUGA, Motoshi TANAKA  
(Graduate School of Engineering Science, Akita University)

## 1. はじめに

磁性体を用いた電磁ノイズ抑制体 (NSS) を、電子機器に実装するための設計指針の確立が求められている。筆者らは、NSS を配置したマイクロストリップ線路 (MSL) について、その断面を磁気回路解析し、等価電気回路を推定する方法を提案した<sup>1,2)</sup>。しかし、磁気回路の構築のためには、MSL 断面の磁束密度分布を電磁界シミュレーションにより算出する必要があった。そこで、NSS の例として Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL を対象とし、断面の磁束密度分布を解析的に導出して、そのインダクタンスを推定する手法を検討した。

## 2. 特性長の解析的導出

解析対象<sup>2)</sup>は、比誘電率 9.8 のアルミナ基板上に試作した平行 2 導体 MSL とした。2 本の MSL は、それぞれ線路長 10 mm、幅 95  $\mu\text{m}$  であり、線路間の距離は 50  $\mu\text{m}$  である。1 本の MSL をネットワークアナライザを接続して伝送特性を測定し、他方の両端は 50  $\Omega$  の抵抗で終端させた。Co-Zr-Nb 膜は、低周波で透磁率約 700、材料固有の強磁性共鳴 (FMR) 周波数約 1 GHz、抵抗率 120  $\mu\Omega\text{cm}$  である。

図 1 に Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL の磁束経路を示す<sup>2)</sup>。 $\varphi_0$  は全磁束、 $\varphi_m$  は磁性体内を流れる磁束を表す。また、 $w_m$  は、磁性膜内の磁束密度の値が、信号線端部直上の磁性膜内の磁束密度の値の約 37% ( $=1/e$ ,  $e$  はネイピア数) 以上である範囲を示し、磁気回路構築に必要である。Co-Zr-Nb 膜内の磁束密度に関する微分方程式<sup>3,4)</sup>より、解析的に  $w_m$  を算出した。

$$w_m = \sqrt{\frac{g}{1/\mu_{r1}h + a/\mu_r t}} \quad (1)$$

ただし、 $\mu_{r1}$  は真空中の比透磁率、 $\mu_r$  は Co-Zr-Nb 膜の比透磁率、 $g$  は誘電体と磁性体の距離 ( $g = t_s + t_d$ )、 $a = \varphi_m/\varphi_0$  である。この磁気回路を図 2 のように示せば、 $a$  は (2) 式で表せる。

$$a = \frac{\varphi_m}{\varphi_0} = \frac{R_a R_d}{R_a R_d + R_a R_m + R_d R_m} \quad (2)$$

ここで、 $R_a$  は  $w_m$  の関数である。(2) 式を (1) 式に代入して、 $w_m$  を導出した。導出した  $w_m$  は、電磁界解析で求めた値とおおよそ一致した。

## 3. インダクタンスの推定

磁気回路解析より推定したインダクタンスを実験値と比較して図 3 に示す。推定値は実験値とおおよそ一致し、2.7 GHz 付近の実効的な FMR 周波数で低下し、極小となった後に徐々に一定値に漸近した。これは、透磁率の実部の影響と考えられる。一方、実験値は 6 GHz 付近から低下し、負の値を示すが、これは波長共振による影響と考えられる。

## 4. おわりに

Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL のインダクタンスを解析的に推定可能であることを示した。今後、設計指針の構築を検討する。

謝辞 本研究の一部は、科研費 20K04497、村田学術振興財団、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究の助成を受けた。

参考文献 1) S. Muroga, *IEEE Trans. Magn.*, 54(6), #8002704, 2017. 2) 三上他, 信学技報, EMCJ2019-28, 2019.  
3) R. Jones, *IEEE Trans. Magn.*, 14(5), p.509, 1978. 4) J. Ma et al., *IEEE Trans. Magn.*, 54(6), #2800404, 2018.

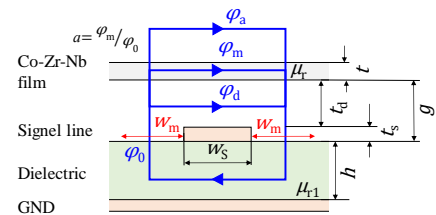


図 1 MSL 断面の磁束経路

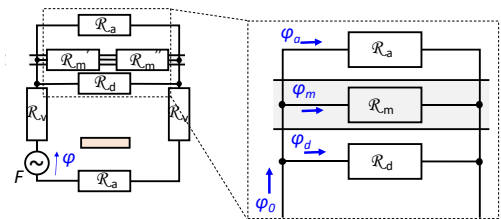


図 2 MSL 断面の磁気回路

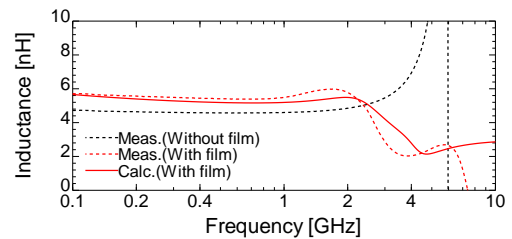


図 3 インダクタンスの推定