

L-21

二重非線形スプリットリング共振器の電磁波反射特性とその層間距離依存性

Electromagnetic wave reflection characteristics of a double-layered nonlinear split ring resonator

○数野 将輝¹, 渡邊 啓太¹, 前田 博史², 胡桃 聡³, 鈴木 薫³, 松田 健一³
Masaki Kazuno¹, Keita Watanabe¹, Hirofumi Maeda², Satoshi Kurumi³, Kaoru Suzuki³, Ken-ichi Matsuda³

Abstract: スプリットリング共振器(split-ring resonator : SRR)は、電磁波に対して共鳴的な応答を示すことで知られている。本研究では、バラクタダイオードを挿入した非線形スプリットリング共振器(nonlinear split-ring resonator : nSRR)を作製し、それを二層化したものについて、電磁波反射特性とその距離依存性について調べた。その結果、共鳴ピークの分裂幅が大きく層間距離に依存することがわかった。

1. 研究背景と目的

分割リング共振器(split-ring resonator : SRR)は、これまで電磁材料を構成する要素の一つとしてしばしば用いられてきた。その構造は、金属製の円環構造を基本とし、その一部にスリットが設けられたものとなっている。これが全体として LC 共振器と同様の振る舞いを示すことが知られている。この共振周波数は、ごく単純に $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ となると考えられるため、この値はデバイスの構造によって決定される。

このことは、SRR の共振特性が固定されることを意味するが、デバイス応用上は共振特性が可変となるものが望まれる。そのためにスリット部分にバラクタダイオードを挿入して、半導体の空乏層容量変化を利用した共振特性の可変な SRR が提案された。これを非線形分割リング共振器(nonlinear split-ring resonator : nSRR)と呼ぶ。

本研究では、この nSRR を 2 枚近接させて配置した場合の電磁波反射特性を調べることにした。このような場合 nSRR 間の相互作用が強くなり、あたかも一つの分子として動作する可能性があるため、このような複合型の nSRR 構造についての電磁波反射特性を調べることは重要である。特に本研究の目的は、nSRR 間の距離の関数として電磁波反射特性の変化の詳細を調べることにした。

2. 実験方法

本研究で作製した nSRR の金属円環部分の構造を図 1(a) に示す。円環は内径 6 mm, 外径 7 mm, 厚さ 35 μm とした。また、円環の中心に関して対称な位置 2 か所にスリットを設けた。このスリット部分には容量可変ダイオード (Skyworks 社製 SMV1234-079LF) を並列に挿入した。これにより、円環上を流れる電流に対し

て、どちらかのダイオードが容量として働く効果を得ることができる。

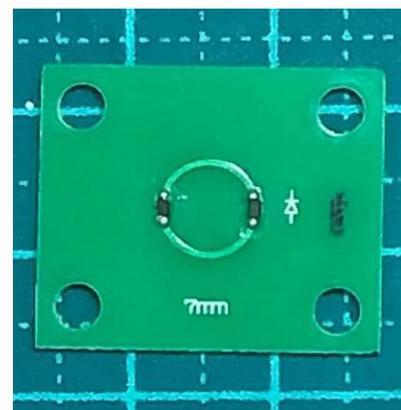
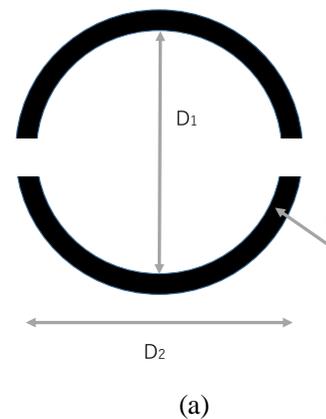


図 1(a) スプリットリング共振器の金属円環部分の設計 ; D_1 : 6 mm, D_2 : 7 mm, t : 35 μm

(b) 実際に使用した nSRR の写真

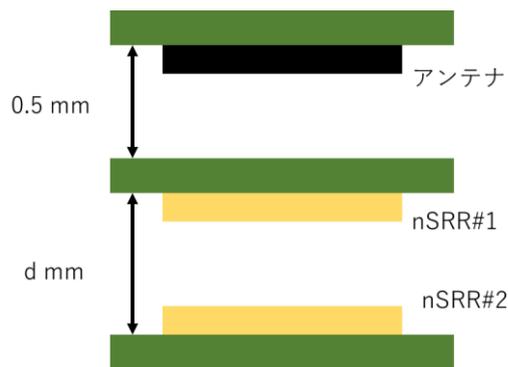


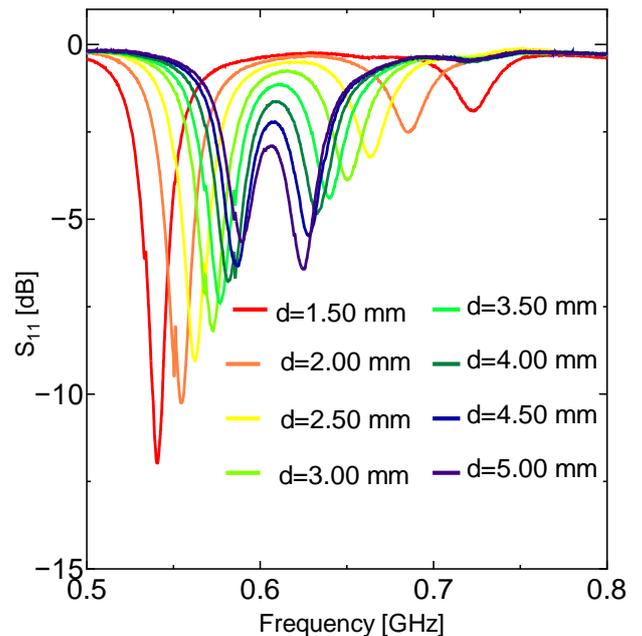
図2 2層 nSRR の測定配置

図2に今回の測定に関する配置図を示す。アンテナとnSRR#1の距離は基板を含めて1.5 mmとして固定した。nSRR間の距離 d は1.50~5.00 mmの範囲で可変とした。この2層nSRR構造に対して、Tektronix社製のベクトルネットワークアナライザ(TTR-503A)を用いて、電磁波反射特性(S_{11})を測定した。電磁波の照射パワーは-6 dBmで一定とした。

3. 実験結果

図3に本研究で使用した2層nSRRの S_{11} -周波数特性を示す。今回使用したnSRRは、それぞれ個別の電磁波応答特性が、ほぼ同じものを選び出して使用した。従って、共鳴周波数が一致している二つのnSRRからの電磁波反射特性は、単純な両者の重ね合わせになると予想される。しかしながら、今回測定した2層nSRRの場合、共鳴を示すディップが低周波側と高周波側の二か所に観測された。これは、nSRR間の相互作用が大きく作用しているために、2層nSRRを一つの複合系とした新たな共鳴ピークに分裂したことを示している。

次にこの共鳴周波数の、層間距離依存性を測定した。二つの共鳴周波数の位置は、距離を近づければ近づけるほど、高周波成分はより高周波側に、低周波成分はより低周波側にシフトすることがわかった。従って、その分離幅も増大した。全体として共鳴を示すディップの深さは低周波側のほうが深く、一方、Q値は低周波側のほうが高い傾向をしめした。

図3 2層 nSRR の S_{11} -周波数特性

4. まとめ

今回、nSRRを用いて2層構造を作製し、電磁波反射特性とその層間距離依存性を測定した。その結果、nSRRの相互作用により単層のnSRRとは異なる電磁波応答を観測した。相互作用の主たるものは、円環部分を貫く磁場成分であると予想されるがその詳細は分かっていない。今後は測定時に照射するパワーを変化させたときの電磁波反射特性とその層間距離依存性について調べる。

5. 参考文献

- [1] B. Wang, et al., Opt. Express, 16, 16058 (2008)
- [2] M. Lapine, et al., Rev. Mod. Phys., 86, 1093 (2014)
- [3] S. S. Seetharaman, et al., Phys. Rev. B **96**, 085426 (2017)