

非線形分割リング共振器と伝送線路の組み合わせによるセンサー応用の検討

Changes in electromagnetic wave propagation characteristics
using nonlinear split-ring resonator and Split line type transmission lines○阿久津崇¹, 永野直貴¹, 中山拓之¹, 胡桃聡², 鈴木薫², 松田健一²Takashi Akutsu¹, Naoki Nagano¹, Hiroyuki Nakayama¹, Satoshi Kurumi², Kaoru Suzuki², Ken-ichi Matsuda²

Abstract: : 本研究では、容量可変ダイオードを用いた非線形スプリットリング共振器 (nSRR) を作製し、その上部に伝送線路を用いて電磁波応答特性による共振特性を測定した。その結果、nSRRのサイズが大きくなるにつれて nSRR の共振周波数が低周波側にシフトすることが分かった。また、伝送線路に入力するパワーの増加に伴って、共振周波数が高周波側にシフトする領域があることが分かった。

1. 目的と背景

近年、化学薬品や生化学的な材料に関する分析や測定のための電磁波デバイスは精力的に研究されている。分割リング共振器(SRR)は、その構造の単純さや共鳴特性の測定のしやすさから、各種センサーへの応用が期待されている[1, 2]。

SRR は通常、金属からなる直径数 mm～数十 μm の環状構造をしており、その一部にスリットが挿入されている。そのスリット部分のキャパシタ成分(C)と環状部分のインダクタンス成分(L)によって LC 共振器として動作するため、特定の周波数(共振周波数)に対してインピーダンスが大きく変化する。しかし、このような SRR の場合、共振周波数は素子の形状によって決定してしまい、特性を変調することが難しい。そこで、SRR のスリットを円環上の2か所に設け、バラクタダイオードを並列に挿入した非線形スプリットリング共振器 (nSRR) が考案された[3]。これによって、スリット部分の容量成分としてバラクタダイオードの空乏層容量を利用することにより nSRR の周波数特性が制御可能となる。

本研究では、ストリップライン型伝送線路の S_{21} パラメータを測定することで、バイオセンサーに見立てた nSRR の電磁波応答特性を調べることを目的とした。特に、nSRR のサイズや、伝送線路への入力パワーに対する依存性を測定することを主たる目的とした。

2. 実験方法

図1に、本研究で作製したデバイスの基本構造図を示す。nSRR 部分は、やや矩形に近い円環上となっており、一辺の長さ(図中の X の長さ)が各々 19 mm, 22 mm, 30 mm の3種類を作製した。金属円環の厚さは 35 μm であり、円環上2か所にバラクタダイオード用のスリ

ット幅を設けた。また、ストリップライン型伝送線路の位置は nSRR と 0.2 mm のギャップを設けて設置した。

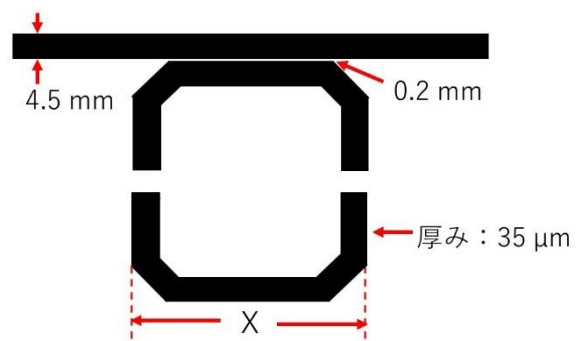


図1. 本研究で作製した nSRR の基本構造. 金属環部分(黒)は銅で出来ており、一辺の長さ: X , 厚み: 35 μm , スプリットライン型伝送線路とのギャップ: 0.2 mm, 環状部分の二か所にスリットが入っている. ($X = 19, 22, 30$ mm)

スリット部分に挿入するバラクタダイオードには、Skyworks 社製 SMV 1234-079LF を使用した。取付方向は、二つのスリット部分で極性が同じになるよう向きを揃えた。これは、円環上に誘導される電流が時計回り・反時計回りのどちらでも、必ずどちらかのダイオードが逆バイアス状態になるためである。図2には、実際に作製した nSRR の写真を示す。

接地面は裏側全面に配置されており、スプリットライン型伝送線路の両端には接続用プラグが配置されている。nSRR とスプリットライン型伝送線路は非接触であり、伝送線路側の S_{21} パラメータを測定することで nSRR 側の電磁波伝搬特性を検出するようにした。測定

には Tektronix 社製の VNA(TTR503A)を用いて測定した。

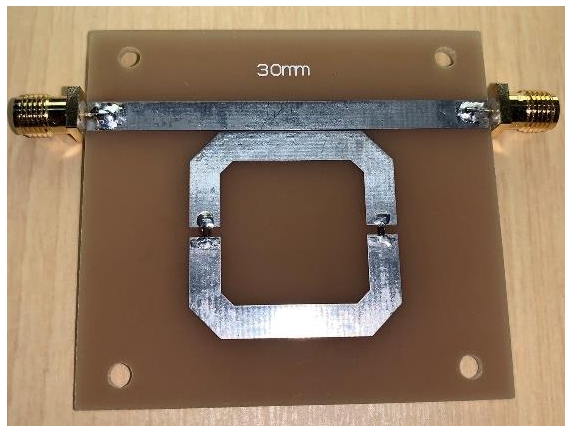


図 2. 実際に作製した伝送線路を用いた SRR (一辺の長さ 30mm 用)

3. 実験結果

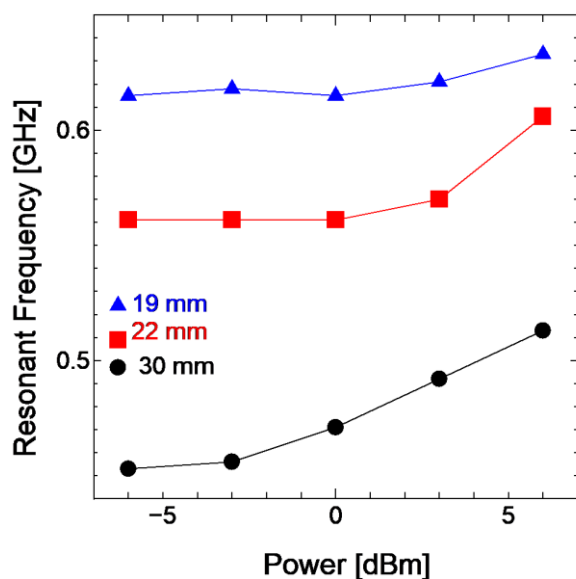


図 3. 伝送線路側の入力パワーに対する nSRR の共振周波数の変化. 3 つのサイズの異なる nSRR について示す.

図 3 に、今回作製した 3 つのサイズの nSRR について、それぞれの共振周波数を入力パワーに対してプロットした。nSRR のサイズが大きいほど共振周波数が低いことが観測された。これは、サイズが大きいほうが単純にインダクタ成分が大きくなることから予想される結果である。一方、パワー依存性については、サイズによって差異が見られる。すなわちサイズの大きい 30 mm の基板の場合は -3 dBm 付近の低いパワーから

変化が現れるが、サイズの小さい 19 mm や 22mm の基板の場合は +3dBm 付近の高いパワーまで変化が小さかった。

この結果は、バラクタダイオードの空乏層形成に起因していると考えられる。空乏層容量 C の値はバラクタダイオードにかかる逆バイアスの大きさにより変化する。これは伝送線路に入力するパワーが大きいくほど大きくなり、その結果、空乏層容量が減少して共振周波数の上昇をもたらす。それが生じやすいのは、伝送線路との結合が大きい 30 mm の nSRR であって、実際ほぼすべてのパワー領域で共振周波数の変化が観測されている。一方、小さな nSRR については伝送線路との結合が比較的に弱いために、弱いパワーの領域では変化が観測しづらいという状況が考え得る。それでも十分大きな入力パワーに対しては変化を生じる領域が見えてくる。

4. まとめ

今回、ストリップライン型伝送線路を用い、その近傍に nSRR を配置することで伝送線路側の電磁波伝搬特性の測定による nSRR 側の共振特性を測定した。その結果、nSRR の共振特性を測定することに成功した。サイズが小さい nSRR ほど共振周波数が高いという従来からの結果と同様の測定結果を得た。一方、パワー依存性については、伝送線路側との結合の大きさがポイントになるため、サイズが大きい nSRR ほど影響を受けやすいという結果が見られた。この辺りは、それぞれの応用によって使い分けの発生する領域であると考えられる。

5. 参考文献

- [1] T. Reinecke, J.-G. Walter, T. Kobelt, A. Ahrens, T. Scheper, S. Zimmermann: "Biosensor based on a split-ring resonator", DOI, Vol.10, No.5162, pp78~83, 2017
- [2] Martin Brandl and Lisa-Marie Wagner: "Microwave Oscillator Design for a SRR Based Biosensor Platform", Proceeding, Vol.2, No.865, pp1-4, 2018.
- [3] Bingnan Wang, Jiangfeng Zhou, Thomas Koschny, and Costas M. Soukoulis: "Nonlinear properties of split-ring resonators", Optics Express, Vol.16, No.20, pp16058-16063, 2008.