

ストリップライン型伝送線路による非線形分割リング共振器の電磁波応答特性の非接触測定 Non-Contact measurement of electromagnetic response characteristics of nonlinear split-ring resonator by a transmission line

○永野直貴¹, 阿久津崇¹, 中山拓之¹, 胡桃聡², 鈴木薫², 松田健一²
N. Nagano¹, T. Akutsu¹, H. Nakayama¹, S. Kurumi², K. Suzuki², K. -i. Matsuda²

Abstract: :本研究では, ストリップライン型伝送線路の電磁波応答特性の変化を利用し, 伝送線路近傍に配置された非線形分割リング共振器 (nSRR) の共振特性の測定を試みた. 環状構造をもつnSRRは, そのインダクタ成分及び容量可変ダイオードの空乏層成分によって, LC共振器と同様の特性を示す. 今回, サイズの異なるnSRRを用いて, 各々の伝送線路の S_{21} パラメータを測定することで, 共鳴周波数とサイズの関係性を測定することに成功したので報告する.

1. 背景と目的

近年では, 高周波を用いたセンサーデバイスの研究が盛んである. 拡大しているセンサー応用の中でも, 分割リング共振器を利用したバイオセンサー開発に着目した. [1,2]

特に, 共振器特性の制御が可能な構造である非線形分割リング共振器 (Nonlinear Split Ring Resonator: nSRR) は, これまでいくつかの電磁メタマテリアルなどにも用いられている構造であり [3], 構造が簡単で設計が容易であることなどから各種センサーへの検討もされている. 中でも化学薬品や生化学物質等の検出・分析にむけた研究が活発に勧められている.

この nSRR の共振特性の測定にはこれまでループアンテナが用いられることが多かった. 一方, 応用を検討する際には, 測定の容易さや高速動作, センサーデバイスの多様化を目指すため, 同一基板上へセンサー部と測定部の両端の配置が必要となる.

そこで本研究では, ストリップライン型伝送線路を用いて, その近傍に nSRR の構造を配置することで, 伝送線路側の電磁波伝搬特性の測定による nSRR 側の共振特性の測定を実現することを目的とした. 特に, 大きさの異なる nSRR に対する共振周波数のサイズ依存性と, 伝送線路側への入力パワーによる変化を測定することを目指した.

2. 実験方法

図1に, 本研究で作製したデバイス構造の基本構造を示す. nSRR の部分はやや短形に近い円環状となっており, 1辺の長さ(図1中の X の長さ)は, 各々19 mm, 22 mm, 30 mm の3種類を作製した. 円環部の太さは基板の厚みと誘電率に基づき4.5 mmとした. またその厚さは $35\ \mu\text{m}$ である.

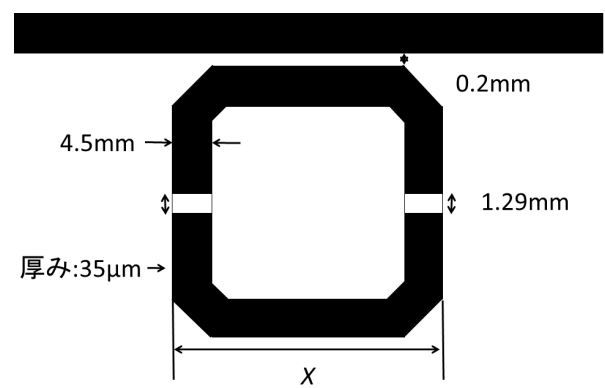


図1 本研究で作製した nSRR の基本構造. 金属環部分は銅で出来ており, 1辺の長さ: X (= 19 mm, 22 mm, 30 mm), 厚み: $35\ \mu\text{m}$, 幅: 4.5 mm. 環状部分の二か所にバラクタダイオード用のスリット (幅: 1.29 mm) が入っている. また, nSRR と伝送線路の間には 0.2 mm の隙間がある.

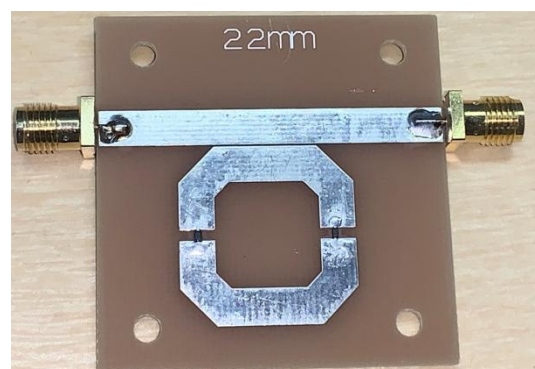


図2 実際に作製したストリップライン型伝送線路と nSRR ($X=22\ \text{mm}$)

1: 日大理工・学部・電気 2: 日大理工・教員・電気

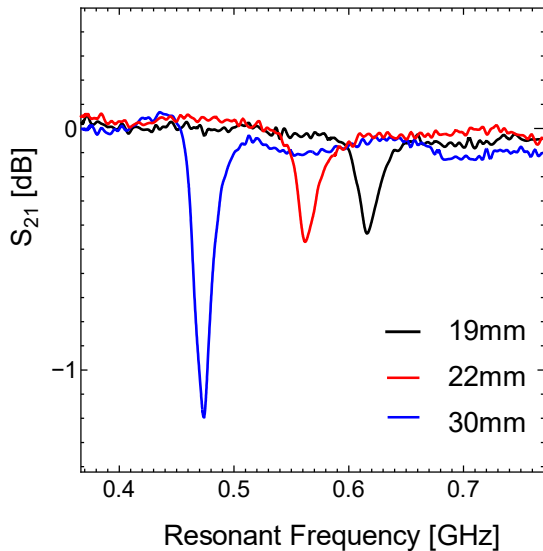


図3 サイズの異なる3種類のnSRRに対する測定結果. 入力パワーは0 dBm.

nSRRの上端の辺に、0.2 mmのギャップを設けて接するように、ストリップライン型の伝送線路を配置した。図2には、実際に作製したデバイスの写真（1辺の長さ：22 mmの場合）を示す。伝送線路の両端には測定系との接続用プラグが配置されている。また接地面は裏側全面に配置されている。伝送線路とnSRRは0.2 mmの隙間を開けているため非接触になっており、伝送線路側の S_{21} パラメータを測定することで、nSRR側の共振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。

3. 実験結果

図3に、伝送線路側の S_{21} -周波数特性を示す。測定時に入力した電磁波パワーは、この場合0 dBmとした。nSRRの1辺の長さが19 mmの場合には、0.615 GHzにnSRRの共鳴を示すディップが現れた。また、nSRRの1辺の長さを大きくすると、22 mmの場合は0.561 GHz、30 mmの場合は0.474 GHzにディップが現れた。このようなサイズに対する共鳴周波数の依存性は、従来から知られているnSRRの特性とよく一致している。図4には、共鳴周波数とnSRRのサイズの関係を示す。測定時の入力パワーは-6 dBmと0 dBmの2種類を採用した。どちらも、nSRRのサイズが長くなるにつれ共鳴周波数は低くなっている。入力パワーに対する依存性は、最も大きな $X=30$ mmのnSRRについてのみ見られているが、これは大きいデバイスのほうが伝送線路側との結合が強いことに起因していると予想される。

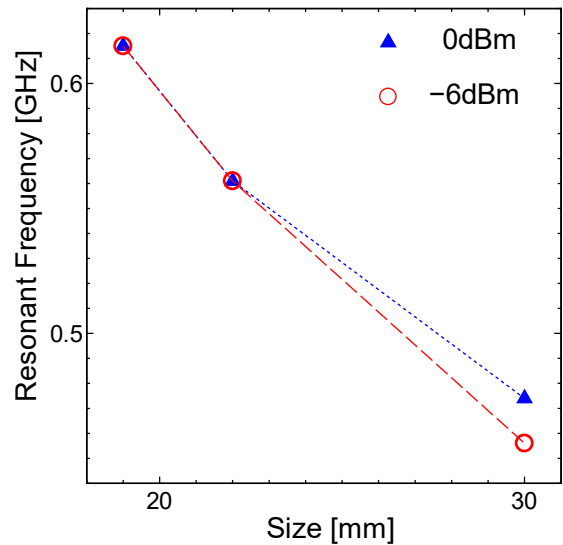


図4 nSRRの共鳴周波数のデバイスサイズ依存性と、測定時パワー依存性

4. まとめ

今回、伝送線路を用いて1辺の長さの違うnSRRに対し、電磁波応答特性を測定した。その結果、違う電磁波パワーにおいても、1辺の長さが小さいほど共鳴周波数は高く、大きいほど共鳴周波数は低くなった。このことから、やや直線的に共鳴周波数とサイズには依存性があることが分かった。

今後の研究にて、サイズ違いによる S_{21} パラメータのディップの関係性について調べる必要がある。

5. 参考文献

- [1] T. Reinecke, J.-G. Walter, T. Kobelt, A. Ahrens, T. Scheper, S. Zimmermann: "Biosenser based on a split-ring resonator", Proceedings Sensor 2017, A3 - Biosensors II, 78-83, (2017)
- [2] Martin Brandl, Lisa-Marie Wagner: "Microwave Oscillator Design for a SRR Based Biosensor Platform", Eurosensors 2018 Conference, 2(13), 865, November (2018)
- [3] Mikhail Lapine, Ilya V. Shadrivov, Yuri S. Kivshar: "Colloquium: Nonlinear metamaterials", REVIEWS OF MODERN PHYSICS, Vol.86, JULY-SEPTEMBER 2014