

## 非線形分割リング共振器センサーの伝送線路による応答測定：入力パワー依存性

nSRR based biosensor platform measured using microwave transmission line:

- Input power dependence of the resonant characteristics of nSRRs -

○中山拓之<sup>1</sup>, 阿久津崇<sup>1</sup>, 永野直貴<sup>1</sup>, 胡桃聡<sup>2</sup>, 鈴木薫<sup>2</sup>, 松田健一<sup>2</sup>H. Nakayama<sup>1</sup>, T. Akutsu<sup>1</sup>, N. Nagano<sup>1</sup>, S. Kurumi<sup>2</sup>, K. Suzuki<sup>2</sup>, K.-i. Matsuda<sup>2</sup>

Abstract: :本研究では、バイオセンサーへの応用を念頭に小型化および回路の簡易化を目的として1枚の基板で成り立つように容量可変ダイオードを用いたスプリットリング共振器 (SRR) を作製し、その上部に伝送線路を用いて電磁波応答特性を測定することによって、どのような形で応答波形が観測できるのかを確認した。

## 1. 研究の背景と目的

近年、高周波デバイスにおける研究、特にセンサー応用が注目されており、我々は、小型かつ消費電力をできる限り抑えるという実用的な面を目的としたスプリットリング(以下、SRR)共振器を用いたバイオセンサーに注目した。

SRR は、通常、直径数 mm~数十  $\mu\text{m}$  の金属製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構造である。環状部分のインダクタ成分(L)と、スリット部分のキャパシタ成分(C)、金属自身が持つ抵抗成分(R)によって RLC 共振器として動作するため、特定の共振周波数に対してインピーダンスが大きく変化する。この特性を利用して、電磁メタマテリアルの構成部品としてしばしば利用されてきた。一方、このような単純な SRR の場合、構造によって共振周波数がほぼ決まってしまう、デバイス作製後に変更や制御ができないという問題点を有していた。

そのため、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、SRR の周波数特性を可変とした非線形分割リング共振器 (nonlinear SRR: nSRR) が提案され様々に研究されている。これまでの我々の研究では、ループアンテナを nSRR 直上に配置して反射特性を見ることで共振を確認していた。しかし、応用上はこのような測定方法は測定ごとのばらつきが大きく、また固定するためには治具を必要とするなど好ましくない状況であった。

そこで本研究の目的は、伝送線路を利用した非接触型の新しい測定法を用いて nSRR の特性評価を行うことである。具体的には、ストリップライン型の伝送線路の  $S_{21}$  特性を測定することで、その近傍に配置された nSRR の共振特性を測定するという方法である[1,3]。

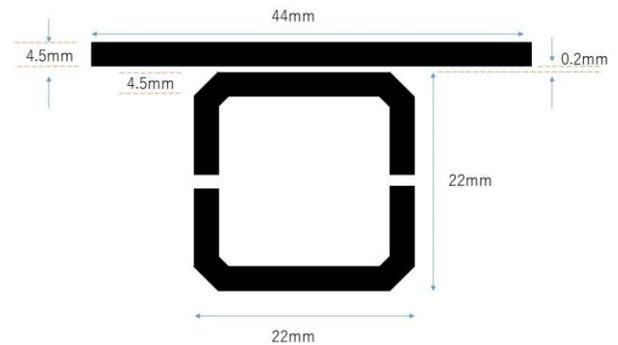


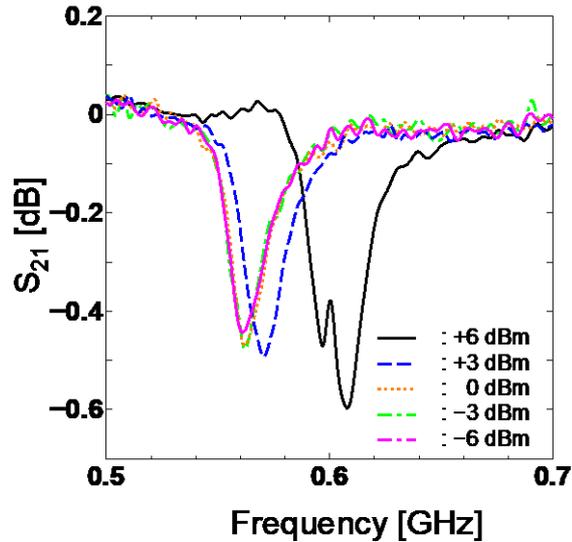
Figure 1: 本研究で作製した SRR の基本構造. 金属環部分 (黒) は銅で出来ており、一辺の長さ: 22 mm, 厚み: 35  $\mu\text{m}$ . 環状部分の二か所にスリット (幅: 0.7 mm) が入っている。

このような仕組みは、nSRR をバイオセンサーとするような応用上重要で、より簡素で高速、高感度な分析装置への使用には必要な技術である。

## 2. 実験方法

図 1 に、今回作製したデバイスの基本構造を示す。nSRR の部分はやや矩形に近い円環上となっており一辺の長さが 22 mm, 円環部の幅は基板の厚みと誘電率に基づいて 4.5 mm とした。またその厚さは 35  $\mu\text{m}$ , そしてその上端部分に、0.2 mm のギャップを設けてストリップライン型の伝送線路を配置した基板を作製した。

伝送線路と nSRR は非接触になっており、伝送線路側の  $S_{21}$  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)を用いた。

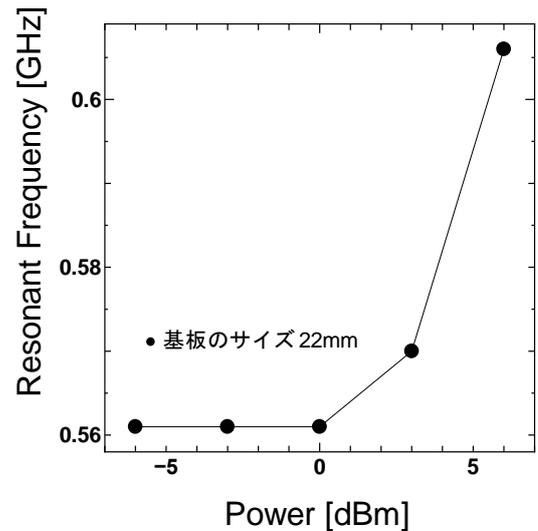


**Figure 2:** 伝送線路側の  $S_{21}$  特性に現れた nSRR の共鳴特性. 0.55 ~ 0.62 GHz 辺りに見られるディップが, nSRR の共鳴を示している. 高い入力パワーになるにつれてディップ位置が高周波側にシフトしている.

### 3. 実験結果

図2に, 伝送線路上の  $S_{21}$  パラメータの測定結果を示す. 背景のノイズは多いものの, 0.55 ~ 0.62 GHz あたりに, ディップが見られる. これは伝送線路近傍に配置された nSRR の共鳴ピークを表しているものと推測される. 従来のループアンテナを用いた測定と比較した場合, 信号の大きさは小さいが, それでも基本的な特性が測定できていることから, 今回の測定方法に一定の目途が立ったと言える. 測定は入力異なる5つの条件で行ったが, いずれも共鳴を示すディップが観測された. 一方, 共鳴周波数の位置はパワーに対して依存性を持っている.

図3には, 共鳴周波数-パワー特性を示す. 図から明らかのように 0 dBm 以下の入力パワーに対しては共鳴周波数の変化はほぼ見られなかったが, それより大きなパワーを入力すると急激に高周波側へのシフトが観測されるようになった. これは, nSRR に組み込まれたバラクタダイオードの空乏層容量のパワー依存性と関係していると考えており, 0 dBm 以下のパワーでは空乏層容量に変化が無いが, それより大きい場合には nSRR の円環上の誘導起電力によって空乏層が広がる効果が生じているものと推測される.



**Figure 3:** 辺の長さが 22 mm の nSRR についての共鳴周波数と入力パワーの関係. この場合, 0 dBm よりも大きなパワーを入力した際に顕著に高周波側への移動が観測された.

### 4. まとめ

本研究では, 伝送線路を用いた nSRR の共鳴特性測定を行った. 伝送線路側の  $S_{21}$  パラメータを測定すると, それに近接している nSRR の特性が反映されることが見出された. 感度はループアンテナを用いたときよりもまだ劣るが, 実験装置の簡便さなどの利点もあると言える. nSRR の共鳴ピーク位置は, 伝送線路側の入力パワーに対して変化しない領域と, 変化する領域があり, これはバラクタダイオードの空乏層変化と関係していると推測される.

### 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”, Proc. Sensor 2017, A3 - Biosensors II, 78, (2017)
- [2] Mikhail Lapine, Ilya V. Shadrivov, Yuri S. Kivshar, “Colloquium: Nonlinear metamaterials”, Rev. Mod. Phys., **86**, 1093 (2014)
- [3] Martin Brandl, Lisa-Marie Wagner, “Microwave Oscillator Design for a SRR Based Biosensor Platform”, Eurosensors 2018 Conf., **2**, 865 (2018)