

## 非線形スプリットリング共振器の共振周波数に対する光制御

### Optical control of resonant frequencies for nonlinear split-ring resonators

○前田博史<sup>1</sup>, 小山田祥太<sup>1</sup>, 二見隆晴<sup>1</sup>, 五十嵐健太<sup>2</sup>, 胡桃聡<sup>3</sup>, 鈴木薫<sup>3</sup>, 松田健一<sup>3</sup>  
 \*H. Maeda<sup>1</sup>, S. Oyamada<sup>1</sup>, T. Futami<sup>1</sup>, K. Igarashi<sup>2</sup>, S. Kurumi<sup>3</sup>, K. Suzuki<sup>3</sup>, K.-i. Matsuda<sup>3</sup>

**Abstract:** スプリットリング共振器は電磁波に対する共振特性を持ち、電磁メタマテリアル等への応用が期待されている。本研究では可変容量ダイオードを組み込んだ非線形スプリットリング共振器にフォトトランジスタを受光素子としたバイアス回路を作製した。それによって LED 光源の照度変化を用いて共振周波数が制御できることを見いだした。

#### 1. 研究背景

近年、自然界には無い電磁波応答特性（負の屈折率を持つ等）を示す電磁メタマテリアルの研究・開発が盛んに行われている[1]。電磁メタマテリアルの構成する要素の一つとしてスプリットリング共振器 (SRR) が挙げられる。SRR は図 1 (a) に示すような円環構造を持ち、特定の周波数に対する共振特性を示す素子である。

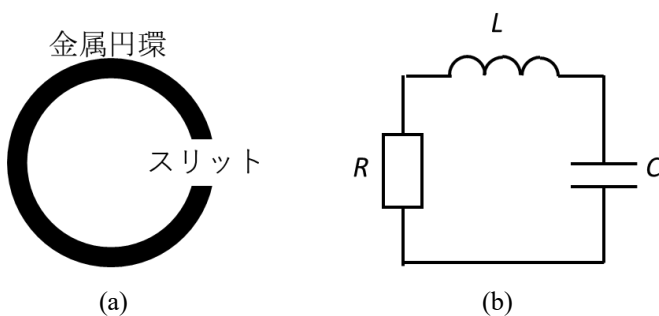


図 1 : (a) スプリットリング共振器の構造の一例

(b) スプリットリング共振器の等価回路

金属円環が一巻きコイルのインダクターとして動作し、また、スリット部分がキャパシターとして動作するため、SRR の等価回路は図 1 (b) に示した LC 直列共振器となる。従って、理想的な SRR の共振周波数  $f_0$  は

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

になる。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[2]。バラクタダイオードの空乏層容量を変化させることで共振周波数  $f_0$  の値が制御可能になることが分かる。

そこで本研究の目的は、円環状 nSRR に対して、フォトトランジスタを受光素子とした光制御バイアス回

路を接続し、外部光源によって nSRR の電磁波応答特性を変調することとした。

#### 2. 実験方法

本研究で作製した nSRR の設計寸法を図 2 に示す。円環の内径は 5 mm、線幅を 0.5 mm とした。スリットは 2 か所に設け、そこにバラクタダイオード (skyworks 社製 SMV1234-079LF) を並列に挿入した。

次に光制御のためのバイアス回路を図 3 に示す[3]。エミッタフォロワー部分に発生する電圧によってバラクタダイオードに逆バイアスが印加され、空乏層容量が変化する仕組みとなっている。

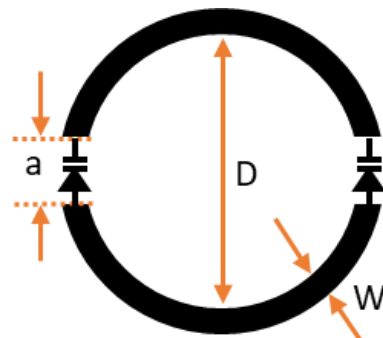


図 2 : スプリットリング共振器の設計寸法

D : 内径 5 mm, W : 円環幅 0.5 mm,

a : スリット幅 0.7 mm

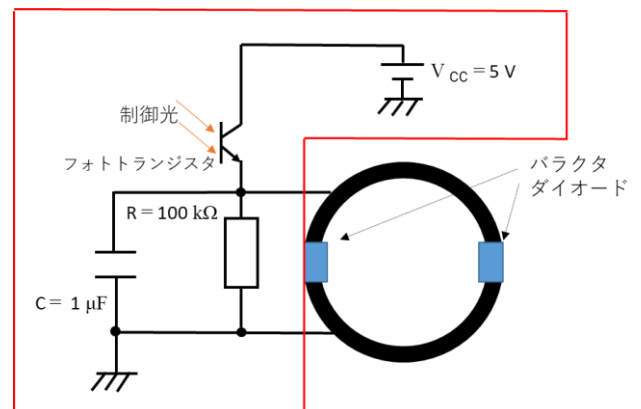


図 3 : 光制御用バイアス回路の回路図 (左側赤線内)

nSRR の電磁波反射特性 ( $S_{11}$ ) パラメーターの測定には、Tektronix 社製ベクトルネットワークアナライザ (TTR503A) を使用した。制御光源には、市販の白色系 LED ライトを用いた。

### 3. 測定結果

測定結果を図 4 に示す。ループアンテナから照射する電磁波の強度を -3 dBm で一定とした。

図 4 には nSRR の電磁波反射特性 ( $S_{11}$  パラメータ) を示す。3 つのデータはそれぞれ光源の照度が 0 lx (黒線), 37.2 lx (青線), 70.4 lx (赤線) である。各々、共鳴周波数を示すディップがあり、その共鳴周波数は光源の照度の増加に伴って高周波側にシフトすることが分かる。

図 5 には、外部光源の照度と共鳴周波数の関係を示す。図中の点線はガイドラインである。

LED 照射をしない場合の共鳴周波数は、およそ 0.62 GHz であり、照度を増加させていくと 0.66 GHz, 0.69 GHz へシフトした。変化の傾向は、この範囲内ではほぼ線形変化であって、ピークの分離もよいことから、制御性は良いものと考えられる。さらに広い範囲での制御を目指す場合、逆バイアス電圧に対するバラクタダイオードの空乏層容量変化が次第に小さくなってしまったため、共鳴周波数の変化量は小さくなってしまふと考えられる。

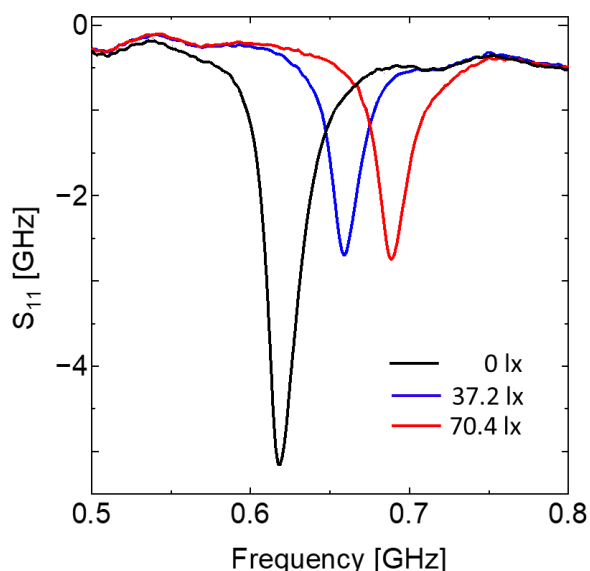


図 4 : 光制御 nSRR の電磁波反射特性と光制御性

### 4. まとめ

今回、nSRR の電磁波応答特性を外部光源によって制御することを試みた。フォトトランジスタを受光素

子として nSRR へのバイアス印加回路を作製し、光源の照度に対する nSRR の共鳴周波数変化を観測した。その結果、外部光源の照度の増加とともに、nSRR の共鳴周波数が高周波側にシフトすることを見出した。

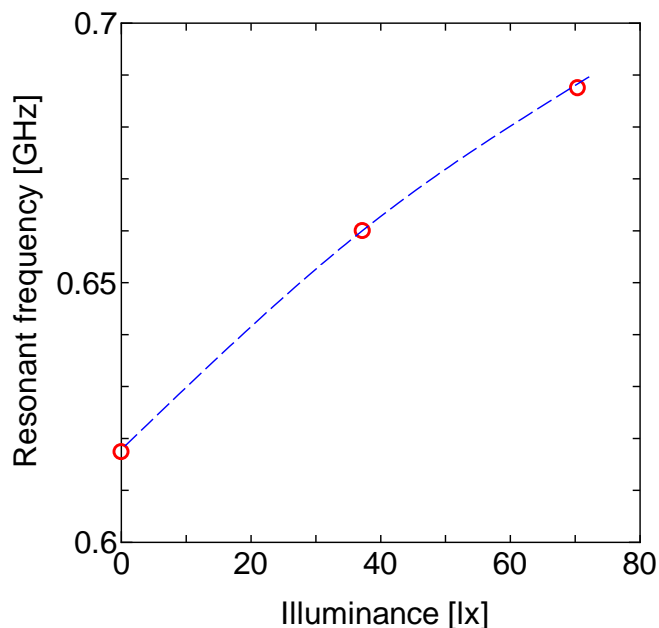


図 5 : nSRR の共鳴周波数—外部光源の照度依存性

### 5. 参考文献

- [1] M. Lapine, et al., : “Colloquium : Nonlinear metamaterials”, Rev. Mod. Phys, Vol. 86, No. 3, pp. 1093-1117, 2014.
- [2] B. Wang, et al., : “Nonlinear properties of split-ring resonators”, Opt. Express, Vol. 16, No. 20, pp. 16058-16063, 2008.
- [3] I. V. Shadrivov, et al., : “Metamaterials Controlled with Light”, Phys. Rev. Lett, Vol. 109, No. 8, pp. 083902, 2012.