

L-25

円形非線形スプリットリング共振器の光制御による共振周波特性 Optical control for a resonant frequency of round-shaped nonlinear split-ring resonator

○荒木拓海¹, 中村颯太¹, 長谷川航大¹, 前田博史², 鈴木薫³, 胡桃聡³, 松田健一³*Araki Takumi¹, Souta Nakamura¹, Koudai Hasegawa¹, Hirohumi Maeda², Kaoru Suzuki³, Satoshi Kurumi³, Ken-ichi Matsuda

Abstract: スプリットリング共振器は特定の周波数の電磁波に対する共振特性を持ち、電磁波デバイス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カプラを使用したバイアス回路接続してスプリットリング共振器の共振特性を可変なものとし、その特性を正確な測定によって明らかにすることを目的としている。

1. 研究背景と目的

スプリットリング共振器 (split-ring resonator : SRR) は特定の周波数を持つ電磁波に対して共鳴する共振器特性を示す。SRR は環状構造であるインダクター成分(L)とスリット構造であるキャパシタ成分(C)により LC 共振器と見なすことができる。その場合の共鳴周波数 f_0 は以下の式で与えられる。

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

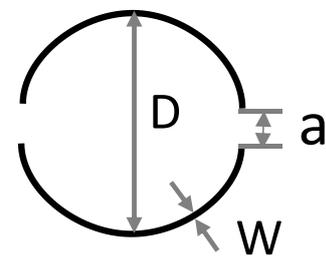
しかし、SRR の共振周波数は素子の形状によって決定されるため、応用上不便である。そこで、SRR の円環上にスリット部を2つ設け、そこにバラクタダイオードを挿入することで、外部から特性の変化を可能にした非線形スプリットリング共振器 (nonlinear SRR : nSRR) が考案された。バラクタダイオードの空乏層容量を変化させることで、共振周波数を変化させることができる。

本研究では、バラクタダイオードを使用した nSRR を作製し、アンテナからの電磁波の反射特性の測定を行う。また、受光素子を含むバイアス回路を用いた光制御によって nSRR の共振特性を制御する。

これまでの我々の研究では nSRR に接続するバイアス回路の受光素子にフォトランジスタを用いていたが、光源と受光素子の位置関係等の要因によって測定の再現性が欠けているといった問題点があった。そこで、光源及び受光素子両方の役割を担えるフォトカプラを使用することで再現性の高い電磁波応答の測定を目指した。フォトカプラ自体の光源の強さは測定できないため、そこに流す制御電流 I_F を指標とすることで制御する。



(a)



(b)

Figure1:(a)LCR 回路基板画像. (b)sprit-ring resonator: D:内径=5mm, W:線幅=0.5mm, a:スリット幅=1.3mm

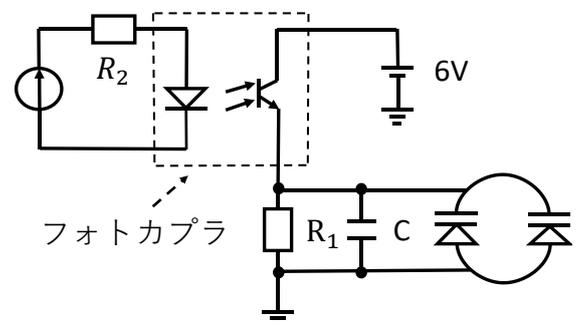


Figure2:フォトカプラを用いた制御回路

$$R_1 = 100 \Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1 \mu\text{F}$$

2. 実験方法

本研究で使用した nSRR の構造を Figure1(a)に示す。円環にはバラクタダイオード（スカイワークス社製 SMV1234-079LF）を使用し、並列に2つ挿入した。受光素子にはフォトカプラ（TOSHIBA TLP621）を使用した。それを用いて Figure2 に示すバイアス回路を作製し、共振周波数の測定を行った。

3. 結果

nSRR の測定結果を Figure3 に示す。ループアンテナからの電磁波の照射強度は-6dBm とする。フォトカプラの光源側には LED の明るさが電流に比例するため直流電流を用いる。Figure3における S_{11} は電磁波反射率を示し、Frequency は共振周波数を示す。また、図中に示した電流値はフォトカプラに流した I_F の値である。電流の値は 0.00mA~5.00mA まで 1mA 毎に計 6 回の測定を行った。 I_F の値を大きくするにつれて周波数は高周波へと推移していくことが分かる。さらに、 I_F を大きくすると、反射する電磁波の量はディップが深くなっていくため減少している。

Figure4 は共振周波数とフォトカプラに流した制御電流との特性を表している。電流値を大きくするにつれて周波数の値も増加し、等倍に増加しているように見える。実際に近似線の傾きを調べると以下のようになった。

基板 1 : 4.56×10^7 [Hz/mA]

基板 2 : 4.59×10^7 [Hz/mA]

基板 1 と基板 2 では 0.03×10^7 [Hz/mA] 程のずれは生じたが、ほとんど同様の特性であることが分かる。フォトカプラに流れる I_F を増加させると周波数が高域側へと推移する特性を持つことが図より読み取ることができた。基板 1 と基板 2 では同様の特性を持った基板を作成したが図を見ても同様の特性が得られると言える。

同様の特性の基板の測定結果から傾きを調べ、比較することでフォトカプラの正確性を見出した。光源をフォトカプラにすることで、外部からの影響や機械的な誤差を無くすることができるため、質の高い測定を可能にしていることが分かる。

4. まとめ

本研究では受光素子にフォトカプラを用いて nSRR の周波数特性を測定した。フォトカプラに流す電流を変化させることでそれに伴い共振周波数を制御することができた。また、2つの基板を作製し、測定結果が

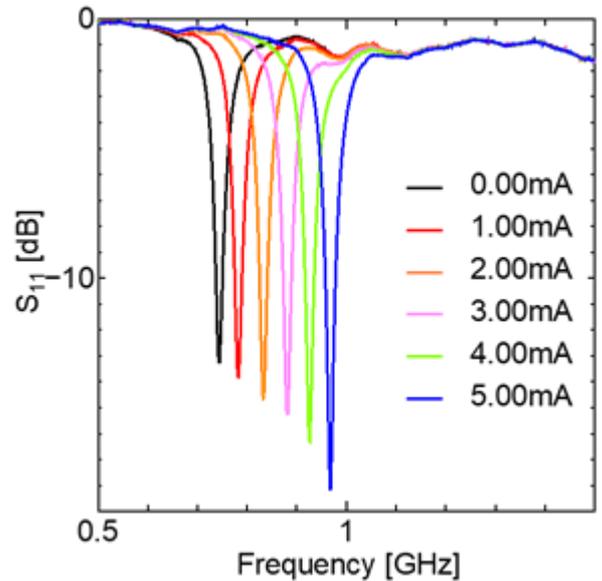


Figure3. S_{11} -Frequency characteristics for a signal nSRR

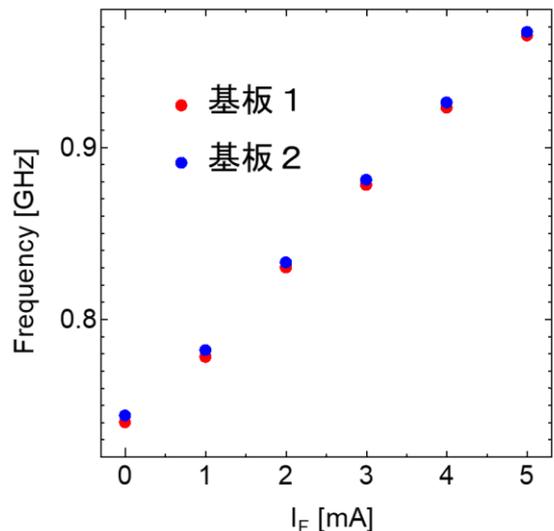


Figure4. Frequency-I characteristics

ら特性を解析することでフォトカプラの正確性を見出した。

今後の研究ではフォトカプラと2枚の基板を用いて2層の周波数の特性について調査を行っていく。

5. 参考文献

- [1] M. Lapine, et al., "Colloquium: Nonlinear metamaterials", Rev. Mod. Phys., 86, 1093 (2014).
- [2] V. Shadrivov, et al., "Tunable split-ring resonators for nonlinear negative-index materials", Opt. Express, 14, 9344(2006)