

## メタマテリアル効果を用いたマイクロ波プラズマでの高調波生成の効率化 (II)

### Efficient second-harmonic generation by microwave plasma with metamaterial effect (II)

○岩井 亮憲<sup>1</sup>, 中村 嘉浩<sup>1</sup>, 酒井 道<sup>1,2</sup> (1. 京都大院工、2. 滋賀県立大工)

○Akinori Iwai<sup>1</sup>, Yoshihiro Nakamura<sup>1</sup>, Osamu Sakai<sup>1,2</sup> (1. Kyoto Univ., 2. Univ. Shiga Pref.)

E-mail: a\_iwai@plasma1.kuee.kyoto-u.ac.jp

#### 1. はじめに

プラズマは非線形誘電体の性質を持ち、高強度入射電界との相互作用によって入射波の高調波が発生する。さらに、誘電率を電子密度で制御できる動的媒質でもあり、以上の観点でレーザーの発明以降盛んに研究されてきた[1]。しかし、プラズマは高強度電界の入射に伴い電子密度が上昇し、誘電率が負となって電磁波伝搬を妨げてしまう性質を有しており、従来はこの影響を受けない低密度領域での研究にとどまっていた[2]。これを解決する手法として、我々は二重分割リング共振器 (DSRR) アレイ等の負の透磁率を有するメタマテリアル[3]を用いることを提案し、マイクロ波帯において特異な伝搬[4]や高調波生成も含めた非線形性[5]について示してきた。本発表では、二次高調波生成に着目し、プラズマとメタマテリアルの複合性によって促進される非線形効果について報告する。

#### 2. 実験

DSRR アレイ (2.45 GHz :  $\mu_r = -2.6-0.3j$ , 4.9 GHz :  $\mu_r = 1$ ,  $\mu_r$  は比透磁率) を方形導波管内に設置した (Fig. 1)。周波数 2.45 GHz のマイクロ波 (< 500 W) 入射によりプラズマを生成し (Fig. 2)、Fig. 2 に示す各測定位置での 2.45 GHz・4.9 GHz のスペクトル強度をモノポールアンテナにて検出した。

#### 3. 結果

2.45 GHz 信号に対する 4.9 GHz の信号強度を取得し、そして電子密度が  $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$  程度である場合のみを抽出して、同条件の DSRR がない場合と比較して Fig. 3 に示す。DSRR 設置による高強度な二次高調波の誘起は、負透磁率によりカットオフ条件を越えてプラズマが高密度化されたことが一要因である。しかし、Fig. 3 より、電子密度に大きな差異が無くとも、DSRR の設置によって 100 倍に及ぶ 4.9 GHz 信号が検出されたことがわかる。これは、メタマテリアル自体の効果によっても二次高調波生成が促進されたことを示唆している。

**参考文献** [1] P. Gibbon, IEEE J. Quantum Electron. **33** (1997) 1915. [2] E. Takahashi, M. Mori, N. Yugami, Y. Nishida and K. Kondo, Phys. Rev. E, **65** (2001) 016402. [3] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins and W. J. Stewart, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., **47** (1999) 2075. [4] O. Sakai and K. Tachibana, Plasma Sources Sci. Technol. **21** (2012) 013001. [5] Y. Nakamura, A. Iwai and O. Sakai, Plasma Source Sci. Technol., **23** (2014) 064009.

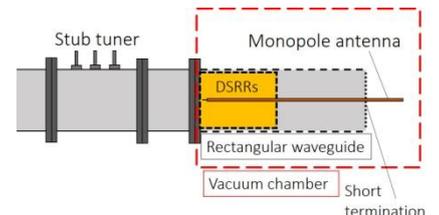


Fig. 1 Experimental setup.

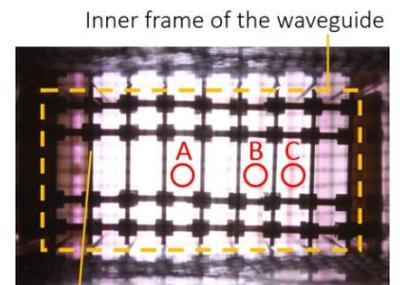


Fig. 2 Emission from plasmas with antenna positions for detection.

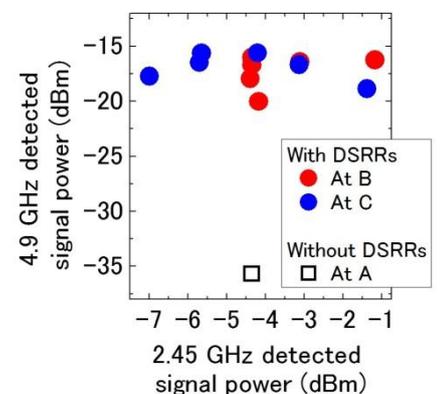


Fig. 3 Detected signals at 4.9 GHz as a function of 2.45 GHz.