

時間変調磁性メタマテリアルを用いたマイクロ波周波数変換

Microwave Frequency Conversion using Time-varying Magnetic Metamaterials

東北大高教機構¹, 秋田大院理工², 東北大多元研³, 東北大 CSIS⁴, 東北大院理⁵

○ 児玉 俊之¹, 菊池 伸明², 岡本 聡^{3,4}, 大野 誠吾⁵, 富田 知志^{1,5}

IEHE, Tohoku Univ.¹, Akita Univ.², IMRAM, Tohoku Univ.³, CSIS, Tohoku Univ.⁴,

Dept. of Physics, Tohoku Univ.⁵, ○Toshiyuki Kodama¹, Nobuaki Kikuchi²,

Satoshi Okamoto^{3,4}, Seigo Ohno⁵, Satoshi Tomita^{1,5}

E-mail: tkodama@tohoku.ac.jp

負屈折率媒質や隠れ蓑のように誘電率(ϵ)や透磁率(μ)を空間的に制御するメタマテリアルに対して、 ϵ や μ を時間領域で制御する時間変調メタマテリアルが関心を集めている。時間変調メタマテリアルでは、 ϵ や μ の変調周期で入射電磁波の周波数が変換される。可視-近赤外光において ϵ を制御する従来の手法に対して[1], マイクロ波において μ を時間変調することを我々は提案している[2]。今回、伝送線路と強磁性金属パーマロイ($\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$)から構成される時間変調磁性メタマテリアルを用いて、マイクロ波の周波数変換を直接観測したので報告する。

Fig. 1(a) にスパッタリング成膜とフォトリソグラフィーで作製した μ 時間変調メタマテリアルの光学顕微鏡像を示す。Fig. 1(b) は(a)の拡大図である。まず非ドープシリコン基板に厚さ 200 nm の金(Au)で蛇行線路を作製する。次に蛇行線路を覆うように、厚さ 200 nm のガラス(SiO_2)を成膜する。その上に、蛇行線路と垂直な方向に並行伝送線路(CPW)を厚さ 200 nm の Au で作製する (Fig.1(a)(b)の赤色領域)。最後に厚さ 250 nm の $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ を蛇行線路と CPW が交差する領域に成膜する (Fig.1(b)の緑色領域)。

電磁石で 26.7 mT の外部磁場を $-x$ 方向に印加する。4.0 GHz のマイクロ波電流を CPW に流し、スペクトラムアナライザで分析した透過波を Fig. 1(c) の緑線で示す。CPW に流した信号が 4.0 GHz に見られる。ここで、蛇行線路に $f_{\text{mod}}=10$ MHz の交流電流を流したときの透過波を (c) の青線で示す。4.0 GHz $\pm$ 10 MHz に変換波が得られている。また f_{mod} が 15 MHz, 20 MHz の場合も赤線と黒線で示すように、4.0 GHz $\pm f_{\text{mod}}$ に変換波が得られている。この周波数変換は、蛇行線路から発生する x 方向の f_{mod} の交流エルステッド磁場によって、 $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ の μ が時間変調されたためと考えられる。

本研究は JST-CREST(JPMJCR 2102) によって支援されている。東北大の金森義明教授との有益な議論に感謝する。[1] Y. Zhou et al., Nat. Commun. 11, 1 (2020). [2] T. Kodama et al., PRAppl. 19, 044080 (2023), PRB. 109, 214419 (2024)

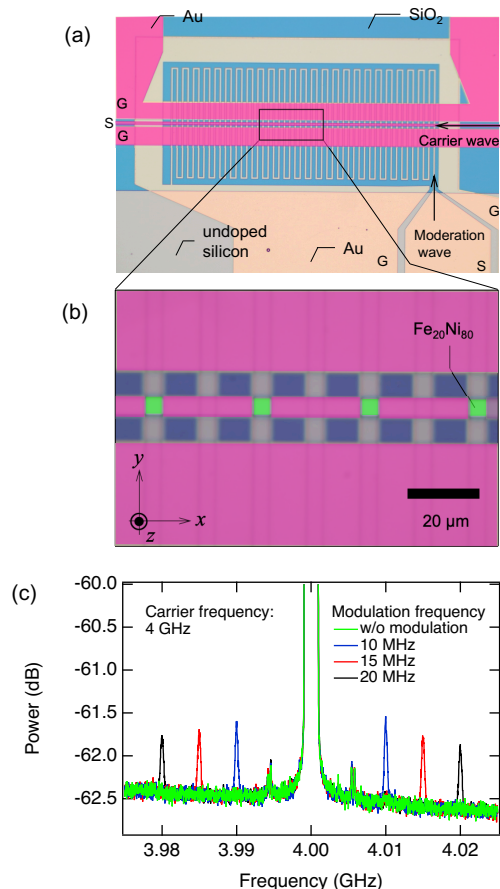


Fig 1: (a) Sample and (b) enlarged photograph. (c) Transmission spectra with various modulation frequencies.