

メタマテリアル構造をアンテナ電極に用いた 100GHz 帯電気光学変調器

100GHz-Band Electro-Optic Modulators Utilizing Meta-Material Structures for Antenna-Coupled Modulation Electrodes

大阪大学 大学院基礎工学研究科 西岡 隼也 村田 博司 岡村 康行

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Jun-ya Nishi-oka, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura

E-mail: murata@ee.es.osaka-u.ac.jp

100GHz 超のミリ波/テラヘルツ波帯は、次世代大容量通信やリモートセンシング、分子指紋による有機物分光等において非常に重要である[1]。ミリ波/テラヘルツ波帯はケーブル伝送における損失が大きいため、Radio-Over-Fiber (ROF) 技術により光信号として伝送・中継する方法が有効である。しかし、100GHz 帯以上の無線信号を光信号に変換する技術は未確立である。本稿では、メタマテリアル構造である結合スプリットリング共振器アレイを用いた 100GHz 帯超高速電気光学変調器の提案・基本動作実験について報告する。

提案するメタマテリアル構造100GHz帯電気光学変調器の基本構造をFig.1に示す。基板にはz-cut LiTaO₃あるいはLiNbO₃を用いる。基板上にSiO₂バッファ層を介して、金属薄膜からなるスプリットリング共振器 (SRR) アレイを作製する。SRRのギャップあるいはエッジの領域の下部に直線光導波路を作製する。さらに、光波走行時間効果による変調効率の低下を補償するために周期分極反転構造を作製する。このデバイスの上部から100 GHz帯の平面電磁波を照射すると、特定の周波数で零次共振と呼ばれるメタマテリアル構造特有の共振モードが励振される。特に、照射された平面波がスプリットリングのギャップに対して垂直な偏波を持つ場合は、ギャップの領域に電界が集中するモードが生じる。この強い共振電界による屈折率変化を用いることで、無線信号によって動作する超高速電気光学変調器として動作する。進行波型電極光変調器や従来型のアンテナ電極光変調器ではミリ波帯以上の周波数で基板モード等による不要モード共振が生じやすいが、本デバイスは基板表面を金属の稠密なアレイ構造で覆った構造であるために、所望の共振周波数以外においては電磁界が基板に侵入しにくく、不要モード共振が抑制されるという特長がある。

プロトタイプデバイスの解析、設計、試作を行った。メタマテリアル構造の解析には 3 次元電磁界解析シミュレータを用いた。基板には 0.3mm 厚の z-cut LiTaO₃を用いて、周期分極反転構造 (周期 ~ 1.56 mm)、アニールプロトン交換光導波路 (動作波長 $\lambda=1.55\mu\text{m}$, コアサイズ $\sim 3\times 1.6\mu\text{m}$)、SiO₂ バッファ層 (厚さ $0.2\mu\text{m}$) を作製した。さらに、フォトリソグラフィーにより Al 薄膜 SRR アレイ (SRR 周期 $l=220\mu\text{m}$, 外半径 $r_o=107\mu\text{m}$, 内半径 $r_i=35\mu\text{m}$, ギャップ幅 $g=5\mu\text{m}$) からなるメタマテリアル構造を作製した。試作したデバイスの上部から 100GHz 帯ミリ波無線信号 (送信電力 $\sim 10\text{mW}$) を照射したところ、出力光に明瞭な変調サイドバンドを確認した (Fig. 2)。変調周波数特性やミリ波信号の偏波に対する依存性は理論値と良い一致を見た。

参考文献: [1] N. Horiuchi, *Nature Photonics*, vol. 6, no.2, pp. 82-83, 2012.

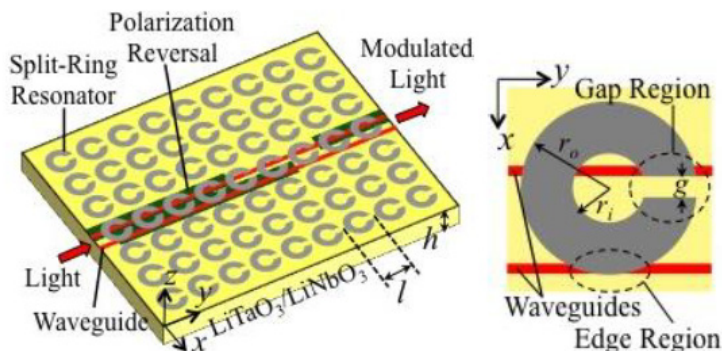


Fig. 1. The structure of the proposed 100GHz EO modulator.

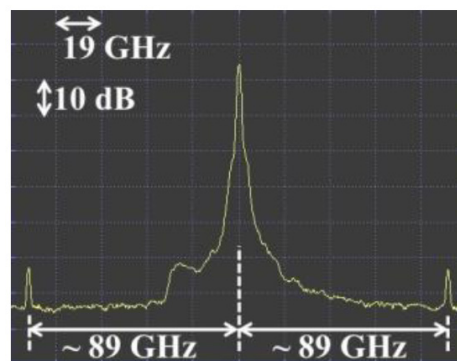


Fig. 2. The measured optical spectrum.