

29p-B3-14

微細金属構造をもつ導波路型光デバイスにおける相互作用距離の解析 Optical Waveguide Analysis with Nano-scale Metal Structure

東京工業大学 量子ナノエレクトロニクス研究センター¹, 電子物理工学専攻², 電気電子工学専攻⁴
理化学研究所 田中メタマテリアル研究室³

○雨宮 智宏¹, 金澤 徹², 石川 篤³, 明賀 聖慈⁴, 村井 英淳⁴, 進藤 隆彦⁴, 姜 峻炫⁴,
西山 伸彦⁴, 宮本 恭幸², 田中 拓男³, 荒井 滋久^{1,4}

¹Quantum Nanoelectronics Research Center, ²Department of Physical Electronics, ⁴Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology, ³Metamaterials Laboratory, RIKEN

○Tomohiro Amemiya¹, Toru Kanazawa², Atsushi Ishikawa³, Seiji Myoga⁴, Eijun Murai⁴, Takahiko Shindo⁴, JoonHyun Kang⁴, Nobuhiko Nishiyama⁴, Yasuyuki Miyamoto², Takuo Tanaka³, and Shigehisa Arai^{1,4}

E-mail: amemiya.t.ab@m.titech.ac.jp

1. はじめに

我々は導波路型光素子とメタマテリアルを融合することで、光通信帯において透磁率を制御することを考えている[1]。メタマテリアルに限らず、導波路型光素子内に周期的な微細金属構造があるようなモデルを仮定した場合、導波モードも含めてFDTDなどでその全てを解析することは、計算時間の関係で困難となる。そこで本研究では、そのような構造（特に金属構造と電磁波の相互作用により周辺の電磁界分布が変化するものが適当である）を有する導波路型光素子の解析手法を提案する。本方法を実際に前回報告した素子[2]に適用し、比較的容易に解析が可能であることを示したのでご報告する。

2. 解析手法と実際のデバイスへの適用

はじめに金属周期構造のユニットセルあたりの電磁界解析を行い、それによって金属構造近傍における等価的な屈折率を導出する。その後、それらのパラメータを用いて実際の導波モード解析を行う。本解析手法を用いるに当たって、仮定するモデルが以下の要件を満たす必要がある: (a)導波モードの中心が伝搬に伴って大きく変化しない(金属構造に引きずられない)、(b)金属の周期構造自体が強いグレーティング効果を及ぼさない。

Fig. 1に解析に用いたメタマテリアルのユニットセルを示す[2]。高さ75nm、幅50nmのn-GaNAs ($5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) / InP FIN構造に10nmのAl₂O₃を介して微小金属リングが配置されている。Aはリング周期、Wは素子幅であり、デバイス構造を決定した時点で固定されるパラメータである。dは金属と電磁波の作用距離であり、このパラメータを変えることで、実験値との比較を行う。

はじめにユニットセルあたりの有限要素法電磁場解析を行い、TEモード電磁波のSパラメータを導出する。その後、論文[3]に従って等価的な物質パラメータを導出した。Fig. 2にdを500nmに設定したときの等価的な透磁率と屈折率の実部を示す。金属構造が共振していない1800nm以上の波長においては、透磁率はほぼ1であり、屈折率についても各材料のFilling factorから計算できる値(=2.35)とほぼ同じになった。一方、共振が見られる領域(1200-1600nm)においては、透磁率と屈折率ともに変化しており、バイアス電圧印加に伴って1550nmにおいて2.85から2.75の変化が得られた。

3. 解析結果

前節で得られた屈折率を用いることで、実際に前回報告したMZ型変調器[2]の導波モード解析を行った。Fig. 3は、1550nmの入射光に対して電圧印加に伴う透過強度の変化を示したものである。Fig.

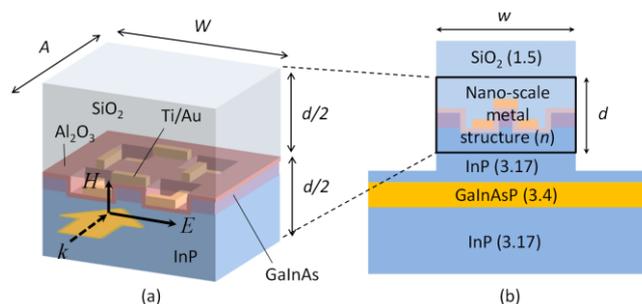


Fig. 1. Optical waveguide analysis with nano-scale metal structure

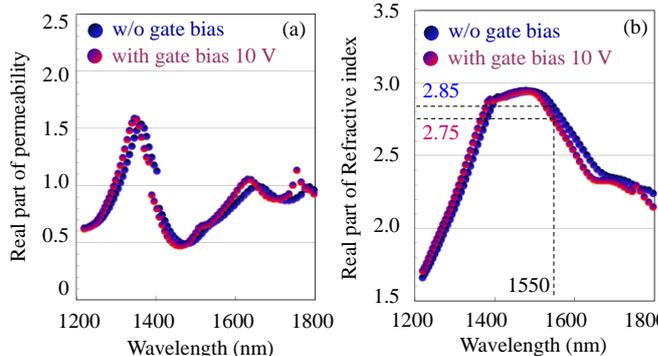


Fig. 2. Real part of refractive index (a) and permeability (b) of Tri-gate metamaterial unit cell.

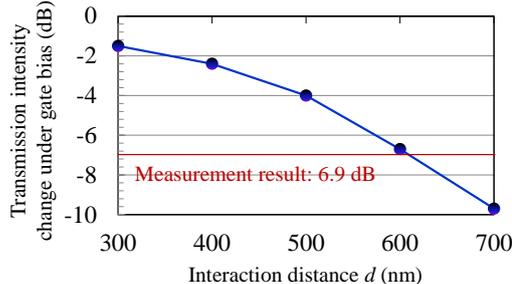


Fig. 3. Transmission change as a function of distance d .

1における d をパラメータとしてプロットしている。前回得た6.9dBの実験値[2]と比較することで、本メタマテリアルと入射電磁波の相互作用距離 d はおよそ600nm程度であると結論付けられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費(#24246061, #24656046, #22360138, #21226010, #23760305) の援助により行われた。

<参考文献>

- [1] T. Amemiya et al., Optics Lett. **37**, 2301 (2012).
- [2] 雨宮智宏 他, 第73回秋季応物 13p-C5-3 (2012).
- [3] D. R. Smith et al., PRE **71**, 036617 (2005).