20p-F8-5

ギャッププラズモンと ITO を利用した GaInAsP/InP GSPP 変調器の特性解析 Theoretical Analysis of GaInAsP/InP GSPP Modulator with ITO Thin Film

○村井 英淳¹, 雨宮 智宏², 顧 之琛¹, 西山 伸彦¹, 荒井 滋久^{1,2}
○Eijun Murai¹, Tomohiro Amemiya², ZhiChen Gu¹, Nobuhiko Nishiyama¹, and Shigehisa Arai^{1,2}
東京工業大学 電気電子工学専攻¹ 量子ナノエレクトロニクス研究センター²

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, ²Quantum Nanoelectronics Research Center,

Tokyo Institute of Technology

E-mail: amemiya.t.ab@m.titech.ac.jp, http://www.pe.titech.ac.jp/AraiLab/index.html

1. はじめに

金属表面を伝搬する電子密度波(プラズモン)を利用する ことで、回折限界を超えたナノスケール領域への光の閉じ込 めが可能になる。近年、この現象を利用することで各種素子 をナノスケール領域に一括集積するプラズモニック光集積 が提案されている[1]。本概念において重要な構成要素の一 つはプラズモン変調器であり、超小型(~µm)で十分な消 光比を実現する目的から ITO を用いたものが報告されてい る[2]。しかし、それらの多くはシリコンを主材料とした TM モード変調器であり、化合物半導体をベースとした TE モー ドを有するプラズモンンナノレーザとの一括集積には適さ ない。

そこで本稿では、GaInAsP/InP ギャッププラズモン(Gap Surface Plasmon Polariton: GSPP)変調器を提案し、その特性 解析を行った結果、駆動電圧 3V において最大 20dB/µm の消 光比が得られることが明らかとなったので、ご報告する。

2. プラズモン変調器の構造と解析

提案する電界吸収型プラズモン変調器の断面構造をFig.1 (left)に示す。層構造としては、バンドギャップ波長1.22 µm のi-GalnAsP (Fig. 1 領域 2)の上下をi-InPとn-InP (Fig. 1 領域1と3)で挟んだ形となっている。コア層の両側にサイ ドエッチを入れたハイメサ導波路をITO薄膜層およびAl₂O₃ 薄膜層を介して金属(Au)で挟むことで、ギャッププラズ モン(Gap Plasmon Polariton: GPP)モードが励振されるよう にした。これによりITO薄膜層に効率的な光閉じ込めを行 うことができる。ここで、素子上部から順バイアス印加行い、 ITO薄膜層に下部n-InPからキャリアを引っ張ることで光変 調を行う。

ITO のキャリア濃度に対する屈折率と吸収係数変化の計算結果をFig.1 (right) に示す。II-VI 族ワイドギャップ半導体のプラズマ周波数の関係上、ITO のキャリア濃度を変化させることで光通信周波数帯において半導体 like から金属 like な光学特性へ大きく変化させることができ、これを利用して高い変調効率を得ることが可能となる。

半導体デバイスシミュレータ(TCAD)によるキャリア解 析および有限要素法を用いたモード解析によって、素子特性 を計算した結果をFig.2に示す。キャリア濃度が低いAの領 域(印加電圧<1V)では両サイドのAuによるGPPモードに より低損失(0.75dB/µm)の伝搬が可能となる。キャリア濃 度を増やしたBの領域(1V<印加電圧<1.5V)では、ITO層 の屈折率が低下することによる散乱モード伝搬となる。さら にキャリア濃度を増やしたCの領域(印加電圧>1.5V)にお いては、ITOの誘電率が負(金属化)になるため強いGPP モードが励振され、金属へのモード閉じ込めが大きくなるた め、10dB/µm以上の大きな伝搬損失が得られる。

3. まとめ



Fig. 1 (left) Device Structure (1&3: w=500nm, h=400nm, 2: w=300nm, h=200nm) (right) Optical properties of ITO



Fig. 2 Transmittivity as a function of Career concentration

	SPP EA	SPP AM	GSPP EA
研究グループ (発表年度)	UC Berkeley, (SPIE Proc., 2013)	Karlsruhe Inst. of Tech. (Optics Express, 2011)	Tokyo Inst. of Tech. (N/A)
材料系	ITO/Silicon	ITO/Silicon	ITO/III-V
電圧印加時 消光比	1dB/µm	2.2dB/µm	5dB/µm (最大 20dB/µm)
Off時 伝搬損失	1dB/µm	2dB/µm	0.75dB/µm
駆動電圧	4 V	4 V	3 V
動作偏波	TM	TM	TE

Fig. 3 Plasmonic modulator specification table

まとめとして、現在報告されているデバイスとの比較表を Fig. 3 に示す。ITO を両サイドから挟むことで GPP 効果を得 られる構造とし、TE モード光において最大 20dB/µm の消光 比を得られることを示した。

謝辞:本研究は文部科学省科学研究費補助金#24246061, #24656046, #2570926, #21226010, #25420321の助成を受けた。

参考文献

- [1] V.J.Sorger et al., MRS BULLETIN **37**, 728-738 (2012).
- [2] A.Melikyan et al., OPTICS EXPRESS **19** (9), 8855-8869 (2011).