フォトニック結晶型 InGaAsP-EA 変調器における動作エネルギーの見積もり

Estimation of operation energy for photonic-crystal InGaAsP electro-absorption modulators

NTT ナノフォトニクスセンタ [1]，NTT 物性基礎研 [2]，NTT 先端集積デバイス研 [3]
○野崎謙悟 [1,2]，松尾慎治 [1,3]，藤井拓郎 [1,3]，武田浩司 [1,3]，新家昭彦 [1,2]，倉持栄一 [1,2]，納富雅也 [1,2]

NTT Nanophotonics Center[1], NTT Basic Research Labs.[2], NTT Device Technology Labs.[3]
°K. Nozaki[1,2], S. Matsuo[1,3], K. Takeda[1,3], T. Fujii[1,3], A. Shinya[1,2], E. Kuramochi[1,2], and M. Notomi[1,2]
E-mail: *nozaki.kengo@lab.ntt.co.jp*

我々は III-V 族系オンチップ光ネットワークと CMOS メニーコアアーキテクチャの融合に向けて, 小型かつ低エネルギーの光電変換の実現を目指している．これまで，微小な埋込みヘテロ(BH)構造をもつフォトニック結晶(PhC)導波路や共振器を用いた電界吸収型変調器(Electro-absorption modulator, EAM)を作製してきた [1]. 非線形媒質として InGaAsP(1.45Q)を埋め込んでおり，横方向 pin 接合により Franz-Keldysh 効果を利用した 40 Gbit/s 変調特性などを示した(Fig. 1). 本構造では，特にその fF オーダの低いデバイス容量と 1 V_{pp} 程度の低い動作電圧のため, 光変調時の充放電エネルギーを低減できることが利点である. その一方で，光変調器では，情報送信に必要な光エネルギーや，光電流の散逸エネルギーなど，複数の要因が全動作エネルギーを決めるため [2]，これを評価することは将来的に高い光集積度を目指すうえで重要である．

本報告では，35, 70, 105 μm 長の PhC-EA 変調器に対して NRZ-PRBS 信号で強度変調を行い, 3 dB 消光比が得られるときのビットあたりの平均動作エネルギーの見積もりを示す．ここでは，将来的にチップ上への集積化を想定して，実験で用いた電極パッドによる容量成分や，PPG とのインピーダンス整合用の 50 Ω抵抗に流れる電流成分は含めず, デバイス内部での動作エネルギーを求めた．

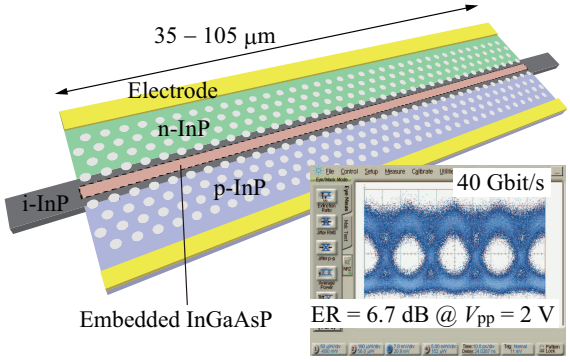


Fig. 1 Device structure and modulator eye diagram for 40 Gbit/s NRZ signal.

Table 1 に各動作エネルギーの内訳を示す．それぞれ(i)デバイス容量への充放電エネルギー(E_{ch})，(ii)光情報送信に要する光エネルギー(E_{opt})，(iii)光吸収キャリア(光電流)の緩和過程に伴う散逸エネルギー(E_{ext})である．詳細な見積もり方法 [2]は発表時に述べる．全動作エネルギーは，変調器から送信されるべきビットあたりのエネルギーE_{bit}に依存するが，これを 1 fJ/bit と仮定したとき最小値は 6.6 fJ であった．比較として SiGe/Ge 量子井戸 EA 変調器 [3] (長さ 10 μm，容量 C = 3 fF, 信号電圧 V_{pp} = 1 V)では，充放電エネルギーの最小値 E_{ch} = 0.75 fJ が報告されている一方で，E_{opt}, E_{ext} を含めると 10 fJ 以上である．特に，高い逆方向電圧下では E_{ext} 増加の影響が強く，我々の EA 変調器では順方向電圧領域で動作できる点が低エネルギー化に寄与していると考えられる．

Table 1 Summary for capacitance, signal voltage, and energy consumption

Length L_{EAM}	35 μm	70 μm	105 μm
Capacitance C	5 fF	9 fF	13 fF
Swing voltage (V_{pp})	−1.5-+0.5V (2.0 V)	−0.5-+0.5V (1.0 V)	−0.2-+0.5V (0.7 V)
(i) Charging energy E_{ch}	5.0 fJ	2.2 fJ	1.6 fJ
(ii) Optical energy E_{opt}	$5.0E_{bit}$		
(iii) Dissipation energy by external voltage E_{ext}	$0.51E_{opt}$	$0.12E_{opt}$	0
Total energy E_{total} (for E_{bit} = 1 fJ)	E_{ch}+$7.6E_{bit}$ (12.6 fJ)	E_{ch}+$5.6E_{bit}$ (7.8 fJ)	E_{ch}+$5.0E_{bit}$ (6.6 fJ)

本研究の一部は JST, CREST の支援を受けたものである．

参考文献

1) K. Nozaki, et al., CLEO-PR, 27P2-69 (2015)
2) D.A.B. Miller, Opt. Exp. **20**, A293 (2012)
3) S. Ren, et al., IEEE PTL, **24**, 461 (2012)

© 2016年 応用物理学会