

# COOC 2019

## 제26회 광전자 및 광통신 학술회의

The 26<sup>th</sup> Conference on Optoelectronics  
and Optical Communications

2019년 6월 3일(월) - 5일(수) / 부산 해운대 한화리조트

### 협찬

Lumerical Inc. · (주)성경 포토닉스 · 한화시스템  
한국전자통신연구원 · (주)싸이팜 · 안리쓰코퍼레이션(주)  
(주)유니오텍 · (주)젠프로 · 텔레다인르크로이 코리아 · (주)팬옵틱스  
광주과학기술원 고등광기술연구소 · (주)캠옵틱스  
서울시립대학교 정보기술연구소

### 공동주최

한국광학회(OSK) 광자기술분과  
한국통신학회(KICS) 광통신연구회  
대한전자공학회(IEIE) 광파 및 양자전자연구회  
대한전기학회(KIEE) 광전자 및 전자파연구회





	마나롤라 (3F)	베르나차A (3F)	베르나차B (3F)	코닐리아 (3F)	리오마조레 (3F)
<b>6월 3일(월)</b>					
Poster Session I (몬테로소 B1F)					
13:30	단기강좌 I	M1-A I	M1-B I	M1-G I	M1-F I
15:00	초실감 이머시브 미디어 기술 개요 및 개발 현황 연사: 서정일(ETRI)	광통신 시스템 및 네트워크 I	광섬유 및 레이저 I	나노포토닉스/THz I	광응용 I
	좌장: 정환석(ETRI)	좌장: 김성만(경성대)	좌장: 이광조(경희대)	좌장: 김경호(충북대)	좌장: 정 훈(한국생산기술연구원)
Coffee Break					
16:30	단기강좌II	M2-E I	M2-C I	M2-D I	M2-H I
16:45	초단펄스 광섬유 레이저 연사: 이주한(서울시립대)	바이오 포토닉스 I	광소자 I	광정보처리 및 디스플레이 I	양자정보 I
	좌장: 이광조(경희대)	좌장: 김영진(난양공과대)	좌장: 정일석(UNIST)	좌장: 박민식(ETRI)	좌장: 정호중(KIST)
<b>6월 4일(화)</b>					
09:00	단기강좌III	T1-A II	T1-B II	T1-D II	T1-F II
09:00	양자암호통신 기술 원리, 현황 및 전망 연사: 윤천주(ETRI)	광통신 시스템 및 네트워크II	광섬유 및 레이저II	광정보처리 및 디스플레이II	광응용II
	좌장: 이한협(ETRI)	좌장: 정현도(ETRI)	좌장: 구준희(GIST)	좌장: 김학린(경북대)	좌장: 최장희(한국생산기술연구원)
Coffee Break					
10:30	T2-C II	T2-AIII	T2-BIII	T2-G II	T2-H II
10:45	광소자II	광통신 시스템 및 네트워크III	광섬유 및 레이저III	나노포토닉스/THzII	양자정보II
	좌장: 유경식(KAIST)	좌장: 전현채(인천대)	좌장: 김윤현(KOPTI)	좌장: 황용섭(공주대)	좌장: 배준우(KAIST)
Lunch (블루시걸 2F)					
13:30	몬테로소 (B1F)	개회식	개회사: 운영위원장 이관일(KIST) 개회축사: 한국광학회 회장 이병호(서울대)		사회: 김창석(부산대)
13:50		Plenary I Optical Technologies for future mobile systems towards Beyond 5G-Era Masatoshi Suzuki (KDDI Research,Inc.)			좌장: 정환석(ETRI)
14:30		Plenary II Halide Perovskite Photovoltaics: Past, Present and Future 박남규(성균관대)			좌장: 장순혁(ETRI)
15:10		PlenaryIII An optical equipment manufacturing company's rise, fall and beyond 고연원((주)파이버프로)			좌장: 송광용(중앙대)
Poster Session II (몬테로소 B1F)					
15:50					사회: 김중희(ETRI)
18:30	Reception 및 COOC 2019 우수논문 시상식 (몬테로소 B1F)				
<b>6월 5일(수)</b>					
09:00	W1-AIV	W1-BIV	W1-CIII	W1-E II	W1-HIII
09:00	광통신 시스템 및 네트워크 IV	광섬유 및 레이저 IV	광소자III	바이오 포토닉스II	양자정보III
	좌장: 조승현(ETRI)	좌장: 이준수(ADD)	좌장: 권민석(UNIST)	좌장: 김승철(부산대)	좌장: 김재완(KIAS)
Coffee Break					
10:30	W2-AV	W2-DIII	W2-CIV	W2-GIII	W2-FIII
10:45	광통신 시스템 및 네트워크V	광정보처리 및 디스플레이III	광소자IV	나노포토닉스/THzIII	광응용III
	좌장: 이준기(ETRI)	좌장: 남제호(ETRI)	좌장: 이상선(광운대)	좌장: 양진규(공주대)	좌장: 조준용(취한화)
12:15	기업채용보세션, 경품 추첨, 폐회식 (마나롤라 3F)				사회: 김 훈(KAIST)

## M2-C I-4 : 18:00

Data Rate에 따른 실리콘 링 변조기의 구조 최적화  
 성민혁, 조영관, \*최우영(연세대)

Today, many researchers are studying for Si ring modulators (Si-RM) to apply to optical interconnect system, because of its high bandwidth, small footprint, and easy integration with electronic circuits. We optimized Si-RM with specific conditions along several data rates of input signal.

## M2-C I-5 : 18:15

높은 변조 깊이를 가지는 그래핀이 삽입된 금속 슬롯이  
 더해진 실리콘 스트립 도파로 변조기의 이론적 연구  
 서지훈, \*권민석(UNIST)

We theoretically investigate the graphene-inserted metal-slot-loaded silicon strip waveguide modulator. The modulation depth is 1.28 dB/ $\mu\text{m}$  at the wavelength of 1550 nm when the chemical potential of graphene is changed from 0.2 eV to 0.6 eV. The coupling loss of the modulator is investigated as 0.375 dB.

## M2-H I-4 : 18:00

균일 정보 분배 특성을 가지는 다자간 양자암호통신  
 이동희(경희대), Tanumoy Pramanik,  
 조영욱(KIST), 임향택(스위스취리히연방공과대),  
 한상욱, 이상윤, 정호중, 문성욱(KIST),  
 이광조(경희대), \*김용수(KIST)

The information balance among communication parties is essential for multiparty cryptographic communication. However, conventional multiparty quantum communication, where multipartite entanglement generation or measurement is performed by one party, is informationally imbalanced. Here, we propose an informationally balanced multiparty quantum communication where multipartite entanglement generation/measurement is performed by all the communication parties. We also present the proof-of-principle experimental result.

# Data Rate에 따른 실리콘 링 변조기의 구조 최적화

## Design Optimization Of Depletion-Type Silicon Ring Modulators Depending on Data Rates

성민혁\*, 조영관, 최우영  
연세대학교 초고속 회로 및 시스템 연구실

Si ring modulator (Si-RM)는 작은 소자 크기, 높은 변조 bandwidth, 높은 에너지 효율과 전자 회로와의 집적화가 용이하다는 장점들을 가지고 있어, 이를 다양한 광 연결 시스템에 응용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다 [1]. 특히, 목표로 하는 data rate에 따라 최적의 Si-RM의 구조를 구현하는 것이 중요한데, 이 논문에서는 이를 위해 설계 기준에 부합하는 최적 구조를 결정하는 연구 결과에 대해 보고한다.

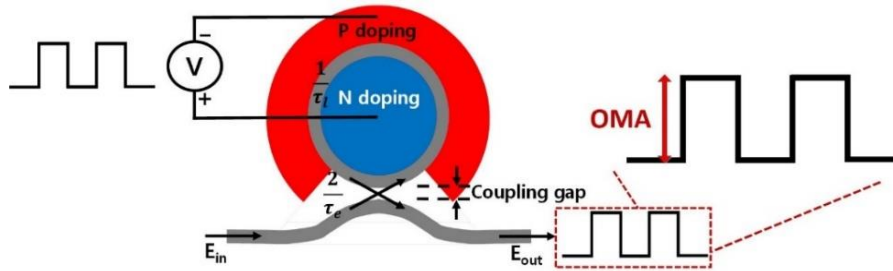


그림 1. Depletion-Type Si-RM의 구조

이 연구에 사용되는 Si-RM의 구조는 그림 1과 같이 reverse-bias voltage를 통해 ring에 적용되는 doping 농도를 바꾸어 변조시키는 depletion-type Si-RM이다. Si-RM의 광학적 특성은 아래에 주어진 coupled-mode theory 기반 식들로 모델링 될 수 있다 [2].

$$\frac{d}{dt}a(t) = (j\omega_r - \frac{1}{\tau})a(t) - j\sqrt{\frac{2}{\tau_e}}E_m(t) \quad \dots (1), \quad E_{out}(t) = E_m(t) - j\sqrt{\frac{2}{\tau_e}}a(t) \quad \dots (2)$$

여기서  $a(t)$ 는 시간에 따른 ring 내부의 energy amplitude를 나타내며,  $\omega_r$ 은 resonance angular frequency,  $\tau$ 는 ring에서 발생하는 total time constant이다.  $\tau$ 는 ring 내부의 propagation loss에 의한 time constant인  $\tau_l$  그리고 directional coupler region의 coupling에 의한 time constant인  $\tau_e$ 와 관련이 있고,  $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_l} + \frac{1}{\tau_e}$ 의 관계식을 갖는다. 이 때,  $\tau_l$ 은 ring의 반지름에 따라 달라지며,  $\tau_e$ 은 coupling gap에 따라 달라진다. Si-RM의 소신호 모델은 식 (1)과 (2)을 선형적으로 근사하여 풀어낸 후 s-domain에서 구할 수 있는데, 그 식은 다음과 같다 [2].

$$\Delta o(s) = \frac{4}{\eta} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial v_{pm}} \cdot \frac{\omega_r D / \tau_e}{D^2 + 1/\tau^2} \cdot \frac{s + 2/\tau_l}{s^2 + (2/\tau)s + D^2 + 1/\tau^2} \quad \dots (3)$$

D는 input 광의 angular frequency  $\omega$ 와 resonance angular frequency  $\omega_r$ 의 차이를 나타내며,  $1/\sqrt{3}\tau$ 가 되면 변조 시 Optical Modulation Amplitude (OMA)를 최대화하는 특징을 가지고 있다 [2].

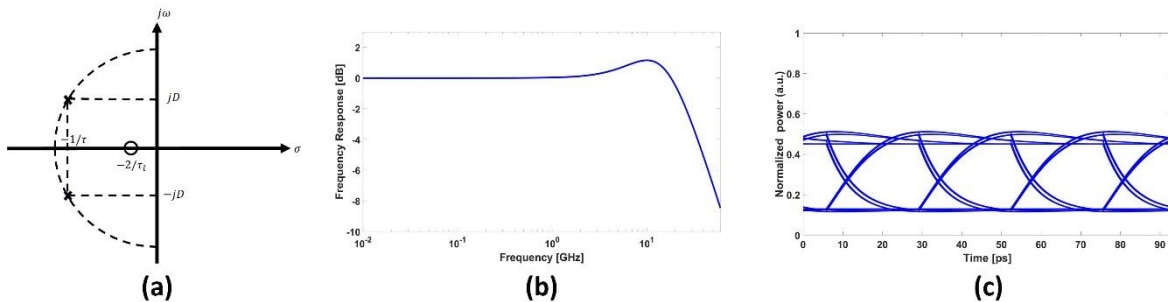


그림 2.  $\tau_l > \tau_e$ 인 경우 (a) 식 (3)의 pole과 zero를 s-plane에 나타낸 그림, (b) frequency response, 그리고 (c) eye diagram

그림 2(a)는  $\tau_l > \tau_e$ 인 경우 식 (3)의 pole과 zero를 s-plane에 나타낸 그림이다. 그림 2(a)처럼 pole들을 있는 원호 안쪽으로 zero가 위치하게 되면, 그림 2(b)와 같이 zero에 의해 frequency



response에서 peaking이 발생하게 된다. 이는 그림 2(c)의 eye diagram처럼 많은 양의 ISI를 발생시키므로, 이를 방지하기 위해  $\tau_1 < \tau_e$ 가 되도록 Si RM을 설계하는 것이 바람직하다.

일반적으로 Si PIC foundry 업체가 제공하는 공정 조건은 정해져 있으므로, 본 연구에서는 IHP가 제공하는 공정 조건을 기반으로 Si RM 구현에 필요한 Si waveguide width는 450 nm, SOI 두께는 220 nm, 그리고 doping 농도는  $P = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N = 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 이라 정한다. 또한, Si-RM NRZ 구동을 위한 bias voltage는 -1V, driving voltage는  $2 V_{pp}$ 의 조건을 활용한다. 추가로, O-band 응용을 목표로 한다. 이와 같은 조건 아래에서 주어진 data rate에 따라 최적의 bandwidth와 OMA를 갖는 Si RM의 구조를 결정하는 것이 본 연구의 목표이다.

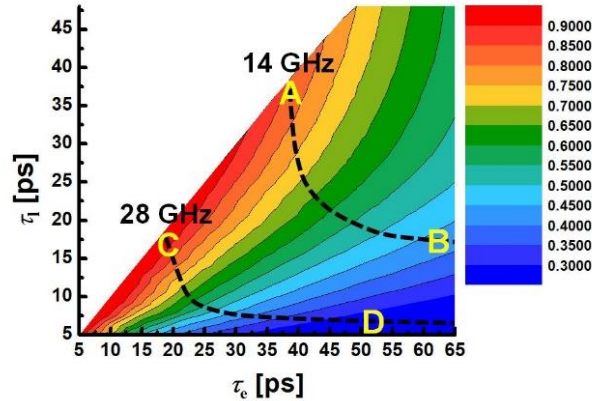


그림 3. Bandwidth와 OMA를 곱하여 나온  $\tau_1$ 와  $\tau_e$ 에 따른 Figure of Merit

그림 3은 OMA를 최대화하기 위해 D를  $1/\sqrt{3}\tau$ 로 설정한 후 Si-RM의 bias voltage가 -2 V 일 때와 0 V 일 때의 Si-RM를 통과하는 빛의 power 차이를 이용하여 구해낸 OMA와 bandwidth의 곱을 다양한  $\tau_e$ 와  $\tau_1$  값에 대해 얻은 결과를 보여준다. 이 때,  $\tau_1 > \tau_e$ 인 경우는 앞서 설명한 이유로 제외하였다. NRZ signal을 변조하기 위해 data rate의 70%를 bandwidth로 가지는 변조기가 적합하다는 사실은 널리 알려져 있다 [3]. 따라서 20 Gbps와 40 Gbps의 NRZ signal을 변조하기 위해 각각 14 GHz와 28 GHz의 bandwidth가 필요한데, 이를 나타내는 조건들을 점선으로 그려 넣었다.

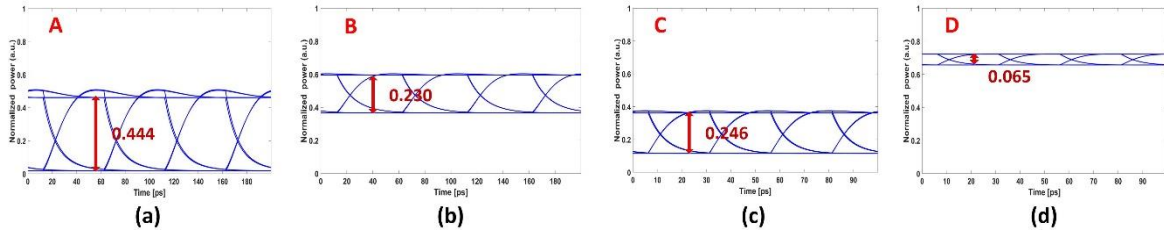


그림 4. PRBS  $2^7-1$ 에 대한 그림 3의 각 지점에서의 eye diagram

그림 4(a)와 (b)는 20-Gbps NRZ signal이 적용되었을 때, 그리고 그림 4(c)와 (d)는 40-Gbps NRZ signal이 적용되었을 때, 식(1)와 (2)을 수치적으로 풀어 구한 그림 3의 각 지점의 eye diagram이다. A지점과 B지점의 eye diagram을 비교할 때, A지점의 OMA가 더 크므로 A지점이 20-Gbps NRZ signal를 변조하기 더 적합한 지점이 된다. 똑같은 방식으로 C지점과 D지점의 eye diagram을 비교해보면, C지점의 OMA가 더 크므로 C지점이 40-Gbps NRZ signal를 변조하기에 더 적합한 지점이 된다. A지점에서의  $\tau_1$ 은 35.36 ps,  $\tau_e$ 는 37.80 ps이며, 이는 12- $\mu\text{m}$  radius와 245-nm coupling gap을 갖는 Si-RM으로 구현될 수 있다. 또한, C지점에서의  $\tau_1$ 은 16.97 ps,  $\tau_e$ 는 19.33 ps이며, 이는 8- $\mu\text{m}$  radius와 210-nm coupling gap을 갖는 Si-RM으로 구현될 수 있다.

본 연구는 산업통상자원부[Project No. 10065666]의 지원을 받아 수행되었다.

#### 참고문헌

- [1] G. T. Reed et al., "Silicon Optical Modulators," Nature Photon. 4, 518-526, 2010
- [2] Y. Ban, "Silicon Micro-Ring Modulator Modeling," Yonsei University, 2015
- [3] White paper, "NRZ Bandwidth (-3db HF Cutoff vs SNR) How Much Bandwidth is Enough?" Mindspeed Technologies, Tech. Rep., 2003.