

# 2018 PHOTONICS CONFERENCE

**November 28 (Wed) ~ 30 (Fri), 2018**

**Alpensia Resort, Pyeongchang, Korea (평창 알펜시아 리조트)**

**Paper submission**

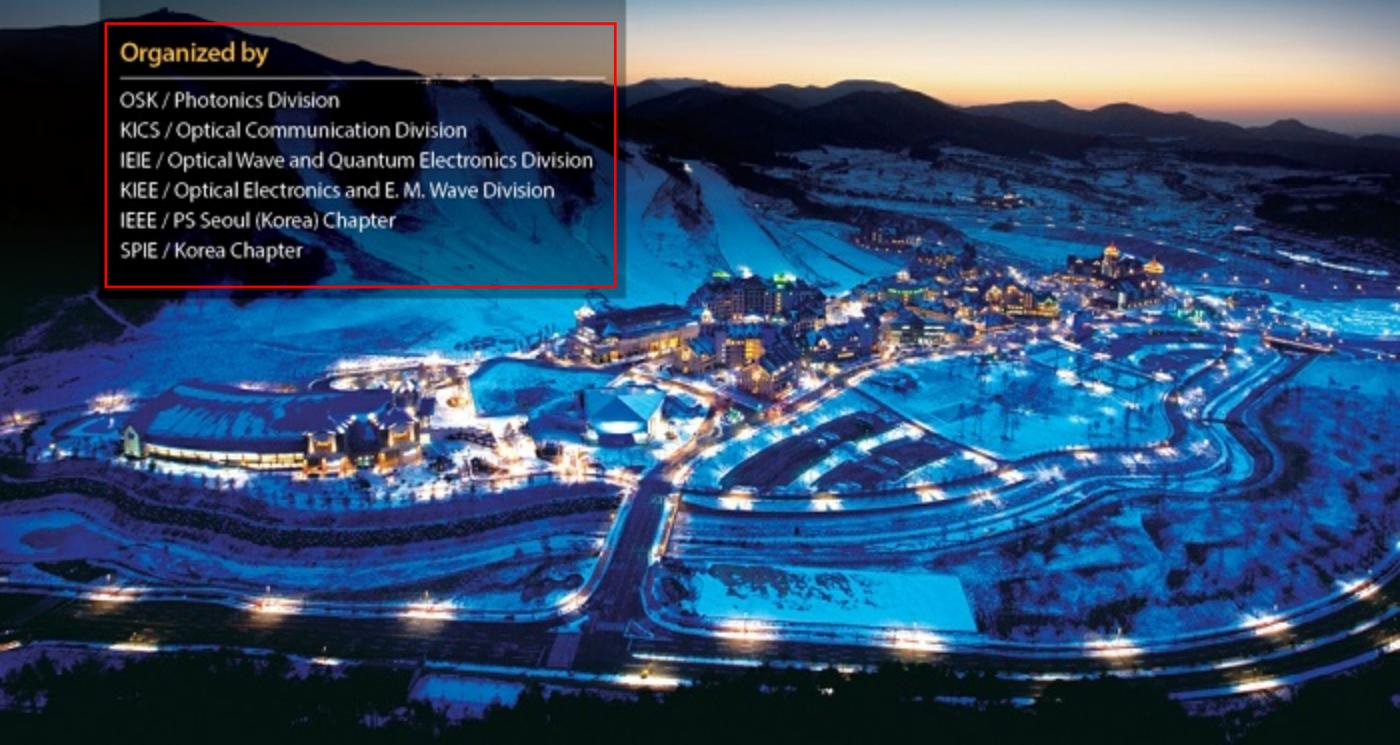
September 21(Fri) ~ October 29 (Mon), 2018

**Pre-registration**

September 21(Fri) ~ November 9 (Fri), 2018

**Organized by**

OSK / Photonics Division  
KICS / Optical Communication Division  
IEIE / Optical Wave and Quantum Electronics Division  
KIEE / Optical Electronics and E. M. Wave Division  
IEEE / PS Seoul (Korea) Chapter  
SPIE / Korea Chapter



Program Overview

11월 28일 (수)

시간/장소	평창홀1 (A)	평창홀2 (B)	평창홀3 (C)	루지 (D)
13:00~18:00	등 록 (로비)			
14:00~15:30	광통신 및 광네트워크 I 좌장: 성혁기(홍익대)	광소자 I 좌장: 김현수(ETRI)	바이오포토닉스 I 좌장: 김봉규(ETRI)	광섬유/재료 I 좌장: 구준희(GIST)
	W1A-I	W1B-II	W1C-VI	W1D-IV
15:30~15:45	Coffee Break			
15:45~17:15	광통신 및 광네트워크 II 좌장: 김준영(ETRI)	광소자 II 좌장: 정일석(UNIST)	디스플레이/LED/ 태양전지 I 좌장: 류우찬(부경대)	광섬유 광학 특별세션 (김병윤 교수님 은퇴 기념) 좌장: 송광용(중앙대)
	W2A-I	W2B-II	W2C-III	W2D
17:15~18:30	Poster Session I (로비)			
	WP			

평창홀 1 14:00~15:30

## 광통신 및 광네트워크 I

좌장 : 성혁기(홍익대)

- W1A-I-1 5세대 이동통신용 분산 안테나 시스템 구현을 위한 광대역 RoF 광트랜시버 기술(초청논문), 김준영(한국전자통신연구원) 외
- W1A-I-2 400G 광트랜시버 응용을 위한 반도체 레이저와 평판 광도파로의 직접 광결합에서 UV Epoxy 삽입에 의한 효과 분석, 이정찬(한국전자통신연구원(ETRI)) 외
- W1A-I-3 단일 파장 OFDMA 상향 광링크에서의 광 비트 간섭 잡음 억제 기법, 박형준(연세대) 외
- W1A-I-4 코히어런트 송수신기와 크래머스-크로닉 송수신기의 소모 전력 비교, Tianwai Bo(KAIST) 외
- W1A-I-5 IMD Mitigation Technique by Using Spectral Power Redistribution in Multi-FoF System, 하인호(연세대) 외

평창홀 1 15:45~17:15

## 광통신 및 광네트워크 II

좌장 : 김준영(ETRI)

- W2A-I-1 유무선 서비스를 위한 차세대 광액세스 기술 연구 및 국제 표준화(초청논문), 이한협(한국전자통신연구원) 외
- W2A-I-2 무선 광통신 시스템에서 도달 범위각 오차 및 조준 오차의 영향을 완화시키는 적응적 빔 제어 기술, Vuong Mai(한국과학기술원) 외
- W2A-I-3 인공위성 무선광통신에서 APC-EDFA 기반에 의한 Scintillation Mitigation 완화 기법, 홍연청(연세대) 외
- W2A-I-4 신틸레이션과 빛살 원더링 효과가 고려된 무선 광통신 시스템의 가용성 분석, Vuong Mai(KAIST) 외

평창홀 2 14:00~15:30

## 광소자 I

좌장 : 김현수(ETRI)

- W1B-II-1 Silicon-On-Chip Lasers and Detectors for Communications and Sensing(초청논문), 정일석(울산과학기술원)
- W1B-II-2 온도 의존성 parameter를 활용한 975 nm 고출력 레이저 다이오드의 정확한 Simulation, 양정택(연세대) 외
- W1B-II-3 Towards lower thresholds and better lasing properties of optically pumped ZnO-based random lasers, Vantari Siva(Gwangju Institute of Science and Technology) 외
- W1B-II-4 InP 이득칩과 폴리머기반 도파로 회절격자를 이용한 60 mW 급 외부공진기형 파장가변레이저, 김동철(한국전자통신연구원)
- W1B-II-5 고출력 LD-bar의 마이크로 열원 분석 및 열병목 개선, 용현중(인하대) 외

평창홀 2 15:45~17:15

## 광소자 II

좌장 : 정일석(UNIST)

- W2B-II-1 고분해능 SWIR 대역 영상 검출기 개발(초청논문), 김영호(아이쓰리시스템(주)) 외
- W2B-II-2 링 필터 기반 2-채널 WDM Si Electronic-Photonic Integrated Circuit 수신기, 김현규(연세대) 외
- W2B-II-3 1.3um 대역 25 Gbps Silicon Micro-Ring Modulator의 Parametric Optimization, 성민혁(연세대) 외
- W2B-II-4 Depletion-Type Si Ring Modulators의 Modulation Linearity Analysis, 조영관(연세대) 외
- W2B-II-5 폴리머 광도파로를 이용한 광전류센서의 바이어스 프리 구동을 위한 초기화 방법, 김성문(부산대) 외

평창홀 3 14:00~15:30

## 바이오포토닉스 I

좌장 : 김봉규(ETRI)

- W1C-VI-1 구조조명을 이용한 배열변화 없는 표면형상 측정방법(초청논문), 이병하(광주과학기술원) 외
- W1C-VI-2 Focusing of light energy inside a scattering medium by controlling the time-gated multiple light scattering(초청논문), 이예령(IBS/고려대)
- W1C-VI-3 암세포표적 다기능 산화 그래핀의 다광자형광 및 광열 특성연구, 전승원(부산대) 외

평창홀 3 15:45~17:15

## 디스플레이/LED/태양전지 I

좌장 : 류우찬(부경대)

- W2C-III-1 Optimization of Perovskite Solar Cell Architecture for Indoor Light Energy Harvesting(초청논문), 김중현(아주대)
- W2C-III-2 The Role of Hydrogne from ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> deposition for pure sulphide Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> surface passivation(초청논문), 박종성(녹색에너지연구원)
- W2C-III-3 비가간섭층의 광학적 영향을 고려한 CIGS (Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>) 태양전지의 유한요소법 기반 광전자 수치 해석 모델, 박준범(경희대) 외

루지 14:00~15:30

## 광섬유/재료 I

좌장 : 구준회(GIST)

- W1D-IV-1 특수 광섬유의 현황 및 그의 응용(초청논문), 김재선(대한광통신(주))
- W1D-IV-2 Rare-earth doped SiO<sub>2</sub> 파우더의 pre-sintering 조건에 따른 유리화 결과, 황찬호(대한광통신(주)) 외
- W1D-IV-3 PER 특성이 향상된 자이로용 편광유지 광섬유 제작, 한재원(대한광통신주식회사) 외
- W1D-IV-4 광섬유 분포형센서의 성능향상과 응용(초청논문), 이관일(한국과학기술연구원) 외

루지 15:45~17:15

## 광섬유 광학 특별세션

좌장 : 송광용(중앙대)

- W2D-1 모드 분할 다중 광전송(초청논문), 정순혁(한국전자통신연구원) 외
- W2D-2 다중모드 광섬유를 이용한 양자포토닉스(초청논문), 박희수(한국표준과학연구원)
- W2D-3 저차원물질 기반 광섬유 소자 및 레이저 연구(초청논문), 염동일(아주대)
- W2D-4 파이버프로의 광섬유 센서 사업 현황(초청논문), 고연원(파이버프로)

로비 17:15~18:30

## Poster Session I

11월 28일 (수) - 평창홀 2

학술발표 W1B- II

광소자 I

14:00~15:30

좌장 : 김현수(ETRI)

14:00(초청논문)

**W1B- II -1 Silicon-On-Chip Lasers and Detectors for Communications and Sensing**

\*정일석(울산과학기술원)

In this talk, various silicon-on-chip lasers and detector results which are realized based on III-V on silicon hybrid approach and nano-structured micro-cavities, will be presented and their potential in future communications and sensing applications will be discussed.

14:30

**W1B- II -2 온도 의존성 parameter를 활용한 975 nm 고출력 레이저 다이오드의 정확한 Simulation**

양정택(연세대), 이재봉, 방동수, 김태경(QSI), \*최우영(연세대)

We achieve accurate self-consistent electro-thermal-optical simulation of 975nm InGaAsP/AlGaAs high-power laser diodes (HPLDs) by fitting numerical values of temperature-dependent Shockley-Read-Hall (SRH) recombination rate, Auger recombination rate, and the optical internal loss to the measured HPLD characteristics.

14:45

**W1B- II -3 Towards lower thresholds and better lasing properties of optically pumped ZnO-based random lasers**

Vantari Siva, 김민석, 김영재, 김민정, \*송영민 (Gwangju Institute of Science and Technology)

Random lasers (RLs) have received sufficient attention from the last few decades, owing to their low cost and relatively simple required technology compared to the conventional counterparts. These RLs have several applications including display technology, environmental lighting, identification of friendly/enemy vehicles, temperature sensors, and medical diagnostics

15:00

**W1B- II -4 InP 이득칩과 폴리머기반 도파로 회절격자를 이용한 60 mW 급 외부공진기형 파장가변레이저**

\*김동철, 한영탁, 이동훈, 김석태, 전수정, 박상호, 신장욱, 권용환, 김종희, 백용순(한국전자통신연구원), 조호성((주)엘디스)

We present a 60 mW external cavity laser (T-ECL) with an InP-based gain and a polymer based-waveguide grating. To improve output power of the T-ECL we used a diffusion-limited gain chip. The output power is about 60 mW and 50 mW at 20°C and 50°C, respectively. The measured linewidths are about 210 kHz in C-band.

15:15

**W1B- II -5 고출력 LD-bar의 마이크로 열원 분석 및 열병목 개선**  
윤현중, 백영재, 유동일, \*오범환(인하대)

As a typical Laser Diode has small volume and narrow strip of active layer, the effective thermal cross-sectional area is quite small. The heat flow characteristics of such high power optical semiconductor sources were analyzed using 3D-CFD commercial tools. We propose a method to optimize the effective thermal cross-section for the improvement of thermal resistance.

학술발표 W2B- II

광소자 II

15:45~17:15

좌장 : 정일석(UNIST)

15:45(초청논문)

**W2B- II -1 고분해능 SWIR 대역 영상 검출기 개발**

\*김영호, 고성용, 이병욱(아이쓰리시스템(주)), 이상준, 김준오(한국표준과학연구원), 하창수, 김남환(국방과학연구소), 정 한(아이쓰리시스템(주))

SWIR camera is widely used for commercial and military applications. In this work, SWIR detector was developed with lattice-matched InGaAs on InP substrate. The measured quantum efficiency is larger than 0.8 and dark current is 1.0 nA/cm<sup>2</sup> at 283 K. The measured normalized detectivity is 1.8×10<sup>13</sup> Jones, which is close to the theoretical value.

16:15

**W2B- II -2 링 필터 기반 2-채널 WDM Si Electronic-Photonic Integrated Circuit 수신기**

김현규, 정현용, 김만규(연세대), Christian Mai, Stefan Lischke, Lars Zimmermann(IHP, Germany), \*최우영(연세대)

We present a 2-channel WDM Si Electronic-Photonics Integrated Circuit(EPIC) receiver containing Si ring-resonator filters, Ge-photodetectors, and receiver circuits, all of which are monolithically integrated on a Si wafer. We show ring-resonator filter characteristics and the receiver eye diagram.

16:30

**W2B- II -3 1.3μm 대역 25 Gbps Silicon Micro-Ring Modulator의 Parametric Optimization**

\*성민혁, 조영관, \*최우영(연세대)

We optimize the modulation performance of 25 Gbps Si micro-ring modulator using the parameters based on the coupled-mode theory. We show by simulation that the optimized parameters provide the optimal 25 Gbps eye diagrams.

1.3 $\mu\text{m}$  대역 25 Gbps Silicon Micro-Ring Modulator의 Parametric Optimization

성민혁\*, 조영관, 최우영  
연세대학교 전기전자공학과

We optimize the modulation performance of 25 Gbps Si micro-ring modulator using the parameters based on the coupled-mode theory. We show by simulation that the optimized parameters provide the optimal 25 Gbps eye diagrams.

Silicon micro-ring modulator(Si-MRM)는 크기가 작아서 다른 Si 광소자 및 전자회로와 집적화가 용이하기 때문에 많은 관심의 대상이 되고 있다 [1]. Si-MRM의 변조 성능에는 다양한 parameter들이 영향을 미치는데, 이러한 parameter들이 Si-MRM 변조 특성에 구체적으로 어떤 영향을 끼치는지 그리고 최적화된 parameter 값들을 어떻게 결정할 지에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 그에 대한 연구 결과를 보고한다.

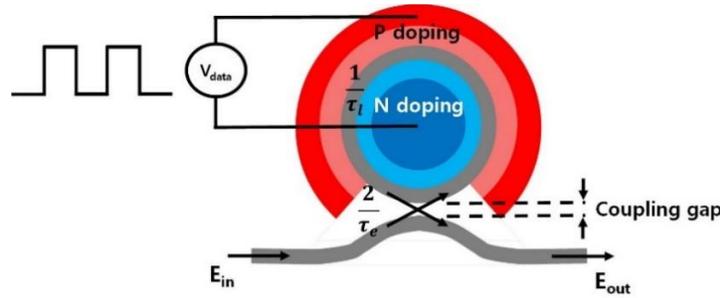


그림 1. Depletion-Type Si-MRM의 구조

그림 1은 연구에 사용된 Si-MRM의 구조를 보여준다. P-, N- 영역 doping 농도는 Si PIC foundry 업체가 제공하는 값(P=  $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , N=  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )이며, waveguide width는 450 nm이다. 변조 시 사용된  $V_{\text{data}}$ 의 DC값은 -1V,  $V_{\text{pp}}$ 는 2V이다. 또한, 본 연구에서 Si-MRM의 전기적 parameter의 영향은 무시하였다.

Si-MRM의 광학적 특성은 아래에 주어진 coupled-mode theory 기반 식들로 모델링 될 수 있다. [2]

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

여기서,  $a(t)$ 는 Si-MRM ring resonator 내부의 energy amplitude,  $\omega_r$ 은 resonance angular frequency이다.  $\tau$ 는 ring resonator의 loss time constant로,  $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_l} + \frac{1}{\tau_e}$ 의 관계식을 갖는다. 이 때,  $\tau_l$ 은 ring waveguide 내에서의 loss를 나타내는 time constant로 ring의 radius에 따라 달라지며,  $\tau_e$ 는 coupling으로 인해 발생하는 loss를 나타내는 time constant로 ring waveguide와 bus waveguide 사이의 coupling gap에 따라 달라진다. Si-MRM의 최적 modulation bandwidth를 결정하기 위해서 아래에 주어진 small-signal modulation frequency model [3, 4]을 사용하였다.

$$\Delta o(s) = \frac{4}{\eta_0} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial V} \cdot \frac{\omega_r D / \tau_e}{D^2 + 1/\tau^2} \cdot \frac{s + 2/\tau_l}{s^2 + (2/\tau)s + D^2 + 1/\tau^2} \quad \dots \quad (3)$$

식 (3)에서  $\eta_0$ 는  $V_{\text{data}}$ 의 DC값에서 ring waveguide의 유효 굴절률, V는 ring에 걸리는 junction voltage이다. D는 input 광의 angular frequency  $\omega$ 와 resonance angular frequency  $\omega_r$ 의 차이를 나타내며, 변조 시 Optical Modulation Amplitude(OMA)를 최대화하는  $1/\sqrt{3\tau}$ 로 설정하였다. [4]

그림 2(a)는  $\tau_l$ 과  $\tau_e$ 의 변화에 따른 bandwidth를, (b)는 25 Gbps에서의 normalized OMA를 나타낸 그림이다. NRZ signal을 변조하기 위해 data rate의 75%의 bandwidth를 가지는 modulator

가 Signal to Noise Ratio(SNR)측면에서 가장 효과적이다. [5] 그림 2(a)와 (b)의 점선은 25 Gbps의 75%인 18.75 GHz를 따라 그은 선이며, 각 그림에 있는 그래프의  $\tau_1$ 과  $\tau_e$ 의 범위는 같다.

그림 3은 그림2(b)의 각 지점에서 coupled-mode theory를 수치적으로 풀어 얻은 25 Gbps eye diagram을 보여준다. 그림 3(a), (b), 그리고 (c)가 거의 비슷한 점을 이루어 볼 때,  $\tau_e$ 이 eye diagram에 미치는 영향은 비교적 적음을 확인할 수 있다. 또한, 그림 3(a), (b), (c)보다 (d), (e), (f)에서 대체적으로 OMA가 작은 것으로 보아,  $\tau_1$ 이 증가하게 되면 OMA도 증가하는 경향성을 알 수 있다. 그러나, ring의 radius가 증가함에 따라  $\tau_1$ 은 포화되거나 다소 감소하는 경향을 보이므로 ring이 가질 수 있는 최대  $\tau_1$ 이 정해진다.

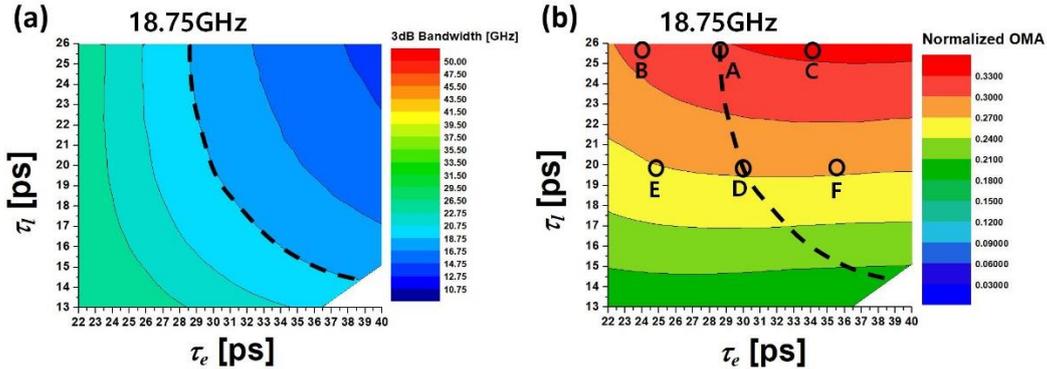


그림 2(a)  $\tau_1$ 과  $\tau_e$ 에 따른 3dB bandwidth, 그리고 (b) 25 Gbps에서의 normalized OMA

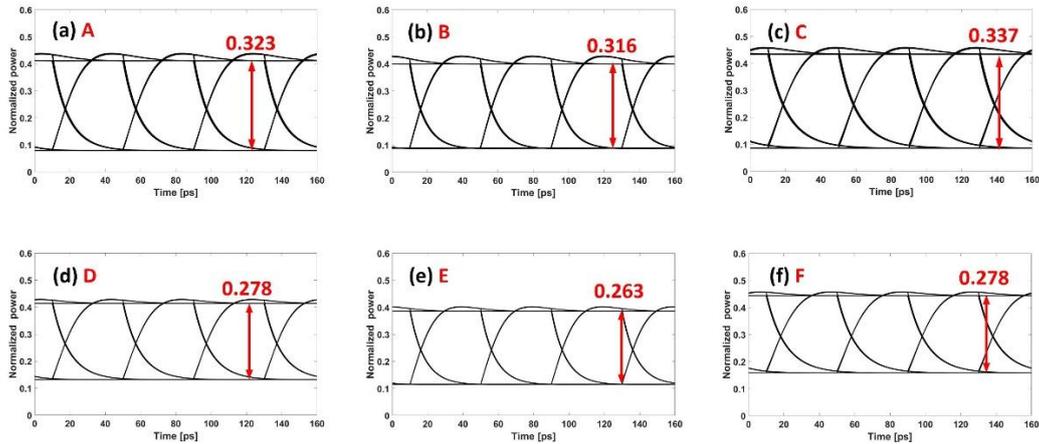


그림 3. PRBS  $2^7-1$ 에 대한 그림 2(b)의 각 지점에서의 25 Gbps eye diagram

결론적으로 25 Gbps의 75%인 18.75 GHz를 bandwidth로 가지면서  $\tau_1$ 이 가장 큰 지점인 A 지점에서 25 Gbps 변조를 위한 최적의 변조 특성을 보인다고 할 수 있다. 이 지점에서의  $\tau_1$ 과  $\tau_e$ 는 각각 25.98 ps와 28.47 ps이며, 이는 15- $\mu$ m radius와 270-nm coupling gap을 갖는 Si-MRM으로 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] J. Rhim et al., "Verilog-A behavioral model for resonance-modulated silicon micro ring modulator," OPTICS EXPRESS, vol. 23, no. 7, pp. 8762-8772, 2015  
 [3] M. Shin et al. "A Linear Equivalent Circuit Model for Depletion-Type Silicon Microring Modulators," IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 64, no. 3, pp. 1140-1145, 2017  
 [4] Y. Ban, "Silicon Micro-Ring Modulator Modeling," Yonsei University, 2015  
 [5] "NRZ Bandwidth - HF Cutoff vs. SNR," Maxim Integrated, Rev. 2, APP 870, 2001