

# 2016 Photonics Conference

## ○ 논문 제출요령

- 홈페이지에서 on-line으로 접수
  - pdf 양식만 가능함
  - 파일이름 = 논문분야번호+한글 저자 이름+기타사항  
(예 : 2홍길동tiger.pdf)
- 논문분량 : 1~2쪽(A4 용지, 그림포함)
- 좌우여백 25mm, 상하여백 30mm
- 국문 제목(폰트크기 12), 영문 제목(12), 저자/소속(9), 50단어 이내의 영문 Abstract(9), 본문(10)의 순서로 작성
- 발표자의 이름 뒤에 \* 표시
- 심사를 통하여 우수 학생 논문을 선정합니다.  
(주저자가 학생이고 접수시에 평가대상으로 신청된 논문중에서 채택)  
기타 자세한 사항은 website  
(<http://photoconf.osk.or.kr>) sample file 참조

## ○ 문의처

- 김태근 교수(고려대) : 조직위원장  
Tel: 02) 3290-3255 / Fax: 02) 924-5119  
E-mail: tgkim1@korea.ac.kr
- 전민용 교수(충남대) : 프로그램위원장  
Tel: 042) 821-5459 / Fax: 042) 822-8011  
E-mail: myjeon@cnu.ac.kr
- 김철한 교수(서울시립대): 학술대회 진행 담당  
Tel: 02) 6490-2341 / Fax: 02) 6490-2314  
E-mail: chkim@uos.ac.kr
- 협찬
- 문의 및 신청 : 이상신 교수(광운대)  
Tel: 02) 940-5581 / Fax: 02) 942-5235  
E-mail: slee@kw.ac.kr

# 2016

# Photonics Conference

**November 30 (Wed.) ~ December 2 (Fri.) 2016**

**Phoenix Park, Pyeongchang, Korea**  
(강원도 평창 휘닉스 파크)

## Paper submission

September 19 (Mon.) ~ November 2 (Wed.), 2016

## Pre-registration

September 19 (Mon.) ~ November 14 (Mon.), 2016

## Organized by

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

12월 2일 (금)

시간/장소	다이아몬드1 (A)	다이아몬드2 (B)	토파즈 (C)	루비 (D)	에메랄드 (E)
08:00~12:00	등 록 (로비)				
09:00~10:30	유무선 광네트워크 좌장: 김성만(경성대)	광소자Ⅲ 좌장: 이일민(ETRI)	광섬유 레이저 특별세션Ⅰ 좌장: 염동일(아주대)	디스플레이 특별세션Ⅱ (09:00~11:00) 좌장: 윤동기(KAIST)	LED/Solar/Display Ⅱ 좌장: 신명훈(항공대)
	F1A-I	F1B-II	F1C-VII	F1D-VIII	F1E-III
10:30~10:45	Coffee Break				
10:45~12:15	초고속 광전송 기술 좌장: 김 훈(KAIST)	광소자Ⅳ 좌장: 김민수(ETRI)	광섬유 레이저 특별세션Ⅱ 좌장: 김지원(한양대)	디스플레이 특별세션Ⅱ (09:00~11:00) 좌장: 윤동기(KAIST)	Special Session 과학정책세션 좌장: 류한철(삼육대)
	F2A-I	F2B-II	F2C-VII		F2E-IX
12:15~12:50	폐회식 및 경품추첨 (휘닉스볼룸)				

# 12월2일 (금) - Overview

다이아몬드 1 09:00~10:30

**유무선 광네트워크** 좌장 : 김성만(경성대)

F1A-I-1 유연한 광 네트워크를 위한 핵심 광소자 기술(초청논문), 정현도(ETRI) 외

F1A-I-2 다중밴드 RoF에서 블라인드 후치 등화기를 이용한 비선형적 왜곡 보상 기법, 박형준(연세대) 외

F1A-I-3 경제적인 광원으로 구현된 RoF 기반 5G 모바일 프론트홀의 성능 비교, 김병곤(KAIST) 외

F1A-I-4 밀리미터파 기반 5G 이동통신시스템을 위한 아날로그 IFoF 기반 모바일 프론트홀, 조승현(ETRI)

F1A-I-5 5세대 유무선통합망용 10Gbps SW융합 파장가변 광송수신기 개발, 김민수(ETRI) 외

다이아몬드 1 10:45~12:15

**초고속 광전송 기술** 좌장 : 김 훈(KAIST)

F2A-I-1 반사형 코히어런트 광 가입자망 상향 전송 구조에서 광 반송파 억제 기법을 통한 간섭 잡음 완화 기법, 정상민(연세대) 외

F2A-I-2 코히어런트 수동형 광 가입자망에서 광 간섭계 구조를 이용한 광 간섭 잡음 완화, 강수민(연세대) 외

F2A-I-3 RSOA 기반 초고속 Coherent WDM PON을 위한 반송파 위상 추정 방법, 김대호(KAIST) 외

F2A-I-4 DAPSK 기반의 위상 잡음 보상 및 채널 등화 과정이 없는 코히어런트 OFDM 광전송, 문경학(연세대) 외

F2A-I-5 적응형 순환 최소 자승(Recursive Least Square) 주파수 영역 등화 필터를 이용한 모드 분할 다중 전송, 장순혁(ETRI) 외

F2A-I-6 SNR 탐침 과정이 필요 없는 117 Gb/s DMT 신호의 30 km 전송 실험, 연한울(KAIST) 외

다이아몬드 2 09:00~10:30

**광소자III** 좌장 : 이일민(ETRI)

F1B-II-1 파장가변 레이저의 동작 특성(초청논문), 오수현(ETRI)

F1B-II-2 Phosphorus 확산 도핑을 이용한 inverted-rib Ge-on-Si laser의 광 펄핑 특성 평가, 박찬혁(국민대) 외

F1B-II-3 Polymer waveguide polarization splitter based on total internal reflection, 황광호(부산대) 외

F1B-II-4 공집형 마이크로 링 변조기의 선형 등가회로 모델, 신명진(연세대) 외

F1B-II-5 Enhancement of wavelength conversion using slot mode in silicon nanoblock array, 문기현(증양대) 외

다이아몬드 2 10:45~12:15

**광소자IV** 좌장 : 김민수(ETRI)

F2B-II-1 칼코게나이드계 상변이 물질을 이용한 나노 광변조 소자와 그 응용(초청논문), 이승열(경북대) 외

F2B-II-2 Dynamic Power Dissipation에 의한 Si Miro-Ring Modulator 변조 특성 변화, 유병민(연세대) 외

F2B-II-3 A Highly Efficient Mid-infrared Filter Based on Cascaded Etalon Resonators Covering the 3-5  $\mu$  m Spectral Band, 임철순(광운대) 외

F2B-II-4 Metal-Dielectric-Metal Type Linear Variable Color Filter Rendering Enhanced Angular Tolerance, Ji Peng(광운대) 외

F2B-II-5 Polarization-Controlled Broad Color Palette Based on Guided Mode Resonance via One-dimensional Grating Structure, KOIRALA Ishwor(광운대) 외

토파즈 09:00~10:30

**광섬유 레이저 특별세션 I** 좌장 : 염동일(아주대)

F1C-VII-1 28-W all-fiber linearly polarized CW thulium doped fiber laser(초청논문), 이관일(KIST) 외

F1C-VII-2 고�출력 광섬유레이저시장 에코시스템의 최신 동향 (Recent Overview of High-Power Fiber Laser Market Eco-System)(초청논문), 감남성(주)이오테크닉스

F1C-VII-3 탠덤펄핑 Yb 광섬유 레이저의 발전 특성에 대한 실험 및 이론적 분석(초청논문), 김지원(한양대)

토파즈 10:45~12:15

**광섬유 레이저 특별세션 II** 좌장 : 김지원(한양대)

F2C-VII-1 출력확장형 6kW급 고�출력 준연속 광섬유 레이저(초청논문), 정 훈(한국생산기술연구원)

F2C-VII-2 High-power picosecond fiber sources for IR, Green, and UV(초청논문), VAZQUEZ-ZUNIGA Luis Alonso(서울대) 외

F2C-VII-3 레이저 출력 증가를 위한 고차 공간모드 결합(초청논문), 전창수(APRI) 외

루비 09:00~11:00

**디스플레이 특별세션 II** 좌장 : 윤동기(KAIST)

F1D-VIII-1 Flexible organic lighting emitting display with light extraction film(초청논문), 최윤석(한밭대) 외

F1D-VIII-2 유기발광소자의 광효율 향상을 위한 기술(초청논문), 객진석(영남대) 외

F1D-VIII-3 Recent Technical Trends of Next-Generation Display(초청논문), 이태권(주)나노웨어블

F1D-VIII-4 Technologies for ultrafast switching of liquid crystal devices(초청논문), 김정욱(부산대) 외

에메랄드 09:00~10:30

**LED/Solar/Display II** 좌장 : 신명철(항공대)

F1E-III-1 표면 나노/마이크로 구조 및 패턴을 이용한 LED 소자 효율 개선(초청논문), 유재수(경희대)

F1E-III-2 Enhanced Light Output Power of Blue Micro-Light Emitting Diodes, 손경락(고려대) 외

F1E-III-3 차세대 디스플레이 및 대면적 센서 구현을 위한 고속 산화물 반도체 박막 트랜지스터 개발(초청논문), 조성행(ETRI)

F1E-III-4 자기 역 바이어스를 이용한 Solar-Panel 기반 광 수신기 설계, 신원호(연세대) 외

에메랄드 10:45~11:45

**Special Session** 좌장 : 류한철(삼육대)

F2E-IX-1 한국연구재단 기관 현황 및 2017년 주요 변경사항(초청논문), 박춘경(한국연구재단)

F2E-IX-2 KEIT R&D 사업 소개 및 소재부품 사업 안내(초청논문), 소순중(한국산업기술평가원)

학술발표 F1B-II

광소자III

09:00~10:30

좌장 : 이일민(ETRI)

09:00(초청논문)

F1B- II -1 파장가변 레이저의 동작 특성

\*오수환, 김기수, 권오기, 권오균(ETRI)

A widely tunable SGDBR laser monolithically integrated with a SOA is designed and fabricated in InGaAsP/InP. The maximum output power of the fabricated device is 34mW, and the total tuning range is 42nm.

09:30

F1B- II -2 Phosphorus 확산 도핑을 이용한 inverted-rib Ge-on-Si laser의 광 펌핑 특성 평가

박찬혁(국민대), YAKO Motoki, ISHIKAWA Yasuhiko, WADA Kazumi(동경대), \*안동환(국민대)

Monolithically integrated Ge-on-Si laser is a promising device for optical interconnect. To reduce threshold current, we suggested P diffusion doping and inverted-rib Ge structure that can circumvent scattering loss at Ge-Si interface. Optically pumped inverted-rib Ge showed amplified spontaneous emission at 18 kW/cm<sup>2</sup> threshold pumping intensity.

09:45

F1B- II -3 Polymer waveguide polarization splitter based on total internal reflection

황광호, 박태현, 추우성, \*오민철(부산대)

An integrated optic polarization splitter with large fabrication tolerance and high reliability is required for optical signal processing in quantum-encrypted communication systems. A polarization splitter based on total internal reflection from a highly birefringent polymer-reactive mesogen-is proposed and demonstrated in this work. The device consists of a mode expander for reducing the wave vector distribution of the guided mode, and an interface with a large birefringence. Several polymers with suitable refractive indexes were used for fabricating the device. We obtained a polarization splitter with a low crosstalk (less than -30 dB), and a large fabrication tolerance.

10:00

F1B- II -4 공핍형 마이크로 링 변조기의 선형 등가회로 모델

신명진, 유병민(연세대), ZIMMERMANN Lars(IHP), \*최우영(연세대)

A linear equivalent circuit model for the depletion-type Si micro-ring modulator (MRM) is presented. Our equivalent circuit model is divided into three blocks: parasitic components due to interconnects and pads, electrical elements of the core PN junction, and lossy LC tank representing optical modulation characteristics of Si MRM. The simulated modulation characteristics with the equivalent circuit show very good agreement with measurement results.

10:15

F1B- II -5 Enhancement of wavelength conversion using slot mode in silicon nanoblock array

문기환, 이영진, 홍석현, 구분아, 김영수, \*권순홍(중앙대)

We studied the enhancement of wavelength conversion efficiency using slot mode consisting of upconversion material. The absorption increases due to the tightly localized light in the slot region. The spontaneous emission is enhanced by coupling second order slot mode.

학술발표 F2B-II

광소자IV

10:45~12:15

좌장 : 김민수(ETRI)

10:45(초청논문)

F2B- II -1 칼코게나이드계 상변이 물질을 이용한 나노 광변조 소자와 그 응용

\*이승열(경북대), 김용해(ETRI)

Hologram images reconstructed by GST-based hologram panel having 1- $\mu$ m pixel pitch are shown. The optoelectronic switching of GST-based unit-pixel is shown for verifying the proposed thin-film GST scheme can be applied for next-generation nano-optical spatial light modulator.

11:15

F2B- II -2 Dynamic Power Dissipation에 의한 Si Miro-Ring Modulator 변조 특성 변화

유병민, 신명진, 김민형(연세대), ZIMMERMANN Lars(IHP), \*최우영(연세대)

We experimentally observe that Si micro-ring modulator (Si MRM) modulation characteristics are strongly influenced by the modulation data rate and determine this influence is due to temperature increase caused by dynamic power dissipation within the Si MRM device. Our results should be of great help for implementing temperature stabilization schemes for Si MRMs.

11:30

F2B- II -3 A Highly Efficient Mid-infrared Filter Based on Cascaded Etalon Resonators Covering the 3-5  $\mu$  m Spectral Band

임철순, \*이상신(광운대)

Highly efficient mid-infrared bandpass filter, which is based on cascaded etalon resonators covering the 3-5  $\mu$ m spectral band, is designed and demonstrated. Exploiting the resonance properties of simple and compact etalon resonator, we should be able to resolve previous problems.

# Dynamic Power Dissipation에 의한 Si Miro-Ring Modulator 변조 특성 변화

유병민, 신명진, 김민형, Lars Zimmermann\*, 최우영

연세대학교 전기전자공학과

\*IHP, Germany.

We experimentally observe that Si micro-ring modulator (Si MRM) modulation characteristics are strongly influenced by the modulation data rate and determine this influence is due to temperature increase caused by dynamic power dissipation within the Si MRM device. Our results should be of great help for implementing temperature stabilization schemes for Si MRMs.

Si photonics를 통해 구현된 광소자들 중 depletion-type Si micro-ring modulator (Si MRM)는 작은 크기와 넓은 대역폭을 갖기 때문에 많은 연구적 관심을 받고 있다 [1]. 하지만 Si MRM의 변조 특성은 다양한 요소에 영향을 받기 때문에 안정적인 Si MRM 동작을 위해서는 이러한 요소에 대한 정확한 이해와 control을 필요로 한다. 본 연구에서는 data rate에 따른 Si MRM의 변조 특성 변화를 실험적으로 관찰하고 이의 원인 분석한 결과를 보고한다.

그림 1(a)는 연구에 사용된 Si MRM의 구조를 보여주고 있다. 이 소자는 IHP에서 제공하는 Si PIC foundry 공정을 통해 제작되었으며, 반지름은 8  $\mu\text{m}$  이고 ring과 직선 도파로 사이의 간격을 나타내는 coupling gap은 290 nm이다. 500-nm의 폭과 220-nm의 두께를 갖는 rib형태의 Si 도파로가 사용되었다. 그림 1(b)는 측정된 Si MRM의 파장에 따른 광 출력 특성 곡선을 나타낸다. 그림 1(c)는 4개의 다른 data rate를 이용하여 측정된 eye diagram을 보여준다. 이때 사용된 입력 광 파장은 그림 1. (b)에서 표시 되어있는 1553.95 nm로 모두 같다. 데이터 변조 속도에 따라 Si MRM의 변조 특성이 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

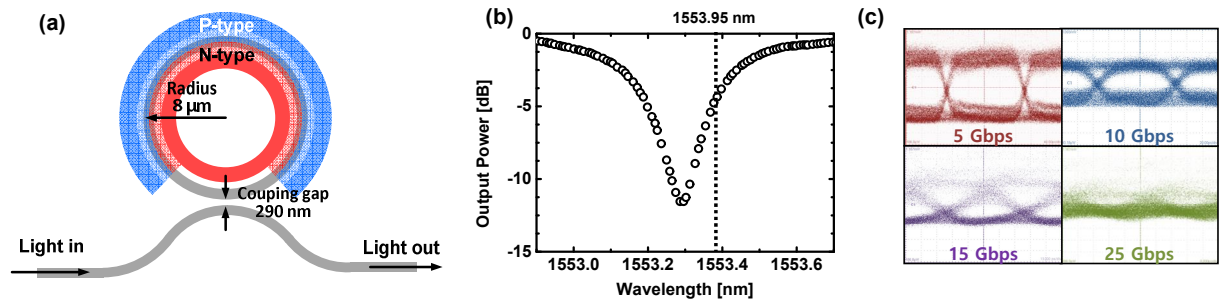


그림 1. (a) Si MRM의 구조. (b) Si MRM의 광 출력 특성 곡선. (c) 다양한 변조 속도에서의 eye diagram (1553.95-nm 동작 파장)

위에서 실험적으로 밝혀진 데이터 변조속도에 따른 Si MRM의 변조특성 변화는 다음과 같이 설명할 수 있다. 전기적으로 Si MRM은 capacitive load이기 때문에 인가된 전압이 변할 때 마다 AC current가 생성된다. 이때 생성된 AC current는 Si MRM의 직렬저항을 통과하며 dynamic power dissipation이 생기게 되고, 그 결과 저항에서 열이 발생한다. 이렇게 생성된 열은 Si MRM 전체의 온도를 증가시키고, Si의 reflective index를 증가시켜 파장에 따른 광 출력 특성곡선이 적색이동하게 된다. 이러한 현상은 잘 알려진 식인 capacitive load에서 dynamic power dissipation에 관련한 식을 통해 설명할 수 있으며 그 식은 다음과 같다 [2]

$$P = \alpha \times C \times V^2 \times f.$$

이때,  $\alpha$ 는 데이터 변조비율, C는 load capacitance, V는 인가전압 그리고 f는 변조속도를 나타낸



다.

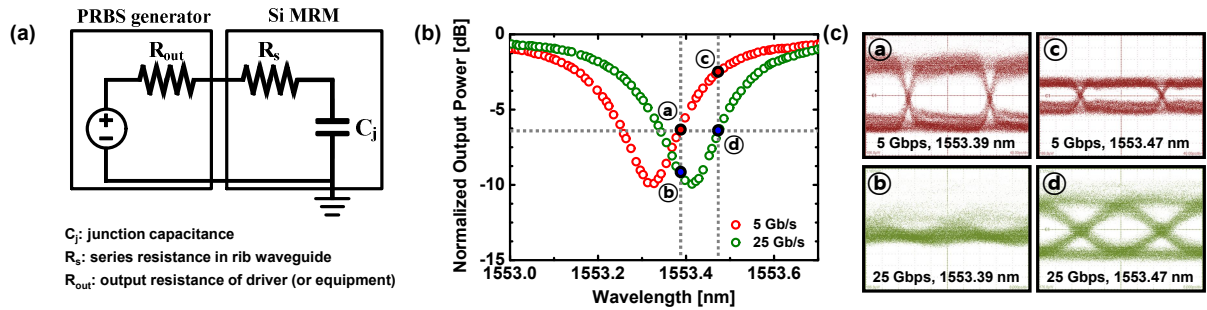


그림 2. (a) Si MRM의 전기적 모델. (b) 5Gb/ps 와 25 Gb/s에서의 광 출력 특성 곡선. (c) 서로 다른 조건에서의 Eye diagram.

Si MRM은 그림 2. (a)에서 보이는 바와 같이 전기적으로 직렬 저항 ( $R_s$ )과 접합 capacitor ( $C_j$ )로 모델링 될 수 있다. Si MRM의 전기적 반사 특성을 측정하여 각각의 값들을 얻을 수 있으며, 본 연구에서 사용된 Si MRM의 경우  $C_j$ 는 14.5 fF,  $R_s$ 는 280  $\Omega$  이다 [3]. 실험적으로 Si MRM을 동작시키기 위해 50  $\Omega$ 의 출력 저항 ( $R_{out}$ )을 갖는 PRBS generator를 사용하였으며,  $C_j$ 에서의 AC current는  $R_s$ 와  $R_{out}$ 에서 각각의 저항비로 소비되기 때문에, 실제 링의 온도를 증가시키는  $R_s$ 에서의 dynamic power dissipation은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P = \alpha \times C \times V^2 \times f \times R_s / (R_s + R_{out})$$

위 식을 통해 25 Gb/s의 변조속도, 4V의 인가전압,  $2^{31}-1$  PRBS 데이터 패턴을 갖는 변조에서는 1.12 mW의 dynamic power dissipation이 생긴다는 것을 알 수 있다. 이 때 Si MRM의 공진파장은 112 pm 만큼 변한다는 것을 실험적으로 알 수 있으며, 이는 링 내부의 온도가 약 1.9  $^{\circ}\text{C}$  만큼 증가했다는 것을 Si의 refractive index의 온도에 따른 변화를 통해 [4] 알 수 있다. 그림 2. (b)는 5 Gb/s와 25 Gb/s의 변조속도에서 광 출력 특성 곡선을 나타내며, 그림 2. (c)는 각각의 변조속도에서 같은 변조 특성을 갖는 파장에서의 eye diagram을 보여준다. 위 결과는 다른 변조 속도를 갖더라도 데이터 변조에 따른 Si MRM의 공진 파장의 변화 분석을 통해 동작 파장을 조정하여 같은 eye quality를 갖는 eye diagram을 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

본 연구는 한국연구재단 [NRF-2015R1A2A2A01007772], 산업통상자원부 [Project No. 10065666]의 지원을 받아 수행되었다.

#### Reference

- [1] T. Baba *et al.*, "50-Gb/s ring-resonator-based silicon modulator," *Optics Express*, vol. 21, no. 10, pp. 11869 - 11876, 2013.
- [2] J. Rabaey *et al.*, "Digital Integrated Circuits : A Design Perspective," in Electrical & electronics, 2nd Edition. New Jersey, Pearson, 2003.
- [3] M. Shin *et al.*, "A linear equivalent circuit model for depletion-type silicon micro-ring modulator," submitted for publication.
- [4] M. S. Nawrocka *et al.*, "Tunable silicon microring resonator with wide free spectral range," *Applied Physics Letters*, vol. 89, no. 7, 071110, 2006.