

**2012**

# **Photonics** **Conference**

December 5 (Wed) ~ December 7 (Fri), 2012  
Bokwang Phoenix Park, PyeongChang

**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 Korea Chapter

**Program**

**Proceeding**

**Exit**



# Photonics Conference 2012

12월 7일(금)

학술발표 F1A

피닉스볼룸1(A)

광통신 모듈

9:00~10:30

09:00(초청논문)

F1A-I 1 ■ Bulk-Si를 이용한 Optical IO Platform 기술 개발 ..... 372  
하경호, 신동재, 김성구, 복진권, 조관식, 지호철, 이범석, 이신영, 조근영, 신용확,  
김정혜, 최상훈, 최한메, 구봉진, 신중환, 박윤동, 정철희(삼성전자)

09:30

F1A-I 2 ■ 수동정렬 광모듈 설계를 위한 요소 분석 ..... 374  
이학순, 이상신(광운대)

09:45

F1A-I 3 ■ 홀리소그래피에 의한 웨이퍼-스케일 금속 나노 구조물 제작 ..... 376  
나형주, 송석호(한양대)

10:00

F1A-I 4 ■ Self Seeded F-P LD 기반의 파장 가변 레이저 광원 구현 ..... 378  
황지홍, 오영국, 이혁재(경남대), 이창희(KAIST)

10:15

F1A-I 5 ■ 이득 매질로 덮혀있는 표면 플라즈몬 공명 격자에서의 결맞음 완전 흡수 및 증폭 ..... 380  
정명진, 송석호(한양대), 윤재웅(UTA)

학술발표 F1B

피닉스볼룸2(B)

광결정

9:00~10:30

09:00(초청논문)

F1B-I 1 ■ 2차원 광자 결정 나노 공진기의 최신 연구 ..... 382  
송봉식, 전승우, 정대호, 박세영, 이찬(성균관대), T. Asano, S. Noda(Kyoto Univ.)

09:30(초청논문)

F1B-I 2 ■ 평행도파로에 삽입된 photonic 결정에 의한 테라헤르츠 필터 ..... 383  
이의수, 전태인(한국해양대)

# Photonics Conference 2012

10:00

- F1B-Ⅱ3 ■ 반사형 폴리머 브라그 격자를 이용한 파장 가변 레이저 ..... 385  
 변종현, 전민용(충남대), 서준규, 이학규(캠옵틱스)

10:15

- F1B-Ⅱ4 ■ 실리콘 링 공진기의 Critical Coupling에 직선 도파관의 너비와 Gap 거리가 미치는 영향분석 ..... 387  
 반유진, 이정민, 유병민, 최우영(연세대)

학술발표 F1D

다이아몬드 | (D)

광섬유 레이저 II

9:00~10:30

09:00(초청논문)

- F1D-Ⅳ1 ■ 다중대역 증적외선 광원 개발 ..... 389  
 임창환, 윤인호, 박세민(한국원자력연구원), 이용수, 김현태, 이수상(두산DST),  
 김덕래, 진상훈, 김성운(LIG 넥스원), 신재현, 김정목(한빛레이저),  
 곽윤석, 김태경, 최안식(QSI), 이봉완(파이버프로), 최영철(코시스텍), 윤춘섭(KAIST)

09:30

- F1D-Ⅳ2 ■ 탄소나노튜브가 증착된 D-shaped fiber를 이용한 1.89-um Q-스위칭 Thulium 첨가 광섬유 레이저에 관한 연구 ..... 391  
 정민완, 이주한(서울시립대)

09:45

- F1D-Ⅳ3 ■ 펄스초 광섬유 레이저를 이용한 저위상잡음 RF 신호원 개발 ..... 393  
 정광연, 김정원(KAIST)

10:00

- F1D-Ⅳ4 ■ C/L-밴드에서 빠른 응답 속도로 광대역 스위칭이 가능한 이중 파장 어블 첨가 광섬유 레이저 ..... 395  
 안승빈, 김현주, 한영근(한양대)

10:15

- F1D-Ⅳ5 ■ Si-VOA 기반의 능동형 모드잠금기와 탄소나노튜브 포화흡수체를 이용한 Q-스위칭 모드잠금 레이저 ..... 397  
 구준희, 이준수, 이주한(서울시립대)

# Photonics Conference 2012

12월 7일(금)

시간/장소	피닉스볼룸1(A)	피닉스볼룸2(B)	피닉스볼룸3(C)	다이아몬드 I (D)	다이아몬드 II(E)
08:00~18:00	등록 (1층 등록데스크)				
09:00~10:30	광통신 모듈 좌장: 성혁기(홍익대)	광결정 좌장: 이명현(성균관대)	Tutorial 2 좌장: 강훈중(KETI)	광섬유 레이저 II 좌장: 김지원(한양대)	3차원 디스플레이II 좌장: 김휘(고려대)
	F1A- I 1~5	F1B- II 1~4	9:00~9:45 민성욱 (경희대)  9:45~10:30 고도경 (GIST)	F1D-IV1~5	F1E- V1~5
10:30~10:45	Coffee Break				
10:45~12:15		플라즈모닉스 좌장: 이욱재(KAIST)			홀로그래피 좌장: 김영민(KETI)
		F2B- II 1~5			F2E- V1~5
11:45~13:00	Recruit 및 경품 추첨 좌장: 오광룡(ETRI)				

## 실리콘 링 공진기의 Critical Coupling에 직선 도파관의 너비와 Gap 거리가 미치는 영향분석

### The Influence of Straight Waveguide Width and Gap Distance on Critical Coupling in Silicon Ring Resonator

반유진\*, 이정민, 유병민, 최우영  
연세대학교 전기전자공학과

This work has been surveyed to study the operation of silicon ring resonator on 220 nm SOI substrate. Simulations were carried out using Lumerical Mode Solutions. Doping concentrations are calculated using Sentaurus Device simulation. This work investigated the influence of varying straight waveguide width and gap distance on critical coupling of ring resonator.

Silicon photonics는 board-to-board, chip-to-chip interconnect 등의 응용분야에서 요구되는 초고속 interconnect 기술에 효과적으로 활용될 수 있는 플랫폼을 제공해 커다란 관심의 대상이 되고 있다 [1]. 최근 *OpSIS (Optoelectronic Systems Integration in Silicon)*에서는 SOI (Silicon on Insulator) 기반 silicon photonics foundry 서비스를 제공하기 시작하여, 상대적으로 낮은 가격으로 광소자를 포함하는 광집적회로 구현이 가능하게 되었다 [2]. 광변조기중 링 타입 광변조기는 Mach-Zehnder 변조기에 비해 작은 면적과 낮은 동작 전압을 가지며 lumped 소자로 동작시킬 수 있어 전기회로와의 집적화에 있어 큰 장점을 가진다 [3]. 링 타입 광변조기는 링 공진기의 구조를 차용한 것으로, 공진기 내 P/N junction에 역 전압이 인가되어 변한 전자와 정공의 농도가 refractive index를 바꿔 빛에 대한 파장별 특성을 변화시키는 원리를 이용한다 [4].

그림 1은 링 공진기의 도식도이며, 일반적으로 같은 너비를 가지는 직선과 링 모양의 도파관으로 구성된다. 공진조건에서 through port로 전달되는 빛의 전파 세기는 다음과 같다.

$$P_{t1} = |E_{t1}|^2 = \frac{(a - |t|)^2}{(1 - a|t|)^2}, \quad (|\kappa|^2 + |t|^2 = 1, \quad a = e^{-\alpha L}) \quad (1)$$

여기서,  $a$ 는 링 공진기 내에서의 손실이며 감쇄상수  $\alpha$ 와 공진기의 전체 둘레  $L$ 로 나타낼 수 있다.  $\kappa$ 는 coupling coefficient이고,  $t$ 는 through coefficient이다.  $P_{t1}$ 이 0이 될 때, 즉  $a$ 와  $|t|$ 가 같은 값을 가질 때를 critical coupling이라 한다. 그러나 작은 크기의 링 공진기의 경우 interaction 길이가 짧아 충분한 coupling을 얻기 어렵다. 이를 위해 gap 거리를 줄이는 방법이 있으나 공정상의 한계로 제한을 받게 된다. 또 다른 해결책으로 racetrack 구조도 있지만, 이는 공진기 내의 직선 구간과 곡선구간 경계에서의 모드 불일치로 손실이 더욱 커진다는 단점이 있다 [5].

본 논문에서는 gap 거리  $g$ 를 줄이거나 직선구간을 추가하지 않고 critical coupling을 얻기 위하여 직선 도파관의 너비  $W$ 를 줄이는 방법을 제안한다.  $W$ 를 줄이면 도파관의 effective index가 작아져 cladding에서 빛의 감쇠가 줄어들어 그 결과 공진기와의 더 높은 모드 overlap을 만들어 낼 수 있어 coupling 효율을 증가시킬 수 있다 [5]. 본 연구에서는 *OpSIS*에서 제공하는 IME silicon photonics 공정 [6]에 맞춘  $10 \mu\text{m}$ 의 반지름과  $500 \text{ nm}$ 의 링 도파관 너비를 가지는 링 공진기를 설계하였다. *Synopsys*사의 *Sentaurus Device* 시뮬레이션을 통해 전자, 정공의 농도 분포를 얻었으며, 이를 이용하여 *Lumerical*사의 *MODE Solutions*내의 Finite-Difference Time-domain 시뮬레이션에서  $1.55 \mu\text{m}$  파장대역의  $W$ 와  $g$ 에 따른 coupling 효율  $K = |\kappa|^2$ 과  $P_{t1}$ 을 분석하였다.

그림 2은 설계된 링 공진기의 단면 구조와 농도분포를 보여준다. *Mode Solutions*를 통해 계산

된 scattering 손실과 bending 손실을 포함한 총 손실  $a$ 는 0.99이다 [6]. 그림 3에서 계산된  $K$ 와  $P_{t1}$ 의 관계를 나타내었다.  $K$ 가 크다고 해서 critical coupling을 얻을 수 없음을 알 수 있다. 약 0.02 부근의  $K$ 값에서만 critical coupling이 일어난다. 그림 4(a)는  $W$ 가 300, 350, 400, 450, 500 nm 일 때,  $g$ 를 변화시키며 얻어낸  $K$ 값이다. 붉은 선은 critical coupling이 일어나는  $K_{critical}$ 을 나타내며 이 선과 곡선이 만나는  $g$ 가  $g_{critical}$ 이다.  $g_{critical}$ 는  $W$ 가 감소할수록 증가한다. 그림 4(b)에서는 (a)에서 얻은  $K$ 로 이론적으로 계산된  $P_{t1}$ (점선)과 실제 시뮬레이션 결과를 보여준다.  $g_{critical}$ 에서  $P_{t1}$ 의 최소점이 생기게 된다. 오차는 공진구간 내에서 커지는데 이는 수치해석상의 문제라고 생각된다. 또한 그림 4(a)에서  $W$ 가 300 nm 일 때의 곡선의 경우 지속적으로 증가하지 않는데 이는  $W$ 가 너무 작아 빛이 제대로 전파되지 않기 때문이다 [그림 5].

본 연구에서는 집적도를 높이기 위한 10  $\mu\text{m}$ 의 작은 반지름의 링 공진기에서 critical coupling을 만족시키는 조건을 찾아보았다. 링 공진기가 작기 때문에  $g_{critical}$  거리가 상대적으로 작다. 하지만 공정상  $g$ 가 작을수록 공정오차가 커지게 되는데 반해 critical coupling은  $g$ 값에 아주 민감하기 때문에 문제가 생길 수 있다. 따라서 도파관의 너비를 줄이는 방법으로  $g_{critical}$ 을 늘렸다. 시뮬레이션 결과 일반적인  $W$ 가 500 nm 인 구조에서  $g_{critical}$ 값은 230 nm 이지만  $W$ 를 450 nm 로 줄이면  $g_{critical}$ 를 268.6 nm 로 늘려 공정민감도를 줄일 수 있다.

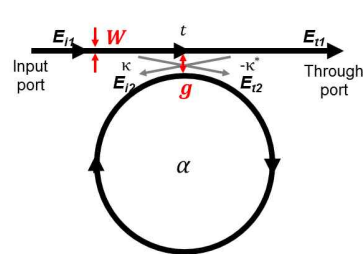


그림 1 링 공진기의 도식도

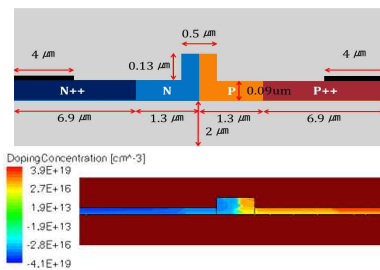


그림 2 링 공진기의 단면도

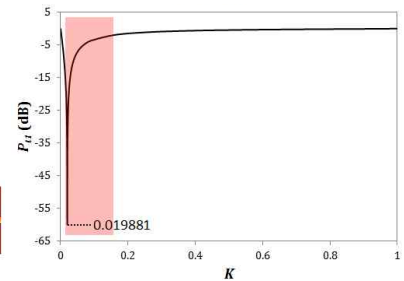


그림 3  $K$ 의 변화에 따른  $P_{t1}$

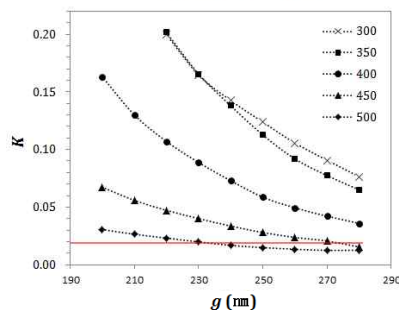
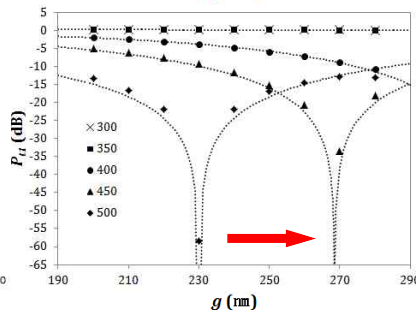


그림 4 (a)  $g$ 의 변화에 따른  $K$



(b)  $g$ 의 변화에 따른  $P_{t1}$

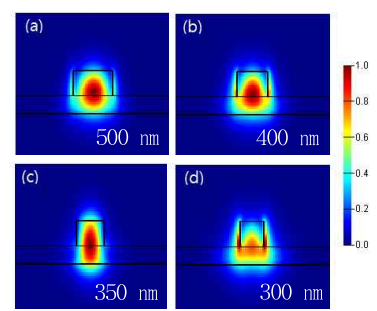


그림 5  $W$ 에 따른 모드 분포

### 참고 문헌

- [1] B. G. Lee et al., *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 16, no. 1, pp. 6-22, Jan/Feb 2010.
- [2] K. Bourzac, *Nature News*, vol. 483, p. 388, Mar. 2012.
- [3] A. Ayazi et al., *Optis Express*, vol. 20, no. 12, pp. 13115-13122, Jun. 2012.
- [4] R. Soref et al., *IEEE, Quantum Electronics*, vol. 23, pp. 123-129, Jan. 1987.
- [5] Q. Xu et al., *Optis Express*, vol. 16, no. 6, pp. 4309-4315, Mar. 2008.
- [6] T. Pinquet, *IME OPSIS Design Rule Manual*, OpsiS, Rev. 1.5, Feb. 2012.