

변조된 DFB 레이저를 이용한 광 송수신기의 SMSR 수율 향상에 관한 연구

권윤구¹, 김창봉^{2*}

¹(주)빛과전자 광전자연구소, ²공주대학교 정보통신공학부

The Research on SMSR Yield Improvement of the Optical Transceiver Using Modulated DFB Laser

Yoon-Koo Kwon¹ and Chang-Bong Kim^{2*}

¹Opto-electronics R&D Center, Lightron Fiber-optic Devices Inc.

²Division of Radio-wave Engineering, Kongju National University

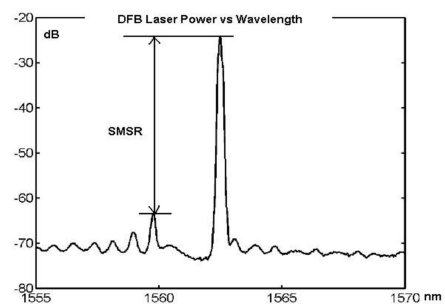
요약 본 논문은 광 통신용 송수신기의 핵심 부품인 DFB 레이저의 SMSR 수율 향상에 관한 연구이다. 광 송수신기는 주로 1310, 1490 및 1550 nm 파장의 DFB 레이저를 사용하고 있는데, 변조된 DFB 레이저의 SMSR 특성에 따라 전송효율이 결정되므로, 변조된 DFB 레이저의 SMSR 특성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 하지만, 대량 생산시 변조된 상태의 광 송수신기 제품이 SMSR 사양에 만족하기가 어려울 경우, 불량률이 높아지는데, 불량률을 감소시키기 위해 광 송수신기의 광 파워 출력과 소광비를 조정하여 SMSR을 개선할 수 있는 연구를 하였고, 이를 실제 적용하여 SMSR 불량률을 감소시켰다.

Abstract This paper is the research on SMSR yield improvement of the optical transceiver using modulated DFB laser. In general, the wavelength of DFB laser optical transceiver are 1310, 1490 and 1550 nm. Usually SMSR in modulated DFB is difficult to improve as low as 30 dB because of high slop efficiency trade off. In modulation condition, we studied SMSR improvement according to adjust bias current, extinction ratio and optical line terminal receiver sensitivity. As our test results, we can found a method how to improve SMSR for optical transceiver for long distance.

Key Words : SMSR(Side Mode Suppression Ratio), DFB(Distributed Feedback), Optical Transceiver, ER(Extinction Ratio)

1. 서론

일반적으로 IEEE 802.3ah 규격에 준하는 이더넷 광통신 전송망에서 10km 및 20 km 전송을 위해서는 광 송수신기에 주로 1310, 1490 및 1550 nm 파장의 DFB(Distributed Feedback) 레이저를 사용하고 있다.[1] 여기에 사용되는 DFB 레이저는 보통 1.25Gbps 및 2.5 Gbps 수준의 광전송 속도와 최소 8.2 dB 이상의 소광비(ER, Extinction Ratio)가 필요하며, 신호가 변조된 상태에서 SMSR(Side Mode Suppression Ratio)값이 최소 30 dB 이상 확보 되어야 한다[2].



[그림 1] SMSR 개요[3]

*교신저자 : 김창봉(aggie@kongju.ac.kr)

접수일 11년 03월 30일

수정일 11년 05월 06일

게재확정일 11년 05월 12일

SMSR은 그림 1과 같이, DFB 레이저의 특정 파장 주 모드의 광 파워 대비 가장 큰 측면 모드의 광 파워 차이 값으로 해석할 수 있다[3].

수식으로는 아래와 같이 정의할 수 있으며, DFB 레이저 다이오드의 특성에 의존성이 크다[4].

$$SMSR = \frac{\text{Main Mode Power}}{\text{Side Mode Power}} = \frac{P_0}{P_{\pm 1}} = 1 + \frac{S_0}{\tau_p R_{sp}} \left(\frac{\delta\lambda}{\Delta\lambda} \right)^2$$

τ_p : Photon Life Time

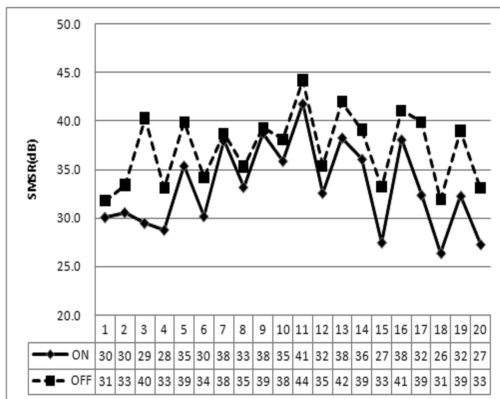
S_0 : Photon Density in Resonator

R_{sp} : Spontaneous Emission Rate

$\Delta\lambda$: Spectral Width

$\delta\lambda$: Longitudinal Mode Spacing

DFB 레이저는 변조되지 않은 무변조 연속 신호 CW(Continuos Wave) 상태에서는 SMSR이 사양에 만족 하더라도 신호 변조가 되면 광 스펙트럼의 형상이 두꺼워지면서, SMSR 특성이 나빠지는 경우가 종종 발생한다 [5]. 그림 2는 1310nm DFB 레이저의 변조유무에 따른 SMSR 변화를 확인해 본 것으로, SMF(Sigle mode fiber) 3 m 길이에서 2.5 Gbps PRBS 2⁷-1의 변조로 실험을 하였다. X축은 샘플 시리얼 번호를 의미 하며, Y축은 SMSR 수치를 의미한다. Y축의 단위는 dB이며, 샘플 수는 신뢰도를 높이기 위해 20 개를 실험했다. 본 실험에 따르면 변조가 있을 때의 SMSR이 무변조 상태보다 나빠지는 것을 알 수 있다. 이는 제조과정에서 수율 문제로 이어질 수 있으므로 이를 개선하는 것은 생산수율에 있어서 매우 중요하다.



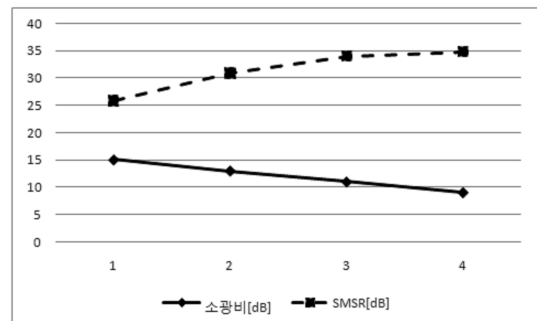
[그림 2] 변조 유무에 따른 시험결과 (점선: 무변조 상태, 실선: 변조 상태)

따라서 본 연구에서는 SMSR 특성 개선을 위해서 DFB 레이저의 바이어스 전류와 소광비의 변화에 따른 시험을 수행하였고, 또한 이에 따른 수신기의 수신감도의 변화를 조사하여 신호변조가 된 상태에서 DFB 레이저의 SMSR 개선 방법을 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 소광비(ER)에 따른 SMSR 변화

광통신 네트워크에서 20 km 전송 거리까지는 광 송신기의 소광비가 커질수록 광 수신기의 수신감도는 좋아지며, SMSR이 낮아지면 광 분산으로 인해 잡음이 발생할 수 있다. 하지만 전송거리가 길어지면 소광비가 높을수록 색분산이 발생하여 소광비가 낮아야 유리한 경우도 있다. 따라서, SMF를 사용하는 광전송망에서는 1310 nm 이 영분산점 근처이지만, 1490 및 1550 nm의 색분산을 고려한다면 20 km정도까지 적합한 전송거리라고 볼 수 있다. 하지만, 40 km이상의 장거리 전송을 위해서는 1330 nm은 1550 nm 대역보다는 광섬유에서 감쇄가 심해 영분산점을 1550 nm 대역으로 이동시킨 광섬유가 사용되기도 한다.



[그림 3] 1.25 Gbps에서의 소광비 변화에 따른 SMSR 시험결과

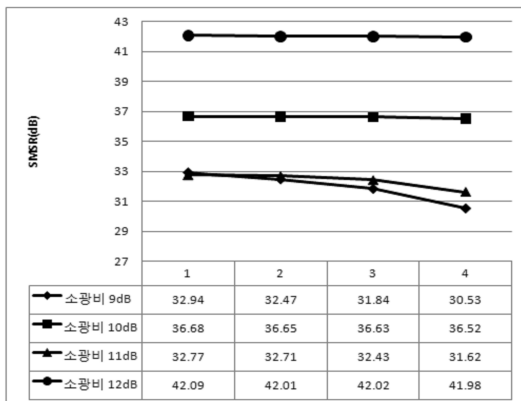
첫 번째 실험 조건은 이더넷 IEEE 802.3ah 규격에 준하여 1490 nm 광 송신기의 광 파워 출력을 +3.0 dBm에 고정하고 1.25 Gbps의 PRBS 2⁷-1 변조 신호 입력에 가했으며, 20 km SMF를 사용 하였다. 표 1과 같이 소광비를 최대 15 dB에서 약 2 dB씩 낮추면서 SMSR값을 확인했으며, 그림 3과 같이 소광비가 낮아질수록 SMSR이 좋아지는 것을 알 수 있었다. X축은 동일 샘플을 이용하여 총 4 회의 실험 순서 번호를 의미 하며, Y축은 SMSR 수치를 의미한다. Y축의 단위는 dB 이다.

[표 1] 소광비에 따른 SMSR 및 수신감도 시험결과

순서	소광비 (dB)	SMSR (dB)	수신감도 (dBm)
1	15.05	25.87	-31.44
2	13.02	30.87	-31.09
3	11.01	34.02	-29.82
4	9.05	34.83	-29.66

또한, 일반적으로 파장에 따른 색분산 특성이 나빠지지 않는 조건에서는 소광비가 높을수록 수신기의 수신감도 특성이 좋기 때문에, 표 1에서 보듯이 소광비 변화에 따른 수신기의 수신감도를 확인 해 보니, 소광비가 낮아질수록 수신감도 특성이 나빠지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 SMSR을 높이기 위해서 소광비를 무조건 낮추기는 어렵다는 것을 증명하는 것이며, 이를 잘 고려하여 SMSR 특성 개선을 해야 한다.

그리고, 1.25 Gbps보다 더 빠른 2.5 Gbps에서도 동일한 결과가 나오는지 확인하기 위해서 동일한 20 km SMF를 사용하여, 1490 nm 광 송신기의 광 파워 출력을 +0 dBm에 고정하고 송신 속도 2.5 Gbps의 PRBS 2⁷-1 변조 신호를 광 송신기에 가했다. 그 다음 소광비를 9 dB, 10 dB, 11 dB 및 12 dB씩 1 dB간격의 변화를 주면서 SMSR값을 확인했다. 그림 4와 같이 2.5 Gbps의 조건에서도 지난 1.25 Gbps 실험에서 얻었던 결과와 동일하게 소광비가 낮아질수록 SMSR이 좋아지는 것을 다시 확인할 수 있었다. X축은 동일 샘플에 대해 변경 소광비를 의미 하며, Y축은 SMSR 수치를 의미한다. Y축의 단위는 dB 이다.



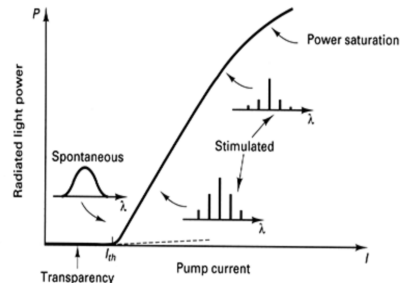
[그림 4] 2.5 Gbps에서의 소광비 변화에 따른 SMSR 시험 결과

따라서, 소광비의 변화에 따른 SMSR의 개선방향을

확인할 수 있었으며, 소광비가 낮아지면 광 송신기 DFB 레이저의 SMSR은 향상되는 것은 분명하다. 하지만, 20 km 이내의 SMF에서는 파장에 상관없이 광 송신기의 낮은 소광비 값은 광수신기의 수신감도 특성을 나빠지게 만들기 때문에, 높은 소광비를 유지하면서도 SMSR과 수신감도 모두를 만족시킬 수 있는 개선 형태가 되어야 높은 수율을 보장할 수 있다.

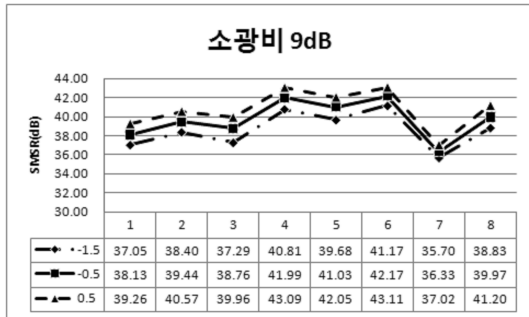
2.2 광 파워 출력에 따른 SMSR 변화

일반적으로 DFB 레이저는 그림 5에서 볼 수 있듯이 주입 전류값과 출력 광 파워가 선형적으로 비례한다. 전류가 계속 증가하면 레이저 다이오드의 광 파워의 증가율이 감소하여 포화 상태가 된다. 즉, 포화상태가 되기 전까지는 레이저의 바이어스 전류를 높여서 광 파워 출력이 높아질수록 SMSR 특성이 좋아 지는 것을 알 수 있다 [4].

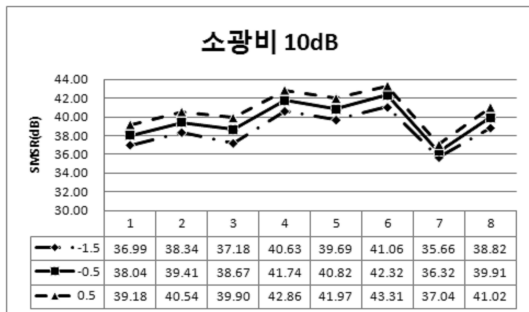


[그림 5] 바이어스 전류 변화에 따른 SMSR [4]

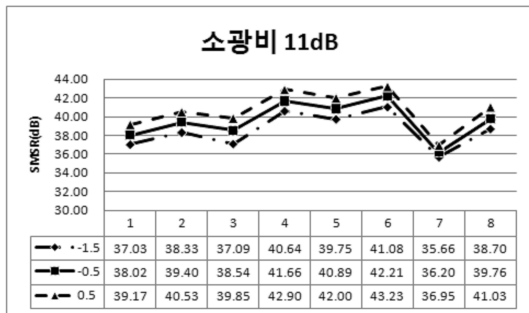
따라서, 이를 확인하기 위해서 1310 nm 2.5 Gbps DFB 레이저의 소광비 값을 고정하고, 20 km SMF를 사용하여 실험하였다. 레이저의 바이어스 전류 값을 변화시켜 광 파워 출력, P_{out} 을 -1.5, -0.5 및 +0.5 dBm으로 1 dB씩 올리면서 Optical Spectrum Analyzer로 SMSR 값을 확인하였다. 그림 6에서 보듯이 소광비를 9 dB로 고정하고 광 파워 출력 변화를 주게 되면, 광 파워 출력이 높아질수록 SMSR 값이 개선되어 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 광 파워 출력을 1 dB 높이면 SMSR도 약 1 dB가량이 좋아진다는 의미이다. X축은 실험에 사용된 각 8 개 샘플의 시리얼 번호를 의미 하며, Y축은 측정된 SMSR 값을 의미한다. Y축의 단위는 dB 이다. 그리고 마찬가지로 그림 7 및 그림 8의 실험결과에서도 보듯이 소광비 10 dB 및 11 dB로 고정하더라도 광 파워 출력이 높아질수록 SMSR 값이 향상되어 좋아지는 것을 확인했다.



[그림 6] 소광비 9 dB 고정 후, 광 파워 출력 변화에 따른 SMSR 시험결과



[그림 7] 소광비 10 dB 고정 후, 광 파워 출력 변화에 따른 SMSR 시험결과



[그림 8] 소광비 11 dB 고정 후, 광 파워 출력 변화에 따른 SMSR 시험결과

위의 시험 결과를 요약하면, 2.5 Gbps의 전송속도와 SMF 20 km 전송거리에서 광 송신기의 소광비를 고정한다고 가정한다면 광 파워 출력을 1 dB 올리면 SMSR 수치도 약 1 dB가량이 좋아지는 것이다.

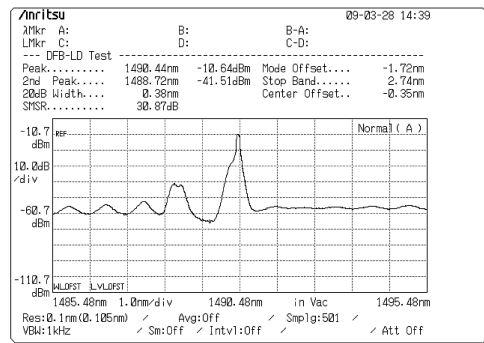
또한, DFB 레이저의 광 파워 출력을 높이면서 SMSR 값을 향상시키게 되었을 경우의 수신감도 특성도 확인이 필요했으며, 이에 따른 실험 결과는 표 2에서 확인할 수 있다. SMF 20 km를 사용하여 2.5 Gbps 1490 nm 광 송신기의 소광비 설정 값은 일반 E-PON 광 송수신망에서 사

용할 수 있도록 10 dB이상으로 하고 수신감도 특성 실험을 하였다. 광 수신기의 수신감도는 광 파워 출력 및 SMSR에는 크게 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었으며, 앞의 소광비 변화에 따른 시험에서 보았듯이, 소광비가 크면 클수록 수신감도 특성이 좋아진다는 결론을 내릴 수 있다.

[표 2] 광 파워 출력에 따른 SMSR 및 수신감도

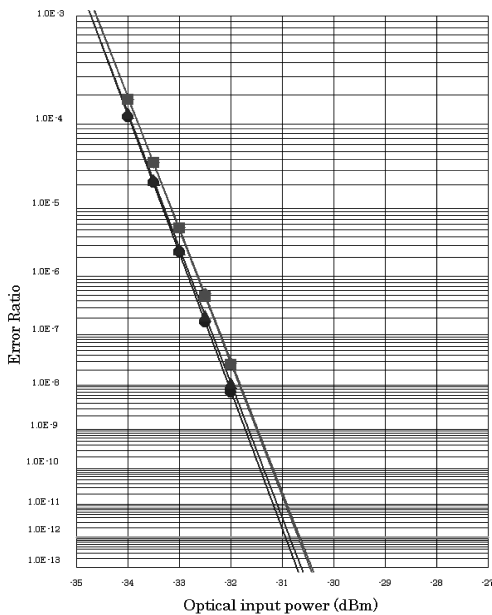
순서	소광비 (dB)	광파워 (dBm)	SMSR (dB)	수신감도 (dBm)
1	15.05	3.0	25.87	-31.44
2	14.77	3.5	27.61	-31.20
3	14.78	4.0	29.52	-31.40
4	14.77	4.5	30.87	-31.20

IEEE 802.3ah 규격을 만족하기 위해서 광 송수신기에서는 SMSR의 최소 사양을 30 dB까지 원하고 있는데[2], 표 2의 실험 결과에서 보듯이 순서 1번부터 4번까지의 SMSR 측정값은 광 파워 출력이 높아짐에 따라 순차적으로 좋아지는 것을 알 수 있다. 결국 순서 4번의 시험 결과에서는 SMSR 30 dB이상을 만족할 수 있는데, 이는 DFB 레이저의 바이어스 전류를 높게 증가시켜서 광 파워 출력이 높아질수록 SMSR 값도 좋아지는 것을 증명하는 것이다. 따라서 그림 9는 표 2의 실험으로부터 20km 전송 후에 Optical Spectrum Analyzer에 의해 측정된 결과이며, 표 2의 최종 순서 4 번에서 SMSR 30.87 dB로 개선한 실험결과를 그래프로 보여주는 것이다. 본 실험결과는 SMF 광케이블 및 계측장비의 커넥션 손실이 발생하여 주 모드 신호의 세기 -10.64 dBm를 측정되었으며 측면에 올라오는 사이드 모드의 세기 -41.51 dBm로 측정 되었다. 이들 두 개의 값의 상호 차이를 계산하여 SMSR 30.87 dB로 표시됨을 확인 할 수 있다.



[그림 9] 개선되어 확인된 SMSR 시험결과

그리고 그림 10은 위와 동일한 샘플에 대해 동일한 실험 조건으로 전송 속도 1.25 Gbps에서 비트 에러 시험기를 이용하여 PIN-PD 수신기로 측정하여 얻은 BER(Bit Error Rate)결과를 그래프로 그린 시험 결과이다. 본 시험 결과를 얻기 위해서는 광 수신기에 입력되는 광 파워를 광 감쇄기로 조정하면서 비트 에러를 확인해야 하는데, 이 그래프를 통해 선형성 있는 수신감도 특성 확보가 되었는지 확인 할 수 있다. 그림 10의 BER 그림을 보면 광 입력 범위에 따라 매우 선형적으로 기울기가 형성되는 것을 볼 수 있다. 이는 표 2에 기재된 바와 같이 순서에 따라서 순차적으로 실험을 하였으며, 원형 파란색 표식은 순서 1, 사각형 주황색 표식은 순서 2, 삼각형 갈색 표식은 순서 3, 마름모형 초록색 표식은 순서 4의 BER 결과이며, 수신되는 광 입력을 -35 dBm부터 -27 dBm까지 0.5 dB 간격으로 조정하면서 BER 카운트를 1E-3부터 1E-12 까지 모니터링하여 얻어낸 수치를 그래프로 그린 것이다.



[그림 10] 광수신기의 개선된 수신감도 BER 커브

보통 파장에 관계없이 E-PON 1.25 Gbps BER 1E-12에서 PIN-PD를 사용하는 조건에서는 -26 dBm 이하의 수신감도 특성이면 IEEE 802.3ah 규격에 만족한다고 보는데, 표 2에서 보듯이 본 실험 결과에서는 순서 1부터 순서 4까지 모든 조건에서 약 -31.44 dBm에서 -31.20 dBm 수준의 훨씬 좋은 수신감도 결과를 얻을 수 있었다. 이는 지금까지의 본 논문 실험을 통해 얻은 결과를 반영하여 제품 사양에 벗어나지 않는 수준에서 소광비를 높게 설

정하고 광 파워 출력을 순차적으로 높이면서 변조된 SMSR 특성을 좋게 만들 수 있다는 것을 증명한 것이다. 또한 수신기의 수신감도 특성도 BER 선형성을 유지하면서 문제없이 좋은 특성을 만족시킬 수 있다는 것을 보여 준다.

3. 결론

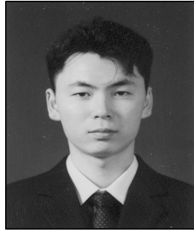
광 송수신기를 생산하는 대부분의 제조업체에서는 CW(Continuous Wave) 상태의 DFB 레이저 SMSR 측정 값으로는 변조 후의 결과 값을 예측하기 어렵고, DFB 레이저를 변조시킨 후에는 상대적으로 좋지 못한 값의 측정 결과를 얻을 수 있는데, 이는 생산 수율을 떨어뜨리는 주요 요인이 될 수 있다. 따라서 변조된 DFB 레이저의 SMSR 값을 개선하기 위해서는 소광비를 감소시켜서 SMSR 값을 증가시킬 수 있지만, 색분산의 영향이 적은 20 km 전송거리까지는 소광비가 감소되면 광 수신기의 수신감도가 나빠진다. 이를 해결하기 위해서 광 송수신기의 소광비를 고정 시킨 후 제품 규격에 벗어나지 않는 범위 내에서 광 파워 출력을 증가 시키게 되면, 광 수신기의 수신감도도 좋게 유지하면서 변조된 DFB 레이저의 SMSR 값을 보다 좋게 개선시킬 수 있다. 이러한 실험 결과를 생산 현장에서 활용 한다면, 10 및 20 km 전송에 사용하는 1310, 1490, 1550 nm DFB 레이저를 적용한 1.25 및 2.5 Gbps 광 송수신기 생산 수율 향상에 많은 도움을 줄 수 있다.

참고문헌

- [1] 레이저기술 통권96호, “통신용 장파장 LD(Laser Diode) 기술동향: 반도체 발광소자의 기술개발 및 향후 기술 전망” 한국산업정보센터, 2002.1. pp.27-32
- [2] Yariv, A. “Optical Electronics in Modern Communications” 5th Ed., Oxford Un. Press, New York, 1997.
- [3] NSL(NanoStructures Laboratory), “Development of High Speed DFB and DBR Semiconductor Lasers” Figure 63, Measured spectrum of a DFB laser. Side mode suppression ratio is 40 dB, Annual report 2000.
- [4] 한국통신학회 정보통신기술 총서1, “초고속 광통신 기술”, 한국통신학회, 1996.12, pp.152-185
- [5] Asier Villafranca, "Precise characterization of the frequency chirp in directly modulated DFB lasers" IEEE TOYBA Lab. 13A, University of Zaragoza, PT Walqa, Ed. 1 22197 Cuarte.

권 윤 구(Yoon-Koo Kwon)

[정회원]



- 1998년 2월 : 공주대학교 정보통신공학 (공학사)
- 2000년 2월 : 공주대학교 대학원 전기전자공학 (공학석사)
- 2011년 현재 : 공주대학교 대학원 정보통신공학 박사과정
- 2004년 1월 ~ 현재 : (주)빛과전자 연구소장

<관심분야>

광소자, 광트랜시버, 광전송, RFoG

김 창 봉(Chang-Bong Kim)

[정회원]



- 1988년 6월 : 미국 Florida Institute of Technology 전기전자공학 (공학석사)
- 1992년 5월 : 미국 Texas A&M University 전기전자공학 (공학박사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : 미국전기전자공학회(IEEE) Senior Member
- 1993년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 전파전공 정교수

<관심분야>

광소자, 광전송, 태양전지