

광대역 피코셀 응용을 위한 다중양자우물 광전흡수 변조기 A Multiple Quantum Well Electro-absorption Modulator for Broadband Picocell Applications

송주빈*

Ju Bin Song*

요 약

본 논문은 수직 구조와 고성능 특성을 가진 InGaAsP 다중양자우물(MQW; Multiple Quantum Well) 비대칭 페브리페롯 변조기(AFPM; Asymmetric Fabry-Perot Modulators)에 관한 연구결과로서 광대역 동작특성과 저가격이 요구되는 피코셀과 같은 차세대 광대역 무선통신 시스템에 응용 가능성을 제안하고자 한다. 이 AFPM은 <-2V 동작전압과 광섬유와 간단히 결합되어 결합손실이 3dB 내외인 장점과 -3dB 주파수응답 특성이 10GHz인 특성을 보이므로 광대역 및 다중 무선서비스가 요구되는 시스템에 적용 가능할 것으로 기대된다. 이를 위한 간단한 링크실험 결과 92dB/Hz의 SFDR(Spurious Free Dynamic Range)과 약 40dB의 IMD(Inter-Modulation Distortion)의 결과를 보였다.

Abstract

This paper presents the development of InGaAsP multiple quantum well asymmetric Fabry-Perot modulators(AFPM), which have a vertical structure and high performance and describes measurements of devices operating at 10GHz for next generation broadband wireless communication applications such as picocell systems. Advantages of the AFPM include low drive voltage, which is less than -2V, and -3dB coupling loss, good flatness of the frequency response and simple fiber alignment. A simple link demonstration has been introduced, resulting in 92dB/Hz spurious free dynamic range and 40dB inter-modulation distortion. This modulator could be use for broadband radio over fiber systems such as picocell and multiple RF links.

Key words : Multiple Quantum Well Modulators, Electro-absorption Modulators, Picocell, Radio over Fiber.

I. 서 론

차세대 전파통신 네트워크는 고주파수화 및 광대역화로 인하여 빌딩 내에서 또는 밀집지역에서 광섬유에 기반한 전파신호를 분배하는 형태로 발전하게 될 전망이다. 특히, 무선랜(WLAN), 이동통신 및 밀

리미터와 통신은 높은 캐리어 주파수를 사용하게 되고 RFID(Radio Frequency IDentification), UWB(Ultra-WideBand) 및 ITS(Intelligent Transportation Systems)을 포함한 다중 캐리어 멀티미디어 서비스를 제공하게 된다. 이와 같은 경우 셀의 형태는 피코셀이 될 것으로 예측된다. 피코셀

* 경희대학교 전자정보대학(Radio Communication Eng., College of Eletronics and Information, Kyung Hee University)

· 논문번호 : 2004-2-1

· 접수일자 : 2004년 5월 21일

은 셀 당 기지국 수에 비례하여 많은 투자비용이 요구되는 단점이 있어 서비스의 활성화를 위하여 셀 당 설치비용을 최소화하는 구도가 요구된다[1]. 따라서 논문에서는 피코셀 시스템의 응용을 위하여 수직 구조의 다중양자우물 AFPM을 제안하였다. 특히, 제안한 수동형 피코셀 링크를 위하여 변조기는 능동형 셀에 비하여 안정성, 선형성 및 효율성이 높아야하는 요구사항이 있다. 광전흡수변조기(EAM; Electro-Absorption Modulator)는 이와 같은 요구사항을 만족한다[2][3]. 뿐만 아니라 하나의 소자가 변조기와 수신기로 동시에 사용되는 양방향성 기능을 가짐으로써 기지국의 복잡성을 줄일 수 있는 장점이 있으며 다중양자우물을 효율적으로 설계할 경우 전원이 없는 상태에서 동작할 수 있어 수동형 피코셀 시스템을 실현하는데 매우 적절하다. 웨이브가이드 형태의 광전흡수변조기를 사용하여 피코셀 시스템을 성공적으로 실현한 결과가 있으나 웨이브가이드 광전흡수변조기의 개당 가격이 고가이고 -3dB 주파수 응답 특성 대역의 한계를 가지고 있다[2]. 또한 웨이브가이드 형태의 광전흡수변조기는 편파 의존성이 존재하여 광대역의 서비스를 실현하는데 문제가 되며 양방향에서 랜즈를 사용하여 광섬유에 접합하는 구조로써 삽입손실이 7dB 이상인 단점이 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 본 논문에서는 수직 구조의 변조기를 제안하였다.

그림1은 광전흡수변조기를 사용한 수동형 피코셀의 응용 시스템의 개념도를 보인 것이다.

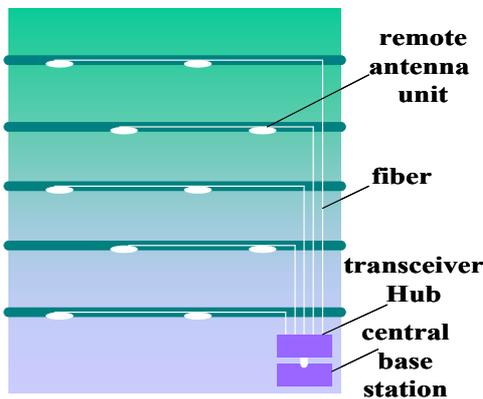


그림 1. 광대역 수동형 피코셀 시스템 개념도
Fig. 1. A broadband passive integrated picocell system configuration

중앙국 또는 서비스 네트워크와 연결된 중심기지국(central base station)은 광섬유를 통하여 광전흡수변조기와 집적된 안테나로 연결된다. 본 제안 시스템의 링크 개념도를 그림2에 보였다. 이 링크 개념도는 고속 무선랜, 차세대 이동통신, 밀리미터파 통신, UWB(Ultra-Wide Band) 등의 차세대 서비스를 통합 수용하기 위하여 요구되는 구도를 제안한 것이다.

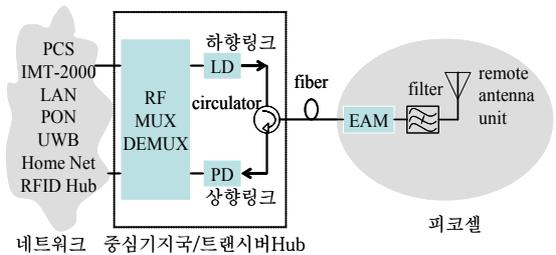


그림 2. 광전흡수변조기를 이용한 광대역 수동형 피코셀 링크 개념도

Fig. 2. A broadband passive integrated picocell link configuration using an EAM

본 논문에서 제안한 수동형 피코셀은 광대역, 다중서비스가 가능하고 중심국에서 기지국 셀의 할당을 제어할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서 제안한 AFPM은 -3dB 주파수 응답이 10GHz이며 -20V에서 누설전류가 0.5nA 이하인 고성능을 보였으며 dR/dV가 최대 6.3% 이상인 결과를 보였다. AFPM과 5GHz의 중심주파수를 갖는 패치안테나를 이용하여 링크를 구성하였으며 실험결과 SFDR이 92dB/Hz이고 IMD가 40dB 이상인 결과를 보였다.

II. Air-bridged AFPM

본 실험에서 사용된 InGaAsP 다중양자우물 AFPM은 웨이브가이드 형태의 광전흡수변조기와 다르게 수직 구조로 되어있어 편파에 의존성이 없으며 칩당 가격이 매우 저렴하게 제작할 수 있는 특징을 가지고 있어서 수동 피코셀 시스템 응용에 매우 적절하다[4][5]. 본 변조기의 설계를 위한 첫 단계는 InGaAsP 다중양자우물의 전광흡수 효과를 측정하

고 변조기의 최적화를 위한 설계 파라미터를 얻는 것이다. 소자 제작을 웨이퍼는 MOVPE (MetalOrganic Vapor Phase Epitaxy)에 의하여 성장되었다. 밴드갭 파장이 1160nm가 되도록 60개의 9nm InGaAsP 양자우물과 밴드갭 파장이 1100nm가 되도록 60개의 7.5nm 양자장벽을 갖는 구조로써 설계된 활성영역은 약 1 μ m의 두께를 가지게 되어 변조 대비도를 최적으로 조정하게 된다. 모노크로메터 측정시스템을 사용하여 다중양자우물을 통한 광의 흡수 스펙트럼을 측정하고 부전압을 인가하여 파장의 적색편이를 관찰할 수 있다. 이로부터 굴절계수 변화의 에이터를 얻을 수 있는데 이는 본 AFPM의 설계 모델링을 위하여 사용된다. 그림3은 측정된 흡수스펙트럼을 보인 것이다. 엑시톤(exciton)피크 파장이 약 1515nm임을 확인 할 수 있다.

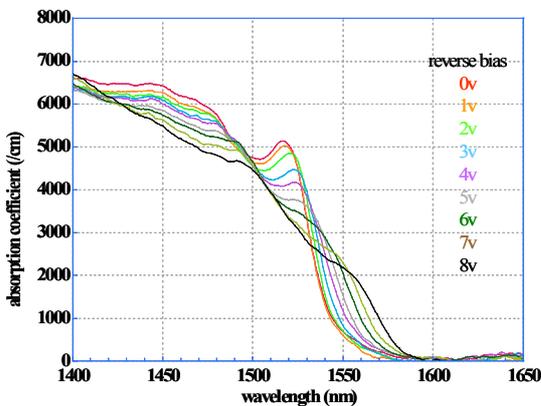


그림 3. 측정된 InGaAsP MQW 흡수스펙트럼
Fig. 3. Measured absorption spectrum of an InGaAsP MQW

계산된 세기변조 특성은 그림4와 같다. 변조특성이 전압의 변화에 대하여 선형적으로 변화함을 예측할 수 있다. 변조 감도 dR/dV 는 4.5V 동작점에서 0.08/V를 얻었다. 선형변조는 다중 전파캐리어 시스템에서 비선형 3차 혼변조적(IMD3)를 예측한 결과 0.1V_{Peak-to-Peak} 동작전압에서 약 -83dB인 결과를 얻었다.

그림5는 제작된 변조기의 구조와 외형을 보인 것이다. p-컨택패드와 변조기의 상부에 위치하고 10GHz -3dB 주파수 응답을 얻기 위하여 소자의 크

기를 30 μ m 이하로 하였다.

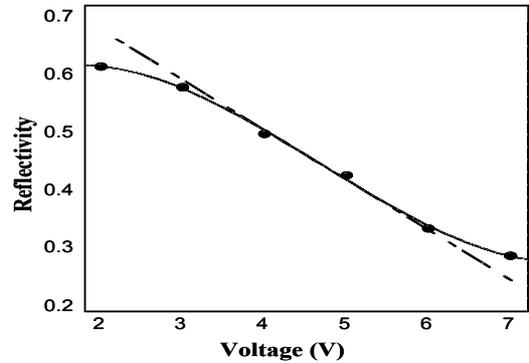
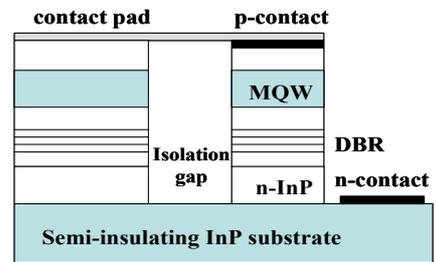


그림 4. 1550nm에서 계산된 변조특성
Fig. 4. Calculated modulation characteristics of an AFPM at 1550nm

그림5(a)와 같이 넓은 영역의 본딩패드에서 실제 p-컨택을 air-bridge 형태로 분리하여 커패시턴스를 최소화함으로써 주파수응답 특성을 향상하였다.



(a) Air-bridged AFPM 구조



(b) 제작된 air-bridged AFPM 사진

그림 5. 제작된 air-bridged AFPM
Fig. 5. Fabricated air-bridged AFPM

웨이퍼는 웨필드대학에서 제작하였으며 p-컨택부의 중앙에 광신호가 접속되도록 하여 삽입손실을 줄였다. 60주기의 다중양자우물은 변조 대비도를 최

적으로 설계된 것이다. 다중양자우물 아래는 브래그 반사기(DBR; Distributed Bragg Reflector)를 두었는데 16층의 InGaAsP/InP를 사용하여 1550nm 대역에서 반사도가 80% 이상 되도록 하였다.

그림6은 제작된 변조기의 전기적 특성을 측정한 결과를 보인 것이다. 부전압 브레이크다운 전압이 -20V 보다 낮으며 누설전류가 -20V에서 0.5nA 이하인 안정된 전기적 특성을 보였다. 낮은 누설전류는 양자구속효과(QCSE; Quantum Confined Stark Effect)의 전기장 의한 굴절계수의 선형적 변화를 유도하는데 기여한다.

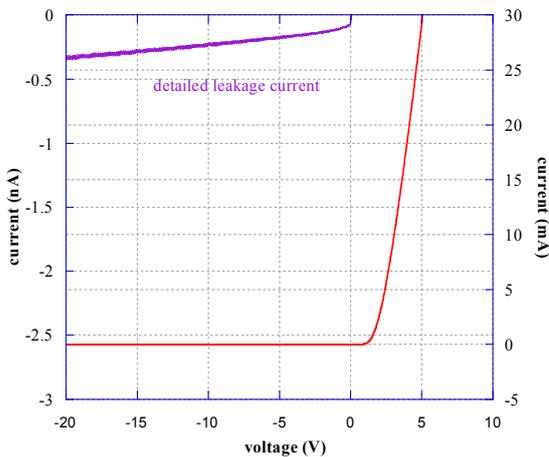


그림 6. 제작된 air-bridged AFPM의 전기적 특성
Fig. 6. Measured electrical characteristics of a fabricated air-bridged AFPM

제작된 변조기를 마이크로파 패키지에 실장하고 최적 동작점을 결정하기 위하여 반사도와 광전전류를 그림7과 같이 측정하였다. 측정결과 dR/dV이 선형특성을 최대로 갖는 영역에서 최대의 변조지수를 얻을 수 있었다. 그림7에서 보는 바와 같이 -2V에서 최대 6.3%의 dR/dV를 얻을 수 있다. 이때 사용된 파장은 1560nm이고 변조기에 입사한 광전력은 68μW였다. 최적 동작점을 얻은 다음 제작된 변조기의 주파수 응답 특성을 실험한 결과 -3dB 응답 주파수가 20GHz인 결과를 얻었다.

그림8은 변조주파수에 대한 변조도의 측정결과를 보인 것이다

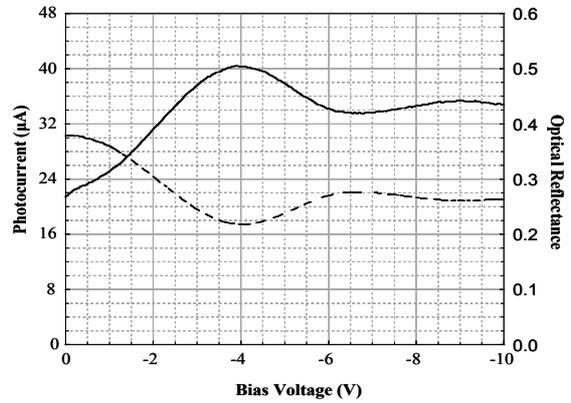


그림 7. AFPM의 측정된 반사도와 광전전류
Fig. 7. Measured reflectance and photocurrent of a fabricated air-bridged AFPM

측정된 파장이 1546nm에서 변조된 신호는 HP71400C를 통하여 측정되고 변조주파수를 변화하면서 주파수의 응답도를 측정하였다. 6dBm의 1GHz의 주파수 입력에 대하여 약 10%의 광변조도를 보였다.

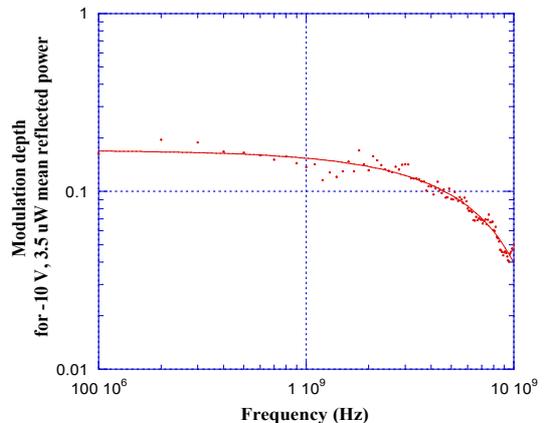


그림 8. AFPM의 측정된 주파수응답 특성
Fig. 8. Measured FM response of a fabricated air-bridged AFPM

III. AFPM을 이용한 수동형 피코셀의 전파 커버리지 및 링크실험 결과

광흡수 변조기를 사용한 피코셀의 전파 커버리지를 예측하기 위하여 이중슬로프 전파모델(dual slope propagation model)을 사용하였다[6]. 본 논문

에서 제안한 수동형 피코셀 시스템은 원거리 분배안테나에 전력이 제공되지 않기 때문에 셀의 전파 커버리지는 중심기지국의 트랜시버 허브에 있는 레이저의 광전력과 전송환경 그리고 원거리 분배안테나 시스템의 민감도에 주로 의존하게 된다. 제 3세대 이동통신의 경우 대략 144kbps, 384kbps 및 2Mbps의 전송속도를 가지므로 본 논문에서는 이 경우에 수동 피코셀의 전파 커버리지를 예측하였다. 원거리 분배안테나로부터 송신한 전파 전력은

$$P_t = \frac{P_o^2 \cdot g_f^2 \cdot R_m^2 \cdot M_d^2 \cdot Z_m \cdot g_a}{2} \quad (1)$$

과 같이 쓸 수 있고 원거리 분배안테나에서 수신한 전파 전력은

$$P_r = \frac{P_{br}}{g_a \cdot P_o^2 \cdot g_f^4 \cdot g_m^2 \cdot \eta_m^2 \cdot R_p^2 \cdot Z_m \cdot Z_p} \quad (2)$$

과 같이 정의 될 수 있다. 여기서 P_o 는 중심기지국 트랜시버의 레이저 광전력이고 보통 1~20mW의 범위를 갖는다. M_d 는 변조도로서 50%를 사용하였고 변조효율 η_m 은 0.5/V 그리고 전광흡수 변조기의 응답도 R_m 은 0.3A/W를 사용하였다. 광섬유의 삽입손실 g_f 는 -3dB이고 광전흡수 변조기의 삽입손실 g_m 은 -3dB를 사용하였다. 원거리 분배안테나의 이득 g_a 는 6dBi를 사용하였다. 수신기의 민감도 P_{br} 는 데이터의 속도가 144kbps인 경우 -115dBm, 384kbps인 경우 -110dBm 그리고 2.048Mbps인 경우 -103dBm을 적용하였다. 이중슬로프 전파모델을 적용할 때 경로손실 슬로프는 43dB, 원거리 분배안테나의 높이는 5m, 이동국 안테나의 높이는 1.5m를 적용하였다. 그림9는 각 데이터 전송속도에 따라 예측된 전파 커버리지와 요구되는 중심기지국의 트랜시버 허브의 광전력을 해석한 결과이다. 중심기지국의 트랜시버 허브의 광전력이 10mW인 경우 데이터의 속도가 144kbps일 때 300m의 전파 커버리지를 확보할 수 있다. 그리고 384kbps인 경우 200m 커버

리지를 나타내고 2.048Mbps인 경우 약 100m의 커버리지를 예측할 수 있다. 중심기지국의 광전력이 5mW인 경우 2.048Mbps의 속도로 데이터를 전송할 때 확보된 전파 커버리지는 약 60m인 결과를 보였다.

링크 시험을 수행하기 위하여 구성된 실험구도는 그림10과 같다. 이 링크 실험은 University of London에서 수행되었다. DFB 레이저를 소스로 사용하였으며 여기에 5~6GHz의 전파 신호를 변조하였다. 변조된 신호는 광섬유를 통하여 변조기에 전달되고 변조기는 제작된 패치안테나를 통하여 전파 신호를 방사하게 된다.

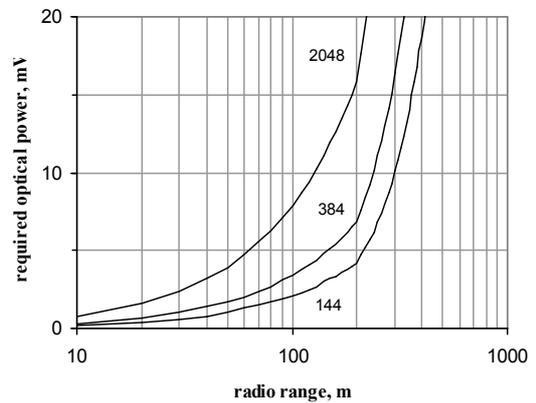


그림 9. 중심기지국의 광전력에 대한 전파커버리지
Fig. 9. Calculated RF coverage versus required optical power of the central base station

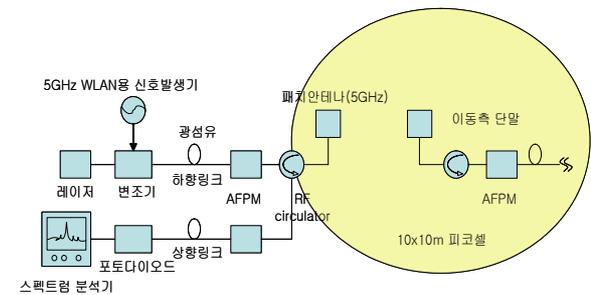


그림 10. 수동 피코셀 링크실험 구도
Fig. 10. Link experimental arrangement for a passive integrated picocell

먼저 두 전파 신호를 동시에 전송하여 SFDR의 특성을 측정된 결과 그림11과 같다. SFDR을 측정된 결과 최대 92dB/Hz인 결과를 얻었다. 약 10mx10m

실험실 공간의 피코셀 환경에서 다른 쪽의 원거리 분배안테나에서 수신된 신호는 다시 AFPM 변조기를 통하여 스펙트럼 분석기에서 측정된다. 스펙트럼 분석기에서 측정된 신호의 레벨은 -30dBm이었다. 이중톤 3차 혼변조 특성을 측정하기 위하여 6GHz 신호와 6GHz에서 10kHz 떨어진 두 전파 신호를 사용하였다. 두 전파신호는 각각 신호발생기에 생성되고 전파신호 결합기로 결합된 후 송신된다. 이 신호들은 변조기에서 수신된다. 그림12는 링크실험에서 측정된 상향 신호와 하향신호를 보인 것이다.

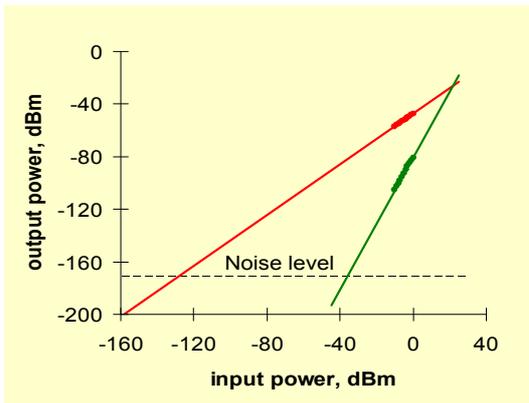


그림 11. 측정된 SFDR 특성

Fig. 11. Measured SFDR characteristics

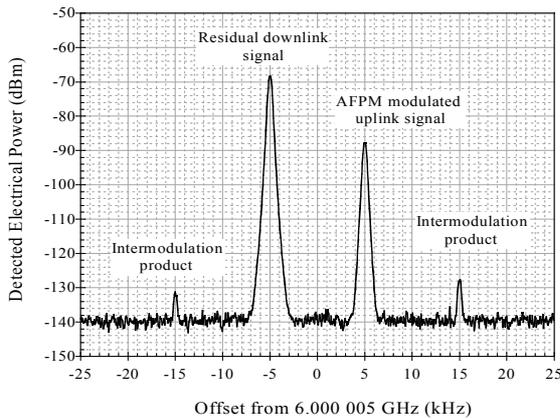


그림 12. 측정된 상/하향신호 및 혼변조적

Fig. 12. Measured up/down link RF signals and intermodulation products

상향신호는 하향신호보다 약 20dB 감쇄된 것을 볼 수 있으며 실험결과 혼변조는 약 40dB인 결과를

볼 수 있다. 실험에서 링크의 전파 커버리지는 10mx10m의 피코셀 환경에서 -30dBm의 측정 레벨을 얻었다.

IV. 결 론

본 논문은 무선랜 및 차세대 이동통신 등의 응용을 위한 광대역 수동형 피코셀 시스템을 제안하였으며 이를 위한 소자 요구사항을 만족하는 제작된 수직구조의 다중양자우물 광전흡수 변조기의 특성과 이를 시스템에 적용하기 위한 간단한 피코셀 링크 실험결과를 보인 것이다. 제작된 변조기의 -3dB 주파수응답 특성이 10GHz인 광대역 특성과 삽입손실이 3dB로서 손실이 낮은 장점을 가지고 있다. 링크 실험 결과 92dB/Hz인 SFDR 특성과 40dB 이상의 혼변조특성을 가짐을 측정할 수 있었다. 향후 수동형 피코셀에 적용 가능하도록 다중양자우물 구조의 효율적인 설계, 다중 캐리어의 전송에 대한 성능과 OFDM 신호의 전송성능에 대한 평가 및 효율 높은 피코셀 시스템 구조에 대한 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] D Wake, "Trends and prospects for radio over fiber picocells", Proceedings of International Topical Meeting on Microwave Photonics, 5-8, Nov., 2002, Awaji, Japan.
- [2] D. Wake D. Johnsson and D. Moodie, "The passive picocell-a new concept in wireless network infrastructure", Electron. Lett., Vol.33, No.33, pp.404-406, 1977.
- [3] M Whitehead, A. Rivers, G. Parry, J. S. Roberts, C. Button, "Low-voltage multilple quantum well reflection modulator with on:off radio > 100:1", Electron. Lett., Vol.25, pp.984-985, 1989.
- [4] A. J. Moseley, J. Thompson, M. Kearley, D.

Robbins, M. Goodwin, "Low voltage InGaAs/InP multiple quantum well reflectove fabry-perot modulators", Electron. Lett., Vol.26, pp.913-915, 1990.

[5] R. Killey, et al, "MQW asymmetric FP modulators", IEEE Trans. on Microwave Theo. and Techn., Vol.99, pp.1888-1893, 2001.

[6] C. Lee et al, "Microcell prediction in dense urban area", IEEE Trans. on Vehicular Techn., Vol.47, pp.246-253, 1988.

*본 논문은 EPSRC UK 및 PHOTON 프로젝트의 연구비지원과 일부 ETRI연구비 지원에 의한 것이다. 또한 저자는 본 연구에 기여한 웨필드대학과 University College London의 C.Liu, D.Wake박사와 A.Seeds 교수에게 감사한다.

송 주 빈(宋湊斌)



2001년 9월: Univ. of London
전자전기공학과(공학
박사)

1992년 1월 ~ 1997년 4월 : 한국전
자통신연구원(선임연
구원)

2001년 10월 ~ 2001년 12월 :

Univ. College of London(Research Fellow)

2002년 3월 ~ 2003년 8월 : 국립한밭대학교(교수)

2003년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자정보대학(교수)

관심분야 : Microwave Photonics 및 RFID, WLAN, 이
동통신응용.