

IEEE 802.11a 무선랜용 중간전력 SPDT 초고주파단일집적회로 스위치 제작 및 특성

정희원 문재경**, 김해천*, 박종욱**

A Medium Power Single-Pole-Double-Throw MMIC Switch for IEEE 802.11a WLAN Applications

JaeKyoung Mun**, Haecheon Kim*, Chong-Ook Park** *Regular Members*

요약

본 연구에서는 IEEE 802.11a 표준 무선랜 단말기에 활용 가능한 SPDT Tx/Rx 스위치 MMICs를 설계 및 제작하였다. 이를 위하여 먼저 핵심이 되는 pHEMT 스위치 소자의 에피구조를 설계하였으며, 한국전자통신연구원(ETRI)의 0.5 μ m pHEMT 스위치 공정을 이용하였다. 제작된 SPDT형 Tx/Rx 스위치 MMIC는 주파수 5.8 GHz, 동작전압 0/-3V에서 삽입손실 0.68 dB, 격리도 35.64 dB, 그리고 반사손실 13.4dB의 특성을 보였으며, 전력전송능력인 P1dB는 약 25dBm, 그리고 선형성의 척도인 IIP3는 42 dBm 이상으로 평가되었다. 제작된 스위치 회로의 성능은 상용제품과 비교 분석한 결과 반사손실은 약간 부족하였으나 삽입손실은 비슷한 수준이며, 특히 격리도는 동작전압 \pm 3V/0V, 주파수 5.8GHz에서 약 8 dB 이상 우수하였다. 이와 같은 여러 가지의 스위치 회로의 성능은 본연구에서 개발된 pHEMT SPDT 스위치는 IEEE802.11a 표준 5GHz 대역 무선랜에 충분히 활용할수 있을 것으로 생각된다.

Key Words : SPDT, RF switch, MMIC, pHEMT, WLAN

ABSTRACT

In this paper, SPDT Tx/Rx MMIC switch applicable to IEEE 802.11a WLAN systems is designed and fabricated using a specific designed epitaxial layered pHEMT wafer and ETRI's 0.5 μ m pHEMT switch process. The SPDT switch exhibits a low insertion loss of 0.68dB, high isolation of 35.64dB, return loss of 13.4dB, power transfer capability of 25dBm, and 3rd order intercept point of 42dBm at frequency of 5.8GHz and control voltage of 0/-3V. The comparison of the measured performances with commercial products based on the GaAs pHEMT technology for low voltage operating at \pm 3V/0V shows that the return loss is somewhat inferior to the commercial products and insertion loss is compatible with each other however, isolation characteristics are much better than in conventional chips. Based on these performances, we can conclude that the developed SPDT switch MMIC has an enough potential for IEEE802.11a standard 5 GHz-band wireless LAN applications.

I. 서론

무선랜 (Wireless LAN)은 기존의 유선랜(Wired

LAN)을 대체 또는 확장한 유연한 데이터 통신시스템이며, 저속으로 이동 중에도 대용량 무선데이터를 고속으로 송·수신할 수 있는 서비스이다. 즉, 서비스

* 한국전자통신연구원 기반기술연구소 고속집적회로연구부 초고주파소자팀 (jkmun@etri.re.kr)

** 한국과학기술원 신소재공학과(Department of Material Science and Engineering, KAIST)

논문번호 : KICS2005-07-001, 접수일자 : 2005년 7월 18일

가 제공되는 일정구역(Hot-spot)등에서 노트북이나 PDA에 무선랜 카드를 장착하면 유선망 없이도 랜 서비스 및 인터넷을 사용할 수 있도록 해준다. 이와 같이 무선랜은 전파를 전송매체로 사용하므로 단말기가 빈번히 이동하는 경우 또는 배선의 설치가 어렵거나 단기간 사용을 목적으로 하는 경우 특히 유용하게 사용된다.

다른 무선기술과 차별화되는 무선랜 시스템의 특징으로는 일반 이동전화 단말기가 발산하는 전력보다 낮은 저전력(low power) 사용, 전 세계적으로 인정된 비허가 주파수 대역(license-free radio)의 사용, 신호 간섭이 존재하는 곳에서도 매우 수신강도가 강한 속성 (very resilient reception attributes)을 가지는 대역확산기술(spread spectrum techniques)의 이용 등을 들 수 있다.^[1-2]

무선랜과 관련하여 IEEE 802.11a (또는 ETSI 계열의 HiPERLAN-II, upper U-NII)^[3]와 HiPERLAN-I^[4] 표준의 개발로 인하여 5~6 GHz 대역에서의 고속 데이터 속도의 송수신기(transceiver)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이들 표준은 변복조를 위하여 고속무선랜의 표준안인 IEEE 802.11a와 HiPERLAN-II에서는 고속의 데이터 전송에 적합하며 주파수효율이 높은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을, 그리고 HiPERLAN-I에서는 GMSK(Gaussian Minimum Shift Keying) 방식을 사용한다.

이러한 무선랜 통신시스템에서 송신신호와 수신신호의 흐름을 조절하기 위하여 안테나의 뒷단에 필수적으로 사용되는 가장 적절한 회로 컴포넌트가 스위칭 회로이며, 스위치의 성능이 전체 단말기의 성능을 결정할 정도로 매우 핵심적인 역할을 한다.^[5]

스위치 회로는 PIN 다이오드, 트랜지스터, 그리고 MEMS 등 3가지 형태를 이용하여 구현된다. MEMS스위치는 격리도(isolation), 삽입손실(insertion loss), 전력구동능력(power handling capability) 등에서 우수한 특성을 보이나, 아직은 높은 구동전압과 느린 스위칭 시간의 문제점 외 수명 및 신뢰성이 검증되지 않은 상태이며^[6], PIN 다이오드 스위치는 삽입손실과 격리도 특성이 우수함과 동시에 가격이 싸고 간단한 장점을 가지나 스위칭에 필요한 전류가 수mA로 너무 높아 전원의 수명에 악영향을 초래하며 다중포트(multiport)를 위한 복잡성이 매우 증가하는 단점도 안고 있다. 반면 트랜지스터를 이용한 스위치는 전력 소모가 적고 스위칭 속도가

가 빠르고 SoC(System-on-a Chip)화가 가능하며 넓은 주파수 특성과 다중포트 회로의 구현이 쉬워 차세대 개인휴대통신 단말기의 응용에 있어서 표준형 스위치 소자로 부상하고 있다.^[7]

특히 MMIC 스위치는 능동소자와 동일한 제조공정을 사용하며 칩의 소형화가 가능하고 특성균일도가 우수한 장점을 가진다. 이로 인하여 Strategy Analytics 2002 자료에 의하면 MMIC형 스위치가 현재 설계에서 50% 이상을 차지하며 경제적 가치는 약 \$220million 정도에 해당한다.

MMIC 스위치 제작을 위한 트랜지스터로는 MESFET^[8], HEMT^[9], HBT^[10] 모두가 사용되지만, planar 구조를 갖는 MESFET과 HEMT가 주로 사용된다. 특히 pHEMT는 MESFET에 비하여 낮은 ON 저항과 작은 OFF 커패시턴스로 고주파수에서 삽입손실이 적고 우수한 격리도 특성을 보이며, 낮은 무릎전압(V_k)으로 저전압동작이 가능할 뿐만 아니라 선형성이 우수하여 최근에는 개인휴대통신 단말기에 채택되는 최첨단 스위치 기술이다.^[11]

본 논문에서는 한국전자통신연구원에서 자체 개발한 이러한 최첨단 pHEMT 스위치 소자 기술을 이용하여 최근 활발한 연구가 진행 중인 IEEE 802.11a 표준인 5 GHz대역 무선랜용 SPDT(Single-Pole-Double-throw) 스위치 MMICs를 설계 제작하였다. 본 연구에서 제작된 SPDT Tx/Rx 스위치의 크기는 $0.76 \times 0.56 \text{ mm}^2$ 로 0.5cc 이하로 매우 컴팩트하게 설계되었으며, 주파수 5.8 GHz, 동작전압 0/-3V에서 0.68 dB 삽입손실, 35.64 dB 격리도, 13.4dB의 반사손실, 약 25dBm의 P_{1dB} , 그리고 선형성의 척도인 IIP3는 42 dBm 이상으로 측정되었다. 또한 이러한 특성을 평가함으로써 본 연구에서 개발된 SPDT 스위치가 5 GHz 대역 무선랜의 송수신(Tx-Rx) 스위치로 사용될 가능성에 대하여 알아본다.

II. 설계 및 제작

2.1 스위치 소자의 구조 및 제작

개인이동통신용 스위치 MMIC의 구비요건으로는 사용 주파수에서 낮은 삽입손실이나 높은 격리도 특성은 물론 저전압동작이 가능하고 선형성이 우수하며 높은 전력구동능력을 가지며 저가격 소형화가 동시에 가능하여야 한다.

이를 위하여 본 연구의 pHEMT스위치 소자는 에피구조의 설계에서 높은 항복전압($V_{BGD} > -15V$)과 높은 전류구동능력($I_{dss} > 250mA/mm$), 높은 전달컨덕

턴스($g_m > 280 \text{ mS/mm}$)와 낮은 핀치오프전압($V_p = -1.0 \text{ V}$)을 가질 수 있도록 그림 1 (b)와 같이 undoped InGaAs 채널층을 중심으로 i-AlGaAs 스페이서와 double-sided planar 도핑층을 샌드위치 형태로 성장하고 표면층은 i-GaAs층으로 보호를 하였다. 특히 중요한 점은 2중층 Si 평면도핑 농도의 설계 시 게이트 전극과 근접한 상층부의 도핑농도($4e12/\text{cm}^2$)를 하층부보다 훨씬 높게 함으로써 평균적인 도핑농도를 높여 스위치의 삽입손실을 줄임과 동시에 쇼트키 접촉의 전계강도가 약한 하층부는 낮게 함으로써 핀치오프 특성을 개선시켜 격리도 특성과 스위칭 속도를 개선하였다. 이러한 이중 층 농도의 설계법은 선형성 특성이 강조되는 전력증폭기를 위한 에피구조의 설계 기법과는 정반대의 개념이다.

회로의 설계 및 제작에 사용된 스위치 소자의 구조는 게이트길이(L_g)가 $0.5 \mu\text{m}$ 이고 단위 게이트폭(W_g)이 $75 \mu\text{m}$ 과 $100 \mu\text{m}$ 으로, 소오스-게이트와 게이트-드레인이 대칭구조를 가지며, multi-finger 소오스 연결은 airbridge를 이용하였으며, 쇼트키 접촉은 습식식각에 의한 게이트 리세스 후 Ti/Pt/Au를 이용하여 형성하였다. 게이트 패드의 앞단에는 수kΩ의 바이어싱 저항을 연결하여 FET와 power supply 사이의 RF 격리가 되도록 하였다. 격리도 향상을 위하여 기판 두께를 $100 \mu\text{m}$ 로 랩핑한 후 ICP RIE를 이용하여 Via-hole을 형성하고 그림 1 (a)과 같이 금도금법에 의한 접지를 시켰다.

2.2 스위치 MMIC 설계 및 제작

ETRI $0.5 \mu\text{m}$ pHEMT스위치 라이브러리를 이용하여 5.8GHz WLAN용 SPDT 스위치 MMICs를 설계, 제작하였다. SPDT Tx/Rx 스위치 설계에는 그림 2에 나타난 바와 같이 가장 흔히 사용되는 션트-시리즈(shunt-series) 구조를 이용하였다. 제작된 스위치 MMICs의 특성 평가는 저전압 동작을 위하여 제어전압(V_c)을 0V에서 On-state를 -3V에서 Off-state가 되게 하여 이루어 졌다. 그림 2에서 제어전압 V_{c1} 이 0V이고 V_{c2} 가 -3V이면 Tx 경로가 낮은 임피던스 상태가 되어 증폭기에서 증폭된 고주파 신호는 안테나(ANT)를 통하여 외부로 송신되게 된다. 반대로 제어전압이 각각 -3V와 0V일 경우에는 안테나를 통하여 입력되는 신호가 Rx 경로를 통하여 단말기 내부로 수신된다.

회로 설계는 라이브러리에서 제공하는 pHEMT 스위치 소자의 산란계수(scattering parameter)와 설계를 Agilent EESof Advanced Design System 2003A를

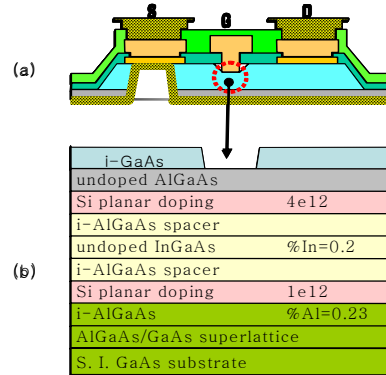


그림 1. pHEMT 스위치 소자(a) 및 에피 구조(b).
Fig. 1. pHEMT switch device(a) and epitaxial structure(b).

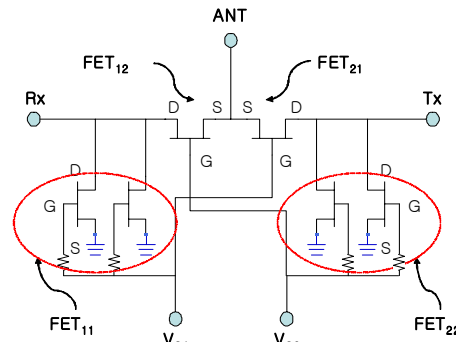


그림 2. SPDT Tx/Rx MMIC 스위치의 회로도.
Fig. 2. Schematic diagram of SPDT Rx/Tx MMIC switch.

이용하여 설계 및 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 과정에서 비어-홀(via-hole)접지와 전송선로는 시뮬레이터가 제공하는 물리적 모델을 사용하였다.

SPDT 회로에 사용될 스위치 소자의 사이즈는 소신호 특성 중 삽입손실과 격리도 특성, 그리고 칩 사이즈등의 고려하여 결정하였다. 고주파 신호경로의 방향을 결정하는 시리즈 소자 FET₂₁와 FET₁₁는 삽입손실을 줄이기 위하여 사이즈 $100 \times 4 \mu\text{m}$ 를 사용하였으며, 션트 소자의 경우 사이즈가 증가할수록 격리도 특성이 향상되지만 삽입손실이 오히려 증가하게 되므로 trade-off에 의하여 트랜지스트 FET₁₁와 FET₂₂는 $75 \times 4 \mu\text{m}$ 를 사용하였다. 특히 2단계 션트 소자는 비어-홀(via-hole)에 의하여 접지(ground) 시킴으로써 격리도 특성을 개선하였다.

III. 스위치 회로의 특성 평가 및 토의

제작된 SPDT Tx/Rx 스위치 MMIC의 특성 평가는 상온에서 On-wafer 프로빙에 의하여 수행되었다.

먼저 제어전압 0V/-3V, 주파수 0.5GHz에서 20GHz 까지 소신호 특성 (scattering parameter)을 측정하여 삽입손실과 격리도 특성을 평가하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 주파수 5.8 GHz에서 삽입손실 0.68 dB, 격리도 35.64 dB, 그리고 반사손실 13.4dB의 특성을 나타내었다. 본 연구에서 개발된 SPDT 스위치의 우수한 격리 특성은 먼저 그림 1에서 설명한 바와 같이 스위치 소자의 에피구조에 있어서 기판의 초격자층과 인접한 면도핑농도가 $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 으로 더 낮게 설계함으로써 게이트 전압에 의한 채널층의 편차-오프 특성의 개선에 따른 누설전류의 감소에 기인하며, 두번째 요인으로는 칩 중앙 부분의 넓은 면적에서 비어-홀에 의한 접지가 우수하기 때문으로 여겨진다.

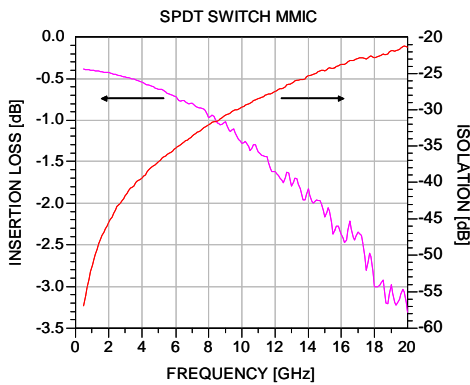


그림 3. SPDT 스위치의 삽입손실과 격리도 특성.
Fig. 3. Insertion loss and isolations of SPDT switch.

그림 4는 제작된 SPDT Tx/Rx 스위치의 칩 사진을 보여준다. 칩 사이즈는 $0.76 \times 0.56 \text{ mm}^2$ 로 0.5cc 이하의 매우 콤팩트하게 설계되었다.

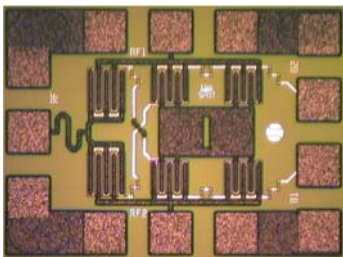


그림 4. 제작된 SPDT Tx/Rx 스위치의 칩사진.
Fig. 4. Chip photograph of SPDT Tx/Rx switch.

동일한 주파수에서 제작된 SPDT스위치는 저전압 동작을 위하여 게이트의 제어 전압에 따른 소신호 특성을 평가하였으며, 그림 5에 나타내었다. 그림에

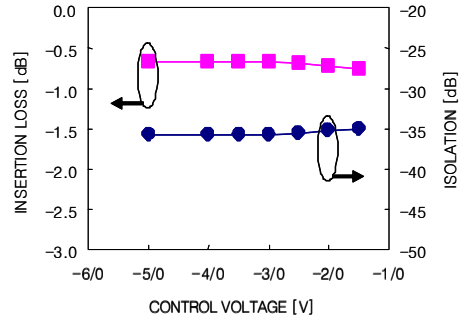


그림 5. SPDT 스위치의 삽입손실과 격리도 특성의 게이트 제어전압 의존성.
Fig. 5. Insertion loss and isolations of SPDT switch as a function of gate control voltage.

서 제어 전압의 표시는 OFF/ON-전압만 표기하였으며, 제어 전압을 -2.5V/0V로 저전압에서 동작을 할 경우 삽입손실은 0.02dB, 격리도는 0.15dB의 근소한 열화만 일어났으며, 이는 저전압 동작이 가능함을 보여준다.

스위치에서의 전력전송 특성은 송신(transmit) 모드에서 매우 중요하다. 고전력 RF 신호를 안테나 (antenna)로 이송함에 있어서 전력전송능력 (power handling capability)이 충분하지 못하면 증폭된 신호(amplified signal)가 스위치의 Tx-branch에서 왜곡이 일어나 결국 시스템이 정확하게 동작하지 못하게 된다. 본 연구에서 개발된 SPDT Tx/Rx 스위치를 실제 시스템에 적용하기 위해서는 국가별로 서로 다른 하지만 IEEE802.11a의 표준에서 사용되는 송신 전력의 최대 값인 200mW (23dBm) 이상을 전송할 수 있는 전력전송능력을 구비하여야 한다. 이를 위하여 제작된 스위치의 전력전송특성을 조사하였다.

측정 조건은 주파수 5.8 GHz와 게이트 제어전압 -3V/0V이었으며, 스위치 회로의 ON-상태와 OFF-상태에서 입력전력에 따른 출력전력 특성을 측정하여 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림에 표시된 격리도(Isolation)는 ON-상태의 출력전력($P_{out}(ON)$)과 OFF-상태의 출력 전력($P_{out}(OFF)$)의 차이로 두 경로 사이의 격리 특성의 척도가 된다. 반면 삽입손실(IL, Insertion Loss)는 ON-상태의 출력전력과 입력전력(P_{in})의 차이로 입사되는 전력이 스위치를 지나면서 소모되는 전력의 크기의 척도이다.

스위치의 최대전력전송능력(maximum power handling capability)은 ON-상태에서의 트랜지스터의 최대전류(maximum current limit)와 OFF-상태에서 소자에 안전하게 인가 가능한 최대전압(maximum vol-

tage)에 의하여 결정되지만, 실질적으로는 OFF-상태에서 격리도의 열화에 의하여 결정된다. 따라서 OFF-상태의 특성인 격리도가 1dB 열화되는 입력전력을 일반적으로 전력전송능력으로 정의되며, SPDT Tx/Rx 스위치는 24dBm의 전력을 전송할 수 있음을 알 수 있다. 반면 ON-상태의 특성인 삽입손실의 크기가 1dB 증가하는 입력전력으로부터 스위치 회로의 P_{1dB} 를 계산할 수 있으며, 약 25dBm으로 평가되었다. 따라서 본 연구에서 개발된 SPDT Tx/Rx 스위치의 최대전력전송능력은 무선랜의 사양(최대 23dBm)을 충족하고 있음을 알 수 있다.

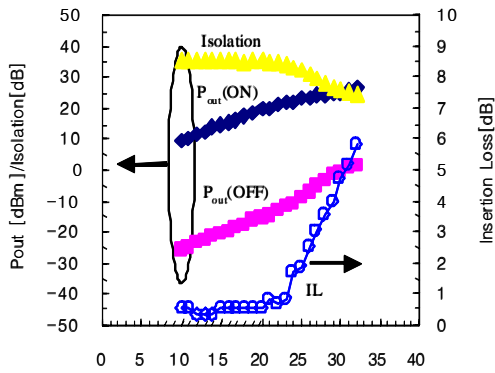


그림 6. SPDT 스위치의 전력 전송 특성.
Fig. 6. Power transfer characteristics of SPDT switch.

Tx/Rx 스위치 회로에서 Tx-경로를 통하여 송신되는 고주파 신호는 안테나를 통하여 대기 중으로 방사된다. 이 때 고주파 신호의 왜곡에 대한 선형성의 지표로 사용되는 중요한 인자 중 하나가 바로 스위치로 들어가는 입력전력의 3차 교차점(IIP₃: 3rd order intercept point)이다. 이 특성을 평가하기 위하여 two-tone 시험을 수행하였다. 시험조건은 two-tone 입력전력 10dBm, spacing 1MHz, 제어전압 -3V/0V, 중심 주파수는 2.4GHz이었다. 그림 7에서 보는 바와 같이 입력전력의 3차 교차점은 42 dBm 이상이며, 제어전압에 따른 IIP₃의 특성 변화는 동작전압이 -2.5V/0V로 감소할 때 약 1dB의 열화가 일어나 소신호 특성 결과 (그림 5)와 잘 일치하고 있으며, 이로부터 저전압 동작이 가능함을 알 수 있다.

이와 같이 본 연구에서 개발된 SPDT형 Tx/Rx 스위치 MMIC의 경우 주파수 5.8 GHz에서 삽입손실 0.68 dB, 격리도 35.64 dB, 그리고 반사손실 13.4dB의 특성을 보였으며, 전력전송능력인 P1dB는 약 25dBm, 그리고 선형성의 척도인 IIP₃는 42 dBm 이상으로 평가되었다.

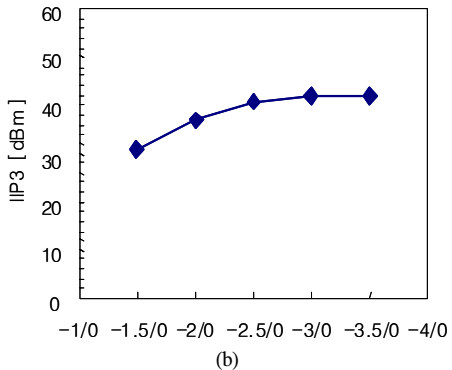
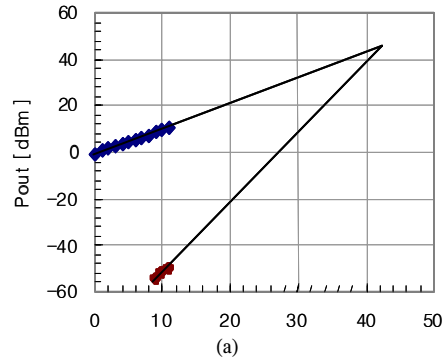


그림 7. SPDT 스위치의 IIP₃ 특성: (a) input versus output power and (b) control voltage dependence.
Fig. 7. IIP₃ characteristics of SPDT : (a) input versus output power and (b) control voltage dependence.

본 연구에서 개발된 SPDT 스위치의 우수성을 평가하기 위하여 상용화되어 있는 3종류의 pHEMT 스위치와 동작전압 ± 3V/0V, 주파수 5.8 GHz에서 주요특성을 비교하여 표 1에 요약하였다. 반사손실은 다소 부족하지만 삽입손실은 거의 유사하거나 우수하다. 그러나 격리도는 상용제품보다 8 dB 이상 우수함을 알 수 있다. 이는 스위치 소자용 에피의 이중 채널구조의 농도비 최적화에 따른 기판누설전류의 감소에 기인하는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 본 연구에서 설계된 에피 구조가 고성능 스위치 회로의 설계에 적합함을 말해준다.

표 1. 개발된 SPDT 스위치와 상용화되어 있는 3종류의 pHEMT 스위치와 동작전압 주요 특성을 비교.
Table 1. Comparison of measured performance characteristics of fabricated SPDT with three commercial products based on the pHEMT.

Company	Insertion loss (dB)	Isolation (dB)	Return loss (dB)
M/A-COM	-0.75	-25	-20
SkyWorks	-0.55	-24	-17
TriQuint	-0.8	-28	-15
This Work	-0.68	-35.64	-13.4

IV. 결론

본 연구에서는 IEEE 802.11a 표준 무선랜 단말기에 활용 가능한 SPDT 스위치 MMICs를 설계 및 제작하였다. 제작된 SPDT형 Tx/Rx 스위치 MMIC는 주파수 5.8 GHz, 동작전압 0/-3V에서 삽입손실 0.68 dB, 격리도 35.64 dB, 그리고 반사손실 13.4dB의 특성을 보였으며, 전력전송능력인 P_{1dB}는 약 25dBm, 그리고 선형성의 척도인 IIP3는 42 dBm 이상으로 측정되었다.

본 연구에서 개발된 pHEMT SPDT 스위치 회로의 특성은 동작전압 ± 3V/0V, 주파수 5.8 GHz에서 스위치 회로의 주요 특성인 삽입손실, 격리도, 전력전송 능력, 그리고 선형성 등 여러 특성을 상용제품과 비교 평가한 결과 5GHz 주파수 대역인 IEEE802.11a 표준인 무선랜에 활용이 적합할 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] 이상오, “무선랜 시장의 구조와 전개방향”, KISDI IT FOCUS, 2001. 6.
 [2] 함영주, “부상하는 무선랜 서비스” 통신시장, 2002.1.~2.
 [3] IEEE Draft Supplement to IEEE standard 802.11, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band, 1999. 9.
 [4] High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type I; Functional specification, (<http://www.etsi.org>).
 [5] Kai Chang, Inder Bahl and Vijay Nair. *RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless Systems*, New York John Wiley, pp. 221-270, 2002.
 [6] S. Pacheco, C.T. Nguyen, and L.P.B. Kathehi, “Micromechanical Electrostatic K-Band Switches”, *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1569-1572, 1998.
 [7] Yalcin Ayasli, “Microwave Switching with GaAs FETs”, *Microwave Journal*, pp. 61-74, 1982.11.
 [8] H. Uda, et. al. “High-Performance GaAs Switch ICs Fabricated using MESFET with Two Kinds of Pinch-off Voltages”, *GaAs IC Symp.*, pp247-250, 1993.
 [9] M. Tutt, et. al. “Monolithic integrated circuit

applications of InGaAs/InAlAs HEMTs”, *GaAs IC Symp.*, pp293-296, 1988.

[10] R. Gotzfried, et. al. “Zero Power Consumption Si/SiGe HBT SPDT T/R antenna switch”, *IEEE MTT-S Digest*, pp. 651-653, 1996.
 [11] H. Tosaka, et. al. “An Antenna Switch MMIC using E/D Mode p-HEMT for GSM/DCS/PCS/WCDMA Bands Application”, *IEEE MTT-S Digest*, A5-A8, 2003.

문재경 (Jaekyoung Mun)

정회원

1990년 2월 아주대학교 재료공학과 졸업 (공학사)
 1992년 2월 KAIST 재료공학과 졸업 (공학석사)
 1992년 8월~현재 한국전자통신연구원
 2000년 9월~현재 KAIST 신소재공학과 박사과정
 <관심분야> GaAs 화합물반도체 공정, RF Switch MMIC, Electronic Device Reliability and Failure Analysis 등

김해천 (Haecheon Kim)

정회원



1982년 2월 서울대학교 금속공학과 졸업 (공학사)
 1984년 2월 KAIST 재료공학과 졸업 (공학석사)
 1992년 2월 미국 Illinois Institute of Technology 재료공학과 졸업 (공학박사)
 1984년 3월~1988년 12월 LG전자 중앙연구소 선임연구원
 1993년~현재 한국전자통신연구원 초고주파소자팀 팀장
 <관심분야> 화합물반도체 공정, 소자, MMIC 및 응용 등

박종욱 (Chong-Ook Park)

정회원



1979년 2월 서울대학교 금속공학과 졸업 (공학사)
 1985년 9월 미국 Ohio State University 금속공학과 졸업 (공학박사)
 1985년~1986년 University of Pennsylvania Post Doctor
 1986년~1988년 금성중앙연구소 연구실장
 1988년 3월~현재 한국과학기술원 신소재공학과 교수
 <관심분야> 박막 및 후막 고체소자, 가스센서(CO₂, H₂, NO_x 등), 알콜센서, Cu metallization 등