

論文99-36D-5-1

## 저전력소모 2.4 GHz 송수신 MMIC

## (A Low Power Consumption 2.4 GHz Transceiver MMIC)

黃仁德 \*

(In-Duk Hwang)

## 요 약

저전력으로 동작하고 24리드 SSOP에 실장할 수 있는 2.4 GHz 송수신 MMIC를 1.0  $\mu\text{m}$  이온주입 MESFET공정으로 제작하였다. 이 MMIC는 송신모드일 때 2.44 GHz에서 3.9 mA의 전류를 소모하였으며 이때 변환이득은 7.5 dB, 출력 IP3는 -3.5 dB, 잡음지수는 3.9 dB이었다. 수신모드일 때는 소모전류 2.0 mA로 전압감출도 6.5 mV/ $\mu\text{W}$ 를 나타내었다. 그동안 발표된 다른 MMIC와 비교하여 제작된 MMIC가 우수한 성능을 가지고 있음을 알 수 있었으며 2.4 GHz의 ISM 대역에서 간단한 방식의 무선랜, WLL, RFID 등으로 응용될 것이 기대된다.

## Abstract

A low power consumption 2.4 GHz one-chip transceiver MMIC was designed and fabricated using 1.0  $\mu\text{m}$  ion-implantation MESFET process and packaged on a 24 lead SSOP. In the transmitter mode, it revealed conversion gain of 7.5 dB, output IP3 of -3.5 dBm, and noise figure of 3.9 dB at 2.44 GHz with 3.9 mA current consumption. In the receiver mode, it revealed voltage sensitivity of 6.5 mV/ $\mu\text{W}$  with 2.0 mA current consumption. Comparing the fabricated MMIC with the results of MMICs reported elsewhere, it was shown that the fabricated MMIC had good performance. The low power consumption 2.4 GHz transceiver MMIC is expected to be used for various applications such as wireless local area networks, wireless local loops and RFID tags in ISM-band.

Keyword: low power-consumption, transceiver, MMIC, ISM-band, RFID

## I. 서 론

ISM-band(Industrial, Scientific and Medical-band)의 무선 랜(Wireless Local Area Network) 및 WLL(Wireless Local Loop) 단말기 혹은 RFID(Radio Frequency Identification) tag 등의 수요는 조만간에 크게 증가할 것으로 예상되는데 이들을 저가격, 소형화, 저전력 소모를 위한 방편으로 ASK 및 FSK의 간단한 변조방식이 발표되고 있다<sup>[1-6]</sup>. 또한

이들을 소형 경량화하기 위해서는 MMIC(Monolithic Microwave IC)의 사용이 필수적이며 배터리의 크기를 줄이고 사용시간을 증가시키기 위해서는 이들 MMIC의 전력소모가 최소화 되도록 MMIC를 설계하여야 한다<sup>[7-11]</sup>. MMIC를 저가격화 하기 위해서는 MMIC를 플라스틱 패키지에 실장하여야 하며 2.4 GHz에서 동작하는 MMIC를 플라스틱 패키지에 실장하기 위해서는 플라스틱 패키지의 기생성분을 고려하여 MMIC를 설계하여야 한다. 본 논문은 2.4 GHz ISM-band에서 FSK변조된 신호를 송신하거나 ASK 변조된 신호를 수신할 수 있으며 플라스틱 패키지에 실장할 수 있는 저전력 소모의 이동국용 송수신 MMIC를 1.0  $\mu\text{m}$  MESFET을 사용하여 설계 및 제작한 결과를 기술한다.

\* 正會員, 大田大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering, Taejon University)

接受日字:1999年3月9日, 수정완료일:1999年4月26日

### II. 저전력소모 2.4 GHz ISM-band 이동국 송수신 MMIC의 설계

설계된 ISM-band 이동국 송수신 MMIC는 일반 송수신기에서와는 달리 송신모드와 수신모드에 공통적으로 사용되며, 초단과 둘째단의 2단 증폭기와 여기에 연결된 단일 평형 주파수혼합기 (Single balanced mixer) 및 마이크로파검출기로 구성된다. MMIC의 구조는 그림 1과 같다. 이 MMIC에서 송신 모드일 때는 2.44 GHz대역의 입력신호가 2단 증폭기에 입사되어 증폭되며, 증폭된 2.44 GHz대역의 신호(이제부터는 LO주파수로 부르기로 함)는 단일 평형 주파수혼합기에서 FSK 변조된 30 MHz의 신호(IF주파수)와 혼합되어 RF 주파수(2.41 GHz)로 주파수변환된다. 즉 송신모드에서 안테나로부터 수신되는 것은 LO주파수(2.44 GHz)의 반송파이며 주파수혼합기는 이 반송파와 변조된 IF 주파수를 혼합하여 RF주파수의 신호를 발생시킨다. 수신 모드일 때는 2.44 GHz 대역의 ASK로 변조된 입력신호가 2단 증폭기의 초단 증폭기에 수신되어 증폭된다. 증폭된 입력신호는 초단 증폭기에 결합된 마이크로파 검출기로 전달되며 마이크로파 검출기는 ASK변조된 입력신호를 복조하는 역할을 한다. 송신 모드일 때에 안테나로부터 수신되는 LO의 전력은 미약하며 이동국과 기지국의 거리와 환경에 따라 가변적이다. 그러므로 송수신 MMIC는 주어진 소모전류 사양(4 mA)안에서 미약한 LO전력을 증폭하여 RF출력이 최대가 되도록(즉 이득을 중요시하여) 설계하였으며 상호변조와 잡음지수는 가능한 최소가 되도록 설계하였다.

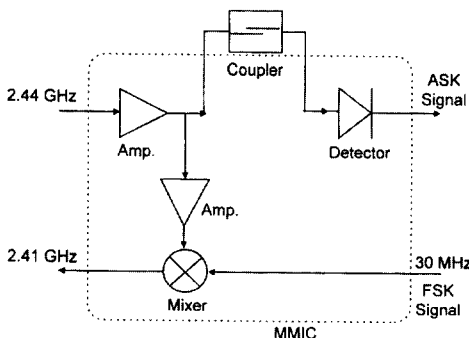


그림 1. 저전력소모 2.4 GHz 이동국 송수신 MMIC의 구조

Fig. 1. Block diagram of the low power consumption 2.4 GHz mobile-station transceiver MMIC.

2단 증폭기의 각 단은 이득이 큰 공통 소스 구조로 하였으며 단일 3 V 전원으로 동작시키기 위하여 자기 바이어스 방식을 취하였다. 입력력 임피던스 정합은 인덕터와 커패시터로 구성되는 L-section 리액티브 방식을 사용하였으며 첫번째단과 둘째단 사이에는 인덕터를 하나만 사용하여 소형화하였다. 이득을 희생하지 않는 범위에서 게이트에 저항을 사용하여 증폭기의 안정성을 확보하였고 저전력 동작을 시키기 위하여 MESFET을 15% Idss로 바이어스하였다. 2.4 GHz 대역에서는 플라스틱 패키지의 기생성분을 고려하여 설계하여야 하므로 본딩 와이어와 24 lead SSOP 플라스틱 패키지의 기생성분을 분석하고 그 결과를 이용하였다. 저전력 2단 증폭기의 회로는 그림 2와 같다.

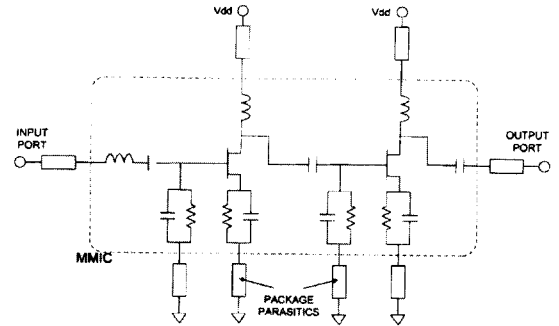


그림 2. 2.4 GHz 저전력 2단 증폭기의 회로  
Fig. 2. Schematic diagram of the low power consumption 2.4GHz two-stage amplifier.

단일 평형 주파수혼합기 (Single balanced mixer)는 저전력으로 구현하기 위하여 저항성 주파수혼합기 (Resistive Mixer) 방식으로 설계하였다. 저항성 주파수혼합기는 선형성이 좋으면서도 전력소모를 하지 않는 장점을 갖는다. 단일 평형으로 하기 위하여 두개의 MESFET을 사용하였는데 LO는 MESFET의 소스에 입력되며 IF는 MESFET의 게이트에 입력되도록 하였다. 두개 MESFET의 드레인에는 같은 바이어스가 인가되어 MESFET의 Vgs는 문턱전압 가까이 바이어스되도록 하였으며 출력측에는 커플링 커패시터를 연결하였다. LO 발문은 PCB에 2.44 GHz에서 반파장(180도)이 되는 마이크로스트립 라인을 사용하여 구현하였으며 IF 발문은 상용의 1:1 트랜스포머를 사용하여 구현하였다. 단일 평형 주파수혼합기의 회로는 그림 3과 같다. 단일 평형 구조이므로 2.44 GHz(LO)와 30 MHz(IF)의 출력은 억제된다.

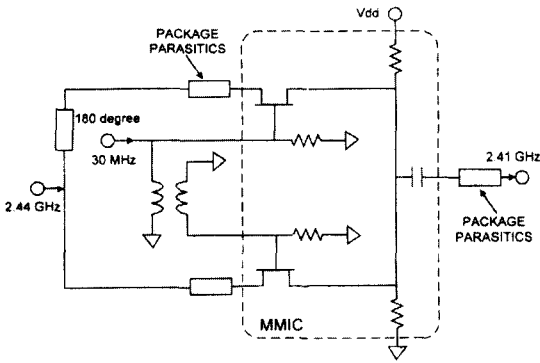


그림 3. 단일 평형 저항성 주파수혼합기의 회로  
Fig. 3. Schematic diagram of the single balanced resistive mixer.

마이크로파 검출기의 제작에는 통상적인 n형 쇼트키 다이오드 혹은 제로 바이어스 쇼트키 다이오드 등이 사용되나 마이크로파 검출기를 MMIC화하기 위해서는 마이크로파 검출기용 다이오드가 아닌 MMIC용 MESFET을 사용해야하므로 MESFET의 소스와 드레인을 연결한 쇼트키 다이오드를 사용하였다<sup>[12-13]</sup>. 사용할 MESFET의 적합한 바이어스 및 게이트 폭을 정하기 위하여는 전압 검출도에 관한 다음의 식을 이용하였다<sup>[12]</sup>.

$$V_v = \frac{0.0005}{(I_s + I_o)(1 + R_j / R_L)[1 + (\omega C_j)^2 R_s R_j]} mV/\mu V$$

이 식에서  $I_s$ 는 다이오드의 포화전류,  $I_o$ 는 직류전류,  $R_j$ 는 다이오드의 등가저항,  $R_L$ 는 부하저항,  $C_j$ 는 다이오드의 커패시턴스이며  $I_o$ 와  $R_j$  및  $C_j$ 는 다이오드의 인가전압에 따라 변하는데 전압검출도를 크게 하기 위하여 적절한 인가전압을 계산하여 적절한 인가전압을 0.5 V로 결정하였다. 게이트 폭은 작을수록 전압검출도(Voltage Sensitivity)가 커지지만 게이트 폭이 너무 작으면 입력정합이 어려워지므로 게이트 폭은  $50 \times 2 \mu m$ 가 되도록 하였다.

마이크로파 검출기의 회로는 그림 4와 같다. 입력 정합은 인덕터와 커패시터로 구성되는 L-section으로 하였으며 2.4 GHz에 정합되도록 하였다. 다이오드의 인가전압이 순방향으로 0.5 V근처가 되도록 하기 위하여 직렬 바이어스 저항을 사용하였으며 바이어스 저항은 NiCr 저항을 사용하기에는 값이 너무 크므로 이온주입 저항을 이용하였다. 마이크로파 검출기의 입력을 외부에서 받을 수 있도록 입력단자를 패키지 리드로 연결하

였다. 비디오 신호의 부하저항은 1.5 kΩ을 가정하였으며 비디오 신호의 커플링 커패시터는 MMIC화하기에 값이 너무 크므로 MMIC외부에(PCB에) 실장하도록 하였다.

검출기의 입력단자는 칩 외부에서 2단 증폭기의 초단의 회로에 결합되었으므로 수신모드일때에는 초단 증폭기만 동작시키고 둘째단 증폭기에 공급되는 전류는 차단시켜 전류소모를 감소시킬수 있다. 초단 증폭기의 드레인에 연결된 인덕터는 패키지 외부에서 마이크로스트립 선로에 연결되며 이 마이크로스트립 선로는 먼저 마이크로파 검출기와 연결된 후 접지에 연결된 바이패스 커패시터의 한쪽 끝과 연결된 후 3 V의 공급전원  $V_{dd}$ 와 연결되도록 하였다. 이러한 구조에서 바이패스 커패시터의 위치를 조절하면 검출기와 바이패스 커패시터 사이의 마이크로스트립 선로의 길이가 조절되므로 검출기와 초단 증폭기사이의 결합의 세기가 조절되며 이러한 조절은 칩 외부에서 이루어질 수 있다. 검출기의 출력전압은 리미터로 연결된다.

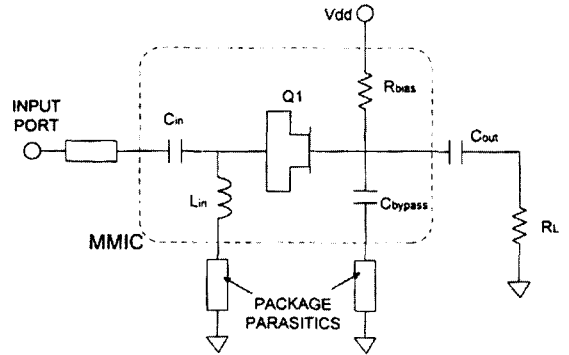


그림 4. 2.4 GHz 마이크로파 검출기의 회로  
Fig. 4. Schematic diagram of the 2.4 GHz microwave detector.

### III. MMIC의 제작 및 성능분석

본 논문의 송수신 MMIC의 제작에는 수율을 높일 수 있도록 이온주입 1.0 μm MESFET 공정을 선정하였으며 같은 이유로 비아(via)도 사용하지 않았다. 그림 5는 제작된 MMIC의 사진으로 전체 MMIC의 크기는 1.5 mm x 1.0 mm이다. 제작된 칩은 24 리드 SSOP 플라스틱 패키지에 다이 본딩 및 와이어본딩 하였다. MMIC의 특성 측정에는 두께가 0.8 mm, 유전상수가 4.8인 PCB 기판을 사용하였다.

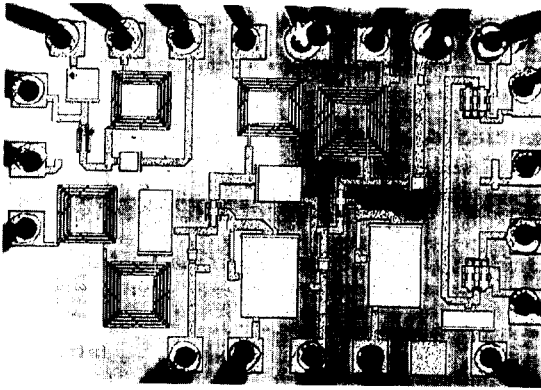
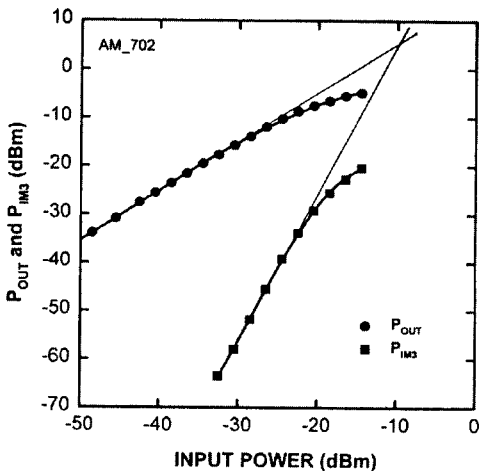


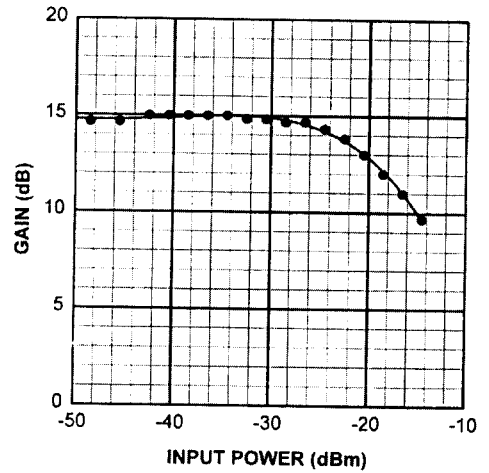
그림 5. 제작된 2.4 GHz 송수신 MMIC의 사진  
Fig. 5. Photograph of the fabricated 2.4 GHz transceiver MMIC.

제작된 MMIC의 성능을 분석하기 위하여 먼저 증폭기, 주파수혼합기, 검출기 블록의 성능을 조사한 후 송신모드와 수신모드로 동작할 때의 특성을 측정하였으며 그 결과는 다음과 같다. 측정에 정확도를 기하였으나 개개 시료의 차이와 고주파 계측의 특성상 오차가 존재하였다.

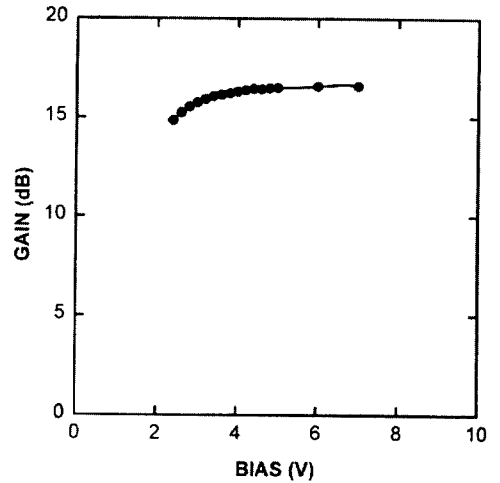
그림 6.a)는 2단 증폭기의 특성을 2 tone 방식으로 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정한 출력과 IM3 (Third Order Intermodulation Product)를 나타낸다. 2 tone 방식의 측정에서 2개 신호의 주파수 차이를 크게 하여 측정하면 스펙트럼 분석기의 잡음 레벨이 높아져 IM3가 작을 때 측정이 어려우므로 2개 신호의 주파수 차이를 작게 하여 측정하였다. 그림에서 입력 IP3(Third Order Intercept-point)를 구하면 -10 dBm이 된다.



(a)



(b)



(c)

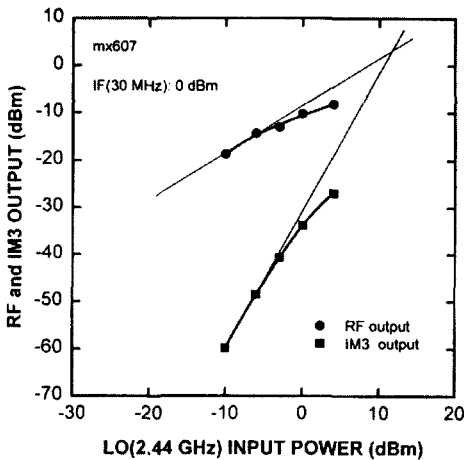
그림 6. 저전력 소모 2.4 GHz 이단 증폭기의 특성. a) 입력에 대한 출력과 IM3. b) 입력에 대한 이득. c) 동작전압에 대한 이득의 변화

Fig. 6. Characteristics of the low power consumption 2.4 GHz two-stage amplifier. a) Output power and IM3 power as a function of input power. b) Gain as a function of input power. c) Gain as a function of applied bias.

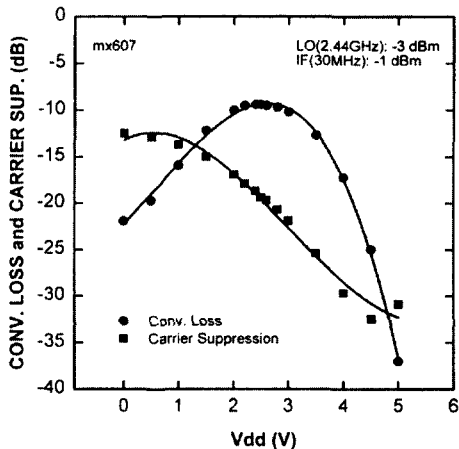
그림 6.b)는 P1dB(1dB compression point)를 구하기 위하여 그림 6.a)의 선형 증폭의 출력특성 결과를 이득으로 표시한 것이다. 그림에서 이득이 15 dB 이고 입력 P1dB는 -24 dBm이다. 입력 P1dB는 입력 IP3 보다 14 dBm 작다. 네트워크 분석기를 보정하여 scattering parameter를 측정한 이득은 16.5 dB 이었으며 스펙트럼 분석기로 측정한 이득보다 정확하리라 생각된다. 잡음지수 측정기로 측정한 2단 증폭기

의 잡음지수는 2.65 GHz에서 가장 작아서 3.1 dB였으며 2.44 GHz에서는 이보다 조금 큰 3.4 dB이었다. 그림 6.c)는 동작전압과 이득의 관계를 나타낸다. 이 증폭기의 이득은 2.4 V이하에서는 이득이 크게 떨어지고 동작전압이 높아지면 이득이 계속 증가하나 동작전압에 따라 크게 변하지 않는 특성을 보인다. 그러므로 이 증폭기는 3 V에서 동작시키기에 무난하며 5 V 이상에서도 사용이 가능하다. 각 증폭단은 3 V에서 1.9 mA를 소모하며 2단 증폭기 전체의 소모전류는 3.8 mA이다.

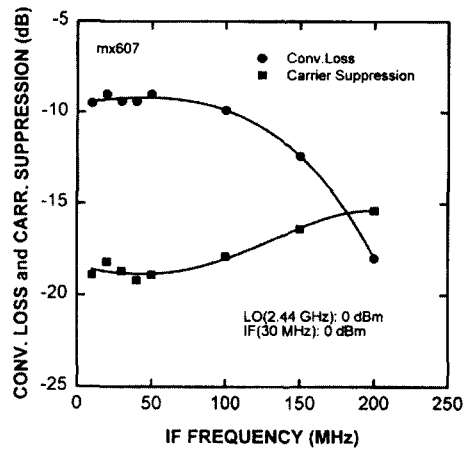
측정된 단일평형 주파수혼합기의 2.44 GHz LO 입력력에 대한 2.41 GHz RF 전력 및 IM3 전력의 결과는 그림 7.a)와 같다. 30 MHz의 IF 전력의 LO 전력이고 LO 전력이 -10 dBm일 때 변환손실은 8.3 dB이며 LO가 증가할수록 포화된다. LO 입력 IP3는 12 dBm이다.



(a)



(b)



(c)

그림 7. 단일 평형 저항성 주파수혼합기의 특성. a) LO 입력에 대한 RF 및 IM3 출력. b) 인가전압에 대한 변환손실 및 반송파 억제비. c) IF 주파수에 대한 변환손실 및 반송파 억제비

Fig. 7. Characteristics of the single balanced resistive mixer. a) RF power and IM3 power as a function of LO input power. b) Conversion loss and carrier suppression as a function of Vdd. c) Conversion loss and carrier suppression as a function of IF frequency.

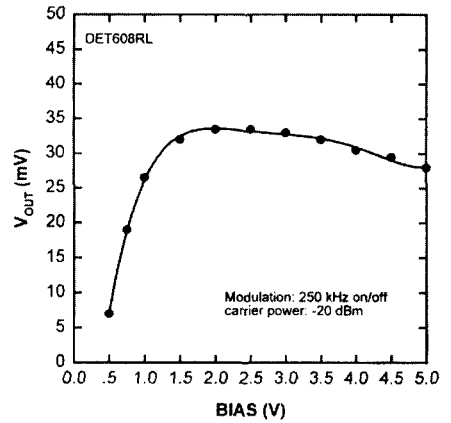
인가전압 Vdd에 대한 변환손실 및 반송파 억제비의 특성은 그림 7.b)와 같으며 변환손실은 2-3 V 범위에서 거의 일정한 특성을 보이며 그 이상에서는 MESFET이 ON 되므로 점점 감소한다. 인가전압 Vdd가 3 V일때 2.44 GHz의 반송파에 대한 억제비는 20 dB이상이며 인가전압이 증가할수록 억제비도 증가한다. 잡음지수는 변환손실과 같도록 측정되었으며 이것은 수동소자를 사용한 주파수혼합기가 갖는 일반적인 특성과 일치하는 것이다.

그림 7.c)는 2.44 GHz의 LO 전력을 0 dBm으로 하고 0 dBm의 IF를 주파수 변화시키면서 입력하였을 때 RF 전력의 변환손실과 반송파 억제를 나타낸다. 변환손실은 IF 주파수가 50 MHz이하일 때 9 dB이며 주파수가 증가할수록 손실이 커지고 반송파 억제비는 감소한다. 이것은 IF 주파수가 작을 때는 IF 발룬이 효과적으로 동작하나 주파수가 증가하면 IF 발룬의 동작특성이 나빠지기 때문이다. 이상의 결과는 제작된 주파수혼합기가 평형 동작을 잘 하고 있음과 우수한 변환손실 특성을 가지고 있음을 나타낸다.

마이크로파 검출기의 특성 측정에서는 출력에 커플

링 커패시터와 1.6 kΩ의 부하저항을 달고 특성을 측정하였다. 전압 검출도를 측정하기 위하여는 검출기의 입력단자에 250 kHz로 on-off modulation (100% ASK modulation)된 신호를 사용하였다. 그림 8.a)는 입력신호의 주파수를 변화시키면서 -20 dBm의 반송파를 입력시키고 출력전압을 오실로스코프로 측정된 결과이다. 이 마이크로파 검출기는 2 GHz부터 3 GHz의 범위에서 양호한 출력특성을 보이며 2.44 GHz에서의 전압 검출도는 33 mV/-20 dBm, 즉 3.3 mV/μW이다. 같은 조건에서 부하저항을 연결하지 않았을 때의 무부하 전압 검출도는 4.2 mV/μW였다.

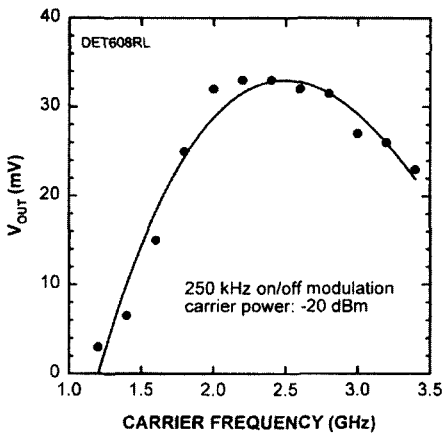
그림 8.b)는 인가전압이 3 V일때의 입력과 출력전압의 관계를 보인다. 다이오드 검출기는 잘 알려진 바와 같이 square-law 특성을 갖는데 이때는 출력 전압이 입력 전압의 제곱 즉 입력전력에 비례한다. 이 범위 이상의 입력에 대하여는 입력전압과 출력전압이 선형적인 특성을 보이게되며 중공에는 포화되게 된다.



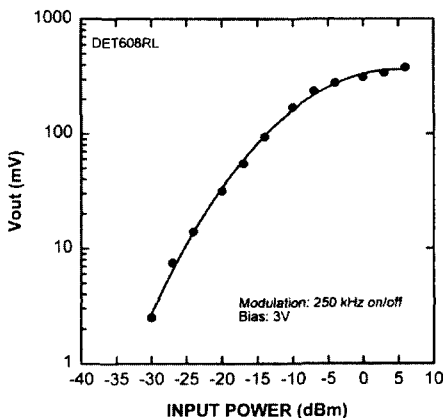
(c)

그림 8. 2.4 GHz 마이크로파 검출기의 특성. a) 주파수의 변화에 대한 출력전압. b) 결합이 약할 때 입력에 대한 출력전압 특성. c) 인가전압에 대한 출력전압 특성

Fig. 8. Characteristics of the 2.4 GHz microwave detector. a) Output voltage as a function of frequency. b) Output voltage as a function of input power with a weak coupling. c) Output voltage as a function of applied bias V<sub>dd</sub>.



(a)



(b)

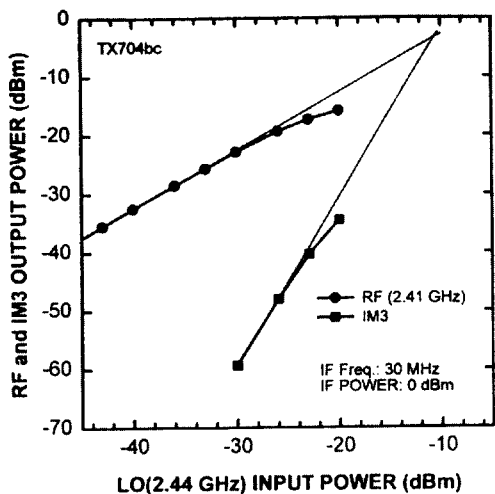
이 검출기는 대략 -20 dBm 이하의 입력에 대하여 square-law 특성을 보인다. TSS(tangential signal sensitivity)를 관측하기에는 오실로스코프의 잡음이 너무 커서 TSS의 측정은 곤란하였으나 TSS의 크기는 그림 8의 측정 범위(-30 dBm)이하이다.

검출기의 인가전압을 변화시켰을 때의 출력전압은 그림 8(c)와 같다. 외부 인가전압이 커짐에 따라 다이오드에 흐르는 전류가 커지지만 다이오드에 직렬로 연결된 바이어스 저항의 전압강하에 의하여 다이오드에 흐르는 전류와 전압이 크게 변하지 못하므로 출력특성이 크게 변하지는 않는다. 쇼트키 다이오드 자체에 인가되는 바이어스가 잘 설정되어 있음을 알 수 있다. 검출기의 I-V 특성을 측정한 결과에서 외부 인가전압이 1 V 이하에서는 검출기의 소모전류는 지수함수적으로 증가하는 다이오드의 특성을 나타내나 그 이상에서는 다이오드의 외부 직렬저항의 영향이 커져서 옴의 법칙 특성을 나타낸다. 인가전압이 클 때의 I-V결과에서 구한 MMIC 내부의 바이어스 저항의 값은 41 kΩ으로 계산되어 설계값과 비슷하였다. 외부 인가전압이 3 V일 때의 전류소모는 80 μA로 매우 적어 RF tag 혹은 저가의 무선 랜으로 사용하기에 적합함을 알 수

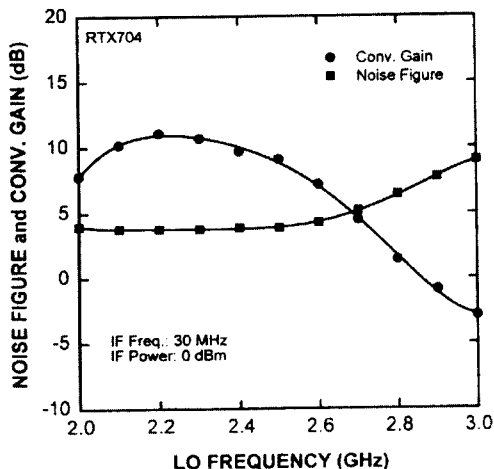
있다.

#### IV. 송신 모드의 성능분석

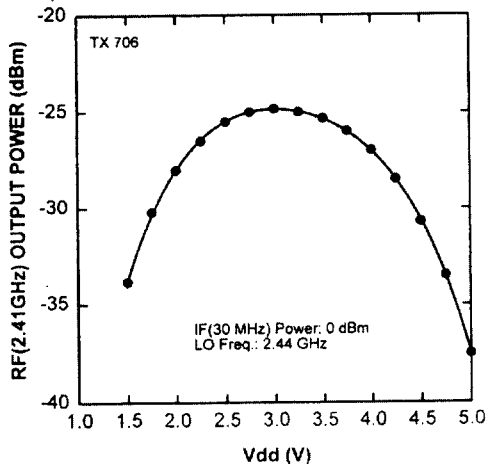
그림 9.a)는 송신모드 즉 입력신호가 2단 증폭기로 입력될 때 주파수혼합기의 출력과 IM3(Third Order Intermodulation Product)를 스펙트럼 분석기로 측정 한 결과를 나타낸다. 주파수혼합기에 입력시키는 IF의 주파수는 30 MHz, 전력은 0 dBm을 사용하였다. 그림 a)에서 변환이득은 7.5 dB이며 출력 IP3(Third Order Intercept-point)는 -3.5 dBm이다. 출력 P1dB는 -17.5 dBm이며 출력 IP3 보다 14 dBm 작다.



(a)



(b)



(c)

그림 9. 저전력소모 2.4 GHz 송수신 MMIC의 송신모드 특성. a) LO 입력에 대한 RF 및 IM3 출력. b) 입력 주파수에 대한 잡음지수 및 변환이득. c) 인가전압에 대한 RF 출력 특성

Fig. 9. Transmitting mode characteristics of the low power consumption 2.4 GHz transceiver MMIC. a) RF and IM3 output power as a function of LO input power. b) Noise figure and conversion gain as a function of input frequency. c) RF output power as a function of Vdd.

잡음지수 측정기로 측정한 잡음지수 및 변환이득은 b)와 같다. 잡음지수는 2.0 GHz부터 2.53 GHz까지에서 4.0 dB이하이고 2.44 GHz에서는 3.9 dB이다. 변환이득은 스펙트럼 분석기로 측정하였을 때에 비하여 커서 2.44 GHz에서 9 dB이다. 주파수에 따라 잡음지수는 증가하고 변환이득은 감소한다.

그림 9.c)는 인가전압과 RF 출력의 관계를 나타낸다. RF출력은 설계된 대로 3 V에서 최대이며 전원전압이 더 높거나 낮으면 RF 출력이 감소한다. 전원전압이 높을 때 RF출력이 감소하는 것은 주파수혼합기의 전압특성 때문이며 이단 증폭기는 전원전압에 대하여 둔감한 특성을 가지고 있다. 2단 증폭기의 소모전류는 3.8 mA이며 주파수혼합기의 소모전류는 0.1 mA로 전체 송신 MMIC의 소모전류는 3.9 mA였다.

표 1에서는 본 논문에서 제작된 송신 MMIC의 특성을 다른 곳에서 발표된 MMIC의 성능과 비교하였다. 각각의 MMIC는 동작 주파수와 전력소모가 서로 다르므로 절대적인 비교는 어렵지만 다음과 같은 분석이 가능하다. Imai<sup>[7]</sup>와 비교하면 잡음지수는 본 논

표 1. 제작된 MMIC의 송신모드 성능과 타 MMIC 성능의 비교  
Table 1. Performance comparison of the fabricated MMIC at transmitting mode.

Author (ref.) Company	This Work	Imai (ref. 7) NTT	Thomas (ref. 8) Siemens	McDonald (ref. 9) National Semicon.	Harris Semicon. HFA3624 (ref. 10) Tx mode	TriQuint (ref. 11, TQ9206, Tx mode)	TriQuint (ref. 11, TQ9203, Downcon.)
Operating Frequency(MHz)	2,440	1,600	1,890	1,890	2,450	2,440	881
Conversion Gain(dB)	7.5	12.5	6	7.6	17.8	19	21
Noise Figure(dB)	3.9	12.6	15	18			2.5
Output IP3(dBm)	-3.5		-4	-4.0	Output P1dB=1.1	Output P1dB=12	11
Power(VoltxmA)	3x3.9	3x3.6	x3	x19.8	2.7x48	5x65	5x10.5
Note		LO=-3dBm	Rx mixer, Bipolar	Image Rej. BiCMOS	IF=-13 dBm		

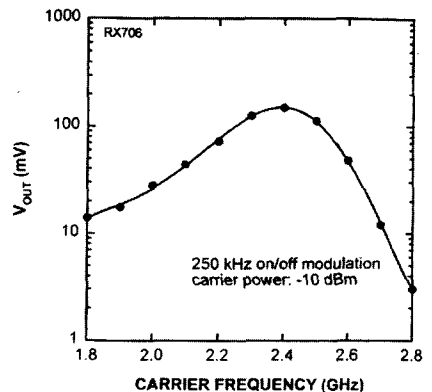
문의 MMIC가 우수하고 변환이득은 Imai가 우수하며 전력소모는 비슷하다. Thomas<sup>[8]</sup>의 칩은 바이폴라 공정으로 제작되었으며 변환이득, 전류소모는 비슷하나 잡음지수는 본 논문의 MMIC가 우수하다. 영상 제거 혼합기인 McDonald<sup>[9]</sup>와 비교하면 본 논문의 MMIC가 잡음지수와 전력소모 면에서 훨씬 우수하다. Harris<sup>[10]</sup>의 칩은 혼합기 뒤에 증폭기가 있는 구조여서 변환이득이 큰 반면 전류소모도 크다. TQ9206, TQ9203<sup>[11]</sup>도 변환이득, 출력 P1dB는 우수하나 전력소모가 매우 크다. 결론적으로 MMIC는 제조 목적에 따라 특성간에 차이가 있지만 본 논문의 MMIC는 매우 우수한 저전력 특성을 보이며 이동용 단말기에의 응용에 적합함을 알 수 있다.

다. 그림을 보면 반송파의 주파수가 2.4 GHz에서 출력전압이 최대가 되므로 정합이 양호함을 알 수 있다. 그림 10.b)는 입력과 출력의 비선형 특성을 나타낸다. 인가전압이 3 V에서 입력이 -15 dBm 근처 이하일 때는 대체로 square-law 특성을 보이나 입력이 커짐에 따라 빠르게 포화하는 특성을 보인다. 정상태의 입력이 -20 dBm일 때의 변조신호에 대하여 출력전압은 10 mV이었다.

그림 10.a)와 b)는 검출기와 초단 증폭기의 결합을 약하게 했을 때의 결과이며 검출기와 초단증폭기의 결합을 적당히 강하도록 조정했을 때의 입력과 출력의 관계는 그림 10.c)와 같다. 입력이 -20 dBm일 때 출력 전압이 65 mV이므로 전압검출도는 6.5 mV/ $\mu$ W 이다.

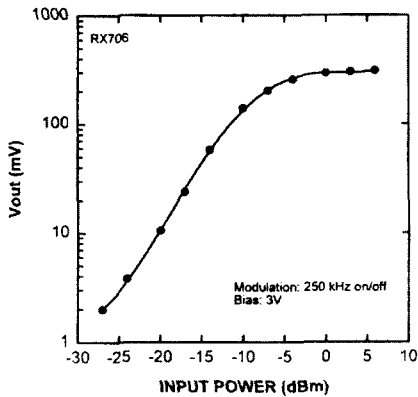
### V. 수신모드 성능 분석

수신모드에서는 본 논문의 MMIC가 초단 증폭기를 포함하는 마이크로파 검출기로 동작하며 2단 증폭기의 초단과 마이크로파 검출기에만 전류가 공급되는데 이 때 전류소모는 2.0 mA이다. 그림 10.a)는 초단 증폭기의 입력단자에 250 kHz로 on-off modulation (100% ASK modulation)된 -10 dBm의 변조신호를 인가하며 반송파의 주파수를 변화시켰을 때 검출기의 출력이다. 검출기의 출력은 부하저항으로 1.6 k $\Omega$ 을 사용하였을 때 부하저항에 인가되는 전압을 나타내었

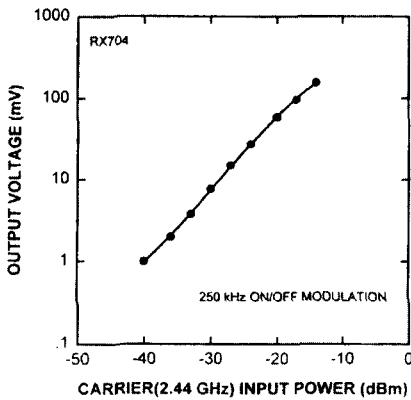


(a)





(b)



(c)

그림 10. 저전력소모 2.4 GHz 송수신 MMIC의 수신모드 특성. a) 결합이 약할 때 반송파의 주파수 변화에 대한 출력전압. b) 결합이 약할 때 입력에 대한 출력전압 특성. c) 결합이 강할 때 입력에 대한 출력전압 특성

Fig. 10. Receiving mode characteristics of the low power consumption 2.4 GHz transceiver MMIC. a) Output voltage as a function of carrier frequency with a weak coupling. b) Output voltage as a function of input power with a weak coupling. c) Output voltage as a function of input power with a strong coupling.

## VI. 결 론

2.4 GHz대역의 ISM-band에서 FSK변조된 신호를 송신하거나 ASK변조된 신호를 수신하는데 사용될 수 있도록 고주파 부위를 one-chip화한 저전력 송수신 MMIC를 1.0  $\mu\text{m}$  MESFET을 사용하여 설계 및 제작하였다. 제작된 송수신 MMIC의 면적은 1.5mm x 1.0mm이며 플라스틱 패키지에 실장할 수 있다.

각 기능블록의 특성분석 결과 2단 증폭기는 3V의 동작전압과 3.8 mA의 소모전류로 2.44 GHz에서 이득 16.5 dB, 잡음지수 3.4 dB, 입력 IP3 -10 dBm과 동작전압에 대한 변화가 적은 특성을 나타내었다. 반송파가 억제되는 단일 평형 주파수혼합기의 변환손실은 LO전력이 -10 dBm일 때 8.3 dB이었다. 마이크로파 검출기의 특성분석 결과 전압검출도는 부하저항이 1.6 k $\Omega$ 이고 반송파 주파수가 2.44 GHz일때 3.3 mV/ $\mu\text{W}$ 이었으며 인가전압에 의한 변화가 적은 양호한 결과를 얻었다.

이 MMIC는 송신모드에서 3 V의 동작전압과 3.9 mA의 소모전류로 2.44 GHz에서 변환이득 7.5 dB, 출력 IP3 -3.5 dBm, 잡음지수 3.9 dB의 특성을 나타내었다. 수신모드일 때 소모전류는 2.0 mA이며 전압 검출도는 6.5 mV/ $\mu\text{W}$ 였다. 여기서 제작한 2.4 GHz ISM-band 송수신 MMIC는 저가의 무선 랜, WLL 혹은 RFID tag 등에서 저전력으로 동작하여야하는 휴대용 단말기에서의 응용이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. Konno, H. Wada, and K. Matsukawa, "A 2.45 GHz Wireless IC Card System for Automatic Gates", *1993 IEEE MTT-S Digest*, pp. 797-800.
- [2] T. K. Chan, E. Korolkiewicz, "Design of the Microwave Transponder for Automatic Debiting Systems", *24th European Microwave Conference*, pp. 1025-1029, 1994.
- [3] T. Ohta, H. Nakano and M. Tokuda, "Compact Microwave Remote Recognition System with Newly Developed SSB Modulation", *1990 IEEE MTT-S Digest*, pp. 957-960.
- [4] J.D. Buchs, W. Detlefsen, and W. Grabow, "Access Control System Based on the Emerging European Standard for 5.8 GHz Short Range Communication", *1996 IEEE 46th Vehicular Technology Conference*, pp. 1805-1809.
- [5] W. S. Chan and W. S. Wong, "5.8 GHz Active Transponder for Electronic Road Pricing", *1995 Asia-Pacific Microwave*

- Conference Proceedings*, pp. 694-697.
- [ 6 ] S. Meyer, J. Guena, J. C. Leost, E. Penard, and M. Goloubkoff, "A New Concept of LANs: Passive Microwave Links Hooked onto a Fiber Optic Backbone", *1993 IEEE MTT-S Digest*, pp. 1549-1552.
- [ 7 ] Yuhki Imai, Masami Tokumitsu, and Akira Minakawa, "Design and Performance of Low-Current GaAs MMIC's for L-band Front-End Applications", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-39*, pp. 209-215, Feb. 1991.
- [ 8 ] V. Thomas, J. Fenk, and S. Beyer, "A One-Chip 2 GHz Single Superhet Receiver for 2Mb/s FSK Radio Communication", *ISSCC Digest of Technical Papers*, pp. 42-43, Feb. 1994.
- [ 9 ] M. D. McDonald, "A 2.5 GHz BiCMOS Image-Reject Front-End", *ISSCC Digest of Technical Papers*, pp. 144-145, Feb. 1993.
- [ 10 ] Harris Semiconductor, Data-sheets.
- [ 11 ] TriQuint Semiconductor, *Wireless Communications Products Catalog*, 1994.
- [ 12 ] I. Bahl and P. Bhartia, *Microwave Solid State Circuit Design*, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [ 13 ] J. Luglio and T.K. Ishii, "High Efficiency FET Microwave Detector Design", *Microwave J.*, pp. 93-100, Dec. 1990.

---

 저 자 소 개
 

---



黃仁德(正會員)

1954년 11월 17일생. 1977년 2월 서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업(학사). 1982년 2월 서울대학교 자연대학 물리학과 졸업(석사). 1987년 2월 서울대학교 자연대학 물리학과 졸업(박사).

1987년 4월~1997년 2월 한국전자통신연구원 반도체연구단 선임 및 책임연구원, 실장역임. 1990년 8월~1991년 9월 IBM T.J.Watson Research Center visiting scholar. 1997년 3월~현재 대전대학교 전자공학과 재직. 관심분야는 RFIC 설계 및 전력증폭기 설계