

# 60 dB 온-오프 격리도를 위한 통신 위성 중계기용 MMIC MSM의 RF 결합 방법

## RF Interconnection Technique of MMIC Microwave Switch Matrix for 60 dB On-to-off Isolation

노 윤 섭 · 장 동 필 · 염 인 북

Youn-Sub Noh · Dong-Pil Jang · In-Bok Yom

### 요 약

S-대역 SPST MMIC 스위치의 격리도 특성을 두 서로 다른 RF 결합 방법인 마이크로스트립(microstrip)과 접지 코플라나 웨이브가이드(GCPW) 선로로 구성하여 분석하였다. 스위치의 온-오프 격리도는 마이크로스트립 설계에 비하여 접지 코플라나 웨이브가이드 선로를 사용하는 경우 5.8 dB 개선되었고, 접지 코플라나 웨이브가이드 선로에 코플라나 와이어본드 결합을 적용하는 경우 6.9 dB 더 향상된 격리도 특성을 3.4 GHz의 주파수에서 얻을 수 있었다. 측정된 삽입 손실 및 IMD3는 3.2~3.6 GHz 대역에서 1.94 dB보다 작았으며, 64 dBc보다 큰 특성을 얻었다.

### Abstract

The isolation performance of the S-band single-pole single-throw(SPST) monolithic microwave integrated circuit (MMIC) switch with two different RF-interconnection approaches, microstrip and grounded coplanar waveguide(GCPW) lines, are investigated. On-to-off isolation is improved by 5.8 dB with the GCPW design compared with the microstrip design and additional improvement of 6.9 dB is obtained with the coplanar wire-bond interconnection(CWBI) at a 3.4 GHz. The measured insertion loss and third-order inter-modulation distortion(IMD3) are less than 1.94 dB over 3.2 ~3.6 GHz and greater than 64 dBc.

Key words : GCPW, MMIC, Microstrip, SPST, Switch, Microwave Switch Matrix

### I. 서 론

마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 사용되는 시스템에서는 채널 수가 증가함에 따라 원하는 신호의 경로를 형성하고 원하지 않는 신호는 차단하는 스위치가 점차 많이 사용하고 있다. 스위치는 높은 온-오프 격리도, 고속 스위칭, 저전력, 고 선형성, 단순한 구동 회로 등이 요구된다<sup>[1]</sup>. 마이크로웨이브 스위치 매트릭스(Microwave Switch Matrix: MSM)는 위성 중계기에서 각 입력단의 빔들을 각 출력단의 빔으로

연결하여 주어 온-보드 스위칭을 가능하게 한다. 따라서 높은 격리도를 갖는 스위치 설계 방법은 핵심 기술이라고 할 수 있다.

고바야시<sup>[2]</sup>는 코플라나 웨이브가이드 접지 격리를 이용한 핀 다이오드 마이크로스트립 스위치가 일반적인 마이크로스트립 스위치에 비해서 10 dB 개선된 격리도를 얻었다.

본 논문에서는 스위치 매트릭스를 위한 MMIC 스위치의 RF 결합으로, 마이크로스트립 선로와 접지 코플라나 웨이브가이드(Grounded Coplanar Wavegui-

한국전자통신연구원 광역무선기술연구그룹(Global Area Wireless Technology Research Group, ETRI)

· 논문 번호 : 20051105-08S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 2일

de: GCPW)를 사용한 경우들의 격리도 특성을 분석하였다. 2.5~4 GHz 대역의 주파수에서 마이크로스트립 선로를 이용한 RF 결합에 비해 GCPW 선로를 이용하고 코플라나 와이어-본딩 결합을 사용하는 경우 약 10 dB 이상 개선된 격리도 특성을 얻을 수 있었다.

## II. SPST MMIC 스위치 설계

SPST MMIC 스위치는 우주 인증된 Northrop Grumman Space Technology(NGST)사의 0.15 um GaAs pHEMT 공정을 이용하여 설계, 제작되었다.

MMIC의 구성은 4개의 HEMT가 스위칭 소자와 3개의  $\lambda/4$  선로가 그림 1과 같이 등가 LC 소자로 사용되었다. 3개의  $\lambda/4$  선로는 스위치의 격리도를 개선하기 위하여 사용되었다. 이 때  $\lambda/4$  선로를 전송 선로를 이용하여 기본적으로 구현할 수 있지만, 주파수 대역이 낮을 경우 길이가 길어지므로, 스위치 MMIC를 소형으로 구현하기 어려워진다. 따라서 그림 2와 같은  $\pi$ -형 LC 공진기를 사용할 수 있으며, MMIC 회로에서 인덕터와 커패시터를 쉽게 구현할 수 있으므로 스위치의 크기를 줄이면서 공진기의 특성을 얻을 수 있다. 하지만 LC 공진기는 삽입 손실을 증가시키며, 대역폭이 좁아지는 단점을 가지고 있다.

단일 제어 전압  $V_g$ 는 HEMT Q1, Q2, Q3, 그리고 Q4의 게이트에 공급된다. 스위치 오프( $V_g=0$  V)의 경우, 모든 HEMT는 매우 작은 드레인-소스 임피던스 특성을 갖게 되어 쇼트 회로로 동작한다. Q1과 Q4의 드레인 단에서의 임피던스는 그림 1의 R2와 R6가 50

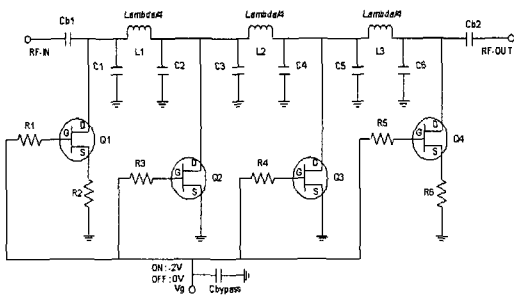


그림 1. SPST MMIC 스위치의 구조  
Fig. 1. Configuration of SPST MMIC switch.

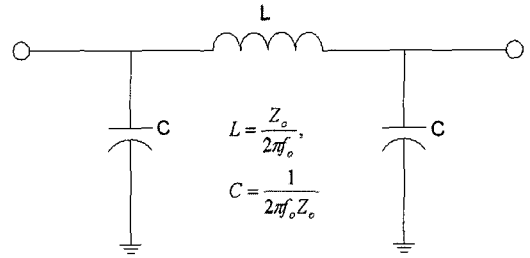


그림 2.  $\lambda/4$  선로의 등가  $\pi$ -형 LC 공진기 회로  
Fig. 2. Equivalent  $\pi$ -type LC resonator circuit of quarter wavelength line.

$\Omega$ 으로 설계되어, 50  $\Omega$  정합을 입력과 출력 단에서 얻을 수 있다. 그리고 Q2와 Q3의 드레인 단에서의 0  $\Omega$  임피던스는 입력(RF-IN)단과 출력(RF-OUT)단에서 RF 신호의 전송을 막아주는 쇼트의 역할을 한다.

스위치 온( $V_g=-2$  V)의 경우, 모든 HEMT는 매우 큰 드레인-소스 임피던스 특성을 갖게 되어 오픈 회로로 동작한다. 모든 HEMT의 드레인 단에서의 임피던스가 매우 크므로 입력(RF-IN)단과 출력(RF-OUT)단 사이에는 두 개의 RF 바이패스 커패시터(Cb1, Cb2)와 3개의  $\lambda/4$  선로만이 존재하게 되어 고 선형성을 얻을 수 있는 구조이다. 흡수형 SPST MMIC 스위치는 그림 3과 같이 1.62x1.62 mm<sup>2</sup> 크기로 제작되었다.

그림 4의 온-웨이퍼 상에서 측정된 MMIC 성능을 보면 설계된 스위치는 3~4 GHz 대역에서 2.0 dB 이

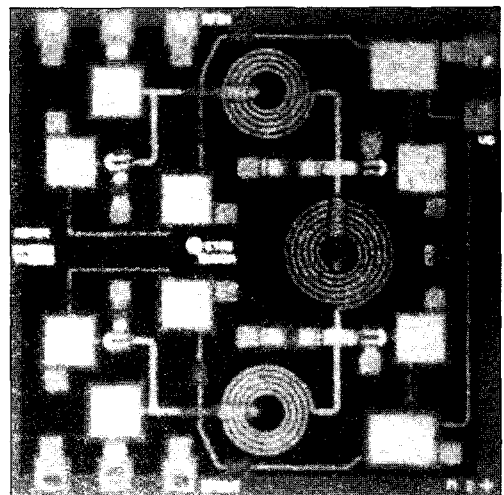
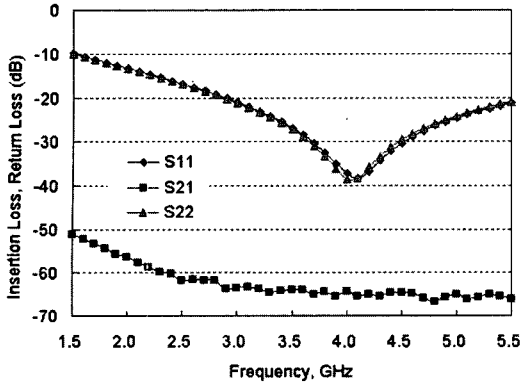
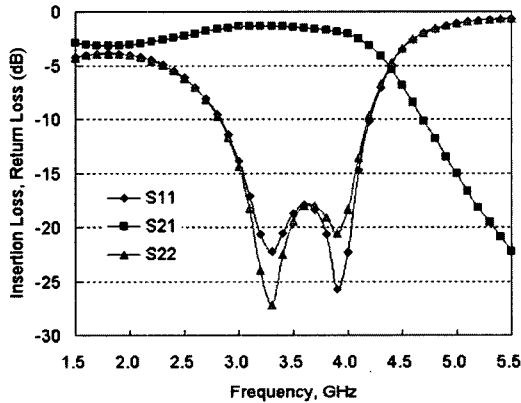


그림 3. 제작된 SPST MMIC 스위치  
Fig. 3. Fabricated SPST MMIC switch.



(a) 스위치-오프 상태  
(a) Switch-off state



(b) 스위치-온 상태  
(b) Switch-on state

그림 4. 제작된 SPST MMIC 스위치의 측정 결과  
Fig. 4. Measured results of fabricated SPST MMIC switch.

하의 삽입 손실과 63 dB 이상의 격리도 특성을 가지고 있으며, 스위치-온 상태에서 18 dB 이상의 반사 손실과 스위치-오프 상태에서 21 dB 이상의 반사 손실의 특성을 가진다.

측정된 성능은 설계 결과와 비교할 때, 100 MHz 정도 주파수가 상향 쉬프트 되었지만 거의 유사하여, 따로 비교 그래프를 첨부하지는 않았다.

그림 5와 같이 SPST MMIC 스위치를 테스트 하기 위한 테스트 지그를 제작 및 조립하였다. 지그의 입출력 쪽에 각각 3 mm 길이의 50 Ω 선로가 있고, 중앙에 MMIC 스위치가 장착된 스위치 캐리어가 위치하고 있다. 스위치 캐리어 상의 입출력에는 2 mm 길이의 50 Ω 선로가 있고, 중앙에 MMIC 스위치가 위치

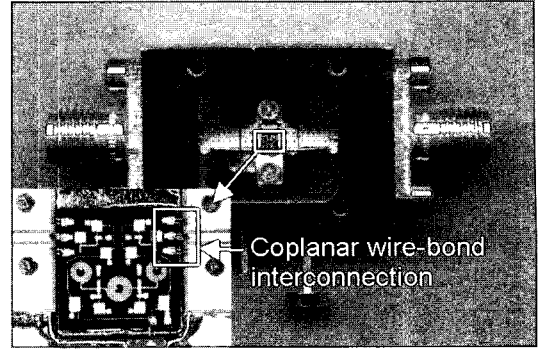


그림 5. SPST MMIC 스위치를 위한 테스트 지그 조립 사진  
Fig. 5. Picture of the assembled test jig for SPST MMIC switch.

한다. 스위치의 온-오프 격리도 성능을 비교하기 위하여, 50 Ω 선로로 마이크로스트립(microstrip), GCPW, 코플라나 와이어-본드 인터커넥션(CWBI)을 취한 GCPW를 사용한 경우에 대해서 각각 테스트를 하였고, 그 결과를 그림 6에 온-웨이퍼 상의 측정 결과와 함께 도시하였다.

Microstrip 선로 설계는 2.5 GHz~4.0 GHz 대역에서 50 dB 이하의 온-오프 격리도 특성을 갖는다. 그러나 GCPW 선로 설계의 경우 3.4 GHz에서 5.8 dB 향상된(48.6 dB → 54.4 dB) 온-오프 격리도 값을 갖고, GCPW에 CWBI를 적용한 선로의 경우 추가의 6.9 dB 향상된(54.4 dB → 61.3 dB) 온-오프 격리도 값을 얻을 수 있었다. 이는 GCPW 선로의 전계(electric field)가 microstrip 선로에 비해 50 Ω 신호 선로의 근처에

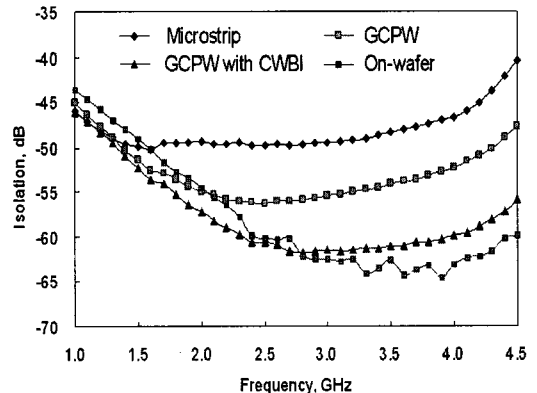


그림 6. SPST MMIC 스위치 온-오프 격리도 측정 결과  
Fig. 6. Measured on-off isolation of SPST MMIC switch.

제한되고, MMIC와 GCPW 50 Ω 선로에 CWBI를 적용하는 경우 GCPW 50 Ω 선로와 본드-와이어 사이의 트랜지션에서의 라디에이션 현상을 최소화 시켜 온-웨이퍼 상의 측정 결과와 아주 유사한 측정 결과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 50 dB 이상의 온-오프 격리도를 얻기 위해서는 GCPW 설계가 반드시 적용되어야 할 것이다.

### III. 측정 결과

그림 7에 스위치 온과 오프 상태의 CWBI를 적용한 GCPW 설계와 온-웨이퍼 경우의 삽입 손실 특성을 도시하였다. 측정된 스위치-온의 경우 삽입 손실은 3.2~3.6 GHz 대역의 주파수 대역에서 1.52 dB(온-웨이퍼)과 1.94 dB(CWBI를 적용한 GCPW)보다 작았다. 0.42 dB의 삽입 손실 차이는 총 10 mm의 GCPW 50 Ω 선로와 SMA 커넥터 그리고 본드-와이어에서 비롯된 것으로 판단된다. 측정된 스위치-오프의 경우 삽입 손실은 3.2~3.6 GHz 대역의 주파수 대역에서 65.8 dB(온-웨이퍼)과 63 dB(CWBI를 적용한 GCPW)보다 작았다. 따라서 CWBI를 적용한 GCPW 50Ω 선로의 패키징 방법은 온-웨이퍼 결과에 비해 약간의 성능 열화만을 보이고 있다.

입력 신호 2 dBm 2-tone에 대한 3.4 GHz에서의 IMD3 측정 결과를 그림 8에 보였다. 측정 결과 64 dBc의 IMD3의 값을 가지며, 32 dBm의 OIP3 특성을 갖는 것으로 계산된다. 이는 스위치-온의 경우 3개의

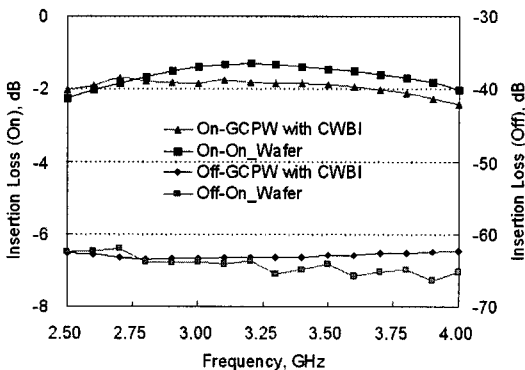


그림 7. SPST MMIC 스위치의 스위치 온 및 오프시의 삽입 손실 측정 결과  
Fig. 7. Measured on and off insertion losses of SPST MMIC switch.

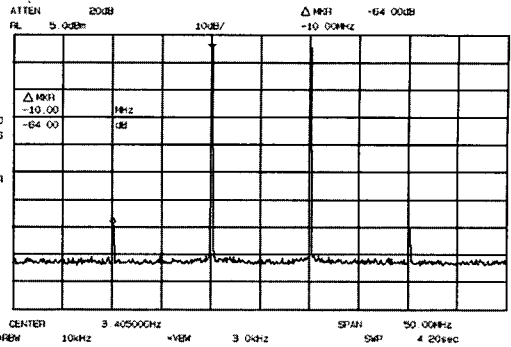


그림 8. SPST MMIC 스위치의 IMD3 측정 결과  
Fig. 8. Measured IMD3 of SPST MMIC switch.

표 1. SPST MMIC 스위치 성능  
Table 1. Performance of SPST MMIC switch.

파라미터	요구 규격	측정, 온-웨이퍼	측정, 테스트 지그
삽입 손실(dB)	< 2	1.4	1.85
온-오프 격리도(dB)	> 55	63.5	61.3
IMD3(dBc)	> 60	64.4	64

$\lambda/4$  선로만이 RF 전송 라인에 위치하기 때문이다.

마지막으로 SPST MMIC 스위치의 CWBI를 적용한 GCPW 테스트 지그와 온-웨이퍼 상의 3.4 GHz에서의 성능을 표 1에 요약하였다.

### IV. 결론

본 논문에서는 스위치 매트릭스를 위한 SPST MMIC 스위치의 RF 결합 방법을 분석하였다. 온-오프 격리도 특성은 코플라나 와이어-본드 결합을 적용한 GCPW 50 Ω 선로를 사용하는 경우 일반적인 microstrip 선로에 비해 10 dB 이상 개선된 결과를 보였다. 이로써 GCPW RF 결합 환경에서 트랜지션에서의 라디에이션을 최소화 시켜 주어, 온-웨이퍼 상의 특성과 아주 유사한 특성을 얻을 수 있다. 이 패키징 접근 방법은 통신 해양 기상 위성의 4x4 스위치 매트릭스의 단위 셀에 적용할 예정이다.

### 참고 문헌

[1] Kai Chang, *Microwave Solid-state Circuits and*

Applications, John Wiley & Sons, Inc., 1994.

[2] K. W. Kobayashi et al., "A 50 MHz~30 GHz broadband co-planar waveguide SPDT PIN diode

switch with 45-dB isolation", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 56-581, 1995.

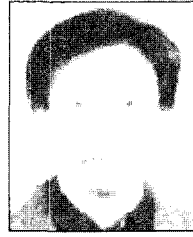
노 윤 섭



2000년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)  
2001년 8월: 한국정보통신대학교 전자공학과 (공학석사)  
2004년 2월: 한국정보통신대학교 전자공학과 (공학박사)  
2004년 1월~현재: 한국전자통신연구원 광역무선연구그룹 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 능동(MMIC, Hybrid) 및 수동 부품회로 설계, 고효율 고선형 전력증폭기 MMIC 설계

염 인 복



1990년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
2003년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
1992년 9월~1995년 5월: 무궁화 위성 현장 교육 참여 (영국 Matra Marconi사)

1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 광역무선기술연구그룹 책임임연구원

[주 관심분야] 위성통신증계기, MMIC 회로, 필터 설계

장 동 필



1992년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 광역무선기술연구그룹 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 부품 설계, MMIC 설계, 밀리미터 파대역 부품 및 시스템 개발