

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

노윤섭, 주인권, 염인복
 한국전자통신연구원 광역무선기술연구그룹
 Tel: +82-42-860-6445, Fax: +82-42-860-6949, email: nohys@etri.re.kr

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

Y. S. Noh, I. K. Ju and I. B. Yom
 Global Area Wireless Technology Research Group, ETRI

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 6.9dB is obtained with the coplanar wire-bond interconnection (CWBI) at 3.4 GHz. The measured insertion loss and third-order inter-modulation distortion (IMD3) are less than 2.43 dB over 2.5 GHz ~ 4 GHz and greater than 64 dBc.

Key words: Isolation, pHEMT, MMIC, MSM, SPST, switch

1. 서론

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 구동회로 등이 요구된다[1]. 마이크로웨이브 스위치 매트릭스(Microwave Switch Matrix, MSM)는 위성 중계기에서 각 입력단의 빔들을 각 출력단의 빔으로 연결하여 주어 온-오프 스위칭을 가능하게 한다. 따라서 높은 격리도를 갖는 스위치 설계 방법은 핵심 기술이라고 할 수 있다.

고바야시는[2] 코플라나 웨이브가이드 접지 격리를 이용한 편 다이오드 마이크로 스트립 스위치가 일반적인 마이크로 스트립 스위치에 비해서 10dB 개선된 격리도를 얻었다.

본 논문에서는 스위치 매트릭스를 위한 MMIC 스위치의 RF 결합으로, 마이크로스트립 선로와 접지 코플라나 웨이브가이드(Grounded Coplanar Waveguide, GCPW)를 사용한 경우들의 격리도 특성을 분석하였다. 2.5GHz~4GHz 대역의 주파수에서 마이크로 스트립 선로를 이용한 RF

결합에 비해 GCPW 선로를 이용하고 코플라나 와이어-본딩 결합을 사용하는 경우 약 10dB 이상 개선된 격리도 특성을 얻을 수 있었다.

2. SPST MMIC 스위치 설계

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

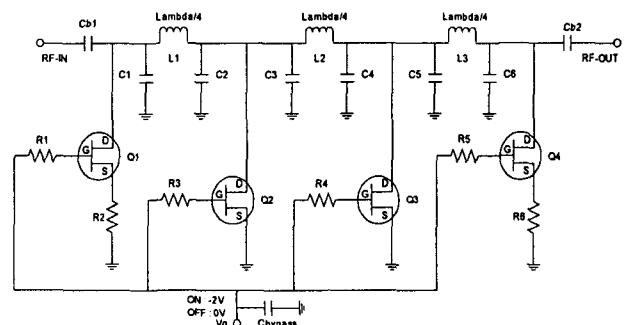
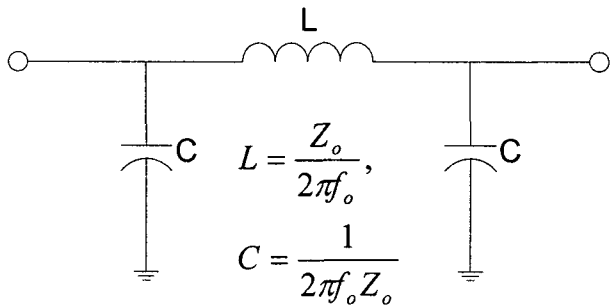


그림 1] SPST MMIC 스위치의 구조

선로가 [그림 1]과 같이 등가 LC 소자로 사용 되었다. 3 개의 $\lambda/4$ 선로는 스위치의 격리도를 개선하기 위하여 사용되었다. 이 때 $\lambda/4$ 선로를 전송선로를 이용하여 기본적으로 구현할 수 있지만, 주파수 대역이 낮을 경우 길이가 길어지므로, 스위치 MMIC 를 소형으로 구현하기 어려워진다. 따라서 [그림 2]와 같은 π -형 LC 공진기를 사용할 수 있으며, MMIC 회로에서 인덕터와 커패시터를 쉽게 구현 할 수 있음으로 스위치의 크기를 줄이면서 공진기의 특성을 얻을 수 있다. 하지만 LC 공진기는 삽입 손실을 증가시키며, 대역폭이 좁아지는 단점을 가지고 있다.



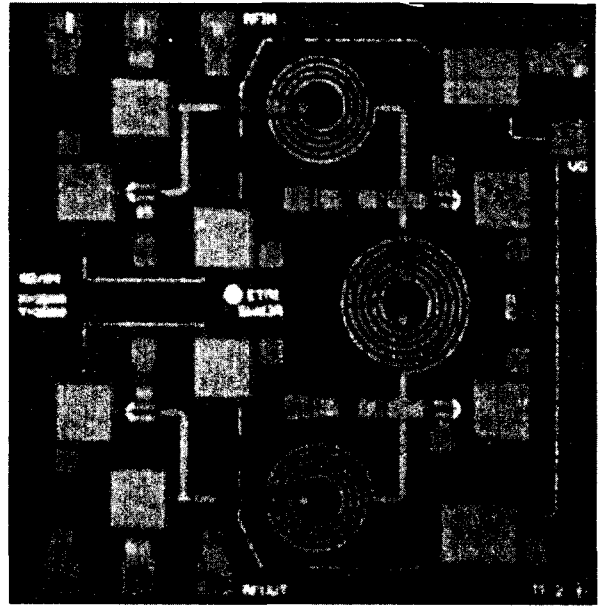
[그림 2] $\lambda/4$ 선로의 등가 π -형 LC 공진기

단일 제어 전압 V_g 는 HEMT Q1, Q2, Q3, 그리고 Q4 의 게이트에 공급된다. 스위치 오프($V_g=0V$)의 경우, 모든 HEMT는 매우 작은 드레인-소스 임피던스 특성을 갖게 되어 쇼트 회로로 동작한다. Q1 과 Q4 의 드레인 단에서의 임피던스는 R2 와 R6 가 50 옴으로 설계되어, 50 옴 정합을 입력과 출력 단에서 얻을 수 있다. 그리고 Q2 와 Q3 의 드레인 단에서의 0 옴 임피던스는 입력(RF-IN)단과 출력(RF-OUT) 단에서 RF 신호의 전송을 막아주는 쇼트의 역할을 한다.

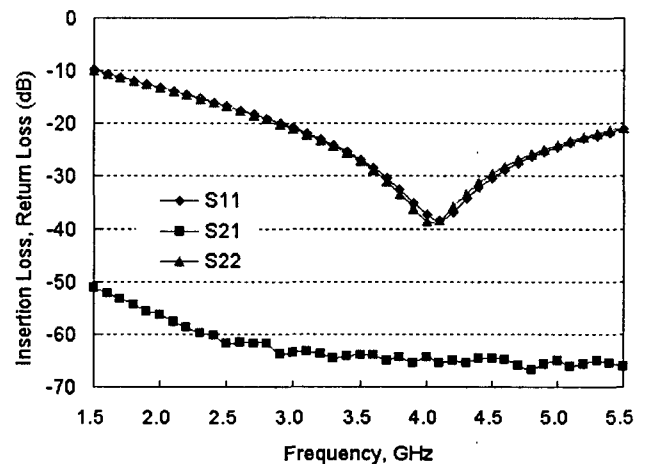
스위치 온($V_g=-2V$)의 경우, 모든 HEMT 는 매우 큰 드레인-소스 임피던스 특성을 갖게 되어 오픈 회로로 동작한다. 모든 HEMT 의 드레인 단에서의 임피던스가 매우 크므로 입력(RF-IN)단과 출력(RF-OUT) 단 사이에는 3 개의 $\lambda/4$ 선로만이 존재하게 되어 고 선형성을 얻을 수 있는 구조이다. 흡수형 SPST MMIC 스위치는 [그림 3]과 같이 $1.62 \times 1.62 \text{ mm}^2$ 크기로 제작되었다.

[그림 4]의 온-웨이퍼 상에서 측정된 MMIC 성능을 보면 설계된 스위치는 3 ~4GHz 대역에서 2.0dB 이하의 삽입 손실과 63dB 이상의 격리도 특성을 가지고 있으며, 스위치-온 상태에서 18dB 이상의 반사 손실과 스위치-오프 상태에서 21dB 이상의 반사 손실의 특성을 가진다.

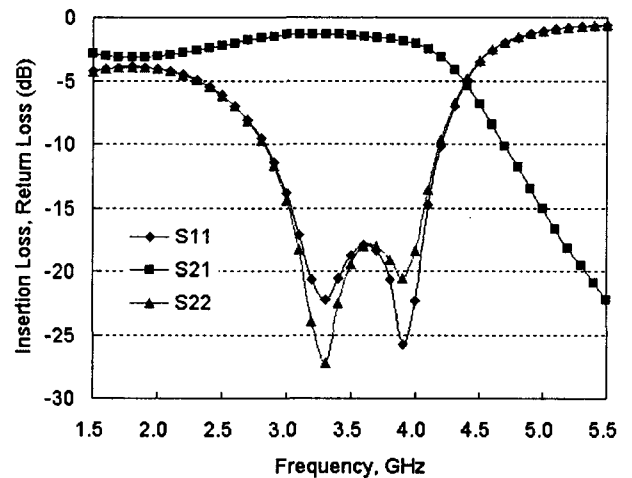
측정된 성능은 설계 결과와 비교 할 때, 100MHz 정도 주파수가 상향 쉬프트 되었지만 거의 유사하여, 따로 비교 그래프를 첨부 하지는 않았다.



[그림 3] 제작된 SPST MMIC 스위치



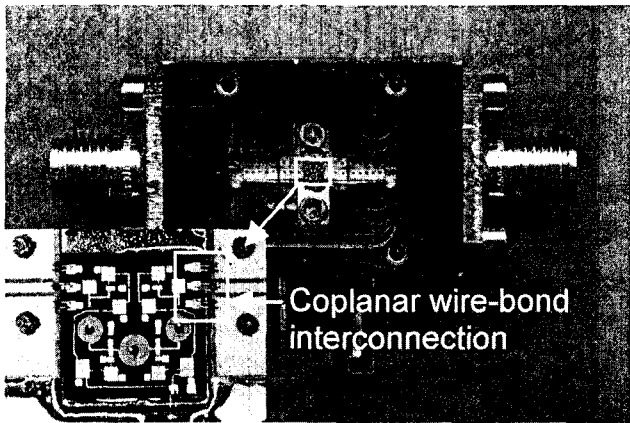
(a) 스위치-오프 상태



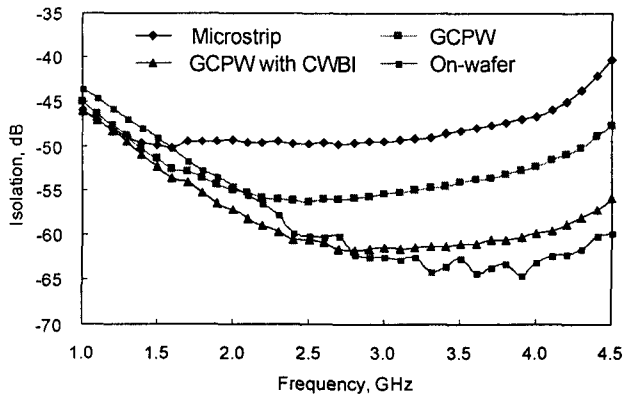
(b) 스위치-온 상태

[그림 4] 제작된 SPST 스위치 MMIC 의 측정 결과

지그를 제작 및 조립하였다. 지그의 입출력 쪽에 3mm 길이의 50 옴 선로가 있고, 중앙에 스위치 캐리어가 위치하고 있다. 스위치 캐리어의 입출력에는 2mm 길이의 50 옴 선로가 있고, 중앙에 MMIC 스위치가 위치한다. 스위치의 온-오프 격리도 성능을 비교하기 위하여, 50 옴 선로로 마이크로 스트립(Microstrip), GCPW, 코플라나 와이어-본드 인터커넥션(CWBI)을 취한 GCPW 를 사용한 경우에 대해서 각각 테스트를 하였고, 그 결과를 [그림 6]에 온-웨이퍼 상의 측정 결과와 함께 도시하였다.



[그림 5] SPST MMIC 스위치를 위한 테스트 지그 조립 사진



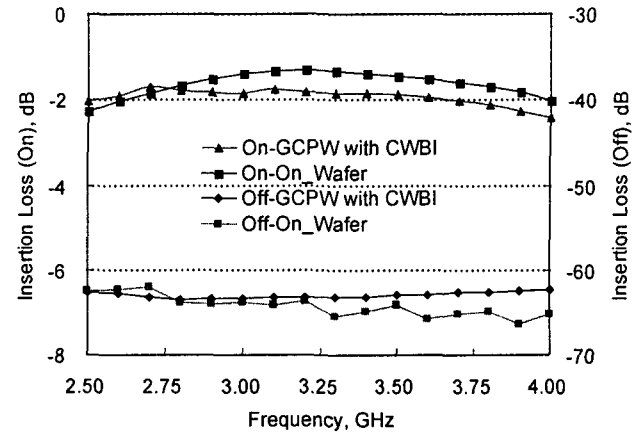
[그림 6] SPST MMIC 스위치 온-오프 격리도 측정 결과

Microstrip 선로 설계는 2.5GHz~4.0GHz 대역에서 50dB 이하의 온-오프 격리도 특성을 갖는다. 그러나 GCPW 선로 설계의 경우 3.4GHz에서 5.8dB 향상된(48.4dB → 54.4dB) 온-오프 격리도 값을 갖고, GCPW 에 CWBI 를 적용한 선로의 경우 추가의 6.9dB 향상된(54.4dB → 61.3dB) 온-오프 격리도 값을 얻을 수 있었다. 이는 GCPW 선로의 전계가 Microstrip 선로에 비해 50 옴 신호 선로의 근처에 제한되고, MMIC 와 GCPW 50 옴 선로에 CWBI 를 적용하는 경우 GCPW 50 옴 선로와 본드-와이어 사이의 트랜지션에서의 라디에이션 현상을 최소화 시켜 온-웨이퍼 상의 측정 결과와

따라서 50dB 이상의 온-오프 격리도를 얻기 위해서는 GCPW 설계가 반드시 적용되어야 할 것이다.

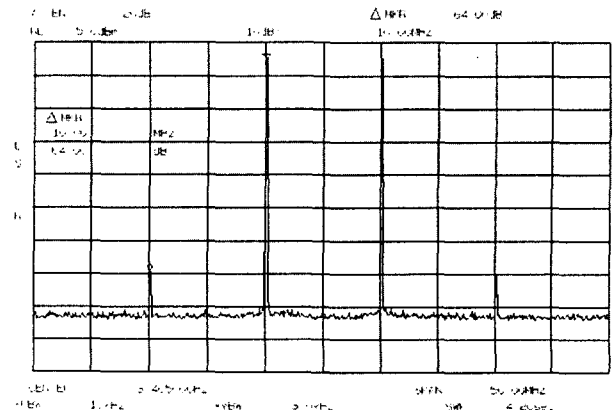
3. 측정 결과

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



[그림 7] SPST MMIC 스위치의 스위치 온 및 오프시의 삽입 손실 측정 결과

입력 신호 2dBm 2-tone 에 대한 3.4GHz 에서의 IMD3 측정 결과를 [그림 8]에 보였다.



측정 결과 64dBc의 IMD3의 값을 가지며, 32dBm의 OIP3 특성을 갖는 것으로 계산된다. 이는 스위치-온의 경우 3개의 $\lambda/4$ 선로만이 RF 전송 라인에 위치하기 때문이다.

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

[표 1] SPST MMIC 스위치 성능

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

4. 결론

본 논문에서는 스위치 매트릭스를 위한 SPST MMIC 스위치의 RF 결합 방법을 분석하였다. 온-오프 격리도 특성은 코플라나 와이어-본드 결합을 적용한 GCPW 50 옴 선로를 사용하는 경우 일반적인 Microstrip 선로에 비해 10dB 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 통신해양기상 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 Coplanar Waveguide SPDT PIN Diode Switch with 45-dB Isolation" *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol. 5, No. 2, pp. 56-581, 1995