

# SERIES-SHUNT 다이오드를 이용한 8GHz SPST SWITCH

권우성\*, 임준열\*, 임정현\*, 김범만\*  
 포항공과대학교 전자전기공학부 MMIC 연구실  
 e-mail : hardboil@postech.ac.kr

## 8GHz SPST SWITCH USING SERIES-SHUNT DIODE

。 Kwon woosung\*, Junyoul Lim\*, Joungyun Yim\*, Bumman Kim\*  
 \* Department of Electronic and Electrical Engineering  
 Pohang University of Science and Technology  
 e-mail : hardboil@postech.ac.kr

### ABSTRACT

본 논문에서는 series-shunt type의 PIN diode를 사용하여 8 GHz ( 7.7GHz - 8.3GHz ) 에서 사용 가능한 switch를 설계 제작 하였다. 스위치의 중요한 사양인 격리도 (-50dB 미만) 삽입손실 (-1.5dB 미만) 입력전력 허용치 (평균전력 0.5 Watt 이상) 입출력 정재파비 (1.3 : 1) 등을 고려하여 설계 하였으며, 제작은 인텍웨이브사의 알루미늄 기판을 이용한 thin film 공정을 이용하였으며, 측정 또한 이 네 가지에 중점을 두었다. 격리도는 중심 주파수 근방에서 비교적 넓은 대역을 가지고 -50 dB 미만이었으며, 삽입손실은 -1.3dB - 1.6dB 였다. 입출력 정재파비는 1 - 1.4 였다.

### 1. 서 론

초고주파 스위치는 부하와 다이오드의 배치에 따라 직렬형(series), 병렬형(shunt), 직.병렬형(series/shunt) 형태로 구분할 수 있다. 직렬형 다이오드 스위치는 비교적 넓은 대역폭을 가지며 대역폭은 주로 바이어스 인덕터 L 과 커패시터 C 에 제약을 받게 된다. 또한 RF 신호가 다이오드를 통과하므로 최소 삽입손실이 다이오드에 의해 크게 좌우되며 다른 구조에 비해 삽입 손실이 큰 값을 가진다. RF 출력 손실을 막아주기 위한 1/4 파장의 마이크로 스트립라인을 쓰기 때문에 병렬형 다이오드는 격리도는 크지만 1/4 파장의 마이크로 스트립라인이 주파수에 의존적이어서 사용주파수의 대역폭을 제한 한다는 단점이 있다. 직렬 형과 병렬형 다이오드의 두 가지 장점을 모두 포함하는 방식이 그림 1 과 같은 직-병렬형 다이오드이다.

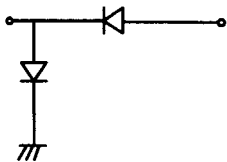


그림 1. 직-병렬형 다이오드의 구조도

직병렬형 다이오드는 스위치로써 특성이 좋지만 다른 구조에 비해서 제작이 힘들고 스위칭 소자가 많이 사용

된다는 단점이 있다. 본 논문에서는 모든 요구사항을 만족시킬 수 있는 직-병렬 형 다이오드 스위치가 사용 되었다. 직 병렬형 스위치에서 삽입손실의 경우 사용되는 순바이어스 상태의 직렬 다이오드의 삽입 손실이 성능을 좌우하고, 격리도의 경우 병렬 다이오드가 순바이어스 되었을 때 완벽한 단락을 구현할 수 있는가 하는 것이다. 즉 완벽한 접지를 구현할 수 있는가 하는 것이 격리도를 높이는데 가장 중요한 요인이다. 본 논문에서는 삽입손실을 줄이면서 격리도를 좋게 하기 위해서 그림 2 와 같이 monolithic series shunt 타입으로 연결된 두 개의 PIN 다이오드로 구성된 칩을 사용 하였다. 그림에서 보듯이 한 개의 칩으로써 직-병렬형 다이오드 스위치를 구현 할 수 있다.

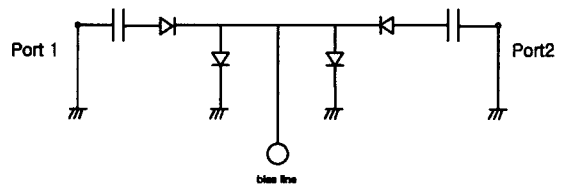


그림 2. 직-병렬형 다이오드 스위치의 구조도

### 2. 다이오드 S-parameter 추출

다이오드의 S-parameter 를 on 상태와 off 상태로 나누어

추출 하였다. 본딩 와이어를 양쪽 패드에 두 가닥씩 본딩하여 와이어 부분까지 포함하여 S-parameter 를 추출하였다.

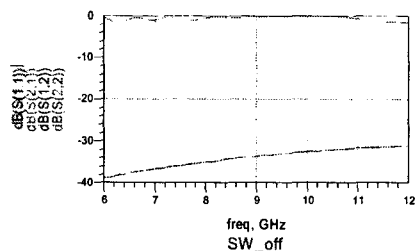
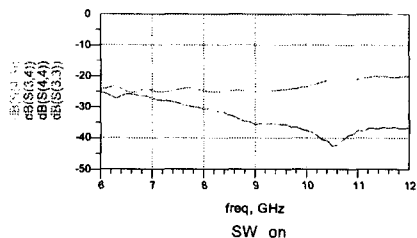


그림 3. 다이오드의 추출된 S-parameter

parameter 를 넣은 data box 를 사용하지 않았다. Via hole 을 통해 접지 시킬 경우에 대해 시뮬레이션 한 결과 손실이 심하고 격리도 또한 떨어져서 jig 에 소자를 바로 붙이는 방법을 택했다.

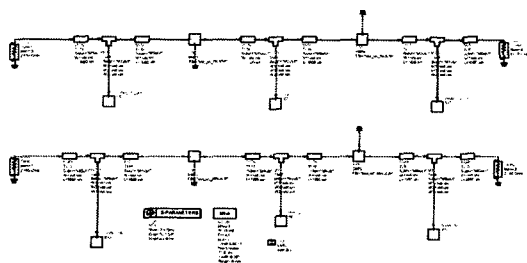


그림 4. switch 시뮬레이션 회로도

시뮬레이션 결과는 그림 5 와 같다.

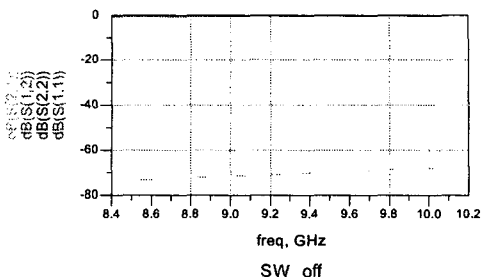
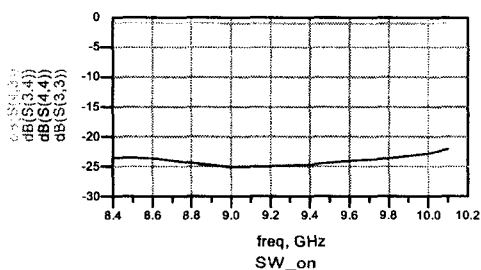


그림 5. switch 시뮬레이션 결과

### 3. 스위치 회로 설계

설계 시 그림 4 에서 보는 것과 같이 switch 가 on 된 상태와 off 된 상태로 나누어 각각 회로를 구성 하였다. SMA 커넥터와 접촉하게 될 마이크로 스트립라인은 중심 주파수에서 50 Ohm 이 되도록 설계하였다. 바이어스 라인인 1/4 파장 길이가 되도록 설계하여 바이어싱이 되고 있더라도 RF 는 바이어스 라인으로 흘러 들어가는 것을 막았다. 회로 양쪽에 보이는 바이어스 라인인 series diode 의 직류경로를 만들기 위해 회로에 넣은 것이다. 중앙에 바이어스 라인인 1/4 라인 끝에 radial stub 를 써서 RF 상에서만 단락으로 보이도록 하였다. 이것은 바이어스 라인 끝과 중심 주파수에서 50Ohm 이 되는 마이크로 스트립라인이 만나는 지점이 RF 상으로는 open 이 되도록 하기 위함이다. 여기에 을 만들기 위해 via 를 넣을 경우 dc 가 모두 via 로 흘러 들어 biasing 이 되질 않게 된다. 설계 시 그림 4 에서 보는 것과 같이 switch 가 on 된 상태와 off 된 상태로 나누어 각각 회로를 구성 하였다. 여기에 다이오드가 들어갈 부분은 측정 data 를 넣은 data box 를 사용 하였다. Shunt diode 의 접지는 jig 에 바로 접착 하였으므로 via hole 의 S-

### 4. Layout

그림 6 에서 부채꼴 모양으로 보이는 것이 radial stub 이다. Radial stub 는 단락이 되는 길이와 각도를 찾아야 한다. 설계 시 각도를 90 도로 고정하였고 길이를 변화시켜 단락이 되는 반경을 구하였다. 중심 주파수에서 50 Ohm 이 되는 마이크로 스트립라인 중간쯤에 위치한

두 개의 직사각형은 알루미늄 기판을 laser 를 이용해 잘라낸 부분이다. 이 부분의 크기 역시 상당히 주의를 기울여야 한다. 공정상의 variation 을 감안하여 jig 의 소자 받침 부분이 충분히 들어갈 수 있도록 크기를 잡아야 한다. 너무 작게 잡아도 jig 부분이 들어가지 않아 문제지만 너무 커도 본딩 와이어의 길이가 길어져서 손실이 커지게 된다. 주파수가 높고 라인 폭이 좁기 때문에 SMA 커넥터가 마이크로 스트립라인과 닿는 부분이 짧고 가늘수록 커넥터로 인한 스위치 특성의 저하가 적다. 그렇기 때문에 중심 주파수에서 50 Ohm 이 되는 마이크로 스트립라인은 되도록 기판의 끝자락에 닿도록 layout 하는 것이 좋다. 그렇지 않을 경우 SMA 커넥터의 끝 부분이 닿지 않거나 길어지게 되어서 문제가 될 수 있다. 시뮬레이션 상에서는 크게 차이가 나진 않지만 손실을 줄이기 위해서는 마이크로 스트립라인의 길이를 짧게 하는 것이 좋다. 양쪽 바이어스 라인의 위치가 스위치의 특성에 영향을 주므로 이를 고려해서 위치를 결정해야 한다. 이것 역시 시뮬레이션 상에서는 큰 차이를 보이지 않는다.

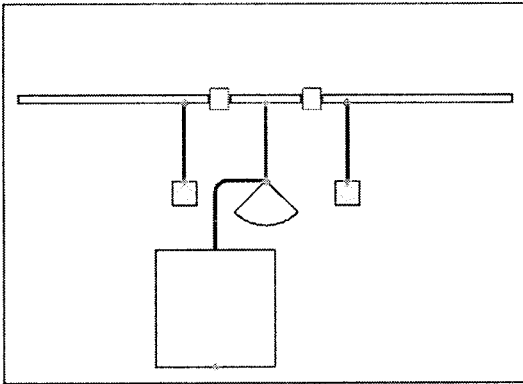


그림 6. switch 의 Layout

## 5. 기판 제작 및 정렬

### -기판제작

설계된 회로는 손실이 적은 박막공정을 이용하여 구현하였다. 제작은 외부 업체인 인텍웨이브에서 제작을 의뢰하였다. 기판은 비유전율 9.8, 두께 15mil 인 Coor 사의 알루미늄 기판을 사용하였다. Adhesion metal 로 Cr 을 증착한 후 gold sputtering 을 하고 약 2 um 정도로 gold plating 을 하였다. Focusing 에 의한 lithography 후 wet etching 으로 원하는 패턴을 얻는다. Via 와 소자가 놓일 부분의 기판의 구멍은 laser 를 사용하여 잘라낸다. patterning 과 via 작업이 끝나면 다시 laser 를 사용해서

기판에 홈집을 낸 후 원하는 부분을 기판에서 잘라낸다. 본 논문에서 제작한 switch 의 경우 공정의 라인 폭 오차가 10% - 20% 정도였다. 기판의 두께 역시 6 - 7% 정도의 오차를 가졌다.

### -정렬

소자는 Alpha 사의 SSE3792 single silicon 칩을 사용하였다. Jig 의 다른 부분은 크게 문제 될 것이 없다. 소자가 올라갈 곳을 높게 깎은 부분의 크기와 높이를 공정 오차를 생각해서 제작해야 한다. 이 때 높이가 너무 높거나 낮은 경우 본딩 와이어가 길어져서 손실이 커지게 된다. Jig 위에 알루미늄 기판을 solder cream 을 이용해 고정시킨 후 소자를 silver epoxy 를 사용 jig 에 붙였다. 본딩을 소자와 마이크로 스트립라인 사이에 두 가닥 씩 하였고 SMA 커넥터를 jig 에 고정 시켰다. 조립이 끝난 모습이 그림 7에 나와 있다.

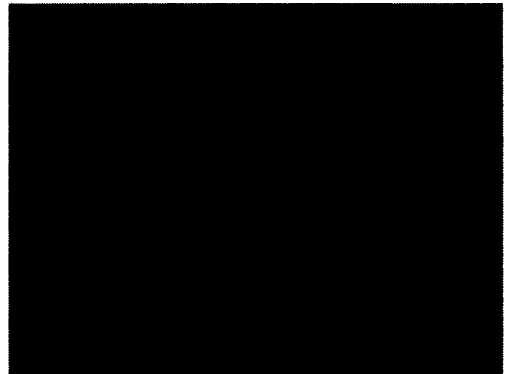


그림 7. 제작이 끝난 스위치 사진

## 7. 측정 결과

측정결과는 그림 8에 나와 있다. Off 상태의 경우 7.7 GHz - 8.3 GHz 에서 시뮬레이션 결과와 비슷한 -70dB 정도의 격리도를 보인다. On 상태의 경우 삽입 손실이 시뮬레이션 결과 치인 -1dB 에서 -0.4 에서 -0.7 정도 손실이 더 났다. 예상되는 원인으로는 silver epoxy 로 소자 고정시 두께가 높아진 것 jig 에서 소자 받침 부분의 높이와 기판의 구멍 크기의 때문에 본딩 와이어가 길어진 것, 기판에 SMA 커넥터와 마이크로 스트립라인 의 접촉이 제대로 되지 않아 둘 사이의 공간을 silver epoxy 로 채워서 생긴 mismatch, 제작상의 오차와 본딩 와이어의 인덕턴스로 인한 주파수의 변위 등이 있다. 본딩 와이어의 길이가 길어진 것을 고려하여 100 um 당 0.1nH 의 인덕턴스를 회로에 넣고 시뮬레이션 한 결과 0.8dB - 0.9 dB 정도의 손실이 더 생겼고 reflection 또한 늘었다.

epoxy 로 인한 loss 는 epoxy 를 바르는 정도에 따라 많은 것은 -1dB 정도까지 loss 가 늘었다. Epoxy 가 마이크로 스트립라인을 벗어날 경우 훨씬 더 많은 loss 가 생긴다. VSWR 은 1.4 이하로 나왔다. 그림 9 에 VSWR 값이 plot 되어 있다.

### 8. 결론

본 논문에서는 7.7GHz - 8.3GHz 에서 사용 가능한 SPST switch 를 제작하였다. 제작된 switch 의 측정 결과는 off 상태에서의 격리도는 약 -70 dB 로 시뮬레이션 결과와 거의 일치하였다. On 상태에서의 삽입 손실이 시뮬레이션 값보다 -0.4dB ~ -0.7dB 정도 더 나왔다. 본딩 와이어 길이가 길어진 것. 커넥터의 접촉. 제작상의 오차. 등이 주 원인 이다. VSWR 은 1.4 이하로 나왔다.

#### 참고문헌

[1] Tomonori SHIGEMATSU, Noriharu SUEMATSU, Norio TAKEUCHI, Yoshitada IYAMA, and Akihito MIZOBUCHI "A 6 - 18 GHz 20 W SPDT SWITCH USING SHUNT DISCRETE PIN DIODES." *Microwave Symposium Digest, 1997., IEEE MTT-S International* , Volume: 2 , 1997 Page(s): 527 -530 vol.2

[2] D.Payne, D.C.Bartle, S.Bandla, R.Tyrani and L.Raffaelli, "A GaAs Monolithic PIN SPST Switch for 2 - 18 GHz Applications," *IEEE GaAs IC Symposium* pp. 177-180, 1989.

[3] D.D. Huston, D.J Seymour and D.Zych, "100 MHz to 20GHz Monolithic Single-Pole, Two, Three and Four-Throw GaAs PIN Diode Switches." *IEEE MTT-S Digest*, pp. 429-432. 1991

[4] J.V.Bellantoni, D.C. Bartle, D.Payne, G.McDermott, S.Bandla, R.Tayrani and L.Raffaelli, "A Monolithic High Power Ka Band PIN Switch," *IEEE Microwave and Millimeter-wave Monolithic Circuits Symposium*, pp. 47-50, 1989

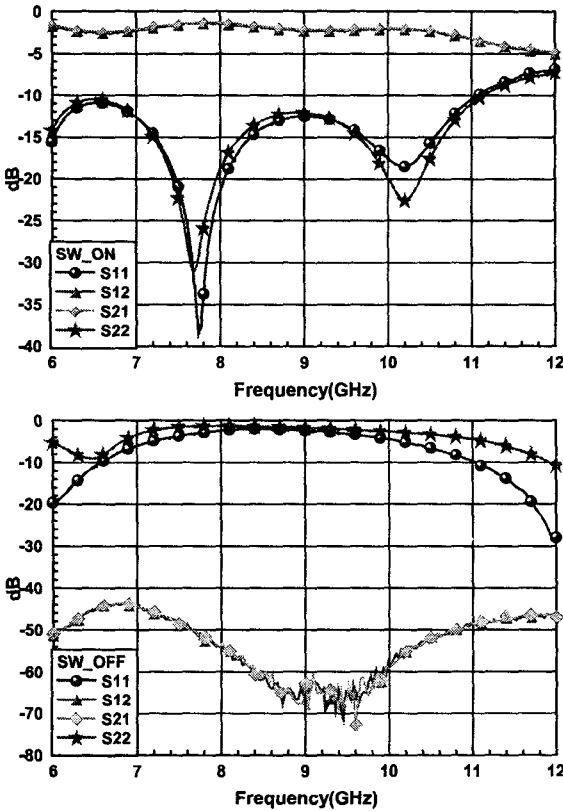


그림 8. switch 측정결과

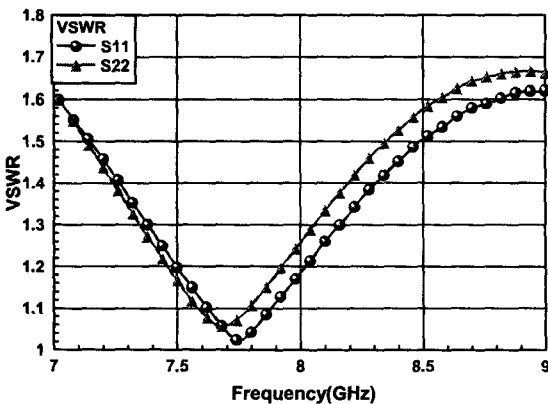


그림 9. switch 의 VSWR