

## 실리콘 RF MEMS SPDT 스위치를 이용한 패키지 형태의 편파 스위칭 안테나

**현익재\***, 정진우\*, 임성준\*, 김종만\*\*, 백창욱\*  
 중앙대학교 전자전기공학부\*, 부산대학교 나노시스템 공정공학과\*\*

### Package-type polarization switching antenna using silicon RF MEMS SPDT switches

Ik-Jae Hyeon\*, Jinwoo Chung\*, Sungjoon Lim\*, Jong-Man Kim\*\*, and Chang-Wook Baek\*  
 School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University\*,  
 Department of Nanosystem and Nanoprocess Engineering, Pusan National University

**Abstract** - This paper presents a polarization switching antenna integrated with silicon RF MEMS SPDT switches in the form of a package. A low-loss quartz substrate made of SoQ (silicon-on-quartz) bonding is used as a dielectric material of the patch antenna, as well as a packaging lid substrate of RF MEMS switches. The packaging/antenna substrate is bonded with the bottom substrate including feeding lines and RF MEMS switches by BCB adhesive bonding, and RF energy is transmitted from signal lines to antenna by slot coupling. Through this approach, fabrication complexity and degradation of RF performances of the antenna due to the parasitic effects, which are all caused from the packaging methods, can be reduced. This structure is expected to be used as a platform for reconfigurable antennas with RF MEMS tunable components. A linear polarization switching antenna operating at 19 GHz is manufactured based on the proposed method, and the fabrication process is carefully described. The s-parameters of the fabricated antenna at each state are measured to evaluate the antenna performance.

**Key words** - Polarization switching antenna (편파 스위칭 안테나), SoQ (silicon on glass), SPDT, Silicon switch (실리콘 스위치), RF MEMS packaging (RF MEMS 패키징)

#### 1. 서 론

마이크로파 및 밀리미터파 대역에서는 전통적인 스위치 소자인 PIN 다이오드, CMOS 같은 반도체 기반의 소자의 성능이 저하되기 때문에 최근 낮은 손실, 저전력 소모, 우수한 선형성의 특성을 가지고 있는 RF MEMS가 반도체 기반의 스위치 소자들의 대체 스위치 소자로 각광 받고 있다 [1]. 최근 RF MEMS를 튜닝 요소로 사용하여 안테나의 주파수, 방사패턴, 편파 등을 변조시키는 reconfigurable 안테나에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [2]. 그러나 현재의 연구 성과로는 RF MEMS 기반의 reconfigurable 안테나가 실질적인 시스템에 적용되기 어렵다.

기존에 보고된 연구들은 패키징 되어 있지 않은 RF MEMS 소자를 안테나의 geometry 상에 단순히 위치시켜 튜닝 특성만을 측정하는 경우가 대부분이고, 완전히 패키징된 RF MEMS 소자를 안테나에 연결한 사례가 있으나, 이 경우 전체 제작 공정 과정이 복잡해지며, 안테나의 방사 패턴이 변형되거나 효율을 저하시키는 요소인 와이어 접합 등에 의해서 발생하는 기생효과 (parasitic effects) 등이 충분히 고려되지 않았다. 따라서 RF MEMS 기반의 reconfigurable 안테나의 실질적인 시스템 적용을 위해서는 RF MEMS와 안테나 간의 효율적인 집적화 구조와 안테나 성능의 저하를 최소화 할 수 있는 패키징 기법에 관한 연구가 수반되어야만 한다.

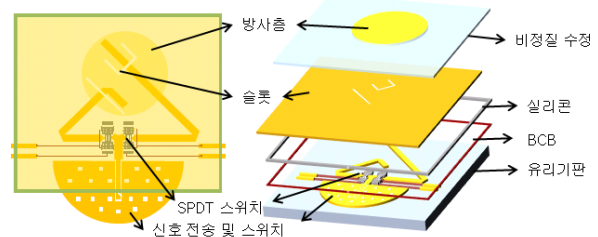
본 논문은 RF MEMS 기반의 reconfigurable 안테나의 구현을 위한 기초 연구로서, RF MEMS의 on, off 상태에 따라서 편파 방향이  $\phi=45^\circ$ ,  $\phi=-45^\circ$ 로 나타나는 편파 스위칭 안테나를 제안했다. SoQ (silicon on quartz) 접합 기판과 BCB를 이용한 폴리머 접합 공정을 통해 단일 패키징 공정으로 실리콘 RF MEMS SPDT 스위치가 집적된 패키지 형태의 안테나를 제작했다. 그리고 측정된 안테나의 성능을 HFSS의 시뮬레이션과 비교하여 분석하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 안테나의 설계 및 구조

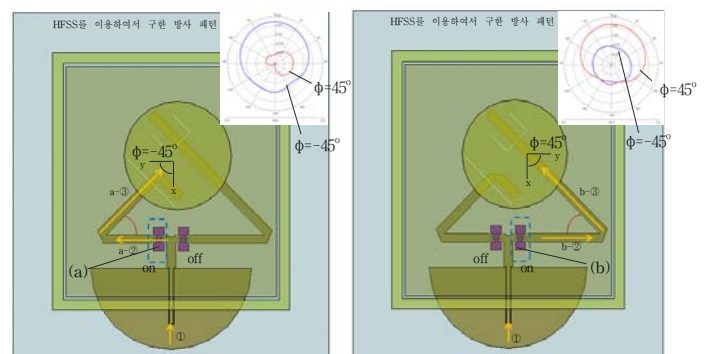
그림 1은 제안된 안테나의 구조이다. 제안된 구조의 가장 큰 특징은 반전 마이크로스트립 전송선로 (inverted microstrip line, iMSL) 구조를 도

입하여 RF MEMS 패키징 물질을 안테나의 유전 물질로 사용한 것이다. 안테나의 유전 기판 및 RF MEMS의 패키징 기판으로는 RF 성능이 우수한 저손실 비정질 수정 기판을 사용하기 위해 SoQ 접합 기판을 사용하였다. SoQ 접합 기판의 비정질 수정 기판 부분에 안테나의 방사체가 형성되며, 그 아래 비정질 수정 기판이 드러난 면에 접지면 및 슬롯이 형성된다. SoQ 접합 기판의 실리콘 층과 BCB 층을 이용하여 RF MEMS와 신호 전송선로가 형성되어 있는 유리 기판과 접합하여 iMSL 구조가 완성되며, iMSL 구조로 인해 형성된 air cavity 에는 RF MEMS가 삽입된다. 이러한 구조로 인하여 RF 에너지는 슬롯을 통하여 비정질 수정 기판을 매개로 하여 전달 될 뿐만 아니라 공기를 매개로도 전달되어 2개의 물질을 매개로하여 RF 에너지가 급전된다.



〈그림 1〉 제안된 안테나의 구조

그림 2는 제안된 안테나의 편파 스위칭 원리를 보여준다. 그림에서처럼 실리콘 SPDT 스위치에 의해서  $45^\circ$ ,  $-45^\circ$ 를 이루고 있는 신호 전송선로 연결 상태가 on 또는 off가 된다. 즉, (a) 스위치가 turn-on이 되면, 신호가 a-②의 방향으로 흐르게 되어 방사 패턴 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있듯이 편파의 방향이  $\phi=-45^\circ$ 인 a-③이 된다. (b) 스위치가 turn-on이 되면 신호가 b-②의 방향으로 흐르게 되어 방사 패턴 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있듯이 편파의 방향이  $\phi=45^\circ$ 인 b-③이 된다. 이때 신호 전송선로 간에 간섭을 피하기 위해 전송선로가  $-90^\circ$  꺾이도록 하였고, 마찬가지로 간섭을 줄이기 위해 슬롯도 U자형 슬롯을 이용하였다. iMSL은 측정단자의 부착이 어렵기 때문에 iMSL-to-CPW radial transition을 사용했다.



〈그림 2〉 SPDT 스위치를 이용한 편파 스위칭 원리

##### 2.2 스위치의 설계 및 구조

제안된 실리콘 SPDT 스위치는 정전력 구동 방식의 스위치이며, 스위치를 구동시키기 위한 전압은 바이어스 선로를 통해 스위치의 상부, 하부 전극에 인가된다. 고저항 물질을 이용하여 바이어스 라인으로 인한 안테나 성능의 저하를 줄이고, 신호 전송선로와 바이어스 선로를 절연막

을 이용하여 단락되지 않도록 했다. 그리고 저전압 구동을 위해 스위치 구조물과 스프링 사이에 단차를 주어 이론적으로 7.45 V에서 구동되도록 설계했다.

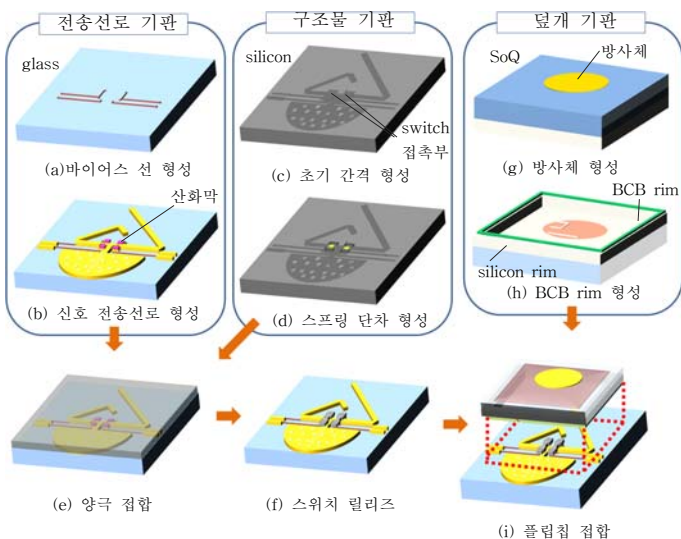
## 2.2 안테나 제작 공정

그림 3은 제안된 안테나의 공정도이다. 신호 전송선로의 기판은 유리 기판이며, RF 특성이 우수하지 않은 유리 기판을 사용한 이유는 실리콘 SPDT 스위치의 제작공정이 유리 기판을 기반으로 개발되었기 때문이다. 신호 전송선로 제작 공정은 먼저 (a)에서처럼 유리 기판 위에 Cr 100 Å, Ni 2000 Å의 두께로 스위치에 전압을 인가시켜주는 바이어스 선을 형성한다. 다음에는 유리 기판 표면의 청결도 유지와 공정 과정에서 사용되는 플라즈마로부터 유리 기판의 표면을 보호하기 위해 알루미늄 보호막을 증착하고, 산화막을 바이어스 선 위에 RIE 공정을 통해 패터닝하여 신호가 바이어스 선으로 전달되는 것을 차단한다. 금 전해도금을 이용하여 (b)에서처럼 3 μm 두께의 신호선과 CPW transition을 형성하고, 스위치가 단락되는 것을 방지하기 위하여 산화막을 형성한다. 마지막으로 알루미늄 보호막을 제거하여 전송선로 제작을 완료한다.

구조물 제작 공정은 먼저 스위치의 초기 구동 간격을 정의하고, (e)의 양극접합 공정에서 신호 전송선로의 면과 실리콘 면이 접촉되지 않도록 하기 위해 실리콘 기판을 DRIE 공정을 통해 5.8 μm 식각한다. 산화막을 습식 식각을 이용하여 스위치의 접촉면에 형성한다. (d)에서처럼 0.5 μm 두께의 접촉 물질을 패터닝을 하고, 스위치의 저전압 구동을 위해 실리콘을 55 μm 식각을 하여 단차를 형성한다. 제작이 완료된 전송선로 기판과 구조물 기판을 (e)의 모습이 되도록 양극 접합 공정을 통해 SiO<sub>2</sub> (Silicon on glass)를 제작하고, 실리콘 쪽을 lapping/CMP 공정을 통해 76 μm의 두께로 조절한다. (f)에서 DRIE 공정을 통해 스위치를 릴리즈 하면 스위치 제작이 완료된다.

덮개 제작 공정은 먼저 실리콘과 비정질 수정 기판을 RCA 1 방법으로 세척을 하여 친수성을 높여주고, 플라즈마 처리를 통해 각 기판의 표면 에너지를 증가시킨 후 두 기판을 직접 접합하여 SoQ (silicon-on-quartz) 접합 기판을 제작한 후에 lapping/CMP 공정을 통해 비정질 수정은 300 μm, 실리콘은 90 μm의 두께로 조절 한다 [3]. (g)에서처럼 0.5 μm 두께의 방사체를 비정질 수정 기판 쪽에 형성한다. DRIE 공정을 통해 뒷면에 실리콘을 식각하여 (h)의 형태로 silicon rim을 제작하고, 드러난 비정질 수정 면에 0.5 μm 두께의 Au 슬롯을 패터닝한다. 끝으로 15 μm 두께의 BCB 층을 형성한다.

제작된 각 기판들을 다이싱한 후 각 시편들을 플립칩 접합 공정을 통해 접합을 한다. 이때 플립칩 접합은 BCB를 접착층으로 사용하여 약 30 N의 하중을 인가하면서 210 도에서 20분간 열처리 했다. 그림 4는 제작된 실리콘 RF MEMS SPDT 스위치가 집적된 패키지 형태의 안테나와 제작된 스위치이다.

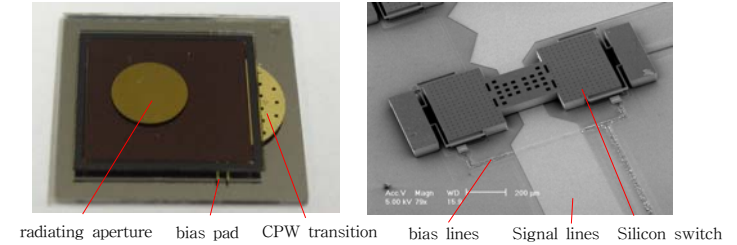


〈그림 3〉 제안된 안테나의 공정도

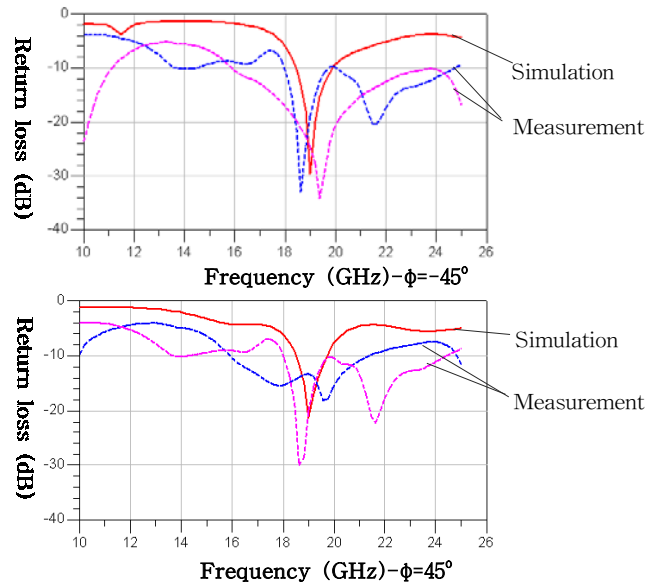
## 2.3 안테나의 특성 측정 결과

그림 5에 제작된 안테나의 HFSS를 이용한 S-parameter 시뮬레이션 결과와 네트워크 분석기를 이용하여 측정된 결과를 비교하여 나타냈다. 예측치는 19 GHz에서  $\phi=-45^\circ$  편파는 -29.7 dB,  $\phi=45^\circ$  편파는 -21.38 dB의 반사손실을 나타내었다. 2개의 안테나 샘플에 대해 측정된 측정치는  $\phi=-45^\circ$  편파에서 각각 18.63 GHz에서 -32.89 dB, 19.38 GHz에서 -34.13 dB,  $\phi=45^\circ$  편파는 각각 18.63 GHz에서 -18.13 dB, 18.63

GHz에서 -29.91 dB의 반사손실을 나타내었다. 예측치와 측정치의 공진 주파수 차이는 약 1 GHz 이내의 오차를 보이고 있으며, 이는 상, 하판 간의 정렬 오차, 슬롯의 크기 등의 공정 오차에 기인한 것이다. 측정 결과를 보면 일부에서 다른 주파수에서의 공진 현상이 발생하고 있는데, 이는 시뮬레이션에 실리콘 스위치를 절연체로 가정한 것과 DRIE 공정을 위해 유리 기판 뒷면에 증착된 알루미늄, 바이어스 라인의 영향이 복합적으로 작용한 것으로 생각된다. 스위치의 구동전압은 15~22 V로 측정되었는데 이론상의 값과 차이를 보이는 것은 DRIE 공정의 균일성 문제로 초기간격 이론치보다 더 컸고, 스프링의 두께 역시 이론치보다 두껍게 공정되었기 때문이다.



〈그림 4〉 제작된 안테나와 실리콘 SPDT 스위치의 SEM사진



〈그림 5〉 제작된 안테나의 예측치와 측정치 비교

## 3. 결 론

본 논문에서는 SoQ/BCB 기반의 RF MEMS 패키징 플랫폼을 이용하여 이중 급전형 구조의 선형 편파 안테나와 RF MEMS SPDT 스위치를 결합하여 실리콘 RF MEMS SPDT 스위치를 이용한 편파 스위칭 안테나를 제작하여, 그 특성을 측정하였다. 추후 측정된 결과는 reconfigurable 안테나의 개발에 활용될 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년 서울시 산학연 협력사업 (신기술 연구개발 지원사업, NT070089)의 지원으로 수행되었음.

## [참 고 문 헌]

- [1] Jong-Man Kim, "A Study on wafer-level packaged single crystalline silicon single-pole-nine-throw RF MEMS switch," *Ph.D. dissertation*, Seoul National University, 2007.
- [2] Y. -S. Hwang *et al.*, *Tech. Dig. IEEE MEMS 2009*, Sorrento, Italy, 25-29 Jan., 2009. pp. 729-732
- [3] J. -H. Park *et al.*, *Tech. Dig. IEEE MEMS 2007*, Kobe, Japan, 21-25 Jan., 2007. pp. 163-166.