

마이크로머시닝 공정을 이용한 슬롯 결합형 원형 패치 안테나

현익재, 임성준, 김중만*, 백창욱

중앙대학교 전자전기공학부, *부산대학교 나노시스템공정공학과

A Micromachined Slot-Coupled Circular Patch Antenna

Ik-Jae Hyeon, 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 - 본 논문에서는 RF MEMS 패키징 플랫폼을 활용한 안테나 구조를 제안하고, 이를 바탕으로 마이크로머시닝 공정을 이용한 슬롯 결합형 원형 패치 안테나를 제작하였다. 제안된 안테나는 RF MEMS 패키징 플랫폼 상에서 패키징 물질을 안테나의 유전 물질로 사용하기 위하여 슬롯 결합형 급전 구조를 사용하였다. 한편, BCB를 이용한 폴리머 접착 접합 공정의 RF MEMS 패키징 플랫폼을 기반으로, 하판 유리기판과 상판 수정 기판을 일체화한 형태로 마이크로 스트립라인 안테나를 제작하였다. 최종 제작된 안테나는 20.36-GHz에서 -21 dB의 반사 손실 값을 나타내며, 1.7-GHz, 즉 8.3 %의 주파수 대역을 가진다.

1. 서 론

최근에 RF MEMS 스위치는 낮은 손실과 적은 전력 소모, 높은 선형도 등과 같은 뛰어난 RF 성능으로 인해 차세대 가변 소자로서 많은 관심을 받고 있다. 특히, 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 RF MEMS는 위상 배열 안테나, Reconfigurable 안테나, 스마트 안테나, 다중입출력(MIMO) 시스템 등에 활용될 수 있다 [1]. 한편, 이러한 응용 분야들을 제품화하기 위해서는 RF MEMS 스위치의 신뢰성 있는 동작과 적절한 사용 수명들이 보장되어야 하기 때문에, 패키징이 고려되어야 한다 [2]. RF MEMS를 가변 소자화하여 집적화한 안테나의 경우, 저손실 및 저전력 RF MEMS 특성으로 인해, 안테나의 고효율 및 저전력 동작을 가능케 한다. 하지만, 앞서 서술한 바와 같이, 신뢰성 있는 동작을 위해서는 최종적으로 패키징까지 고려된 RF MEMS와 안테나의 집적화가 이루어져야 한다. 현재까지는 패키징을 고려하지 않은 RF MEMS 안테나 [3]와 패키징된 RF MEMS를 집중 소자와 하여 구현된 안테나[4]만 보고된 바가 있으며, RF MEMS, 패키징, 안테나를 동일 공정 상에서 구현된 사례는 아직까지 발표된 바가 없다.

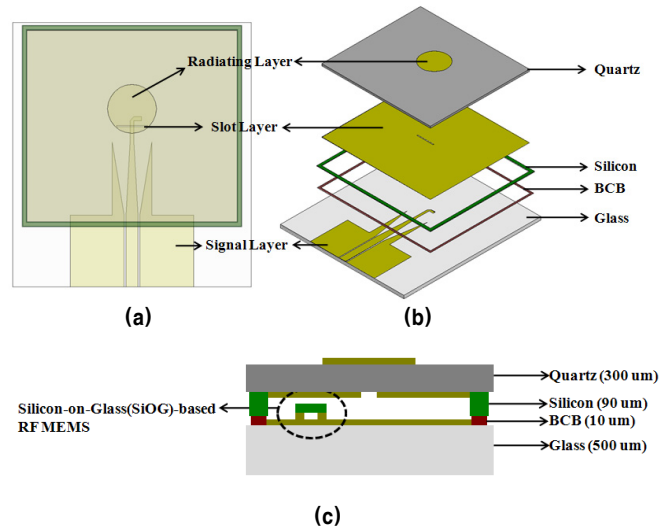
본 논문에서는 RF MEMS의 패키징 플랫폼 상에서 구현하는 마이크로머시닝 안테나 구조를 제안하고자 한다. 즉, 제안된 구조에서는 RF MEMS 패키징 물질을 안테나의 유전 물질로 동시에 활용함으로써, RF MEMS 패키징 공정 후에 다시 안테나 공정을 할 필요 없이, RF MEMS 패키징 공정만으로 안테나까지 제작할 수 있게 된다. 단일 공정으로 RF MEMS 패키징과 안테나를 함께 제작할 수 있기 때문에 안테나의 집적도를 높일 수 있을 뿐만 아니라, 공정 단계를 줄임으로써 제작 단가도 줄일 수 있는 장점을 가지게 된다.

2. 안테나 설계 및 제작

2.1 안테나 설계

제안된 안테나 구조는 그림 1과 같이 원형 패치 모양의 방사체와 슬롯 결합형의 급전(feeding) 구조로 이루어졌다. 특히, RF MEMS의 패키징 물질을 안테나의 유전 물질로 사용하기 위해서 슬롯 결합 방식으로 급전되어야 한다. 슬롯 결합형 안테나는 일반적으로 방사체와 신호층 사이에 2개의 유전 물질로 이루어져 있다. 제안된 구조에서는 실리콘과 BCB(benzocyclobutene)가 접합 및 sealing 물질로 사용되었고, 수정기판(quartz)이 상판 덮개로 사용되었기 때문에, sealed cavity와 수정기판이 안테나의 유전 물질 역할을 하며, sealing ring인 실리콘+BCB 층은 안테나의 RF 성능에 크게 영향을 미치지 않는다.

그림 1에 나타난 바와 같이 마이크로 스트립 라인(Microstrip Line: MSL) 구조로 설계된 현재의 안테나 급전 구조로는 SMA(SubMiniature version A) 커넥터를 연결할 수 없기 때문에 측정이 불가능하다. 즉, 측정을 위해 MSL 모드에서 CPW 모드로 50옴 임피던스를 유지할 수 있는 적절한 MSL-to-CPW Transition이 설계되어야 한다. 한편, 전환된 CPW 모드를 상대적으로 큰 크기의 SMA 커넥터에 연결하기 위해 그림 1에서와 같이 넓은 선폭의 CPW 구조가 필요하다.



〈그림 1〉 제안된 안테나 구조: (a)평면도, (b) 입체도, (c) 측면도

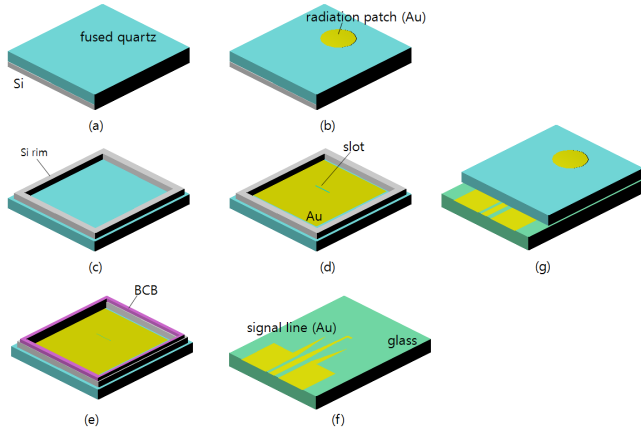
2.2 안테나 제작 공정

제안된 안테나의 전체 제작 공정 흐름도를 그림 2에 나타냈다. 패치 안테나 및 결합 슬롯이 형성되는 상판과, 안테나 급전을 위한 하판으로 나누어져 제작되며, 일체화를 위한 패키징 방법으로 RF 특성이 우수한 BCB를 이용한 폴리머 접착 접합 공정을 사용한다. 상판 제작은 먼저 500 μm 두께의 4인치 실리콘 웨이퍼와, RF 손실이 적은 비정질 수정(fused quartz) 웨이퍼의 직접 접합 공정으로 시작된다. 실리콘/수정 접합은 두 웨이퍼를 RCA-1 세정 후 산소 플라즈마 RIE를 이용하여 표면처리하고 접촉시켜 약 300 °C로 저온 열처리하여 이루어진다 [5]. 접합 후의 전단 강도는 약 10 MPa 정도로 후속 공정에 문제없는 충분한 강도를 나타냈다. 접합 후 실리콘/수정 웨이퍼를 랩핑 및 CMP 처리하여 두께를 각각 90, 300 μm로 조절하는데, 이는 하부 급전 구조와 패치 안테나와의 슬롯 결합 특성을 최적화시킨 두께이다 (그림 2(a)). 다음은 수정 기판 위에 0.5 μm 두께의 금 박막을 lift-off 공정으로 패터닝하여 방사 패치 안테나를 형성한다 (그림 2(b)). 뒷면의 실리콘 부분은 실리콘 DRIE 공정을 이용하여 패키징을 위한 실리콘 rim을 형성한다 (그림 2(c)). 실리콘 DRIE 후 드러난 rim 내부의 수정 부위에 다시 0.5 μm 두께의 금 박막을 lift-off 공정으로 패터닝하여 접지면과 슬롯을 형성한다 (그림 2(d)). 마지막으로 실리콘 rim 위에 패키징을 위한 폴리머로 BCB를 코팅한 후 노광하여 약 18 μm 두께의 BCB 접착 접합층을 형성하면 상판 공정이 완료된다 (그림 2(e)).

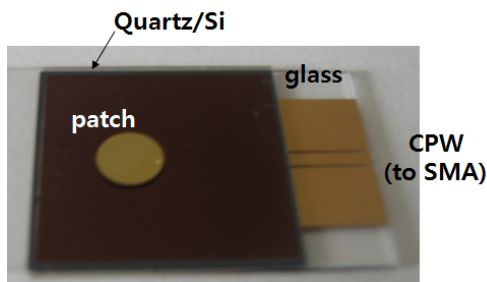
하판에는 슬롯 결합으로 안테나를 급전하기 위한 급전선을 형성한다. 먼저 500 μm 두께의 4인치 pyrex 7740 유리 기판 위에 20/100 nm 두께로 Cr/Au 도금 기반층을 증착하고 AZ4330을 이용하여 약 3.4 μm의 도금틀을 형성한다. 여기에 3 μm 두께로 금 도금을 수행하여 신호선을 형성한 후 잔여 도금 기반층을 식각해내면 하부 기판이 완성된다 (그림 2(f)). 신호선의 경우 손실을 최소화하기 위해 도금 공정을 이용하여 구현하였으며, 유리 기판은 추후 안테나의 편파 변조를 행하기 위한 튜닝 소자로 단일정 기반의 RF MEMS 스위치를 이식하기 위한 목적으로 사용되었다.

마지막 단계로 패키징 형태로 일체화된 안테나 구현을 위해 형성된

상판과 하판을 다이싱한 후 BCB를 매개로 플립칩(flip-chip) 접합한다(그림 2(g)). 접합시에는 상하부 기판에 30 N의 힘을 인가하면서 120 °C에서 10 분, 210 °C에서 20 분간 연속적으로 열처리한다. 접합 중 BCB 층이 경화되면서 두께가 줄어들게 되며, 최종적인 BCB 층 두께는 약 15 μm 가 된다. 접합된 디바이스는 RF 측정을 위해 CPW 형태의 SMA 커넥터에 전도성 에폭시로 전기적으로 연결한다. 그림 3에는 제작이 완료된 최종적인 안테나 디바이스의 모습을 나타냈다.



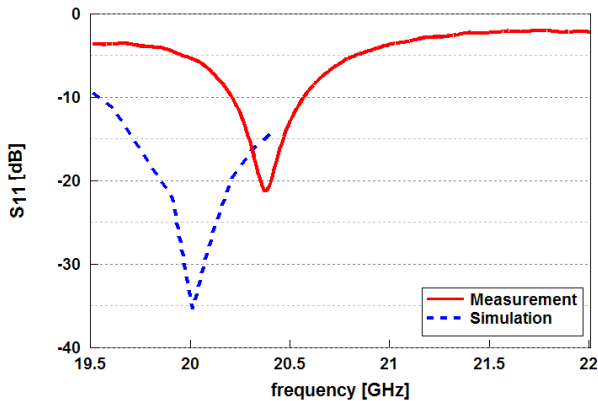
〈그림 2〉 제안된 안테나 제작 공정



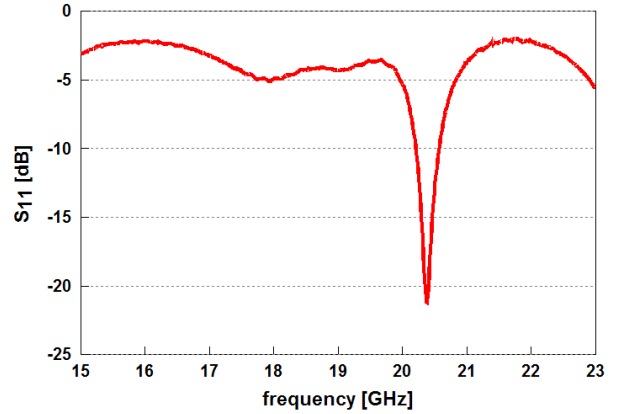
〈그림 3〉 제작된 안테나 사진

3. 시뮬레이션 및 측정 결과

제안된 안테나는 Ansoft HFSS를 이용하여 설계되었으며, 2,2절에 제시된 공정 단계를 거쳐 제작되었다. 안테나의 방사 효율을 결정짓는 임피던스 정합을 확인하기 위해 네트워크 분석기로 제작된 안테나의 방사 손실을 측정하였다. 시뮬레이션 예상치와 측정 결과는 그림 4에 도시되었다. 측정된 안테나는 20.36-GHz에서 -21 dB의 방사 손실 값을 나타내며, 1.7-GHz, 즉 8.3 %의 주파수 대역을 가진다. 시뮬레이션 예상치와 측정 결과 간의 차이는 유전 물질의 전기적 특성에서 생기는 오차와 제작 과정 중에서 각 기판 간의 alignment에서 생기는 오차로부터 기인한 것으로 예상된다.



(a)



(b)

〈그림 4〉 안테나 방사 손실: (a) 협대역에서 시뮬레이션 예상치와 측정 결과의 비교 (b) 광대역 측정 결과

4. 결 론

본 논문에서는 RF MEMS 패키징과 안테나를 효율적으로 집적화하기 위한 구조를 제안하였으며, 제안된 구조 및 공정 방법을 바탕으로 20-GHz 대역에서 동작하는 슬롯 결합형 원형 패치 안테나를 제작하였다. 제안된 구조는 RF MEMS 패키징 플랫폼 상에서 패키징 물질을 안테나의 유전물질로 동시에 활용하였기 때문에, RF MEMS와 안테나를 집적화하여 패키징할 경우에 집적도를 높일 수 있다. 한편, 단일 공정으로 RF MEMS, 패키징, 안테나까지 제작하기 때문에, 생산 단가를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서 제안된 안테나 구조는 향후 실제 RF MEMS 스위치와 집적화하여 패키징화하는 연구로 발전될 것이다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] G. M. Rebeiz, RF MEMS Theory, Design, and Technology. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
- [2] A. P. D. Silva and H. G. Hughes, "The package integration of RF-MEMS switch and control IC for wireless applications," IEEE Trans. on Adv. Packaging, Vol. 26, No. 3, Aug. 2003, pp. 255-260.
- [3] C.-W. Jung, M.-J. Lee, G. P. Li, and D. F. Flaviis, "Reconfigurable scan-beam single-arm spiral antenna integrated with RF-MEMS switches," IEEE Trans. on Antennas Propaga., Vol. 54, No. 2-1, Feb. 2006, pp.455-463.
- [4] G. H. Huff and J. T. Bernhard, "Integration of packaged RF MEMS switches with radiation pattern reconfigurable square spiral microstrip antennas," IEEE Trans. on Antennas Propaga., Vol. 54, No. 2-1, Feb. 2006, pp. 464-469.
- [5] J.-M. Kim, J.-H. Park, C.-W. Baek, and Y.-K. Kim, "The SiOG-based single-crystalline silicon (SCS) RF MEMS switch with uniform characteristics," J. Microelectromech. Syst., Vol. 13, No. 6, Dec. 2004, pp. 1036 - 1042.