

논문 2006-43TC-2-12

5 GHz 무선랜 응용을 위한 소형 광대역 MEMS 안테나

(A Small Size Broadband MEMS Antenna for 5 GHz WLAN Applications)

김 지 혁*, 김 현 철*, 전 국 진*

(Ji-Hyuk Kim, Hyeon Cheol Kim, and Kukjin Chun)

요 약

MEMS 공정을 이용하여 작은 접지면과 광대역 특성을 가지는 소형 안테나를 제작하였다. 광대역 특성을 얻기 위해서 다층 기판을 사용하였으며, 패치 안테나는 네개의 패치로 나누어져 있고 각각의 패치는 금속선으로 연결되어 있다. 한 개의 마스크 공정으로 간단한 제작이 가능하다. 두개의 마이크로스트립 안테나를 만들었다. A 타입 안테나는 패치들이 금속선으로 연결된 안테나이고 B 타입 안테나는 금속선으로 연결이 안된 안테나이다. 제안된 안테나의 크기는 $8*12*2\text{mm}^3$ 이었으며 측정결과 A 타입은 5.3GHz 중심주파수에 420MHz 대역폭, B 타입은 5.66 GHz 중심주파수에 480MHz 대역폭을 가지는 것으로 나타났다.

Abstract

A small size broadband microstrip patch antenna with small ground plane has been fabricated using MEMS. Multiple layer substrates are used to realize small size and broadband characteristics. The microstrip patch is divided into 4 pieces and each patch is connected to each other using a metal microstrip line. The fabrication process is simple and only one mask is needed. Two types of microstrip antennas are fabricated. Type A is the microstrip antenna with metal lines and type B is the microstrip antenna without metal lines. The size of proposed microstrip antenna is $8*12*2\text{mm}^3$ and the experimental results show that the antenna type A and type B have the bandwidth of 420MHz at 5.3 GHz and 480MHz at 5.66 GHz, respectively

Keywords : 5GHz, MEMS, microstrip antenna, broadband, compact

I. 서 론

안테나는 신호를 무선으로 보내고 받기 위한 필수 소자로써 주로 무선 이동통신에 쓰이고 있다. 특히 마이크로스트립 패치 안테나는 공정이 간단하고 다양한 모양으로 제작이 가능하기 때문에 여러 분야에서 많이 쓰이고 있다. 또한 마이크로스트립 패치 안테나의 경우 안테나 모양이 납작하기 때문에 package 위에나 곡면으

로 된 물체 위에 쉽게 접적화 할 수 있는 장점이 있다.^[1] 5GHz 주파수 대역을 사용하는 무선랜은 IEEE 802.11a 표준을 사용한다. IEEE 802.11a의 경우 최대 54 Mbps 데이터 전송이 가능하므로 차세대 멀티미디어 통신의 대안으로 많은 연구가 이루어지고 있다. IEEE 802.11a는 두개의 5 GHz 대역으로 나뉘어져 있다. 아래 대역은 5.15 ~ 5.35 GHz로 200 MHz 대역폭을 가지고 위 대역은 5.725 ~ 5.825 GHz로 100 MHz 대역폭을 가진다. 따라서 안테나의 경우 5.15 ~ 5.825 GHz를 만족시키는 광대역 특성을 지니던지 아니면 각각을 만족시키는 dual band 특성을 가져야 한다. 5GHz에서 안테나의 파장은 약 6 cm이다. 이 주파수 범위에서 안테나의 크기는 수 cm * 수 cm로 그 크기가 크므

* 정희원, 서울대학교 전기컴퓨터공학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University)

※ 본 연구는 산자부의 차세대 트랜시버 시스템 개발

사업 연구비 지원으로 이루어졌습니다.

접수일자 : 2005년5월13일, 수정완료일 : 2006년2월15일

로 무선 송수신 시스템 많은 면적을 차지한다. 만약 안테나를 무선 송수신 시스템 전체 package 위에 접적화 할 수 있다면 시스템의 크기를 작게 만들 수 있다는 장점을 가질 수 있다. 기존에 package 위에 접적화된 마이크로스트립 안테나는 미국의 Georgia Institute of Technology 대학에서 LTCC를 이용하여 활발한 연구가 이루어지고 있다.^[2] 크기는 약 1 cm^2 로 작은 편이지만 대역폭이 200 MHz 이기 때문에 WLAN의 위 대역(5.725 ~ 5.825 GHz)에는 적합하지만 아래 대역을 만족시키기는 부족하다.

일반적인 마이크로 스트립 패치 안테나의 가장 큰 단점은 대역폭이 좁다는 것이다. 일반적인 패치 안테나의 경우 보통 수 %의 대역폭을 가진다. 따라서 현재 패치 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해서 많은 연구들이 이루어져 왔다. E 모양의 패치, U slot, 구멍 커플링(aperture coupling) 혹은 슬릿(slit)등등을 이용하여 대역폭을 늘리는 방법이 있다.^[3~6] 이러한 방법들은 넓은 대역폭 특성을 위해서 기판으로 공기나 유전율이 낮은 물질을 이용하기 때문에 크기가 크거나 모양이 복잡하다. 또한 넓은 대역폭을 가지기 위해서 접지면의 크기도 커야 한다. 앞에서 언급한 것처럼 시스템의 크기를 줄이기 위해서 Package 위에 접적화 할 수 있는 안테나의 설계를 위해서는 안테나의 사이즈도 작아야 하지만 접지면의 크기도 작아야 하며 기판 두께도 얇을수록 좋다.

본 논문에서는 제한된 접지면을 가지며 1 cm^2 이내의 작은 사이즈의 마이크로 스트립 패치 안테나를 제안한다. 이 안테나는 다중 유전체 기판을 이용하기 때문에 5~6 GHz 주파수에서 광대역 특성을 지니며 안테나 크기의 1.5 배가 밖에 안되는 작은 접지면을 가진다. 제안된 안테나의 성능 측정 위하여 MEMS 기술을 이용하여 제작 및 측정을 하였다.

II. 다중 기판위의 마이크로스트립 안테나

1. 설계

패키징과 접적화 가능한 안테나의 경우 체적도 작아야 하고 접지면도 작아야 한다. 안테나의 대역폭은 접지면의 크기와 밀접한 관계가 있다. 작은 접지면은 안테나의 대역폭을 감소시킨다.^[7] 설계 스펙은 다음과 같다. 패치 안테나 크기는 1 cm^2 이내, 기판의 두께는 2mm 그리고 접지면의 크기는 $1.5 \times 1.5\text{ cm}^2$ 이다. 이정도면 $1.5 \sim 2\text{ cm}$ 의 길이를 가지는 정사각형 통신 칩위

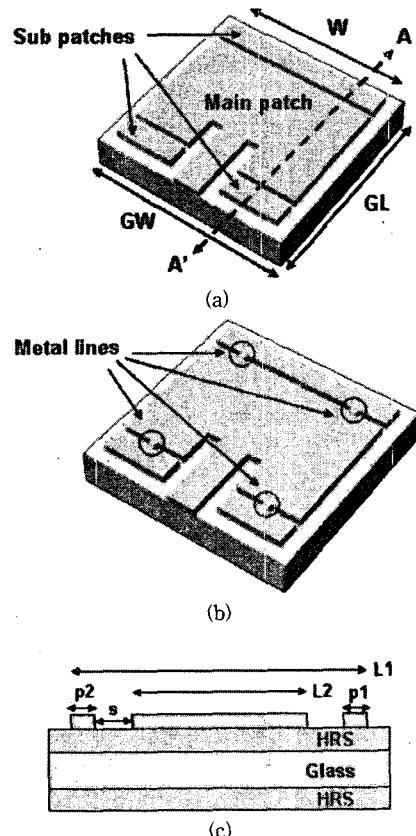


그림 1. 제안된 안테나의 개념도. (a) A 타입 안테나의 평면도 (b) B 타입 안테나의 평면도 (c) A 타입 안테나의 단면도 (A-A')

Fig. 1. Schematics of proposed microstrip antenna. (a) top view of type A (b) top view of type B (b) cross-section (A-A') of type A.

에 접적화 하는 것이 가능하다. 접지면의 크기는 $0.25\lambda_0$ 로 일반적인 접지면의 크기보다 작은 값이다. 일반적으로는 패치의 크기가 $1 \times 1\text{ cm}^2$ 의 경우 접지면의 크기는 적어도 $2 \times 2\text{ cm}^2$ 이상으로 설정해 준다. 본 논문에서는 작은 package 크기를 위해서 $1.5 \times 1.5\text{ cm}^2$ 로 접지면의 크기를 제한하였다.

IEEE 802.11a의 무선 랜(WLAN)의 표준으로 두개의 5GHz 대역으로 나뉘어져 있다. 이 두 개의 대역을 만족하기 위해서 두 종류의 안테나를 제안하였다. package 위에 접적화하기 위해서는 프로브 금전 방식을 이용해야 하지만 시뮬레이션 결과 프로브 금전 방식과 마이크로스트립 라인 금전 방식이 서로 유사한 결과를 보였기 때문에 측정이 용이한 마이크로스트립 라인 금전 방식으로 안테나를 설계 하였다. 그림 1에 제안된 패치 안테나의 개념도가 나와 있다. A 타입(그림 1(a))은 패치가 한 개의 주 패치와 세 개의 보조 패치로 나뉘어져 있고 주 패치와 보조 패치의 사이가 서로 연결되지 않은 안테나이다. B 타입(그림 1(b))은 A 타입과 마찬가

지로 패치가 나누어져 있고 주 패치와 보조 패치가 서로 금속선으로 연결되어 있다. A 타입은 무선랜의 위 대역의 대역폭을 만족하는 안테나이고 B 타입은 무선랜의 아래 대역을 만족하는 안테나이다. 입력 임피던스 정합을 위해서 금전선 양쪽으로 패치 한쪽으로 흠이 파여 있다. 두 개의 안테나가 서로 다른 주파수 특성을 보이는 것은 안테나 길이가 다르기 때문이다. A 타입의 경우는 주 패치의 길이가 전체 안테나의 길이가 되고 B 타입의 경우는 전체 안테나의 길이가 주패치와 두 개의 보조 패치 그리고 연결선의 길이의 합이 된다. 만약 연결선을 스위치 바꾸면 한가지 안테나로 스위치의 동작에 따라 WLAN의 두 주파수 대역을 만족하는 재구성형 안테나로 확장할 수도 있다.

전체 패치는 한 개의 주 패치와 세개의 보조 패치로 이루어져 있다. 시뮬레이션 결과를 보면 패치를 주 패치 하나 보조 패치 하나, 즉 한쪽만으로 나누었을 경우에는 입력 임피던스 정합이 깨지는 일이 발생하였다. 이는 다른 논문을 통해서도 확인이 되었다.^[8] 제안된 안테나는 주 패치와 보조 패치를 서로 이어주어 안테나의 길이를 변화 시켜 주파수 대역을 변화 시키려는 것인데 안테나의 길이가 변하면 입력 임피던스 정합을 위해서 금전선 양쪽으로 패치 한쪽으로 판 흠의 길이가 일정하기 때문에 이러한 현상이 일어난다. 패치를 4개로 주 패치의 양쪽 나눔으로써 길이 변화에 따라 흠의 길이도 상대적으로 달라져 입력 임피던스 정합을 만족 시킬 수 있다. 안테나는 5GHz용으로 설계 되었으며 주 패치(L2)의 길이는 5GHz 의 위 대역폭을 만족시키고 전체 패치(L1)의 길이는 5GHz의 아래 대역폭을 만족시킨다.

유전율이 높고 낮은 두 가지의 물질의 다중 기판을 사용하여 안테나의 광대역 특성을 향상시켰다. 비저항이 10000ohm*cm 되는 고저항 실리콘(High Resistivity Silicon) 기판을 유전율이 높은 물질로 사용하였고 BOROFLOAT® 33 유리 기판을 유전율이 낮은 물질로 사용하였다. 고저항 실리콘과 유리 기판의 유전율은 각각 11.9와 4.6이다. 유리 기판은 두 개의 고저항 실리콘 기판 사이에 놓여있어 샌드위치 형상을 이루고 있다. 패치 안테나의 바로 밑 그리고 접지면의 바로 위에 있는 두 개의 고저항 실리콘 기판은 안테나의 크기를 줄일 수 있게 하고 가운데의 유리 기판은 유효 유전율을 낮추어 대역폭을 넓게 향상시킨다. 또한 다중 유전체 기판을 사용하면 기판에서 전자파의 다중 경로가 생기기 때문에 손실이 좀 생기기는 하겠지만 주파수 대역을 높이는 효과를 얻을 수 있다.

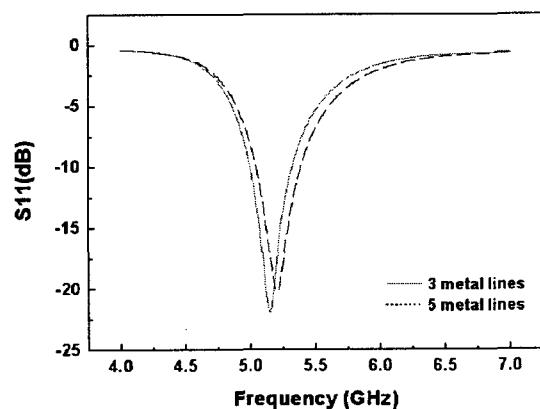


그림 2. 금속선이 세 개와 다섯 개인 B 타입 안테나의 시뮬레이션 결과

Fig. 2. The simulation results of type B antenna with three and five metal lines.

HFSS 시뮬레이션 툴을 이용하여 제안한 마이크로스트립 안테나의 특성을 검증하였다. 안테나의 사이즈는 다음과 같다. 밑에 쓰이는 기호는 그림 1에 표시되어 있다. 패치의 전체 길이(L1)는 8mm이고 폭(W)은 12mm이다. 주 패치와 보조 패치 사이의 간격(s)은 0.2mm이고 보조 패치의 길이 p1과 p2는 각각 0.3mm와 0.5mm이다. 고저항 실리콘 기판의 두께는 0.5mm이고 유리기판의 두께는 1mm이다. 따라서 전체 기판의 두께는 2mm가 된다. 접지면의 크기(GL*GW)는 15*15mm²이다.

주 패치와 보조 패치를 연결해 주는 금속선의 폭은 100um이다. 연결해주는 금속선은 세개, 다섯개 이렇게 변화를 주었다. 밑의 작은 두 개의 보조 패치는 금속선 한 개로 연결하는 것으로 고정시켰으며 위쪽의 큰 보조 패치와 주 패치 사이의 금속선의 개수를 변화하였다. 그림 1의 경우는 금속선이 두 개일 때를 그린 것이다.

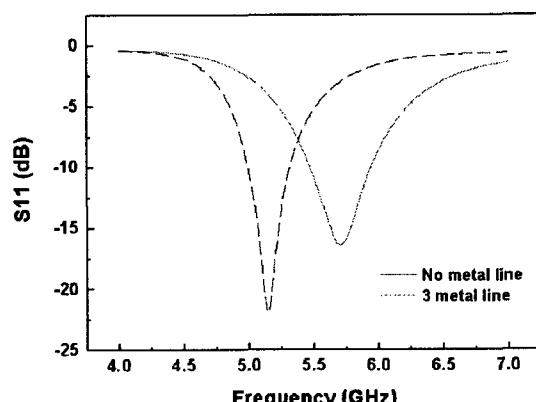


그림 3. A, B 타입 안테나의 S11 시뮬레이션 결과

Fig. 3. The s11 simulation results of type A and type B antennas.

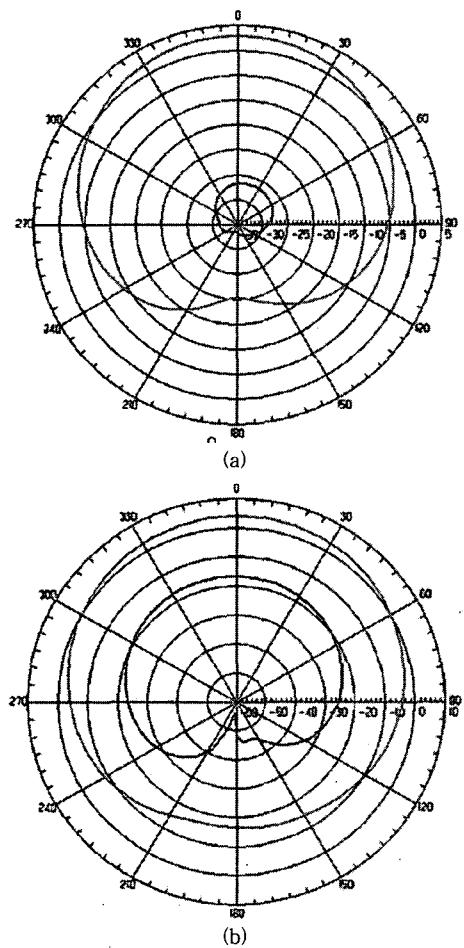


그림 4. 전기장 패턴 시뮬레이션 결과. (a) 5.15 GHz A 타입 안테나 (b) 5.7GHz B 타입 안테나

Fig. 4. E-field radiation pattern simulation results of antenna.(a) type B antenna at 5.15 GHz (b) type A antenna at 5.7 GHz.

그림 2에서는 금속선이 세개인 것과 다섯개인 것 두 가지 경우의 S11 시뮬레이션 값을 나타낸다. 세개의 연결선을 쓴 경우 안테나의 중심 주파수가 5.15GHz, 대역폭이 320MHz 이고 다섯개의 연결선을 쓴 경우 안테나의 중심 주파수가 5.2GHz, 대역폭이 330MHz 가 된다.

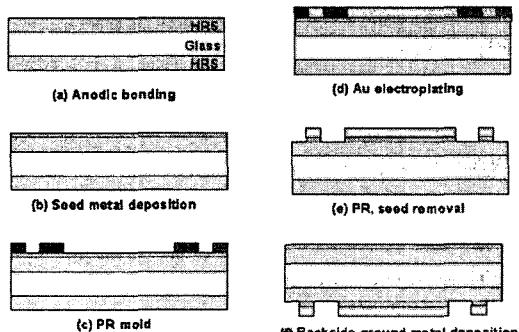


그림 5. 마이크로스트립 패치 안테나의 공정도

Fig. 5. Fabrication process of microstrip patch antenna.

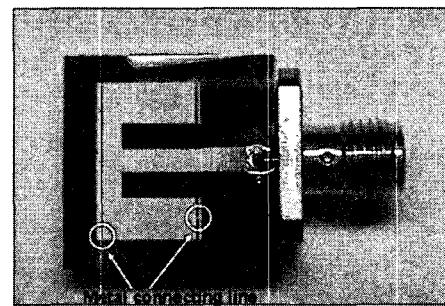


그림 6. 주패치와 보조 패치가 금속선으로 연결되어 있는 제작된 마이크로스트립 안테나의 사진

Fig. 6. Photograph of fabricated microstrip antenna with metal line connecting main patch with sub patches.

그림 3에서 A 타입과 B 타입의 안테나의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 솔리드 선(solid line)으로 표시된 데이터는 A 타입의 S11 값이고 점선으로 표시되어 있는 데이터는 금속선이 3개인 B 타입 안테나의 시뮬레이션 결과이다. A 타입의 안테나의 경우 5.7GHz 중심 주파수에 460MHz 대역폭을 갖는 결과를 보여 주었으며 B 타입 안테나의 경우는 그림 2에서 금속선이 세개인 것과 결과가 동일하다. 이 결과를 보았을 때 A 타입의 경우 무선랜의 위 대역을 만족시키고 B 타입의 경우 무선랜의 아래 대역을 만족시킨다는 것을 알 수 있다. 그림 4에서는 전기장의 패턴을 시뮬레이션 한 결과를 보여준다. 그림 4(a)의 경우 B 타입 안테나의 5.15 GHz 일때의 전기장 패턴이고 그림 4(b)는 A 타입 안테나의 5.7GHz 일 때의 전기장 패턴이다. 일반적인 패치 안테나의 특성을 가지며 패턴 모양에 큰 문제가 없음을 알 수 있다.

2. 제작 공정

시뮬레이션으로 검증된 안테나를 제작을 하였다. 안

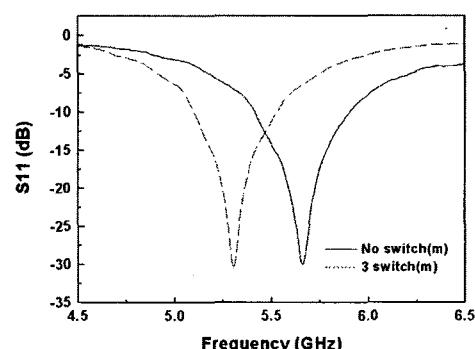


그림 7. A, B 타입 마이크로스트립 안테나의 S11 측정값

Fig. 7. Measured S11 data of the microstrip antenna of type A and type B.

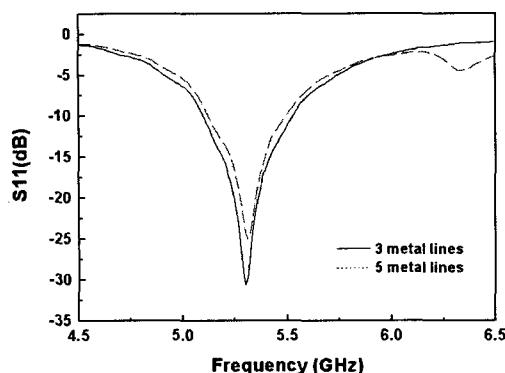


그림 8. 금속선이 세 개와 다섯 개인 타입 B 안테나의 S11 측정값

Fig. 8. Measured S11 data of the microstrip antenna of type B with three and five metal lines.

테나의 치수는 앞에서 설명한 것과 동일하다. 그림 5는 제작 공정을 보여준다. 기판은 고저항 실리콘 기판과 유리 기판을 양극접합(anodic bonding)을 이용하여 제작하였다. 양극 접합을 두번 수행하면 가운데 유리기판이 있고 앞뒤로 고저항 실리콘 기판이 있는 샌드위치 모양의 기판이 만들어 진다 (그림 5(a)). 이 기판을 잘 세척한 후 열증착기(thermal evaporator)를 이용하여 Ti/Au 금속층을 $300 \text{ \AA}/1000 \text{ \AA}$ 증착한다 (그림 5(b)). 높이가 6um의 AZ4620 감광제(Photoresist)를 이용하여 안테나 형상을 패턴한다(그림 5(c)). 금 도금을 수행하여 3um 금을 증착한다(그림 5(d)). 습식 식각을 통해 감광제, Ti/Au 금속층을 제거한다(그림 5(e)). 기판 뒷면에 접지면으로 사용하기 위해 Ti/Cu 금속층을 $300\text{\AA}/5000 \text{ \AA}$ 증착한다 (그림 5(f)). 마지막으로 기판을 다이싱(dicing) 한 다음 SMA 커넥터를 연결하여 측정을 한다. 그림 6에 제작된 안테나의 사진이 나와 있다.

3. 측정

제작된 안테나의 S11 파라미터는 HP8410C 네트워크 분석기(network analyzer)를 이용하여 측정하였다. 그림 7과 그림 8은 측정된 S11 값을 나타낸다. A 및 B 타입 안테나에 대해서 측정을 하였다. 5 GHz의 위 대역을 만족시키는 A 타입 안테나의 경우 5.66 GHz 중심주파수에 480MHz 대역폭을 가지는 것으로 측정 결과가 나왔고 밑 대역을 만족시키는 B 타입 안테나의 경우 5.3GHz 중심주파수에 420MHz 대역폭을 가지는 것으로 측정되었다. 대역폭은 8%로 마이크로스트립 패치 안테나의 크기와 접지면의 크기를 고려했을 때 큰 값이라 할 수 있다. 그림 8은 B 타입 안테나의 S11 측정 값이다. 금속선 세개인 것과 다섯개인 것을 이 그래프에서

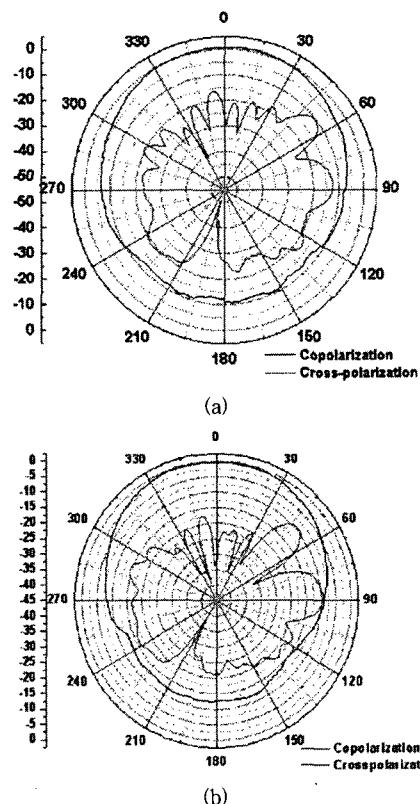


그림 9. 전기장 방사패턴의 측정값 (a) B 타입 5.3 GHz
(b) A 타입 5.66 GHz

Fig. 9. Measured E-field radiation pattern of microstrip antenna (a) type B: 5.3 GHz (b) type A: 5.66 GHz.

비교하였다. 두가지 경우가 결과가 서로 거의 비슷하다는 것을 시뮬레이션 및 측정 결과로 알 수 있었다. 연결선의 개수가 적을수록 제작 수율이 좋아지기 때문에 나중에 실제 스위치 적용시 스위치의 갯수를 세개로 하는 것이 낫다.

안테나의 E field 패턴을 무 반사실에서 측정하였다. 측정 결과는 그림 9에 나와 있다. 그림9(a)는 금속선이 세개인 B 타입 안테나의 E field 패턴을 측정한 결과이고 그림 9(b)는 A 타입 안테나의 E field 패턴을 측정한 결과이다. A 및 B 타입 안테나의 이득은 각각 0dBi, 1dBi로 측정되었다. 이득이 시뮬레이션 값보다 작은데 이는 접지면이 작고 손실이 있는 기판인 고저항 실리콘과 유리 기판을 사용했기 때문이다. 저항이 더 높은 고저항 실리콘과 큰 접지면을 사용하면 대역폭은 줄어드는 대신 이득을 늘릴 수 있다. WLAN의 경우 레이다처럼 방향성을 갖는 것 보다 핸드폰처럼 여러 지점에서 수신이 가능해야 하므로 이득보다는 빔폭이 넓은 것이 중요하다. 제작된 안테나의 HPBW는 약 100° 인 것으로 측정 되었다. 옆 및 뒤쪽 로브(lobe) 가 약간 크게

나왔는데 이는 접지면이 작은으로써 생기는 현상이다. 접지면 크기를 늘리면 특성을 개선시킬 수 있다.

III. 결 론

작은 사이즈의 광대역 마이크로스트립 안테나를 제안하고 설계 및 제작 측정하였다. 그리고 1cm^2 이하의 작은 안테나 크기와 $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ 의 작은 접지면에 의한 좁은 대역폭 문제를 다중 유전체 기판을 사용함으로 해결하였다. 궁극적으로 package에 접적화 가능하도록 패치안테나 형태로 설계 하였으며 스위치를 연결하면 WLAN의 위, 아래 대역을 만족시킬 수 있게 하기 위하여 각각의 대역을 만족시키는 두 종류의 안테나를 제안하였다. 1장의 마스크와 MEMS 공정을 이용하여 제안된 안테나를 제작하였으며 측정한 결과 5.66 GHz 중심 주파수에 480MHz 대역폭과 5.3GHz 중심주파수에 420MHz 대역폭을 가지는 것을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 안테나는 5GHz WLAN을 만족하는 안테나를 제안하고 제작 측정하였다. 추후에 금속 선 대신 스위치를 사용함으로써 재구성형 안테나를 제작할 수 있으며 간단한 구조로 인하여 package에 접적화하기 용이하다.

참 고 문 헌

- [1] Y. P. Zhang, "Finite-difference time-domain analysis of integrated ceramic ball grid array package antenna for highly integrated wireless transceivers," *IEEE transactions on Antenna and Propagation*, vol. 52, issue 2, pp. 435-442, February 2004.
- [2] R. Li, G. DeJean, M. Maeng, K. Lim, S. Pinel, M. M. Tentzeris, and J. Laskar, "Design of Compact Stacked-Patch Antennas in LTCC Multilayer Packaging Modules for Wireless Applications," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 27, no. 4, pp. 581-589, November 2004.
- [3] Y. Ge, K. P. Esselle, and T. S. Bird, "Broadband E-shaped patch antennas for 5-6 GHz wireless computer networks," *2003 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 22-27, June 2003.
- [4] B. L. Ooi and C. L. Leel, "Broadband air-filled stacked U-slot patch antenna," *Electronics Letters*, vol. 35, issue 7, pp. 515-517, April 1999.
- [5] F. Croq and D. M. Pozar, "Millimeter-wave

design of wide-band aperture-coupled stacked microstrip antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 39, issue 12, pp. 1170-1176, December 1991.

- [6] K. L. Wong and W. H. Hsu, "A broadband patch antenna with wide slits," *2000 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, pp. 16-21, July 2000.
- [7] M. C. Huynh, W. Stutzman, "Groundplane effects on planar inverted-F antenna (PIFA) performance," *IEE Proceedings Microwave, Antennas and Propagation*, vol. 150, issue 4, pp. 209-213, August 2003.
- [8] R. N. Simons, D. Chun, and L. P. B. Katehi, "Microelectromechanical systems (MEMS) actuators for antenna reconfigurability," *2001 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, vol. 1 pp. 215-218, May 2001.

저 자 소 개



김 지 혜(정희원)
 2000년 KAIST 전기컴퓨터공학과
 학사 졸업.
 2002년 KAIST 전기컴퓨터공학과
 석사 졸업.
 2002년~현재 서울대학교 전기
 공학과 박사과정

<주관심분야 : RF MEMS, 반도체 센서>



김 현 철(정희원)
 1990년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1992년 서울대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1998년 서울대학교 전자공학과
 박사 졸업.

2004년~현재 서울대학교 전자공학과 BK 교수
 <주관심분야 : MEMS, 반도체 센서, 패키징>



전 국 진(정희원)
 1977년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1981년 University of Michigan
 전기전자공학과 석사
 졸업.
 1986년 University of Michigan
 전기전자공학과 박사
 졸업.
 1986년~1989년 Washington State University
 조교수
 1989년~현재 서울대학교 전기공학부 교수
 <주관심분야 : MEMS, 반도체 센서, 패키징, 나노
 lithography>