

무선 시스템용 FBAR 듀플렉서 특성 개선 연구

이은규^{1,a}, 최형림¹

¹ 동아대학교 산학협력단 컨테이너 안전수송기술 개발 클러스터사업단

A Study on Improvement of FBAR Duplexer for Wireless Systems

Eun-Kyu Lee^{1,a} and Hyung-Rim Choi¹

¹ Intelligent Container R&D Center, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received March 16, 2010; Revised April 12, 2010; Accepted April 20, 2010)

Abstract: In this study, we propose characteristics improvement methods according to via hole plating method for FBAR Duplexer with bandwidth(T_x : 1850 MHz ~ 1910 MHz, R_x : 1930 MHz ~ 1990 MHz) which is used for wireless systems. Also, we designed and fabricated $3.8 \times 3.8 \times 1.8$ mm size microminiature FBAR Duplexer based on this proposal. First of all, in this study, we fabricated pentagon shape resonators by different size to make filter combination, and their quality factor(Q) are 687 with 6.6% of k_{eff}^2 . Using this resonators, we designed 3×2 Type T_x filter and 3×4 Type R_x filter. The transmission line, which works as phase shifter, is designed with 210 μ m in width and 18 mm in length Stripline type. Inductor, which is used for matching component, is designed with width of 75 μ m, a technically achievable minimum width. And adopted plating method of filling via hole with conductive epoxy for improved grounding and thermal conductivity. Using these configuration with all of the matching component values, we found Duplexer characteristics of -1.57 dB ~ -1.73 dB in insertion loss, -56 dB in attenuation at 1850 MHz ~ 1910 MHz of T_x band. Also, found -2.71 dB ~ -3.23 dB in insertion loss, -58 dB in attenuation at 1930 MHz ~ 1990 MHz of R_x band.

Keywords: Duplexer, Filter, Inductor, Transmission line, Hole

1. 서론

최근 이동 및 정보 통신 분야의 비약적인 발전으로 인하여 고주파화, 소형화 추세가 가속화 되면서 이에 대응하기 위한 소형 부품 개발이 중요한 현안으로 떠오르고 있다. 그리고 소자의 집적화를 통해 소형화 및 성능 향상이 필요한 무선 통신 시스템에 RF(radio frequency) 스위치, 저 손실 전송선로, RF필터, 위상 변조기, 임피던스 동조기, 고품질도의 인덕터, 고효율 안테나 등이 핵심 부품으로 있다. 특히, 최근에 차세대 핵심 요소기술로 관심 받고 있는 유비쿼터스의 초

소형 무선통신 트랜시버 시스템 구현에 사용되는 수동부품은 바로 FBAR(film bulk acoustic resonator) 듀플렉서이다. RF MEMS (micro electro mechanical systems)기술로 제작되는 FBAR 듀플렉서는 안테나의 하단에 위치해 송수신 주파수를 분리해 원하는 대역의 주파수를 통과시키는 RF 부품으로 기지국이나 단말기를 통해 필요한 전파만 걸러내고 불필요한 것은 제거하는 일종의 전파 필터링 장치라고 할 수 있다. 이런 역할을 하는 FBAR 듀플렉서 장점은 소형화, 집적화에 필요한 IC 공정과 호환성이 우수하여 co-integration이 가능하며, 낮은 삽입손실, 높은 격리도, 저 리플 때문에 무선 시스템 응용분야에 많이 활

a. Corresponding author: jabanora@dau.ac.kr

용되고 있다. 특히, FBAR 듀플렉서는 다른 세라믹, SAW 듀플렉서와 비교할 때 크기 대비 분리도가 크고 고주파대역에서 롤 오프(roll off) [1] 특성이 뛰어나다는 장점을 가지고 있다. 하지만 장시간 사용에 따른 온도 상승은 소자 자체의 특성을 변화시켜 심각한 문제를 야기할 수가 있다. 이러한 문제는 무선시스템에 적용하기 위해서는 반드시 해결을 해야 하는 문제이다. 따라서 본 논문에서는 신뢰성 성능 특성 확보에 필요한 접지 강화 및 우수한 열전도도를 갖는 개선 방안을 제시한다. 우선적으로 FBAR 공진기를 만들기 위해서 초소형 공진기의 면적을 10,000 Å ~ 400,000 Å까지 제작을 하고, 그 물성치를 추출하여 각 Rx(receiver), Tx(transmitter) 공진 주파수에 맞는 최적의 공진기로 필터를 조합하였다. 그리고 매칭 소자인 인덕터 민감도(sensitivity)분석과 1850 ~ 1910 MHz의 송신단 대역과 수신단인 1930 MHz ~ 1990 MHz 분리해주는 스트립라인 설계 방법을 소개하였다. PCB(printed circuit board) 패키지 방법에서는 비아홀(via hole)처리하는 방법을 소개하였고 자체 설계한 테스트 보드를 이용하여 최적의 듀플렉서 특성을 확인하였다.

2. 실험

2.1 공진기 및 필터 설계

본 실험에서는 우선, 4" high resistance Si(HRS) 웨이퍼 기판을 사용하여 상하부 전극(M_0) 사이에 압전 박막(AlN)이 샌드위치(sandwich) 구조로 된 공진기부터 제작하였다. 공진기 제작에 가장 중요한 것은 해당 주파수에서 공진이 일어날 수 있게 박막 두께와 공진 면적을 결정하는 것이 중요한데, 본 실험에서는 중심주파수 1880 MHz인 3 × 2형태의 Tx단 공진기의 각 전극은 상부전극 0.41 μm, 압전체 1 μm, 하부전극 0.41 μm로 하였고 중심주파수 1960 MHz인 3 × 4형태 Rx단 공진기의 상부전극, 압전체, 하부전극의 두께는 0.43 μm, 0.85 μm, 0.43 μm로 하였다. 증착 장비로는 AMS 스퍼터(sputter)장비, 패턴 제거 작업은 드라이 에칭(dry etcher)장비로 이용하였다. 그리고 희생층(sacrifice layer)제거는 HF 49% 원액으로 사용하여 2 μm 높이를 갖는 에어갭(air gap)이 있도록 free standing [2] 형태로 하였다. 공진기 모양은 마스크 설계 및 제작이 쉽고 공정상 오류가 최소화 할 수 있는

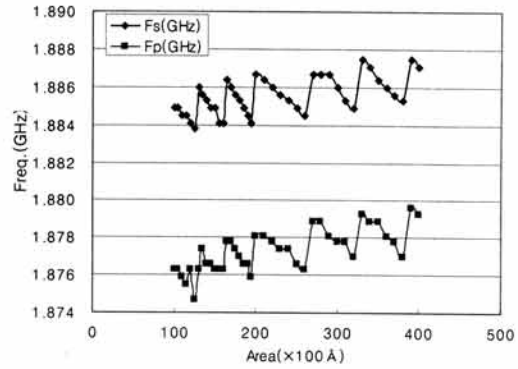


Fig. 1. Resonator of Tx.

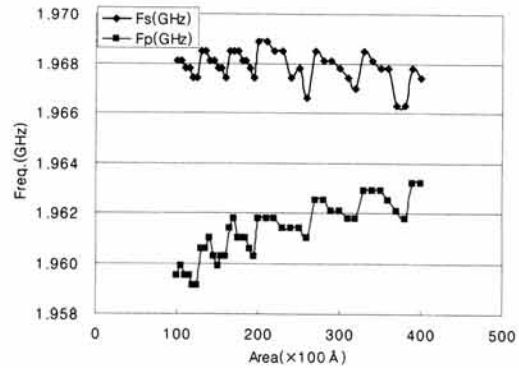


Fig. 2. Resonator of Rx.

오각형(pentagon) 형태로 제작하였다. 공진기의 크기는 10,000 Å ~ 400,000 Å로 제작하여 면적에 따라 공진 주파수를 측정하였다. 그림 1과 그림 2는 웨이퍼 상태에서 측정한 각 공진기에 대한 직병렬 공진주파수 결과이다.

그림 1에서는 Tx 직병렬 공진주파수에 대한 각 공진기 영역별 주파수 특성을 보여주는 것이고 그림 2는 Rx의 직병렬 공진주파수에 대한 각 공진기 영역별 주파수 특성에 대해서 보여주는 것이다. 그림 1과 그림 2에서 공진주파수가 공진기 면적 크기 증가에 따라 균일한 공진주파수가 일어나지 않는 이유는 스퍼터 장비 조건이 4" 웨이퍼에 증착이 균일하게 증착되지 않았기 때문이다. 하지만 본 실험에서는 스퍼터 장비에 대한 증착 조건을 최적화하기에는 상당한 시간을 소요되기 때문에 웨이퍼 수율에 대해서는 크게 고려하지 않았다. 제작된 공진기에 대한 평가 파라미터들 중에 품질계수 Q값은 식 (1)을 통해 계산을

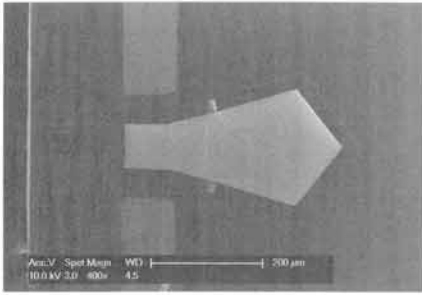


Fig. 3. SEM image of top view of fabricated one-port resonator(20,000 Å).

하였고 k_{eff}^2 (effective electro-mechanical coupling constant) [3] 는 식 (2)을 통해 계산하여 각 공진기 특성을 평가에 이용 하였다.

$$Q = \frac{\left(\frac{f_s}{f_p}\right)}{1 - \left(\frac{f_s}{f_p}\right)^2} \sqrt{\frac{(1 - |S_{12max}|)(1 - |S_{11max}|)}{|S_{12max}| |S_{11max}|}} \quad (1)$$

$$k_{eff}^2 = \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{f_s}{f_p}\right) \left(\frac{f_p - f_s}{f_p}\right) \quad (2)$$

일반적으로 Q값과 k_{eff}^2 는 서로 큰 연관성을 가지는 경향이 있어 Q값을 좋게 하면 k_{eff}^2 특성 값도 좋아진다. 여기서 k_{eff}^2 는 FBAR 필터의 밴드폭을 결정하는 매우 중요한 변수인데, 식 (2) 보는 바와 같이 직렬 및 병렬 공진 주파수에 의해서 주로 결정되어진다. 공진기 측정 데이터를 근거하여 단위 공진기의 파라미터를 물성치로 회로 시뮬레이션을 이용하여 추출하였다. 본 실험에서 사용한 등가회로 모델링은 MBVD(modified butterworth-van dyke model)으로 하였으며 여기서 표시된 등가 모델 파라미터 중에 R_0 은 압전 박막의 유전손실(dielectric loss)을 포함한 현상학적인 저항 성분이며, C_0 은 압전 박막이 상유전체로서 갖는 축전 성분을 나타낸다. R_m , C_m , 그리고 L_m 성분은 각각 압전 박막의 교류의 신호에 따라 진동하는 성분을 저항, 커패시턴스, 및 인덕턴스 성분으로 나누어 표시한 것이다. 진동 성분은 압전 박막의 양단에 가해지는 교류와 압전 박막의 진동의 공진 현상에 의해 발생한다. 그림 3은 오각형 공진기 면적 20,000 Å에 대한 SEM사진이며, 그림 4는 오각형 공진기 면적 20,000 Å에서 각 파라미터들을 추출한 MBVD [4] 등가회로도이다. 이들 결과를 토대로 공진기 해석 및 필터 회로에 쉽게 적용할 수 있었으며

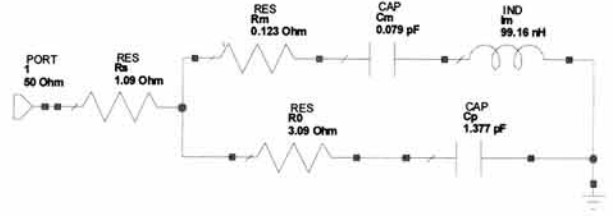


Fig. 4. Schematic diagram MBVD model for resonator (20,000 Å).

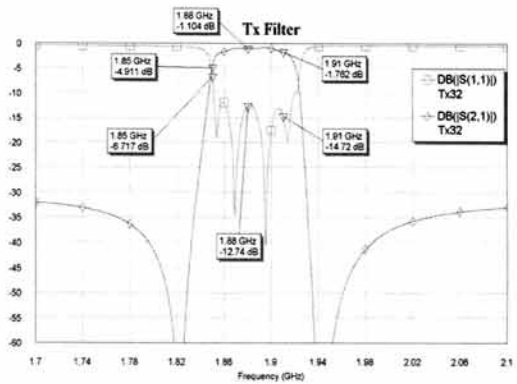


Fig. 5. Results of S_{11} and S_{21} for T_x filter.

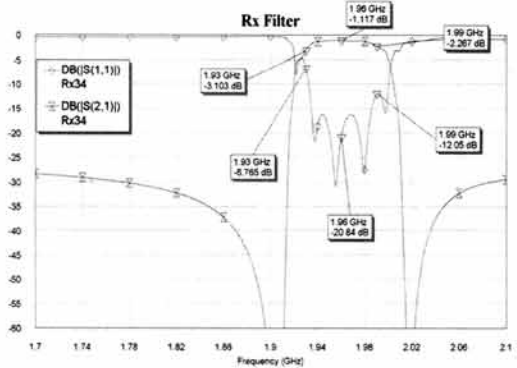


Fig. 6. Results of S_{11} and S_{21} for R_x filter

측정된 데이터를 기초로 하여 시뮬레이션 틀에 의해서 레더(ladder) [5] 형태로 각 직병렬 공진기들로 조합하였으며 최적으로 구현한 구조로서 T_x 직병렬 공진기 구조는 3×2 형태이며 R_x 는 3×4 [6,7] 형태이다.

이때 설계된 T_x/R_x 필터는 패스밴드 필터로서 그림 5

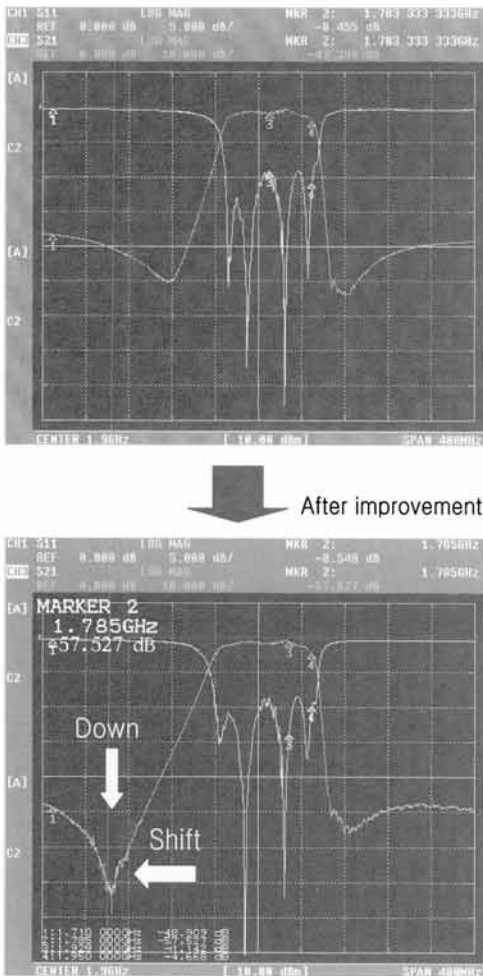


Fig. 7. Measured performance characteristics using no conductor resins in via hole.

와 그림 6이 본 연구에서 설계한 FBAR 패스밴드 T_x/R_x 필터에 대한 S 파라미터 설계 결과이다.

필터 제작할 때에는 직렬 연결된 단위 FBAR들은 모두 동일한 주파수에서 공진을 일으키고, 병렬 연결된 단위 FBAR들은 직렬 FBAR에 대해서 약간의 오프셋을 가지면서 공진을 해야 한다. 즉, 병렬 공진기의 상부 전극 두께를 0.02 μm 로 식각하여 공진 주파수가 높아지게 하여 직렬공진기로 만들었다. 그리고 전극 패드에 원활한 신호를 주기위해 패드 위에 3 μm Au plating로 올렸다. 그림 5에서는 3 × 2형의 T_x 필터가 사용되는 해당 주파수 대역($F_c = 1880 \text{ MHz}$)에서 반사계수가 -10 dB이하로 나오는 것을 볼 수가 있다. 같은 방법으로 하여 만든 그림 6의 결과도 3 × 4형태로 갖는 R_x 필터로 1960 MHz에서 -10 dB이하로 나오는

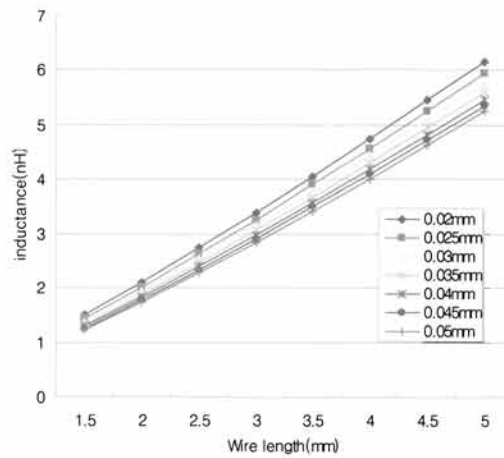


Fig. 8. Verified result for wire lengths.

것을 확인하였다. 그리고 단일 송신단 필터에서 1.7 ~ 1.78 GHz 주파수 감쇠 특성 개선 방법으로는 비아 홀을 전도성 엑포시로 채우고 수동소자인 인덕터 길이 변화를 이용하여 감쇠 특성을 조정하였다. 이때 그림 7에서 보는 바와 같이 1.785 GHz에서 -57.527 dB로 나온 결과를 확인할 수가 있다.

2.2 매칭소자 및 듀플렉서 설계

본 연구에서 설계하는 FBAR 듀플렉서는 송신단 및 수신단의 중심주파수는 1880 MHz, 1960 MHz이며, 패스밴드는 중심주파수를 기준으로 $\pm 30 \text{ MHz}$ 이다. 삽입 손실은 송수신단이 각각 1.5 dB, 1.1 dB이하이며, 감쇄량은 송신단의 경우 -43 dB이상, 수신단의 경우 -56 dB이상으로 목표를 잡고 있다. 설계할 듀플렉서의 크기는 3.8 mm × 3.8 mm 크기를 갖는 초소형 듀플렉서 목표를 하여 설계하였다. 이러한 스펙에 맞게 특성을 나오게 하기 위해서는 먼저 송수신 신호 분리를 해주는 스트립라인 설계가 중요하며, 매칭 소자인 인덕터에 대한 민간도 분석이 필요하다. 본 연구에서는 패드간 입출력 연결은 굵기가 1 mm인 골드 와이어(Au wire)로 연결하여 사용하였으며 이 때 골드 와이어의 길이는 0.5 mm 길이당 0.5 nH 인덕턴스 값이 나오는 것을 감안하여 패드에 연결되는 와이어는 0.5 mm으로 통일하였다. 그림 8은 와이어 길이와 굵기에 따른 인덕터 값을 예상한 결과 값이다.

그리고 그림 9와 그림 10은 본 연구에서 적용한 듀플렉서의 설계도와 3D 개념도이다.

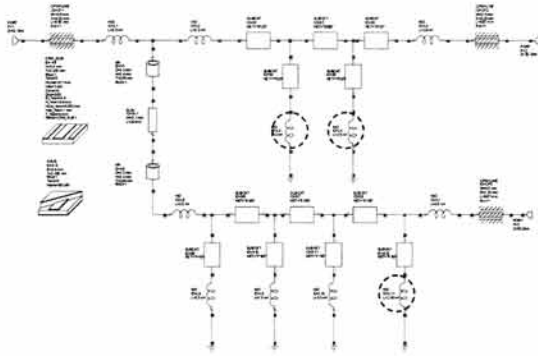


Fig. 9. The US PCS duplexer design include $1/4\lambda$ line and two FBAR filter chips with wire.

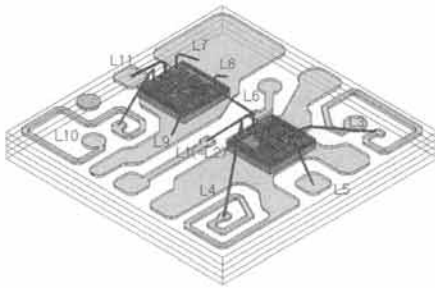
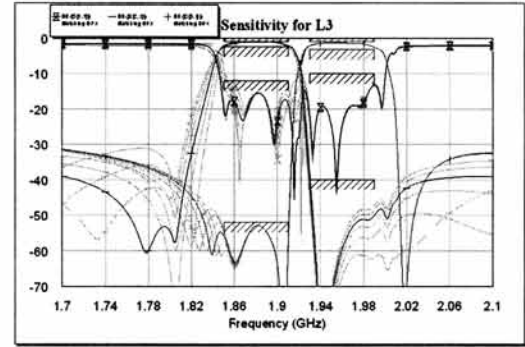


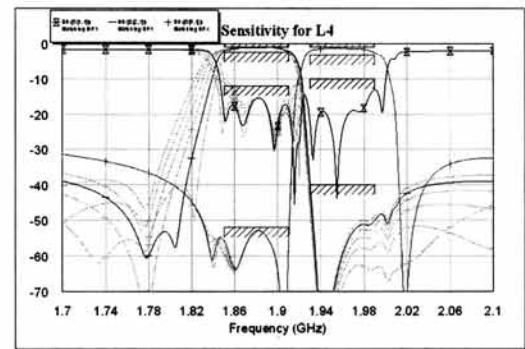
Fig. 10. Schematic of FBAR Duplexer using wire bonding.

그림 9에 표시된 매칭 소자들에 대한 민감도를 분석하게 되면 그림 10 모델링에서의 L3, L4, L10 인덕터가 길이 변화에 따라 듀플렉서의 특성이 그림 11에 보는 바와 같이 매우 예리하게 영향을 주는 것을 알 수가 있지만 기타 다른 선로 인덕터나 와이어는 듀플렉서의 특성에 크게 미치지 않는 것을 민감도 분석을 통해 확인 할 수가 있다.

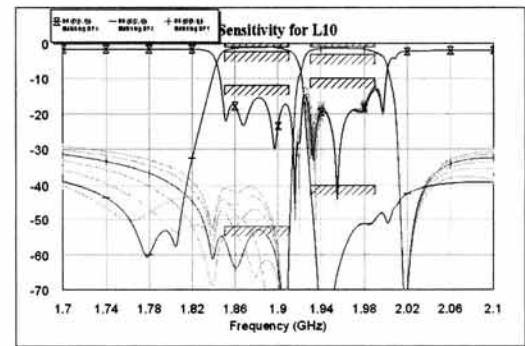
본 연구에서는 듀플렉서 특성에 영향을 주지 않기 위해서 가능한 한 고품질(high-Q)의 인덕터 값을 갖 질 수 있도록 패턴 두께를 $65\ \mu\text{m}$ 으로 두껍게 하여 손실 특성을 작게 하고 금속 저항 값을 적게 하는데 최대한 노력을 하였다. 그리고 층간 높이도 가능한 높게 하기 위하여 높이를 $400\ \mu\text{m}$ 로 하였다. 이 조건으로 제조된 인덕터는 선로 선폭이 $75\ \mu\text{m}$ 이고 길이가 $3.8\ \mu\text{m}$ 일 때 인덕턴스 값이 약 $2.6\ \text{nH}$ 가 나오면 품질 계수(Q)는 약 20이 나오는 것을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 11. Sensitivity for each inductors.

송수신단의 고 분리도화를 위한 전송선로는 스트립라인 형태이며 설계된 전송선로는 그림 12처럼 CPWG(co-planar waveguide ground) 구조로서 신호선 옆에 접지 비아 홀을 신호선을 따라 일정하게 형성해 주어 전자계의 TEM(transverse electro-magnetic mode)모드가 균일한 구조이다.

균일한 전자계의 TEM 모드를 갖기 위하여 전송선로가 있는 중심 위치에서 위아래로 각각 $200\ \mu\text{m}$ 간격으로 띄어 두었으며 층간 간격을 가능한 동일한 높이로

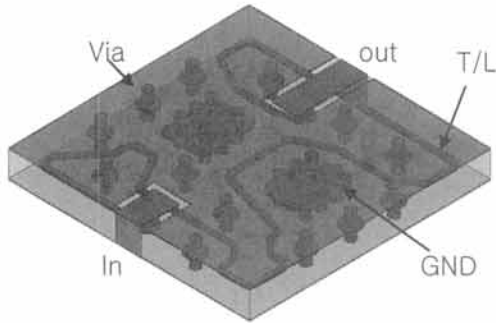


Fig. 12. Model of a typical coplanar waveguide ground transmission line.

해야만 했다. 그 외 다른 선들 간 간격, 홀 간 간격, 즉, 선과 홀간 간격, 접지 영역간의 간격들은 기술적으로 구현 가능한 최소 폭인 75 μm 로 통일 하였다. 즉, 이렇게 하는 이유는 상호 간섭 방지를 위해 접지면, 접지 홀, 접지 벽으로 감싸주는 형태로 설계되어야 균일한 TEM 모드가 형성되기 때문이다. 또한 서로 인접하거나 전송선로 아래 또는 위에 신호라인이 지나가면 안 되는 것을 꼭 주의하면서 설계해야 한다. 그리고 전송선로에서는 특성 임피던스가 중요한데 우선 식 (3) ~ (6)에 나와 있는 식을 이용하여 특성 임피던스인 50 Ω 에 맞는 선폭 찾아 직접 제작하여 그 측정값을 그림 13의 결과로 나왔다.

$$W = bx \tag{3}$$

$$x = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_r} Z_0} - 0.441 \tag{4}$$

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{b}{W_c + 0.441b} \tag{5}$$

$$\frac{W_c}{b} = \frac{W}{b} \begin{cases} 0 & \text{for } \frac{W}{b} > 0.35 \\ 0.85 - \sqrt{0.6 - x} & \text{for } \frac{W}{b} < 0.35 \end{cases} \tag{6}$$

그리고 전송선로의 길이 결정은 그림 14에 나와 있는 바와 같이 Tx의 중심주파수인 1880 MHz에서 정확히 180° 위상차 나오는 $\lambda/4$ 길이 찾아 듀플렉서 전송선로로 사용하였다.

이렇게 설계된 듀플렉서는 그림 15처럼 PCB의

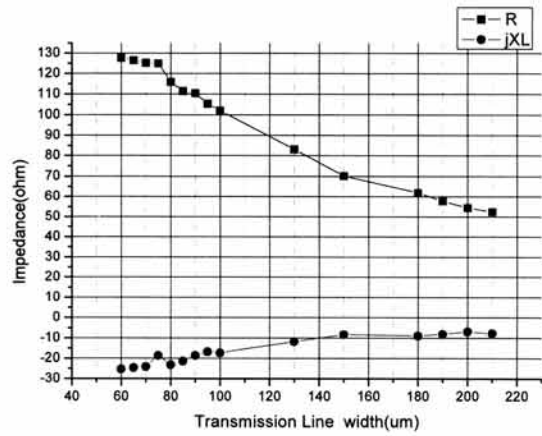


Fig. 13. Characteristic impedance for pattern width.

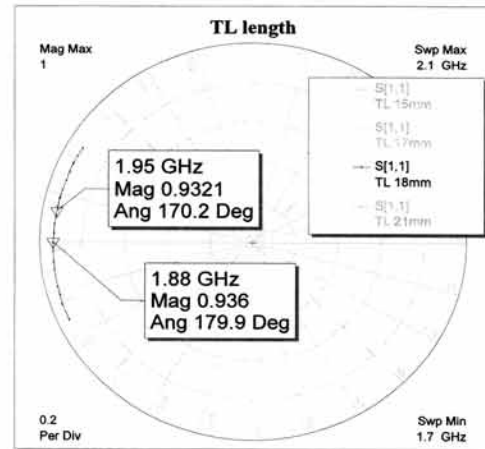


Fig. 14. Phase of $\lambda/4$ stripline for transmission line lengths.

최종 층수가 4층이며 1층에는 인덕터와 패드가 있으며 2층에는 3층에 내부에 삽입되어 있는 전송선로가 1층에 간섭을 주지 못하도록 반사판 역할을 하는 판을 삽입했고 3층에는 스트립라인 형태인 전송선로가 있으며 밑은 접지면으로 하여 패키징 하였다.

패키징 할 때 가장 중요한 제조 방법 중에는 비아 홀에 있는 기생 커패시터 성분들을 제거하는 것이 있다. 본 연구에서 사용한 방법은 그림 16에 보이는바와 같이 도금 처리 되어 있는 비아 홀 안에 비전도성 수지를 채워 놓고 커팅 장비(cutting machine)로

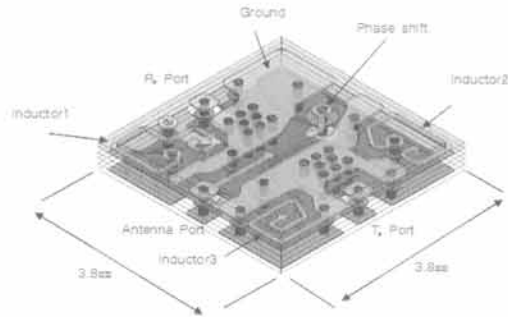


Fig. 15. 3D modelling cross-section of PCB package.

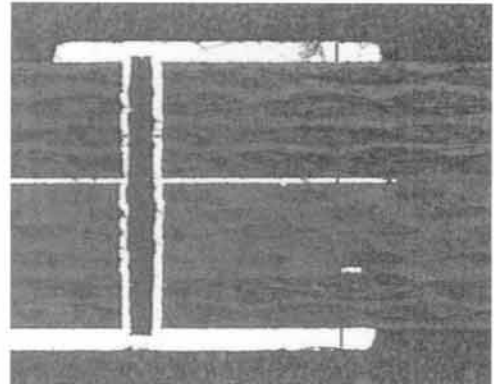


Fig. 17. Micrographs of stackups PCB(4 layer Ground).

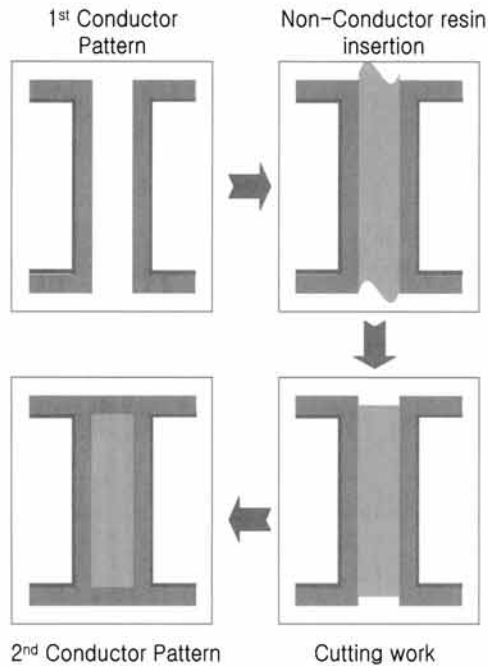


Fig. 16. Manufacturing process for via hole.

짜아 2차 작업에 다시 도금 패턴 하는 작업 방법을 사용하였다. 홀 안에 비전도성 수지가 채워져 있기 때문에 기판간의 그라운드 효과를 극대화해주고 열전도도가 좋아지며 홀 안에 존재하는 커패시턴스 성분들이 제거되게 전력분산(power handing) 및 온도 민감도(temperature sensitive)에 대한 특성을 개선해 준다. 그림 17은 적층으로 제작된 PCB의 단면도를 보여준다.

또한 추가적으로 고려해야 할 것은 PCB의 접지 면의 두께를 가능한 두껍게 하고 전도성이 좋은 재질로

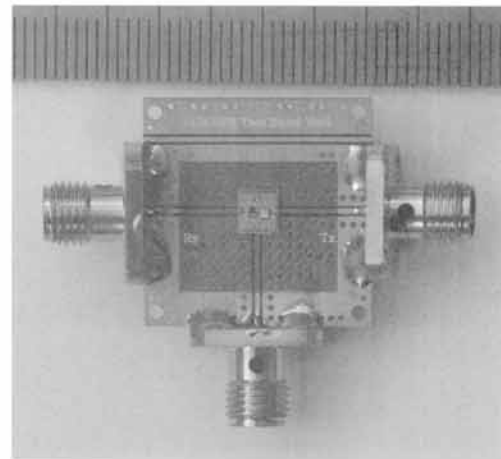


Fig. 18. Picture of the test board for FBAR duplexer. The scale is in mm.

이용하면 접지 면에 비아가 많을수록 좋다. 본 연구에 사용된 기판은 2 GHz이상의 고주파에 사용되는 기판을 사용하였으며 유전율(ϵ_r)이 3.4이고 손실 계수가 0.002(@1 MHz)인 폴리프로필렌(polypropylene) 수지계의 PCB 기판을 사용하였다. 여기서 손실 계수가 낮은 것을 선택한 것은 기판의 손실계수가 낮으면 낮을수록 인덕터와 전송선로의 기판 손실이 적기 때문에 품질계수가 높은 소자들을 만들 수가 있다. 이렇게 설계된 듀플렉서는 그림 18처럼 설계된 측정 보드를 이용하여 측정하는데 여기서 사용되는 측정 PCB 기판은 입출력(3port)에는 50 Ω 매칭 값을 갖는 스트리플라인(stripline)이고 유전율이 4.6정도 되는 FR-4 기판을 사용하였다.

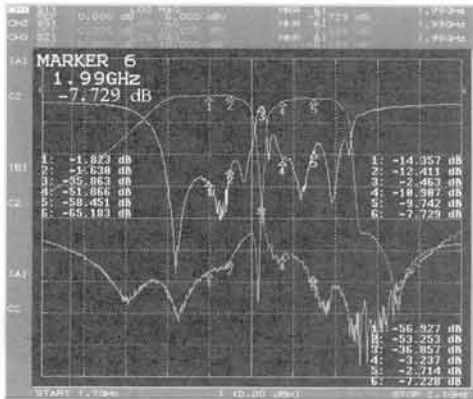


Fig. 19. Measured performance characteristics of the fabricated FBAR duplexer for US PCS applications.

3. 결과 및 고찰

본 논문은 무선시스템에 적용할 (가로)3.8 × (세로)3.8 × (높이)1.8 mm 크기를 갖는 초소형 FBAR 듀플렉서 설계하여 특성을 확인 하였다. 그림 19는 장비 보정을 실시하고 측정용 PCB의 3개 커넥터를 네트워크 아날라이저에 연결하여 S파라미터인 S_{11} , S_{21} , S_{31} 을 측정한 듀플렉서의 특성 결과이다. 결과에 보면 삽입손실 및 리플은 통과밴드(Tx: 1850 MHz ~ 1910 MHz, Rx: 1930 MHz ~ 1990 MHz)내에서 거의 제로의 값을 보여주며, 반사계수는 송신단에서 -20 dB, 수신단에서 -15 dB로 좋으며, 감쇄량도 송신단 1975 MHz에서 -56 dB, 수신단에서는 1990 MHz에서 -49 dB으로 나오는 것을 확인하였다.

이러한 결과를 얻기 위하여 본 연구에서는 우선 필터 조합을 위해서 오각형 형태의 공진기를 크기별로 제작하였고, 각 공진기에 대한 물성치를 추출한 후에 Tx, Rx 필터를 설계하였다. 그리고 조합된 Tx/Rx 필터를 이용하여 듀플렉서를 설계하였으며 이에 따른 매칭 인덕터와 전송선로에 대한 최적의 값들을 패턴 시험을 통해 결정하는 방법들을 소개하였다. 설계된 듀플렉서는 측정 보드를 이용하여 그 특성을 확인하였으며 웨이퍼상에서 나온 Tx, Rx 공진기 품질계수(Q)는 약 687이고 k_{eff}^2 는 6.6%이다. 이를 이용한 공진기의 직병렬 형태는 Tx필터는 3 × 2형태이며, Rx필터는 3 × 4형태이다. 매칭 소자로 이용한 인덕터의 구현 가능한 최소 폭은 75 μm 이고 인덕턴스 값은 길이 변화로 결정하였다. 또한 송수신기 신호 분리를 위한 전송선로는 폭이 210 μm 이며 길이가 18 mm인 스트립

라인으로 구현하였다. 본 실험에서 매칭소자까지 포함된 듀플렉서의 특성 중에 Tx 밴드인 1850 MHz ~ 1910 MHz에서 삽입손실은 -1.57 dB ~ -1.73 dB, 감쇄 특성은 -56 dB 나왔으며 Rx 밴드의 1930 MHz ~ 1990 MHz에서 삽입손실은 -2.71 dB ~ -3.23 dB가 나왔고 감쇄특성은 -58 dB가 나왔다. 연구 수행 중에 웨이퍼 상에서 FBAR 공진기의 특성이 완벽하게 잘 나오더라도 조합된 각 칩들을 PCB에 패키지 하여 와이어 본딩과 비전도성 엑포시로 몰딩하게 되면 약간의 특성 변화로 인해 그 주원인을 찾는 데 상당한 시간이 소요되었다. 여러 가지 분석 중에는 기판 재질 변경, 인덕터 길이 변화, 전송선로 변화, 접지강화, 비아 홀 개수 증가 등이 있었지만 본 연구에서는 PCB상에서의 패턴 구현과 원활한 신호흐름을 위해 접지 강화 방법을 고려하지 못 한다면 여러 기생성분을 통해 측정값이 정확히 나오지 않는다는 것을 알아내었다. 특히 PCB상에서 그라운드의 효과를 얻지 못하면 FBAR 듀플렉서의 특성이 나오지 않는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 기생성분 제거와 PCB간의 최대 그라운드 효과를 얻기 위해 비아 홀을 비전도성 수지로 채우는 방법을 토대로 설계하면 원하는 듀플렉서의 특성을 얻어낼 수 있다는 것을 입증하였다.

4. 결론

본 논문은 무선시스템에 사용되는 FBAR 듀플렉서를 비아 홀 도금 방법에 따라 특성을 개선하는 방법을 제안하고, 초소형 FBAR 듀플렉서를 설계 제작을 통해 검증하였다. 본 연구에서 우선 필터 조합을 위해서 오각형 형태의 공진기를 크기별로 제작하였고, 제작된 공진기 품질계수(Q)는 687이고 k_{eff}^2 는 6.6%로 나왔다. 이 들 공진기를 이용하여 3 × 2형태의 Tx필터, 3 × 4형태의 Rx 필터를 설계하였으며, 위상천이기로 역할을 하는 전송선로는 폭이 210 μm 이며 길이가 18 mm인 스트립라인 형태로 설계하였다. 그리고 매칭 소자로 이용되는 인덕터는 패턴 실험을 통해 기술적으로 구현 가능한 75 μm 최소 폭으로 설계하였다. 또한 접지 강화와 열전도도를 위해 비아 홀 안을 전도성 엑포시로 채우는 도금 방법을 사용하였다. 이 때 매칭소자 값들을 모두 포함한 듀플렉서의 특성 중에 Tx 밴드인 1850 MHz ~ 1910 MHz에서 삽입손실은 -1.57 dB ~ -1.73 dB, 감쇄특성은 -56 dB 나왔으며 Rx 밴드의 1930 MHz ~ 1990 MHz에서 삽입손실은 -2.71 dB ~

-3.23 dB가 나왔고 감쇄특성은 -58 dB가 나오는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(B0009720) 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] J.-H. Kim, S.-H. Lee, J.-H. Ahn, and J.-K. Lee, *J. Ceram. Process. Res.* **3**, 25 (2002).
- [2] R. Ruby, P. Bradley, J. Larson, Y. Oshmyansky, and D. Figueredo, *IEEE International Solid-State Circuits Conference* (IEEE, Piscataway, NJ, 2001) p. 120.
- [3] H.-S. Park, J. Lee, J. Shin, J. Kwon, S. Sul, D.-H. Kim, K.-J. Shin, M.-K. Gu, and I. Song, *36th European Microwave Conference* (IEEE, Manchester, 2006) p. 1281.
- [4] Ó. Menéndez, P. de Paco, R. Villarino, and J. Parrón, *IEEE Microw. Wirel. Co. Lett.* **16**, 657 (2006).
- [5] Y. H. Chee, A. M. Niknejad, and J. M. Rabaey, *IEEE J. Solid-State Circuits* **41**, 1740 (2006).
- [6] T. Yokoyama, T. Nishihara, S. Taniguchi, M. Iwaki, and Y. Satoh, *IEEE Ultra. Sym.* (IEEE, Puerto Rico, 2004) p. 429.
- [7] B. Ha, I. Song, Y.-K. Park, D.-H. Kim, W. Kim, K. Nam, and J. Pak, *Sens. Actuators, A* **130 - 131**, 247 (2006).
- [8] C. H. Tai, T. K. Shing, Y. D. Lee, and C. C. Tien, *Tamkang J. Sci. Eng.* **7**, 67 (2004).