Journal of the Microelectronics & Packaging Society
Vol. 15, No. 1, p. 19-25. 2008

2.4GHz 무선랜 대역을 위한 Front End Module 구현

이윤상* · 류종인[1] · 김동수[1] · 김준철[1] · 박종대 · 강남기[1]
명지대학교 전자공학과, [1]전자부품연구원 전자소재패키징센터

Implementation of Front End Module for 2.4GHz WLAN Band

Yun-sang Lee*, Jong-in Ryu[1], Dong-su Kim[1], Jun-chul Kim[1], Jong-dae Park and Nam-kee Kang[1]
Eletronic engineering, Myong-ji University,
[1]Electronic Materials & Packaging Research Center, Korea Electronics Technology Institute

초 록: 본 논문에서는 2.4GHz의 무선랜 대역에 사용하고 LTCC 다층 기술이 적용된 Front-end Module를 제작하였다. 제안된 FEM은 전력증폭기 IC, 스위치 IC와 LTCC 모듈로 구성하였다. LTCC 모듈은 송신단은 출력 매칭회로(matching circuit)와 저역통과필터, 수신단은 대역통과필터로 구성하였다. 출력 매칭회로를 LTCC에서 구현하기 위해 PCB에서 구현한 출력 매칭회로의 매칭 파라미터를 이용하였다. LTCC 기판의 특성은 유전율 9.0이다. 기판은 각 층의 두께가 30um인 그린시트를 총 26장을 사용하였다. 패턴용 도체는 Ag 페이스트를 사용하였다. 모듈의 크기는 4.5 mm×3.2 mm×1.4 mm이다. 제작된 FEM은 21dB의 이득과 -31dBc(1st side lobe)와 -59dBc(2nd side lobe)의 ACPR, 그리고 23dBm의 P1dB 특성을 가짐을 확인하였다.

Abstract: In this paper, the front end module (FEM) was proposed for 2.4GHz WLAN band by LTCC multilayer application. The FEM was composed of power amplifier IC, switch IC, and LTCC module. LTCC module consists of output matching circuit and lowpass filter as Tx part, bandpass filter as Rx part. Design of output matching circuit for LTCC was used matching parameter from output matching circuit based on lumped circuit on the PCB board. The dielectric constant of LTCC substrate is 9. The substrate was composed of total 26 layers with each 30um thickness. Ag paste was used for the internal pattern as the conductor material. The size of the module is 4.5 mm × 3.2 mm × 1.4 mm. The fabricated FEM showed the gain of 21dB, ACPR of less than -31dBc first side lobe and Less than -59dBc second side lobe and the output power of 23Bm at P1dB.

Key words: Multilayer, LTCC, FEM, WLAN, front-end module, wireless

1. 서 론

최근 무선 통신 부품의 추세는 모바일 기기의 보편화에 맞추어 소형화와 고성능화, 저전력화, 저가격화에 초점이 맞추어지고 있다. 무선 통신 시스템에서 사용하는 주파수가 갈수록 올라가므로, 구성할 수 있는 회로의 한계가 작아지고 있어, 부품의 소형화에 대한 요구가 더욱 증가하고 있다. 전자부품의 소형화 요구에 대한 방안으로 적층형 모듈이 각광을 받고 있다. 적층형 모듈 형태의 구조를 SOP(System-on -package) 개념에 적용하여 설명이 가능하다. 저항, 인덕터, 캐패시터 같은 수동

*Corresponding author
E-mail: fire6815@hanmail.net

소자들을 내장시킨 단일 패키지 위에 Digital, RF, Optical 시스템까지 단일 모듈상에 집적시키는 것이 SOP이다. 이런 기술은 MCM(Multi Chip Module) 기술로서 소형화된 모듈 제작이 가능하고, 전기적 성능의 극대화 및 신뢰성 향상 등의 효과가 있다. 이러한 MCM 기술을 대표하는 기술 중 하나가 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) 기술이다. LTCC 기술은 주로 유리와 세라믹을 혼합하여 종이보다 얇은 형태로 만든 그린 시트 위에 단순 전극이나 소자의 역할에 맞도록 금이나 은, 구리 등과 같은 금속을 입히고 여러 층으로 쌓아 동시에 소성하여 하나의 모듈을 만드는 기술이다. 이 기술은 2차원 평면상에 제작되어온 기존의 소자들을 다수의 세라믹 층을 적층시켜 3차원으로 제작하여 부품의 소형화 및 다기능화를 이룬 것이 특징이다. 적층형 모듈 내부에 수동소자들을 대부분 내장시킬 수 있다[1,2].

일반적인 이동통신 단말기에 사용되는 FEM (Front-end Module)은 송수신 IC와 안테나 사이에서 사용되는 부품이다. FEM은 송수신을 구분하기 위한 스위치, 송신신호의 증폭을 위해 전력증폭기와 수신신호의 선택도를 위해 대역통과필터를 포함 한다[3].

본 논문에서는 2.4GHz 무선랜 대역의 FEM을 그림 1과 같은 구성으로 제작하였다. 크게 LTCC 모듈과 스위치 IC, 전력증폭기 IC로 구성된다. 송신단은 송신신호를 증폭시키는 전력증폭기 모듈(PAM)과 저역통과필터가 직접 연결되고 스위치를 통해 안테나와 연결되는 구조를 가진다. 수신단은 안테나를 입력으로 하고 스위치를 통한 후 대역통과필터를 거치는 구조를 가진다. 본 논문에서는 MAXIM사의 MAX -2247 2.4GHz SiGe 선형 전력증폭기를 사용하였다.

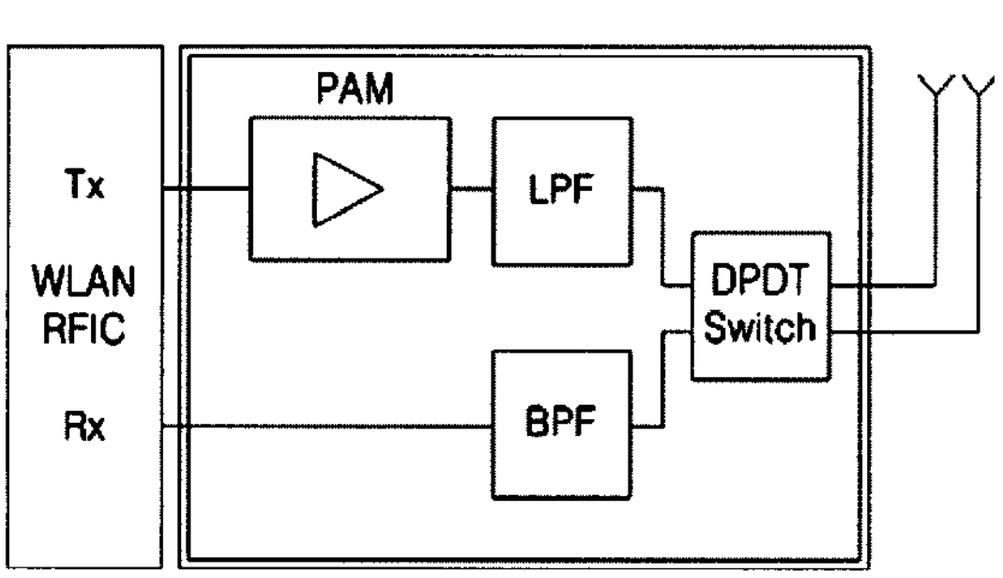


Fig. 1. Schematic diagram of WLAN FEM

2. LTCC FEM의 설계

2.1. LTCC FEM의 구성

사용된 LTCC은 유전율 9, 손실 계수는 0.005이다. LTCC 재료의 유전율(εr)과 유전손실 특성(Tanδ)의 주파수 의존도를 Ring resonator제작을 통하여 측정하였다. 1GHz 대역의 기본 공진을 갖는 50ohm 특성 임피던스의 Ring pattern을(선폭 300 μm, 반지름 20 mm) LTCC 기판상에 인쇄하여 15GHz 대역까지 공진 특성을 측정하여 유전율 과 유전손실 특성을 추출 하였으며, 그림 2와 같은 결과를 나타내었다[4].

FEM의 LTCC 모듈의 구성은 ① 모듈의 표면 층에 전력증폭기와 스위치 IC를 올리기 위한 패드 부분, ② 송신단의 PA를 위한 출력 매칭회로 부분, ③ 고조파의 상호간섭에 대한 대역저지를 위한 저역통과필터, ④ 수신신호의 선택도를 높이기 위한 대역통과필터로 구성되었다.

제안된 FEM은 4.5 mm×3.2 mm×1.4 mm의 크기를 가지고 있다. LTCC 모듈에 대한 3D 구조를 그림 3에서 나타내었다.

전력증폭기 IC는 BGA 타입으로 기판 표면에 Reflow 공정을 통해 연결하였고, DPDT 스위치는 금속 페이스트를 통해 LTCC 기판 표면에 부착하였고, 스위치의 패드와 각 신호선에 해당하는 패드는 와이어 본딩을 통해 연결하였다.

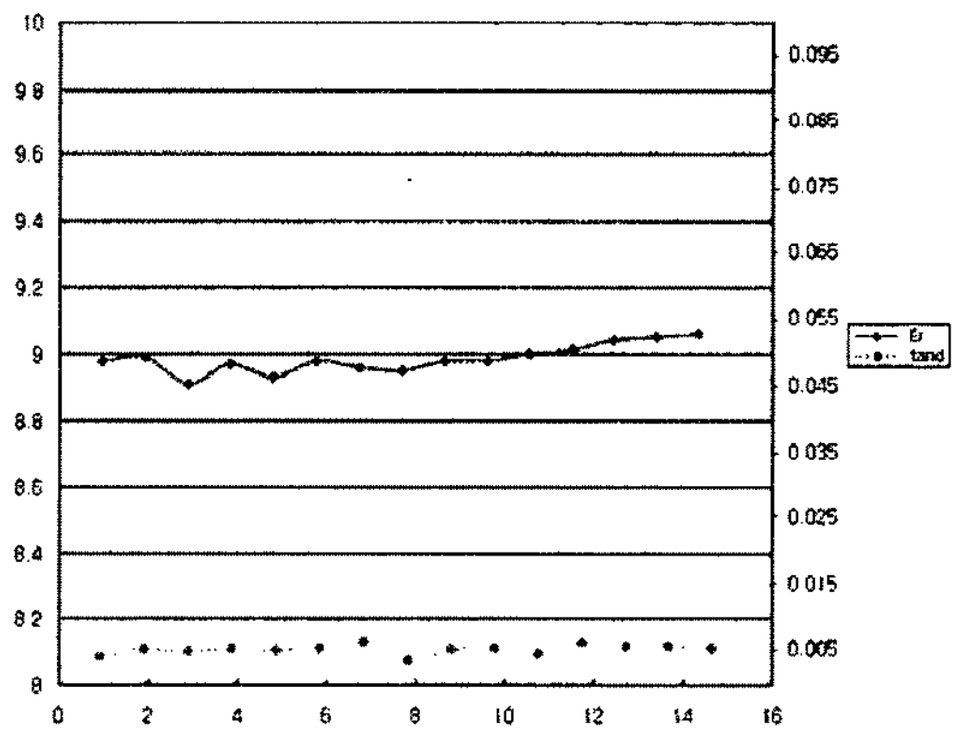


Fig. 2. Dielectric constant and loss tangent graph of an used LTCC

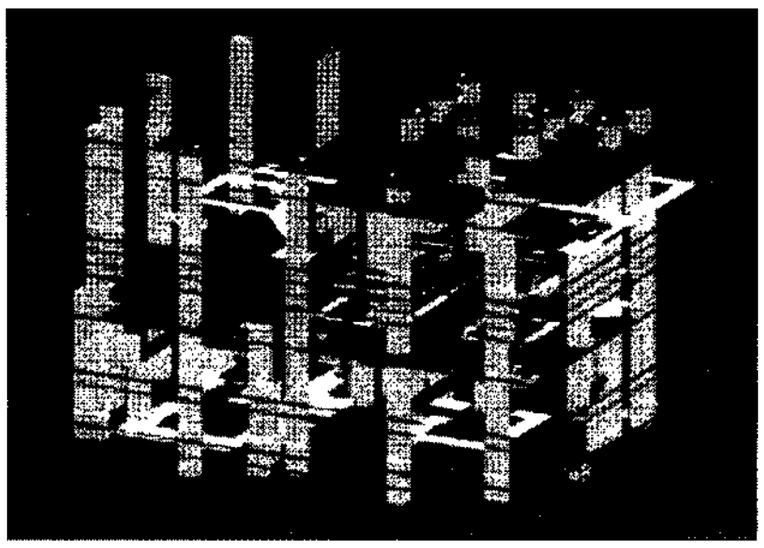


Fig. 3. 3D structure of implemented LTCC FEM

전력증폭기는 회로 중에 가장 발열량이 높아 발열로 인해 LTCC 모듈에 악영향을 줄 수 있다. 따라서 열방출을 위한 Heat Sink가 필요하다. LTCC 모듈에서 전력증폭기가 위치하는 부분의 바로 아래층에 Ground 평면을 넣어 전력증폭기에서 발열되는 에너지가 Ground를 타고 LTCC 모듈 바깥으로 나갈 수 있도록 하였다.

3.2. 출력 매칭회로의 설계

본 논문에서 사용한 IC는 일반적인 PA와 같이 입력 매칭 회로가 MMIC에 내장되어 있는 타입으로 출력 매칭 회로만을 모듈 기판 내부에 구현하였다.

3D 적층 공정의 회로설계에서 가장 중요한 것은 모듈에 구현이 가능한 소자들의 조합이다. 협소한 공간에 전자기 현상을 이용하는 소자들을 내장해야하기 때문에 내장된 소자와 소자 사이에 기생성분들이 발생할 수 있다. 소자의 용량값은 가용주파수와 유전체의 유전율과 두께, 그리고 패턴의 면적과 밀접한 관계를 가진다. 이는 3D 구조에서 주파수에 따라 패턴의 해당 면적이 가지는 수치가 변화하기 때문에 L, C 같은 소자를 제작할 때 기생 성분이 발생하고 이 성분으로 인해 원하는 소자 값이 다른 값으로 변형된다.

본 논문에서는 출력 매칭 회로를 LTCC로 구현하기 위해서 PCB 보드를 기반으로 Lumped 소자들로 구성된 회로에서 매칭 파라미터를 추출하는 방법을 사용하였다. 초기설계는 MAXIM사에서 제공하는 MAX2247의 Evaluation Kit를 참고하여 PCB를 기반으로 하는 모듈을 제작하였다. PCB 기반의 모듈에서 매칭 회로가 가지는 출력 매칭 임피던스를 추출하고, 해당 값을 LTCC에서 구현할 수 있는 소자 값들의 조합으로 재구성하였다. 그림 4에서는 PCB 모듈에서 출력 매칭 임피던스를 추출하는 메커니즘에 대해 나타내었다.

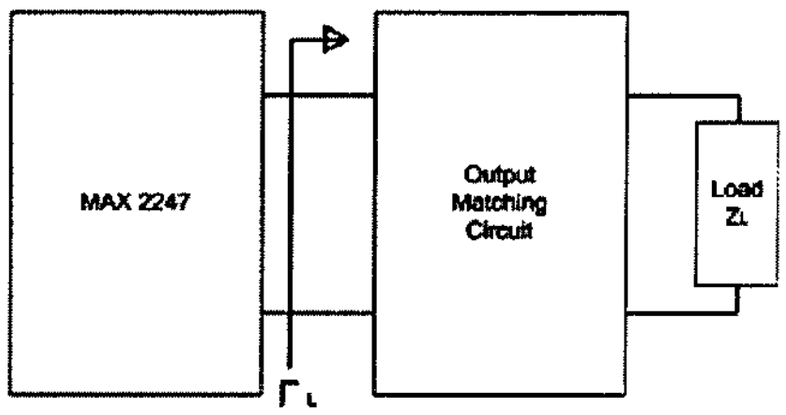


Fig. 4. Schematic diagram for output matching circuit parameter acquisition

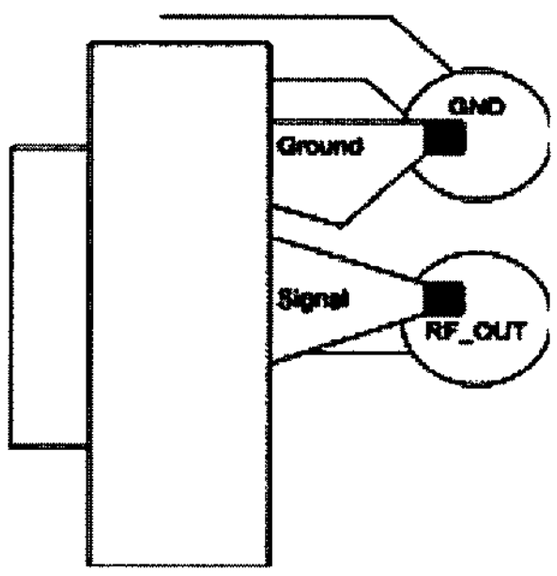


Fig. 5. GS Probing system for input impedance measurement of PCB module

매칭 임피던스는 PCB 모듈에서 PA IC를 제거시키고, PCB 모듈에서 RF_OUT에 해당하는 IC 패드에 대해서 GS(Ground-Signal) Probe를 사용하여 네트웍 분석기로 측정하였다(Anritsu ME7808A (40MHz~110GHz)).

측정 결과를 표 1에 나타내었다. 측정 결과들의 평균값이 5.6 + j6.3이다. 추출된 값의 평균값을 이용하여 회로를 재구성하였고, 그림 5에 나타내었다[5].

그림 6의 재구성된 회로는 이상적인 소자로 구성되었다. 3D 구조로 제작할 때 발생 가능한 기생성분을 회로 구조상에서 먼저 대입하여 최적화시키는 방법을 사용하였다. 기생성분을 고려하여 그

Table 1. Return loss from IC RF_OUT to output port

	#1	#2	#3	#4	#5
S_{11}	6.4 + j5.2	5.7 + j6.2	5.5 + j6.5	5.7 + j6.5	5.6 + j7.0

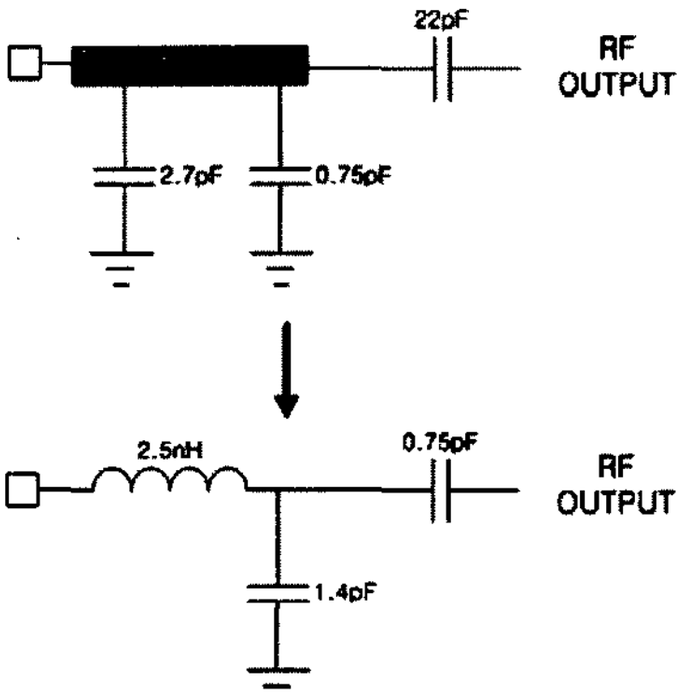


Fig. 6. Equivalent circuit diagram for transforming from PCB to LTCC

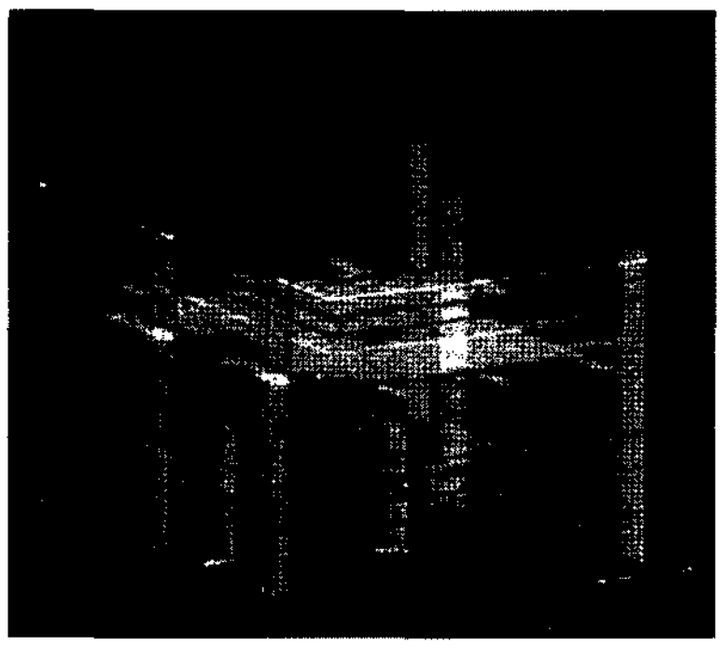


Fig. 7. 3D structure of output matching circuit

림 7과 같이 3D 구조로 설계하였다.

그림 8에서는 PCB 모듈에서 추출한 파라미터(Reference)를 비롯하여 이상적 소자로 재구성한 회로의 시뮬레이션 결과(variation), 기생성분을 고려한 3D 구조로 시뮬레이션한 결과(match_opt), 실제 제작된 출력 매칭 회로에 대한 측정 결과(LTCC1_1)에 대해 스미스차트를 통해 나타내었다. 초기에 측정했던 PCB 기반 모듈의 출력 매칭 임피던스가 5.6+j6.3 이었고, 실제 측정값이 약 5+j3.9 정도의 값이 나왔다. 수치적 차이는 약 0.6+j2.4 정도이다. 시뮬레이션 값과 실제 제작한 측정값과의 차이는 기판의 두께나 물질의 유전율 같은 물리적 정보에 대해서 입력한 값과 실제 정확한 값의 차이에 의한 것으로 판단된다.

2.3. 송신단의 저역통과필터 설계

Tx단의 저역통과 필터는 송신단 증폭신호의 고조파 성분의 상호간섭 제거를 위해 필요하다. 따

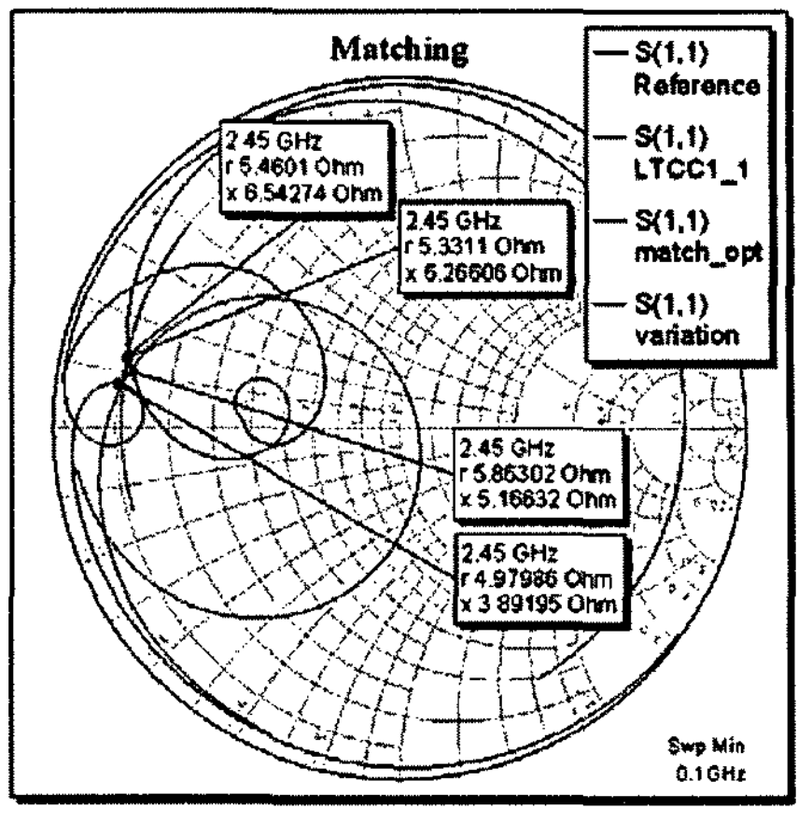


Fig. 8 Output matching circuit input impedance comparison between simulation and measurement (2GHz~3 GHz)

라서 차단 주파수를 FEM의 통과대역의 상한인 2.5GHz로 설정하고, 필터의 Transmission zero를 중심주파수의 두 배인 4.9GHz로 설정하였다. 초기 설정은 일반적인 3차 저역통과필터로 하였다. 필요대역에 대한 감쇄를 위해 통과주파수에서는 인덕터의 값을 유지하면서 감쇄대역에서는 공진주파수가 되는 값을 찾아 기존의 형태를 변환하였다. 그림 9에서 변환된 저역통과필터에 대하여 나타내었다.

그림 10는 설계한 저역통과필터의 3D 구조를 나타낸다. 중앙에 있는 Ground는 저역통과필터와 대역통과필터 사이에 있다. 저역통과필터는 PAM의 출력의 선로와 연결되기 때문에 인접한 공간에 배치하였다.

2.4. 수신단의 대역통과필터 설계

수신단의 대역통과필터는 안테나로 들어온 신호를 선택도를 확보하기 위해 사용되었다. 송신단

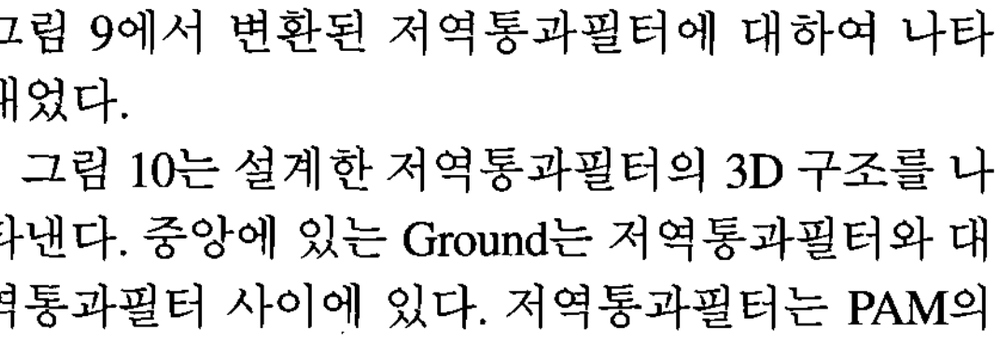


Fig. 9. Modification of LPF for making stop band

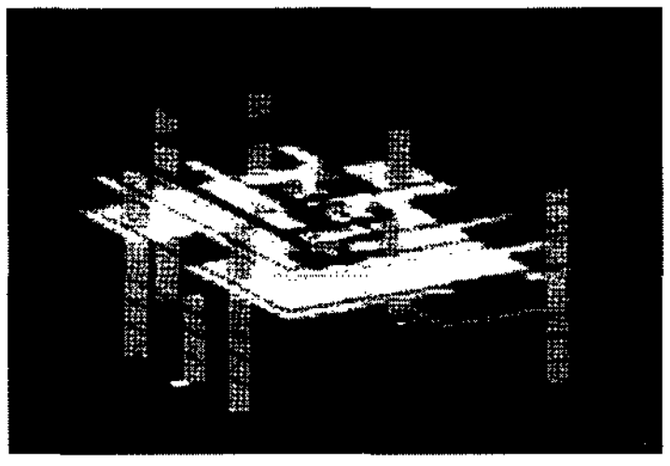


Fig. 10. 3D structure of LPF with attenuation about specific band

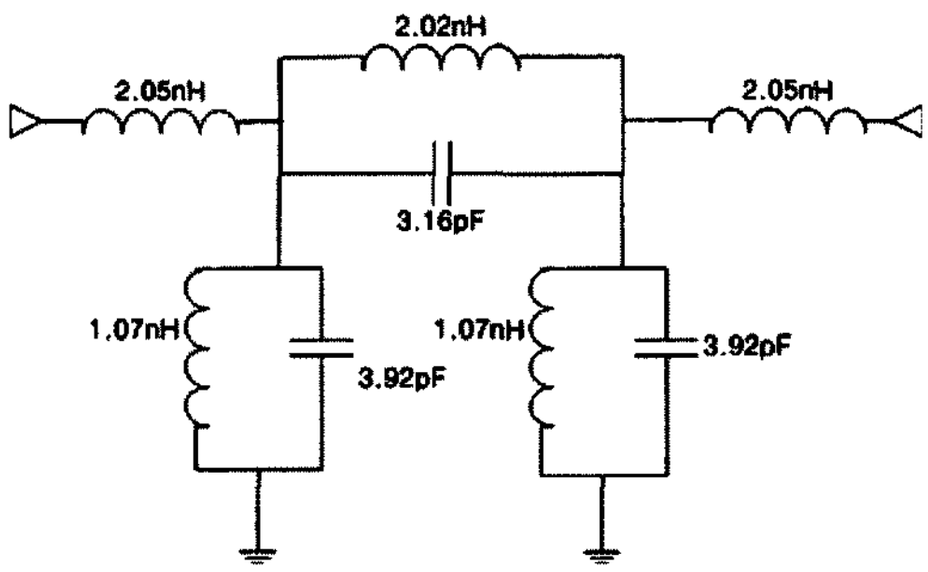


Fig. 11. The equivalent circuit of BPF used λ/4 resonator

의 저역통과필터가 단순한 L, C 공진기의 구조로 이루어진 것에 비해 대역통과필터는 combline 구조를 이루고 있고 등가회로는 그림 11에 나타내었다[6]. 제작을 위해 이상적인 대역통과필터의 구조에 필요대역에 대한 감쇄를 위해 저역통과필터와 같이 병렬 공진기를 추가하였다.

제작된 필터에서 병렬로 접지된 공진기는 전자계 결합을 이루는 두 개의 λ/4 결합선로로 변환한 것과, LC 공진구조를 갖는 인버터로 구성된다. 인버터는 이미지 신호와 국부발진기 신호와의 간섭을 줄이기 위해 2GHz 대역에 대한 Transmission zero를 역할을 한다. 그림 12에서는 FEM에서의 3D 구조의 필터를 나타내었다.

5. 측정 결과

제작된 FEM의 필터들의 특성을 네트웍 분석기를 통하여 측정하였다. 각 필터 고유의 성능을 관찰하기 위해 스위치를 거치지 않고 모듈내에 내장한 상태에서 측정하였다. 그림 13에서 필터 각각의 삽입손실 및 반사손실에 대한 그래프를 나타내

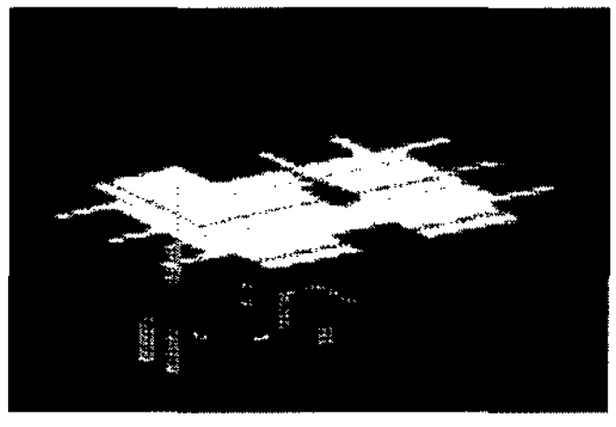
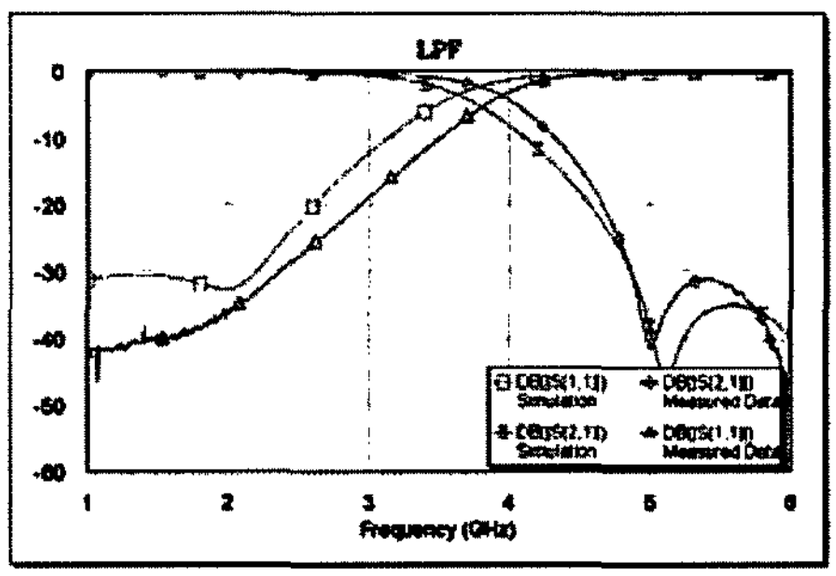
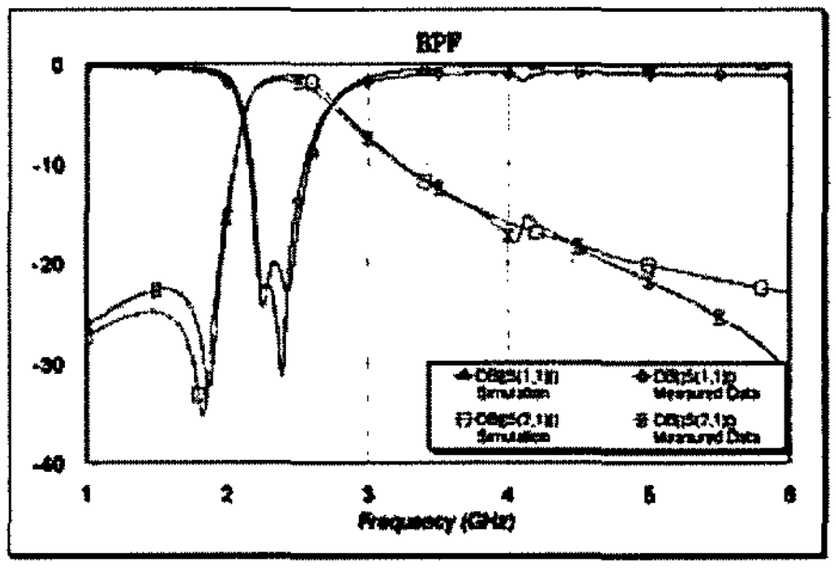


Fig. 12. 3D structure of combline BPF



(a)



(b)

Fig. 13. Simulated and measured performance characteristics of fabricated (a) LPF and (b) BPF

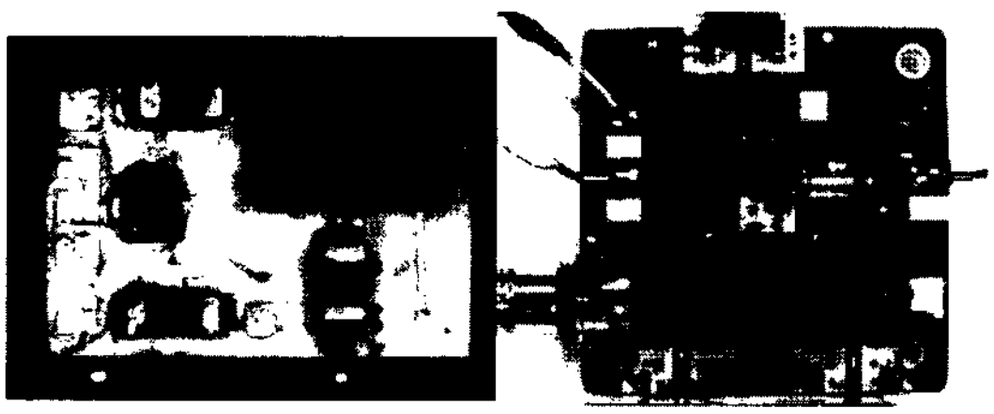
었고, 그 특성은 표 2를 통해 나타냈다.

송신단의 전체적인 특성을 확인하기 위해 저역통과필터는 PAM과 연결시킨 후 전력증폭기 IC 및 스위치를 연결하여 측정하였다. 전력증폭기의 구동 전원은 3.3V이고 DPDT 스위치는 2.8V이기 때문에 전원간 혼선 및 RF 신호와 DC와의 교차를 막기 위해 LTCC 모듈 위에 캐패시터를 실장하였다. 측정을 위하여 제작된 FEM을 PCB에 부착한 것을 그림 14에 나타내었다.

FEM의 송신단의 이득은 20.75dB, P1dB는 +23 dBm으로 측정되었다. ACPR은 2.4GHz 무선랜 대

Table 2. Measured performance of LPF and BPF

	주파수	Tx LPF	Rx BPF
삽입손실 (S21)	2.4~2.5GHz	-0.46dB MAX	-1.59dB MAX
반사손실 (S11)	2.4~2.5GHz	-13.83dB MIN	-26.1dB MIN
감쇄정도 (S21)	Lowpass filter (4.8~5GHz)	-42.6dB MIN	
	Bandpass filter (1.91~2.1GHz)	-17.8dB MIN	



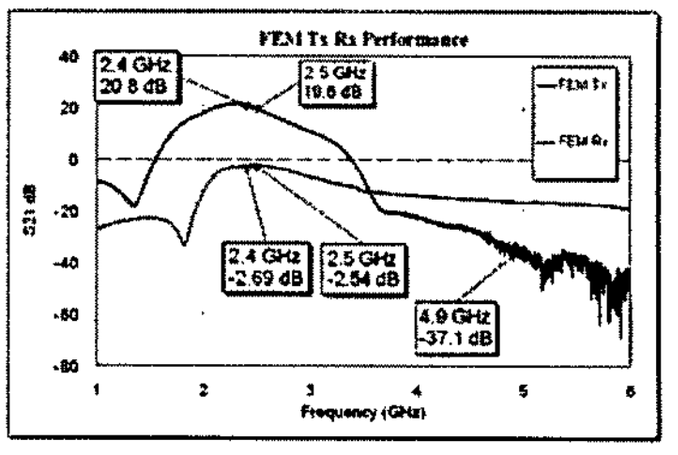
(a) (b)

Fig. 14. The LTCC module (a) overall view (b) PCB module for measurement

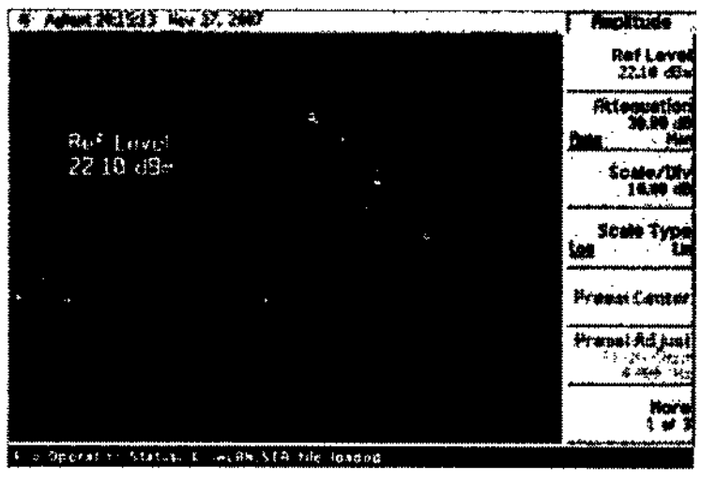
역의 마스크 표준인 -30dBr (1st side lobe), -50dBr (2nd side lobe)의 범위 이내를 만족하였다. 또한 저역통과필터의 저지대역인 4.9GHz에 대해 -37dB의 높은 감쇄특성을 확인하였다.수신단의 대역통과필터 특성은 스위치의 연결 후 특성이 저하되었다. 원인은 스위치의 본딩 와이어의 손실 등으로 판단하였다. 그림 15은 FEM의 성능을 그래프로 나타내었다. 표 3의 측정 결과는 측정 PCB의 손실(0.4dB)을 감안하여 측정 결과에 대해 반영한 수치이다.

Table 3. Measured results of FEM performance (Tx, Rx)

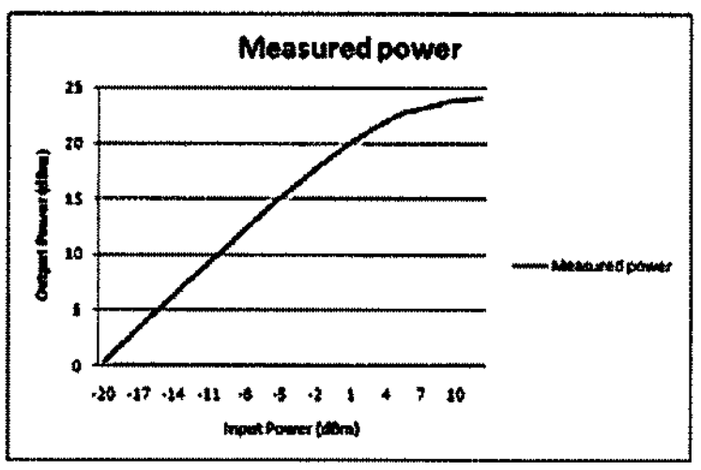
		측정 결과
Tx	이득	21.1dB MAX
	ACPR	1st side lobe : -31dBc 2nd side lobe : -59dBc
	P1dB	+23dBm
	고조파 저지특성	-37.1dB
Rx	삽입손실	2.29dB MAX
	반사손실	16dB MIN



(a)



(b)



(c)

Fig. 15. FEM performance (a) Insertion loss of Tx and Rx, (b) WLAN modulation signal from spectrum analyzer, (c) measured power graph

3. 결 론

본 논문에서는 무선통신 부품의 추세인 소형화 및 고성능화에 초점을 맞추기 위해 LTCC 공정을 이용한 2.4GHz 무선랜 대역의 FEM을 제작하였다. MAXIM사의 MAX2247 전력증폭기 IC를 송신단의 증폭기로서 사용하였고, 이에 대한 매칭 회로 및 고조파를 제거하기 위한 저역통과필터와 수신단의 대역통과필터가 LTCC 모듈 내로 내장되었다. DPDT 스위치는 와이어 본딩을 이용하여 안테나 포트와 Tx, Rx 단의 입출력 사이를 연결시켰다. 모듈의 크기는 PCB 모듈에 비해 획기적으로 작은 4.5 mm×3.2 mm×1.4 mm이다.

FEM의 측정 결과 수신단의 대역통과필터의 삽입손실 및 반사특성의 성능이 저하되었고, 이는 대칭 구조의 필터에 입출력 선로의 불균형 및 스

위치 통과에 따른 것으로 판단한다. 송신단의 특성은 이득이 21dB, ACPR은 1st side lobe가 -31dBc, 2nd side lobe가 -59dBc로 무선랜 마스크 범위 이내를 만족하였다. P1dB는 +23dBm으로 만족스러운 선형적인 특성을 확인하였다. 수신단의 대역통과 필터에 대한 특성 개선의 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Rao R. Tummala, "Fundamentals of Micro -systems Packaging", McGraw-Hill, 2001
2. 김지영, "LTCC를 이용한 무선통신 부품 설계 기술," MCT-net 기술동향분석정보, 2005
3. 김봉수, 변우진, 김광선, 은기찬*, 송명선, "고집적 송수신기를 위한 밀리미터파 LTCC Front-end 모듈", 韓國電磁波學會論文誌 第17 卷 第11 號, pp. 967 - 975, 2006年 11月
4. D.I. Amey and J.P. Curilla, "Microwave properties of ceramic materials," *IEEE Electronic Components and Techonology Conf., pp.267-272, May 1991.*
5. Jong In Ryu, Dongsu Kim, Hyun Min Cho, and Jun Chul Kim, "Implementation of a WLAN Front-End Module with a Power Amplifier", in Proceedings of the Asis Pacific Microwave Conf., vol. 1, 2007.
6. Dongho Kim, Chongdae Park, Junchul Kim, and Namkee Kang, "Design and Fabrication of Dual-BPF Using LTCC for WLAN Applications," International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, 2007