

A Study on the Rx/Tx Switch Module with integrated Low Pass Filter

金寅性[†] · 宋在成^{*} · 閔馥基^{*} · 鄭舜鍾^{**}
 (In-Sung Kim · Jae-Sung Song · Bok-Ki Min · Soon-Jong Jeong)

Abstract - This paper focuses on the design for Rx/Tx switch module of GSM(global standard mobile) band, characterization of a miniature, low power and dual-band implementation of the front-end switch module with low-pass filter. And the effort to make agreement between the simulated design and the measured data for these solutions takes the place through accumulated design and manufacturing data library. We present the design, modeling and measurement of switch module integrating GSM Rx/Tx switching circuit and LPF(low pass filter) on a LTCC(low temperature co-fired ceramic) substrate. For GSM application, insertion and return loss of the low pass filter designed was less than 0.3 dB which was less than 12.7 dB at 900 MHz. The LTCC switch module contained 10 embedded passives and 3 surface mount components integrated on 4.6×4.8×1.2 mm, 6-layer multi-layer integrated circuit. The insertion loss of switch module measured at 900 MHz was 11 dB. In both of the design approach yielded excellent agreement between measured and simulated results.

Key Words : 집적화, Rx/Tx, 스위치 모듈, Low Pass Filter, 송수신 소자, 후막 유전체, LTCC

1. 서 론

이동통신 분야에서는 기기의 다중밴드 사용 및 다기능화의 요구에 따라 부품의 수가 증가하고 있어서 소형화 및 집적화한 소자의 개발과 새로운 재료에 대한 적용 요구가 커지고 있다. 이에 따라 기존의 수동부품을 집적화하여 초소형 모듈을 구현하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다[1]. 그중에서 특히 부품의 단일화 및 집적화를 위해 세라믹 소재를 사용하고 LTCC(low temperature co-fired ceramic) 공정을 이용하여 고주파단이 하나의 모듈로 고집적 구현되는 SOP(system on package) 집적모듈 개발에 대한 관심이 높아지고 있다[2]. 다층의 LTCC 기판에 수동소자를 집적화하는 3차원 적층회로 설계 기술은 소자 전체 크기와 공정을 감소시키며, 고집적 단일모듈 제작을 가능하게 한다[3].

본 연구에서는 GSM(global system for mobile) 타입 주파수 대역에서 이동통신 기기에 필요한 초소형 송·수신용 스위치 모듈(Rx/Tx switch module)을 ADS(agilent technol-

ogies advanced design system)를 이용하여 회로 설계하였으며, 이를 구현하기 위하여 다층 레이어 구조로 디자인하였다. 다층 레이어는 세라믹 저온소결 공정(LTCC)을 이용하여 시험품으로 구현하였으며, 주변 회로를 구성하는 수동소자는 레이어 내부에 집적화 함으로써 부품의 크기, 면적, 공정을 감소시키기 위한 가능성을 구체적으로 제시하였다. 또한 송·수신 스위칭 회로에 저주파통과필터(LPF : low pass filter)를 다층 레이어에 집적화하여 하나의 모듈로 구성함으로써 초소형, 고집적의 송수신 스위치 모듈을 구현하여 제시하였다.

2. 본 론

2.1 적용회로

GSM 통신 방식은 현재 유럽에서 사용하고 있는 이동통신 방식으로서 코드분할 다중접속방식을 사용하는 우리나라의 CDMA(code division multiple access) 2000이나 PCS 등과는 달리 시분할 다중접속방식(TDMA : time division multiple access)을 이용하여 통신한다. 900 MHz 대역의 주파수를 사용하고 있으며, 통신을 위해서 안테나의 후단에 연결되는 송·수신 스위칭 모듈이 필요하다. 이 스위칭 부품은 안테나의 신호를 수신하는 수신모드(Rx mode)와 단말기의 신호를 송신하는 송신모드(Tx mode)를 스위칭 하는 소자이며, 단말기의 수신단과 송신단이 하나의 안테나를 공유하기 위한 것이다. 이때 GSM 방식의 수신 주파수 대역은 925~960 MHz이고 송신 주파수 대역은 890~915 MHz 이

† 교신저자, 正會員 : 한국전기연구원 전자기소자연구그룹
 선임연구원 공학박사
 E-mail : kimis@keri.re.kr

* 正會員 : 한국전기연구원 전자기소자연구그룹 공박

** 正會員 : 한국전기연구원 전자기소자연구그룹 공박
 接受日字 : 2005年 3月 9日
 最終完了 : 2005年 3月 28日

다. GSM 방식의 스위칭 회로는 바이어스 전압제어에 의해서 Vc가 On이면 송신모드로 동작하고 Vc가 Off이면 수신모드로 동작한다. 즉 시간 슬롯(time slot)에 의해 제어 전압이 인가되면 다이오드에 순방향 바이어스가 걸려 On 상태가 되어서 송신단에서 안테나로 신호를 보내게 된다.

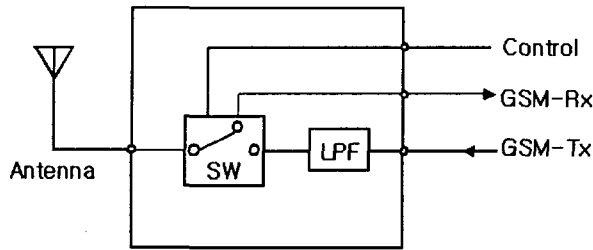


그림 1 송·수신 스위치 모듈의 블럭 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of Rx/Tx switch module

바이어스 전압의 인가가 중지되면 스위칭 회로의 다이오드가 차단상태가 되어서 안테나에서 수신단으로 신호를 받아들이게 된다. 스위칭 회로의 송신단은 LPF(low pass filter)와 연결되는데 이 필터는 GSM의 주파수대역을 갖는 신호가 잘 통과 하도록 걸러주는 필터 역할을 한다. 바이어스의 제어는 TDMA방식을 사용하는 GSM의 특성에 따라 시간에 의해서 제어된다. 즉, 일정한 시간 간격에 따라 바이어스의 On/Off를 번갈아가며 반복적으로 실행함으로써 GSM 방식의 단말기가 수신모드와 송신모드로 반복해서 동작하여 한번은 신호를 받고 한번은 신호를 보내게 한다. 이러한 원리를 이용해 하나의 안테나로 송신모드와 수신모드를 함께 사용할 수 있다. 그림 1에 안테나를 포함한 송·수신 스위치 모듈의 블럭 다이어그램을 나타내었다.

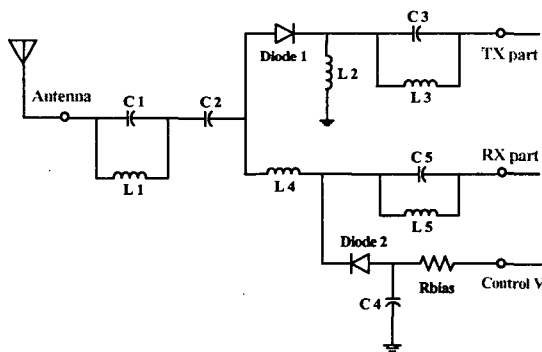


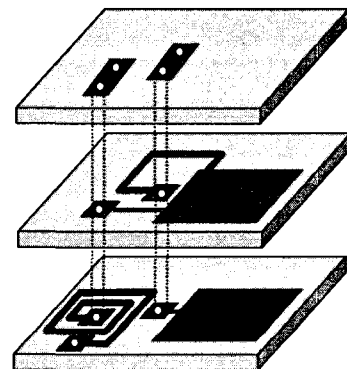
그림 2 고주파 스위치 모듈의 전체 회로도
Fig. 2 Circuit of RF switch module

본 연구에서 설계하여 적용한 스위치 모듈은 기존의 GSM 송·수신 스위칭 회로와 저주파 통과필터를 합쳐 하나의 모듈로 구성하였다. 그림 2는 본 연구에서 송·수신 스위치 모듈의 전체 회로도이다. 모듈을 GSM 이동통신기에 응용하기 위해 바이어스는 DC 전압 2 V에 10 mA의 전류가 흐르도록 하였고, 송신단에 900 MHz 통과 필터 역할을 하는 L-C회로를 설계하여 적용하였다. 회로에서 C1과 L1은 스위치 모듈의 감쇠 특성과 관련되어 소자의 용량 값이

커지면 신호가 감쇠를 하여 주파수가 낮아진다. L-C 공진회로의 공진주파수는 2.3 GHz로 설계하였다. C2는 값이 작아지면 수신모드의 전송특성은 좋아지지만 송신모드의 삽입손실을 증가시키므로 시뮬레이션을 통해서 최적의 값을 찾았다. Diode1과 Diode2는 바이어스의 On/Off에 따라 도통/차단 상태가 된다. Diode2와 직렬 연결된 Rbias은 바이어스 저항으로 모듈에 흐르는 전류를 제어하므로 2개의 PIN 다이오드를 사용하는 것으로 설계하였다.

2.2 LPF 디자인 및 시뮬레이션

LTCC 공정의 특성과 소자의 위치 배열, 전체 크기를 고려하여 L-C 필터를 모델링하여 레이어로 그림 3에 나타내었으며, 후술하는 시뮬레이션 결과에서 모델링한 필터의 인덕터는 그라운드와 거리를 멀게 함으로써 손실을 줄일 수 있었다. 스위칭 회로와 함께 모듈에 집적화한 저주파 통과 필터는 900 MHz의 신호는 잘 통과하게 하고, 1.8 GHz의 신호는 통과하지 못하도록 설계하였으며, 필터의 시뮬레이션 결과는 그림 4에 나타내었다. 시뮬레이션 결과 저주파 통과 필터는 최대 0.3 dB의 삽입손실과 최소 12.7 dB 반사 손실을 갖는 것으로 조사되었다.



■ : conductor, ○ : via, □ : LTCC substrate

그림 3 저주파 통과필터의 3차원 레이아웃
Fig. 3 3D lay out of low pass filter

그림 5와 (a)에 송신 모드, (b)에 수신모드의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 송신모드 시뮬레이션 결과로써 GSM 방식의 송신 주파수 대역인 890~915 MHz 에서 삽입 손실은 최대 2.7 dB이고, 송신단과 수신단의 isolation은 최소 18 dB 이었다. 스위치 모듈의 전체 회로도에서 L2와 L4의 인덕턴스를 큰 값으로 설계하면 송신모드에서의 전송특성을 향상시켜 삽입 손실을 줄일 수 있으나, 그 경우 수신모드 전송 특성이 떨어지므로 송·수신 모드의 삽입 손실을 모두 고려한 최적의 값을 시뮬레이션을 통해서 찾을 수 있었다. 그림 5의 (b)에서 안테나로부터 신호를 받는 수신모드로 동작할 때의 삽입 손실은 0.6 dB이고 반사 손실은 10.5 dB이다. 전체 회로도에서 C1과 L1로 이루어진 L-C 공진회로와 C2 사이에 바이패스 커패시터를 삽입하면 수신모드에서 2 GHz대역의 신호를 좀더 감쇠시킬 수 있도록 디자인하였다.

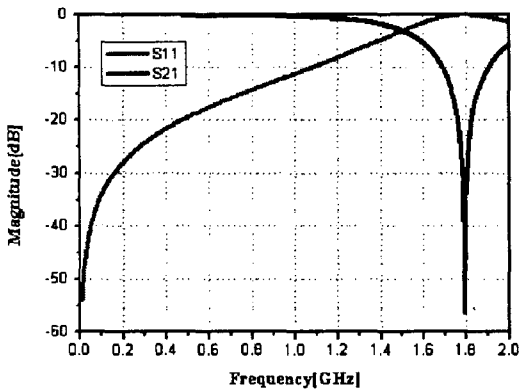
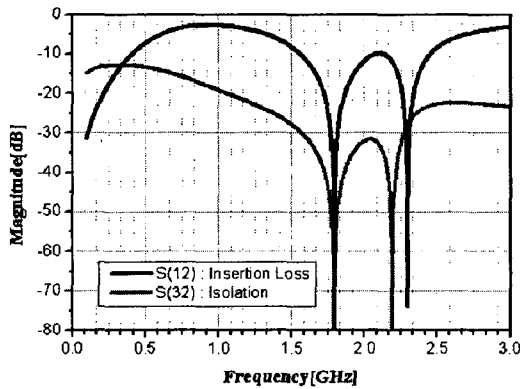
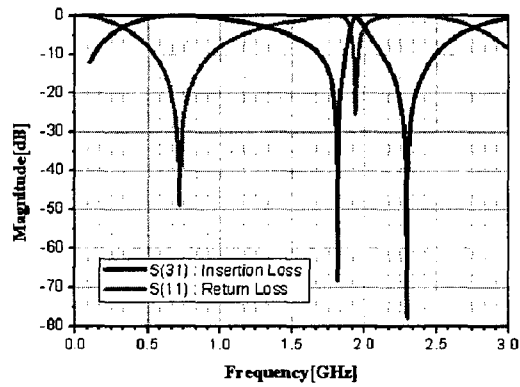


그림 4 저주파 통과필터의 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulated result of low pass filter



(a) 송신 모드



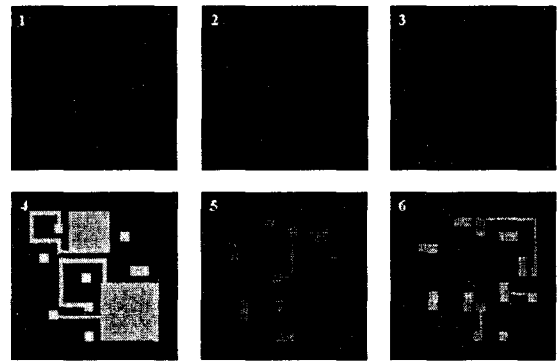
(b) 수신 모드

그림 5 송/수신모드의 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulated result of Rx and Tx mode

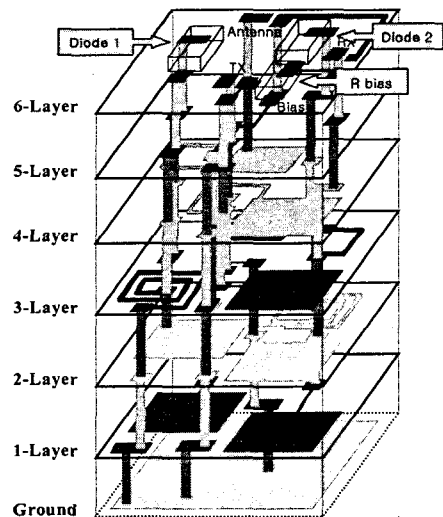
2.3 스위치 모듈의 레이아웃

LPF를 포함한 송·수신 스위치모듈 회로는 ADS를 사용하여 시뮬레이션 하였으며, 각각의 수동소자들은 LTCC 기술을 이용한 적층 공정을 통해 소자로 구현하기 위하여 각 층에 배열하고 전송선과 비아(via)의 위치를 결정하였다. 여기서 기판과 전송선에 관한 특성 임피던스 라이브러리는 공정과 소재의 정보를 공유하여 완성된 라이브러리를 활용하

여 레이아웃(layout)을 디자인하였다[5]. 디자인된 레이아웃은 스위치 모듈을 구현하기 위하여 모델링하였다. 그림 6은 LTCC 기판에 전송선과 비아 구현을 위한 도체 페이스트로 프린팅 할 패턴의 레이아웃과 비아의 3차원 모델링 형상이다. 모두 6층의 레이아웃으로 구성되었으며, 모듈의 레이아웃에 수동소자와 LPF가 내장되도록 설계하였다. 인덕터는 Q 값의 향상과 손실 저감을 고려하여 그라운드(ground) 레이어와 면쪽에 배치하였으며, 1~6층의 LTCC 기판에 스위치 모듈의 소자를 배치하고 전송선과 비아를 통해 전기적인 회로가 완성되도록 레이아웃의 단면을 디자인하였다. 그림 6 (a)에서 각각 레이어의 직사각형 부분은 LTCC 공정을 이용한 소자의 구현시 층간 회로 결선의 탈락을 방지하기 위하여 비아 주위에는 비아패드(via pad)를 형성시켜 소결시 결선이 끊어지는 가능성을 줄였다. 본 연구에서 내장한 LPF는 레이아웃인 C_1 , C_2 와 L_1 은 모듈의 3층과 4층에 위치하도록 하였으며, 최상위층에는 2개의 다이오드와 1개의 저항을 위치시켜 그림 6의 (b)와 같이 3차원으로 모델링하였다.



(a) 1~6 레이어 단면



(b) 비아로 연결된 3D 모델링

그림 6 RF switch module의 3차원 모델링
Fig. 6 3 D modeling of RF switch module

2.4 모델링 및 세라믹 공정

레이어 및 회로 기판으로 사용될 유전체의 층간 결선을 위해서 $130 \times 130 \mu\text{m}$ 비아를 만든 후 비아용 페이스트 은

(Ag)를 이용해서 층간 비아-홀을 채웠다. 비아-홀을 채움으로써 하부·상부 층이 비아를 통해 결선되게 하였으며, 특히 비아는 층간의 회로 연결과 특성 임피던스의 변화가 없어야 함으로 번짐이나 단선에 주의해야 할 매우 중요한 요소로 알려져 있다. 각 층의 내부 전극을 스크린 프린팅 기법을 이용하여 페이스트로 프린트하고, 그라운드는 1 층의 뒷면에 프린팅하였다. 내부전극 프린트가 완료되면 유전체를 1층부터 6층까지 레이어순으로 적층한 후 120 °C의 분위기에서 압착하여 6층으로 이루어진 모듈로 만든 다음 설계된 패턴에 맞게 절단하였다. 이후 유전체와 전극 등이 소손되지 않게 하였으며, 소결은 850~900 °C에서 진행하였다. 한편 크기와 부피가 현저히 달라 유전체 레이어의 내부에 실장하기 어려운 Rx, Tx PIN 다이오드와 저항은 위에서 언급한 레이아웃에 맞게 최상층에 위치하도록 하여 마이크로 솔더링으로 접착한 후 모듈을 완성하였다. 그림 7은 모델링된 모듈을 구현하기 위한 저온소결 세라믹 제조 공정을 나타낸 것으로 기판 유전체인 그린시트(green sheet)는 듀폰사 TCP L050S를 사용했다.

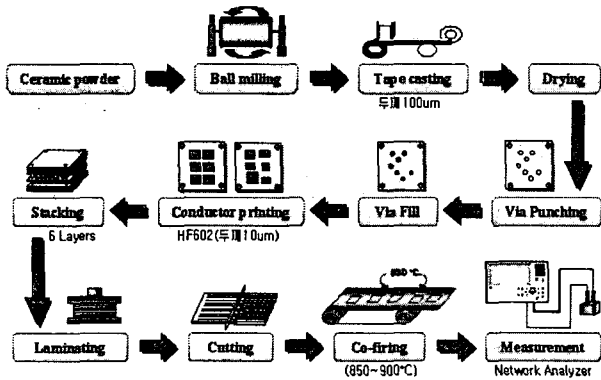


그림 7 스위치 모듈 제조 공정
Fig. 7 Process of LTCC for switch module

3. 결과 및 고찰

저온소결 세라믹 적층 공정을 이용하여 구현한 스위치 모듈의 크기는 소결 후 4.6×4.8×1.2 mm이고, 세라믹 기판형태의 3차원 적층 회로로 구성되었으며, 양호하게 소결되었다.

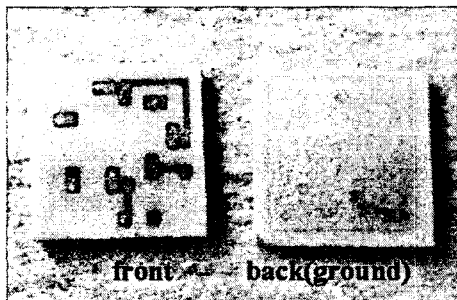
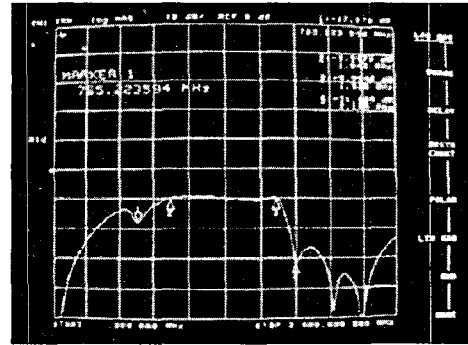
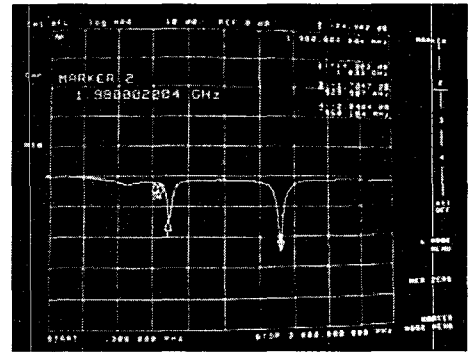


그림 8 세라믹 공정으로 완성된 시료
Fig. 8 Switch module manufactured by LTCC

그림 8의 좌측 사진은 다이오드와 저항을 솔더링하기 전 상태의 시료이며, 우측은 하단의 그라운드면을 보이고 있다. 소결 이후 저항과 다이오드를 각각 솔더링하여 시료를 완성하고 포로브 스테이션(probe station)에 피코 프로브(pico probe)를 결선하여 측정 하였다.



(a) 송신 모드



(b) 수신 모드

그림 9 송·수신모드의 전송특성
Fig. 9 Measured results of Tx and Rx mode

그림 9는 소결후 완성된 스위치 모듈에 다이오드와 저항을 결선하여 측정된 결과이다. (a)는 바이어스를 인가한 송신모드일 때의 전송 특성으로 900 MHz에서 11 dB의 삽입손실을 보였으며, 신호가 감쇠하는 주파수 대역이 시뮬레이션 결과보다 0.1 MHz 정도 이동한 특성으로 나타났다. (b)는 수신모드로 동작할 때의 S11 반사 특성의 측정 결과이다. 시뮬레이션에서는 0.8 GHz와 1.9 GHz에서 가장 낮은 값으로 산출되었으나 실제 세라믹 공정으로 제작한 스위치 모듈의 경우 1 GHz와 2 GHz에서 S11의 값이 최저로 떨어졌다. 송신모드와 유사하게 시뮬레이션 결과와 비교하여 감쇠나 반사특성이 약간 이동하는 결과로 나타났다. 삽입손실이 비교적 큰 것은 다이오드와 저항의 솔더링 및 결선과정에서 임피던스가 증가하여 나타난 것으로 판단되며, 또한 세라믹 소결공정에서 나타나는 수축율 변동에 의해 적용 주파수 대역의 미소한 이동이 있는 것으로 사료된다. 실제 초기 레이어의 크기를 디자인할 때 주어진 라이브러리에 의해 수축율이 9.3 ~ 10 % 정도를 고려하여 디자인하였다. 그러나 소결 공정후 측정된 수축율은 2~8 %의 정도로 나타났다. X-ray와 같은 투시 장비를 사용해서 레이어의 전송선 선폰

변화에 대한 특성 임피던스를 튜닝하여 디자인 할 필요성이 있으며[4, 6], LPF가 동시에 레이어로 모듈화되어도 Rx, Tx 스위칭 특성은 시뮬레이션 결과와는 다소 차이가 있지만 양호하였다.

4. 결 론

송·수신 부품을 집적화시키는 방안으로 저온소결 세라믹 공정을 이용하여 소자의 소형화, 고집적화, 단일화를 시도하였다. GSM 방식의 통신 기기에 응용 가능한 스위치 모듈을 설계하여 레이어로 3차원 디자인한 후 저온소결 적층공정으로 소자를 구현하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

저온소결 세라믹 공정을 이용해 GSM 송·수신 스위칭 회로와 저주파 통과 필터를 하나의 모듈로 단일화하였다. LTCC 기판에 3차원의 적층회로로 구현된 스위치모듈은 모두 6 층으로 구성되었으며, 크기는 4.6×4.8×1.2 mm이고, 11 dB의 삽입손실을 갖는 것으로 나타났다. 측정값이 시뮬레이션 결과와 비교하여 주파수 대역이 약간 이동한 특성을 보였지만 공정의 특성을 고려하여 수축률과 관련된 공정 오차를 정확히 보정한다면 주파수대역과 향상된 손실 특성을 기대할 수 있는 것으로 조사되었다. 송·수신 스위치모듈 회로를 구성하는 13 개 소자에서 10개의 수동소자를 저온소결 세라믹 적층 공정을 이용해 다층의 구조에 집적화 하였으며, 2개의 다이오드와 저항을 최상위층에 실장하여 소형화, 고집적화, 단일 모듈화를 시도하였다.

참 고 문 헌

- [1] Anton de Graauw, Carlo Copetti, Wim Weekamp, "A new thin film passive integration technology for miniaturisation of mobile phone front end modules", IEEE MTT-S Microwave Symposium Digest., vol.3, pp.1925-1928, 2000
- [2] Albert Sutono, Deukhyoun Heo, Yi-Jan Emery Chen, Joy Laska, "High-Q LTCC-based passive library for wireless system-on-package (SOP) module development", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.49, pp.1715-1724, 2001
- [3] Jyh-Wen Sheen, "LTCC-MLC duplexer for DCS-1800", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol.47, pp.1883-1890, 1999
- [4] Rodolfo Lucero, Wasiem Qutteneh. Anthony PAVIO, David Meyers, John Estes, "Design of an LTCC switch diplexer front-end module for GSM/DCS/PCS applications", IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, pp.213-216, 2001
- [5] 박철순, 이영철, "ICU LTCC 라리브러리 및 디자인 룰" LTCC RF 응용 및 설계, pp. 65-91, 2003
- [6] Andriy Kryshypin, Alexander Chemyakov, Konstantin Markov, Denys Orlenko et., al, miniature LTCC-integrated PIN-Diod Switches for 2.4 and 5 GHz Bluetooth and wireless-LAN Application, ECWT 2003 pp. 1~4, 2003.

저 자 소 개



김 인 성 (金寅性)

2003년 부산대 대학원 전기공학 (박사)
 현재 : 한국전기연구원 전자기소자연구그룹 선임연구원
 관심분야 : 고주파 소재, RF 디바이스, 강유전체 박/후막
 E-mail : kimis@keri.re.kr



송 재 성 (宋在成)

1991년 KAIST 전자재료 (박사)
 현재 : 한국전기연구원 전자기소자연구그룹 그룹장
 관심분야 : 전자재료, PZT 유전체, 액추에이터
 연락처 : jssong@keri.re.kr



민 복 기 (閔馥基)

1993년 고려대 대학원 재료공학 (박사수료)
 현재 : 한국전기연구원 전자기소자연구그룹 책임연구원
 관심분야 : 자성재료, 유전체, 고주파 소자
 E-mail : bkmin@keri.re.kr



정 순 중 (鄭舜鍾)

2001년 워싱턴대 재료공학 (박사)
 현재 : 한국전기연구원 전자기소자연구그룹 선임연구원
 관심분야 : PZT 유전체, 액추에이터, 전자재료
 E-mail : sjjeong@keri.re.kr