

# 수동 집적 회로 및 트랜지스터 스위치를 통한 4중 대역 안테나 스위치

## Quad-Band Antenna Switch Module with Integrated Passive Device and Transistor Switch

정 인 호 · 신 원 철\* · 홍 창 성

In-Ho Jeong · Won-Chul Shin\* · Chang-Sung Hong

### 요 약

4중 대역의 안테나 스위치 모듈을 개발하였다. 단말기의 front-end 단에서 LTCC 형태의 저역 통과 필터, 다이오드 및 수동 부품들로 구현되는 스위치 부분을 대신하여 수동 집적 회로와 트랜지스터 스위치로 집적화한 것이다. 필터의 수동 소자 및 정합 회로를 통합 구성하여 크기 면에서도 소형화가 가능하고, 가격 경쟁력에서도 우위를 점할 수 있다. 제안하는 안테나 스위치 모듈의 크기는 5×5 mm 이고, 두께는 0.8 mm로 제작되었다. 각 대역의 삽입 손실은 평균적으로 1.0 dB이며, 반사 손실은 GSM/EGSM 대역에서 15.1 dB, DCS/PCS 대역에서 19 dB이다.

### Abstract

Antenna switch module(ASM) for quad-band was developed. This module was integrated by RFIPD(RF integrated passive device) and transistor switch instead of LTCC-type device using low pass filters, diodes and passive elements in RF front end module for cellular phone. This module leads to low cost and miniaturization(The area is 5×5 mm and the thickness is 0.8 mm). The insertion loss and the return loss of each band were averagely measured as 1.0 dB(insertion loss), 15.1 dB(GSM/EGSM return loss) and 19 dB(DCS/PCS return loss), respectively.

Key words : IPD(Integrated Passive Device), ASM(Antenna Switch Module), MCM(Multi-Chip Module)

### I. 서 론

안테나 스위치 모듈은 안테나 후단에 위치하여 수신된 신호를 각 대역에 맞게 분할하는 스위치 기능 및 고출력으로 증폭된 신호의 잡음을 제거하여 안테나에 보내주는 필터의 기능을 포함한다<sup>[1]</sup>. 기존의 안테나 스위치 모듈은 집적에 대한 요구가 매우 강한 부품임에도 불구하고, 저역 통과 필터의 세라믹 기반 기술과 스위치의 다이오드 및 수동 조립 기술로 인해 모듈의 집적도 및 부품의 소형화가 잘 구

현되지 않고 있다<sup>[2]</sup>. 특히 최근에는 이러한 제품들에 대한 세라믹 패키지 상의 신뢰성으로 인해 모듈의 집적화에 대한 필요성이 강력히 요구되고 있는 실정이며, 최근 부품에 대한 연구 개발 역시 크기 및 부피의 감소, 모듈의 고집적도에 주력하는 실정이다<sup>[3]-[6]</sup>.

이에 본 논문은 이러한 모듈에 들어가는 저역 통과 필터의 세라믹 기반 수동 회로를 대체할 수 있는 부품으로 각광받는 수동 집적 회로 기술을 통해 수동 소자를 통합 구현하여 이미 반도체로 구현된 CM-

「이 연구는 2007학년도 중심대학 기술 개발 연구비의 지원으로 연구되었음.」

한국산업기술대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University)

· 논문 번호 : 20080729-100

· 수정완료일자 : 2008년 10월 13일

OS 트랜지스터의 스위치와 결합된 미국 및 유럽형의 3중 혹은 4중 대역의 안테나 스위치 모듈을 제시한다. 이러한 수동 집적 회로 기술의 적용으로 능동 소자 및 수동 소자를 포함하는 전체 소자가 반도체화됨으로써 기존의 세라믹 기반 패키지에서 탈피하여, 일반적이며 신뢰성이 우수한 플라스틱 기반의 집적 회로 및 LGA(Land Grid Array) 방식의 패키지가 가능하게 되며, 실장되는 수동 부품의 절감으로 우수한 성능을 나타냄과 동시에 크기 및 가격에서 큰 이점을 확보하게 된다<sup>[7]</sup>. 이러한 점은 설계된 수동 집적 회로가 능동 소자와 같은 두께를 가질 수 있음에 기인하며, 기존의 세라믹 기반 부품에 대응하는 성능을 만족시켜 주기 위한 고저항 실리콘 기판의 공정 과정으로 가능해진다. 제시하는 4중 대역 안테나 스위치 모듈의 구성은 그림 1과 같으며, 수동 소자 기반 4중 대역(850/900/1,800/1,900 MHz)의 저역 통과 필터 설계와 더불어 통합 모듈에 포함되어 있는 지그비 및 블루투스 모듈의 2.4 GHz 대역 발룬 및 정합 회로 설계가 추가적으로 집적화되었다.

이는 발룬 역시 저역 통과 필터 설계와 동일한 방식으로 수동 집적 회로 기술을 적용할 수 있음에 기인하고, 그로 인해 크기와 가격에서의 이점이 더욱 확고해지는 것에 그 의미가 있다. 하지만 발룬 및 정합 회로는 입력단의 임피던스가 front-end단 외에도 트랜지스터단의 입력 임피던스에 종속된 형태로서 본 논문에서의 측정 결과만으론 그 특성을 분석하기가 곤란하므로 이와 관련된 논의는 다루지 않는다.

본 논문에서는 수동 집적 회로 설계를 위한 수동 소자의 공정 및 수동 회로를 소개하고, 트랜지스터 스위치와 집적된 통합 FEM(Front-End Module)의 하드웨어 구성 및 실제 패키지된 통합 모듈의 측정 데

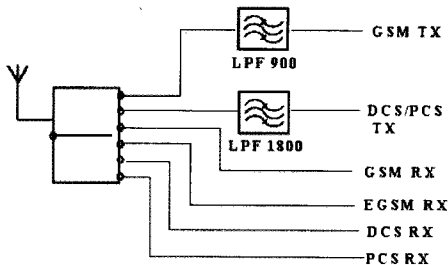


그림 1. 4중 대역의 안테나 스위치 모듈  
Fig. 1. The quad-band antenna switch module.

이터를 제시하여 그 우수성을 보일 것이다

## II. 수동 소자 공정 및 회로 설계

수동 집적 회로 기술을 통한 4중 대역 안테나 스위치 구현을 위해서는 기본적으로 반도체 상에 세라믹 기반 제품의 특성을 만족시키는 박막형 수동 부품의 제작이 가능해야 한다. 수동 소자의 제작 공정에선 고주파의 신호 손실을 고려하여 고저항의 실리콘 기판을 사용하였고, 우수한 전기 전도성의 확보를 위하여 3층의 두꺼운 구리 배선 기법을 사용하여 인덕터와 커패시터를 제작하였다. 이러한 공정 기술은 높은 전력 밀도를 요구하는 수동 소자 제작에 적합하다. 특히 인덕터의 경우, 수동 회로의 특성을 저하시키는 대표적인 소자로서 두꺼운 구리 배선을 통해 전력 밀도를 높여주고, 저유전율의 층간 절연막 공정으로 인덕터의 상층 및 하층 사이에서 발생하는 기생 커패시턴스를 억제하였다. 또한, 커패시터의 유전물질로는 일반적인 공정에서 사용되는 SiNx가 사용되었으며, 패드의 경우 반도체로 구현된 안테나 스위치와의 연결 및 플라스틱 패키지를 고려하여 와이어 본딩으로 마무리 되었다<sup>[8]</sup>. 이러한 제작 공정을 바탕으로 각 소자에 대한 수학적 등가 회로를 개발하고 그에 대한 라이브러리를 확보하여 900 MHz 및 1,800 MHz 대역을 가지는 단일의 4중 대역 저역 통과 필터를 설계했다. 그림 2는 저역 통과 필터의 대략적인 회로도이다. 상단과 하단의 필터는 각각 900 MHz, 1,800 MHz 대역의 저역 통과 필터이며, 기본적인 3차 II형 구조를 가지고 있어 고주파 성분은 각 필터의 병렬 연결된 커패시터에 의해 걸러지고 저주파의 성분은 직렬의 인덕터에 의해 전달된다<sup>[9],[10]</sup>. 소자값에 근거한 저역 통과 필터의 레이아웃은 그림 3에 소개되어 있다. 커패시터의 경우 그 크기에 따라 값이 결정되는데, 그 기준이 되는 것은 커패시턴스 밀도이다. 따라서 커패시턴스 밀도는 기판 면적의 소형화에 영향을 줄 수 있는 물리적 파라미터이며, 그 밀도가 작을수록 소형화를 이루기 어렵고, 밀도가 클수록 항복 전압이 감소되는 특성을 가지고 있다. 제시된 커패시터는 이러한 상호적인 특징을 고려하여 540 pF/mm<sup>2</sup>의 커패시턴스 밀도를 가진다.

인덕터의 물리적인 파라미터들은 저대역에서 4.5

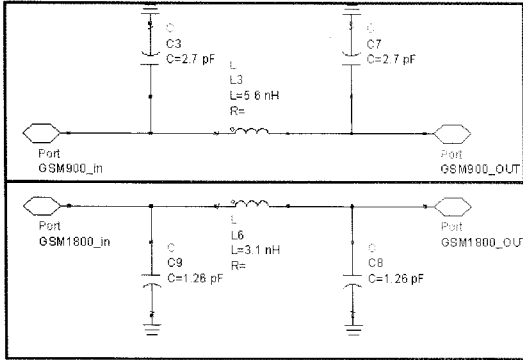


그림 2. 저역 통과 필터의 회로도  
Fig. 2. Schematic of pass filters.

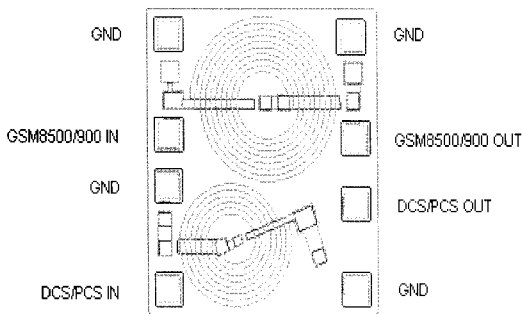
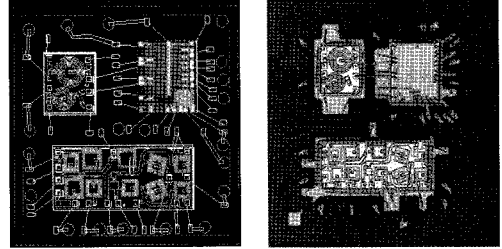


그림 3. 저역 통과 필터의 레이아웃  
Fig. 3. Layout of low pass filters.

의 회전수, 200  $\mu\text{m}$ 의 내경을 가지며 배선의 폭과 간격은 각각 20  $\mu\text{m}$ 이다. 고대역의 경우는 3.5의 회전수, 내경 150  $\mu\text{m}$ 이며, 구리 배선의 폭과 간격은 각각 20  $\mu\text{m}$ 를 가진다. 또한, 필터의 2차 고조파 감쇠를 고려하여 각 인덕터의 내경 속에 병렬로 커패시터가 연결되었다. 칩의 가장자리에는 패드가 위치하며, 각 필터의 입출력과 접지로 와이어 본딩된다. 제작된 단일의 저역 통과 필터의 크기는 0.925×1.05 mm이다.

### III. 통합 FEM(Front-End Module) 구성

설계된 수동 집적 회로와 함께 단일 칩으로 패키징될 스위치는 Peregrine사의 PE42672 반도체 스위치로서, 그림 4와 같이 LGA(Land Grid Array) 타입의 통합 모듈로 완성되었다. 통합 모듈의 하단에 위치한 지그비 및 블루투스의 발문 및 정합 회로는 단일의 저역 통과 필터와 같은 방식으로 설계되었으며,



(a) 통합 FEM(Front-End Module)의 구성  
(a) Configuration of integrated FEM



(b) 몰딩된 통합 FEM(Front-End module)  
(b) Molded integrated FEM

그림 4. 통합 FEM(Front-End module)  
Fig. 4. Integrated FEM(Front-End module).

서론에서 언급했듯 발문 및 정합 회로는 임피던스의 종속 문제로 인해 본 논문에서는 논의하지 않는다.

이러한 통합 모듈은 다이(die) 형태의 스위치 소자와 수동 회로가 기판에 다이 어태치(die attach) 및 와이어 본딩되는 공정 과정을 거쳐 제작된다. 완성된 모듈의 크기는 5×5 mm이며, 높이는 0.8 mm로 제작되었는데, 이는 기존의 제품 중에서 가장 작게 제작된 제품으로, 특히 높이의 경우 기존의 1.3 mm와 비교할 때 획기적인 크기의 감소를 이루었다.

### IV. 특성 측정 및 평가

통합 모듈을 평가 보드에 그림 5와 같이 실장하고 네트워크 아날라이저를 통해 측정하였다. 평가 보드의 각 포트와 연결되는 선로에는 블로킹 커패시터 혹은 바이패스 커패시터를 사용하여 불필요한 신호를 제거하였으며, 실제 측정에 있어 측정되는 포트 이외의 포트는 50  $\Omega$ 으로 종단한 후 각 포트를 순차적으로 측정하였다.

그림 6은 설계된 통합 모듈의 Rx 포트 삽입 손실을 나타낸다. Rx 포트는 안테나 스위치의 수신 신호

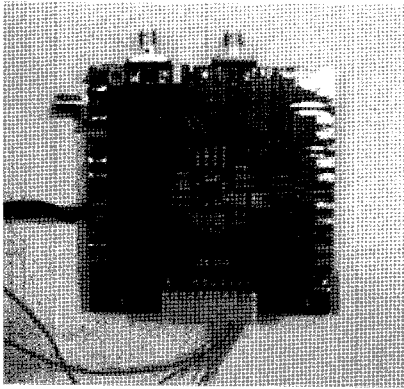
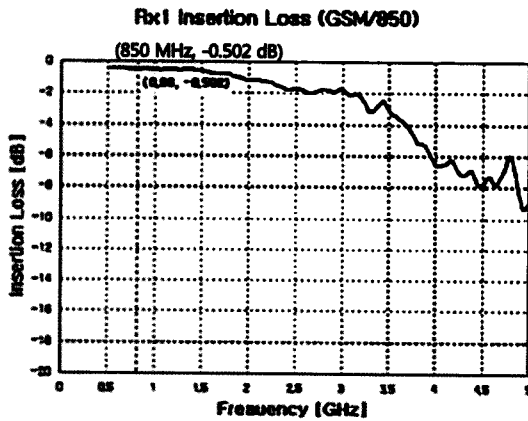


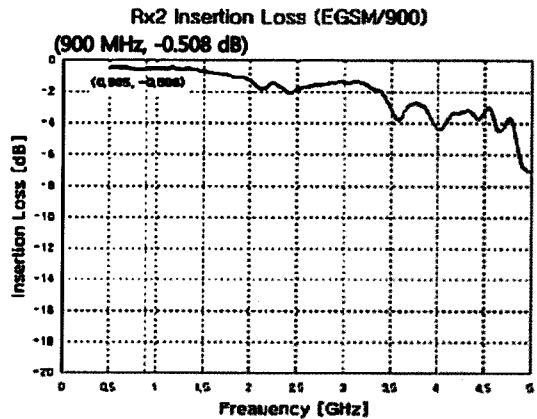
그림 5. 통합 FEM 평가 보드  
Fig. 5. Test board for integrated FEM.

이며, 이는 신호를 각 대역에 맞게 분할해 주는 역할을 한다. 네 개의 Rx 포트는 각각 4중 대역 주파수에서의 특성을 나타낸다. 850 MHz 및 900 MHz에서의 삽입 손실은 약 0.5 dB의 특성을 보이는데, 이는 안테나 스위치의 데이터시트 상에도 명시된 현 기술 수준 0.8 dB에 비해 우수한 특성이라 할 수 있다. 고대역에서의 삽입 손실 역시 약 0.8 dB로 측정되어 현 기술 수준 1.1 dB에 비해 우수한 특성을 나타낸다. 각 대역 모두 주파수가 높아질수록 특성의 저하를 보이지만 사용 주파수 영역에서의 특성에는 지장이 없다고 판단된다.

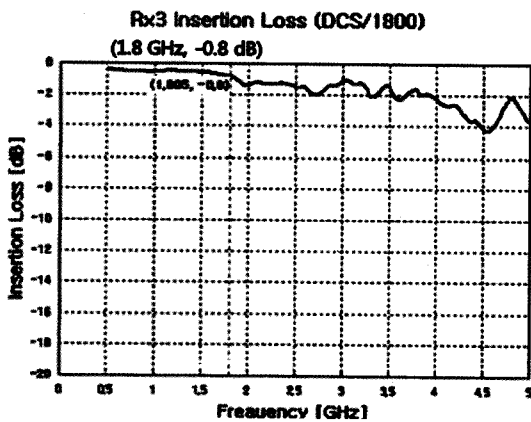
Rx 포트의 경우, 안정된 공정 과정에 기인하여 우



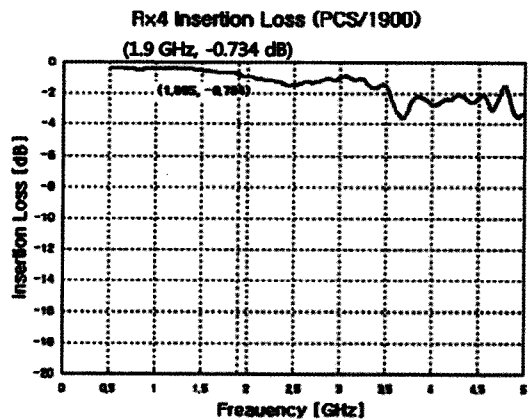
(a) GSM/850 MHz에서의 Rx 삽입 손실  
(a) The test result of Rx insertion loss(GSM/850 MHz)



(b) EGSM/900 MHz에서의 Rx 삽입 손실  
(b) The test result of Rx insertion loss(EGSM/900 MHz)



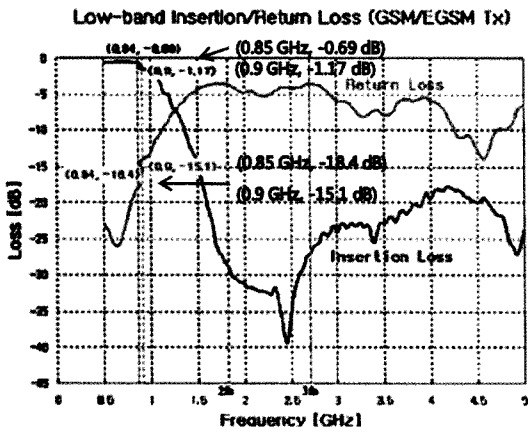
(c) DCS/1,800 MHz에서의 Rx 삽입 손실  
(c) The test result of Rx insertion loss(DCS/1,800 MHz)



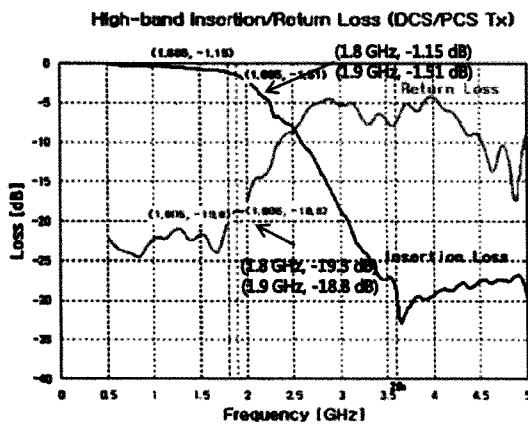
(d) PCS/1,900 MHz에서의 Rx 삽입 손실  
(d) The test result of Rx insertion loss(PCS/1,900 MHz)

그림 6. Rx 포트에서의 삽입 손실  
Fig. 6. The test result of Rx insertion loss.

수한 특성은 확인되었지만, 이는 본 논문에서 제시한 수동 집적 회로와는 독립된 구조를 취하고 있다. 수동 집적 회로에 관한 분석은 앞서 설계된 단일의 저역 통과 필터의 성능 및 특성을 직접적으로 반영하는 Tx 포트에서의 삽입 및 반사 손실 측정을 통해 가능하다. Tx 포트는 안테나 스위치의 송신 신호로서, 그 특성이 그림 7에 소개되고 있다. 저대역(850 MHz 및 900 MHz)의 경우 850~900 MHz의 영역에서 약 1.0 dB의 안정된 삽입 손실을 보이며, 2차 고조파의 감쇠 역시 30 dB 이하의 안정된 특성을 보이고 있다. 반사 손실의 경우는 850 MHz에서 18.4 dB,



(a) GSM 및 EGSM 대역에서의 Tx 삽입/반사 손실  
(a) The test result of Tx insertion loss and return loss (GSM and EGSM)



(b) DCS 및 PCS 대역에서의 Tx 삽입 손실과 반사 손실  
(b) The test result of Tx insertion loss and return loss(DCS and PCS)

그림 7. Tx 포트에서의 삽입 손실과 반사 손실  
Fig. 7. The test result of Tx insertion loss and return loss.

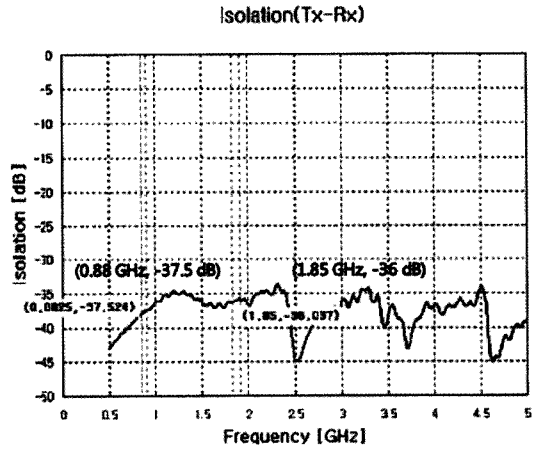


그림 8. 각 포트간 격리도  
Fig. 8. The test result of isolation.

900 MHz에서 15.1 dB를 나타낸다. 900 MHz에서 반사 손실의 경우 다소 저조한 특성이 확인되는데, 이는 여러 개의 포트를 포함하고 있어 그 크기가 커진 평가 보드 자체에서 일어나는 손실에 기인한 것이라고 판단된다. 고대역(1,800 MHz 및 1,900 MHz)에서의 특성 역시 저대역에서 보여진 특성과 거의 유사한 특성이 나타난다. 1800~1,900 MHz 영역에서 약 1.2 dB의 우수한 삽입 손실을 나타내고 있으며, 반사 손실의 경우, 기판 자체의 손실에 기인하여 현 기술 수준보다 1 dB 정도 저조한 특성인 약 19 dB 정도의 특성을 나타내었다. 2차 고조파의 감쇠는 30 dB 이하의 안정된 특성을 보였다. 이는 공정과정에서 충분한 안정성이 확보된 결과이며, 인덕터를 포함한 수동 집적회로 기술을 적용한 소자들 역시 사용 주파수 영역에서 충분한 안정계수를 제공했다는 것을 예측할 수 있다.

그림 8은 각 포트간 격리도를 측정된 결과이다. 각 대역에서 35 dB 이하의 우수한 격리도를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 기존의 LTCC 형태의 모듈로 구현되는 4중 대역의 안테나 스위치 모듈을 반도체 형태로 집적화하는 것을 목표로 삼았다. 이를 위하여 기존 LTCC를 통해 구현되는 900 MHz 및 1,800 MHz 대역의 저역 통과 필터를 집적 수동 소자 기술을 통

해 구현하고, SP7T 트랜지스터 스위치와 결합하여 패키징된 반도체 형태의 안테나 스위치를 성공적으로 구현했다. 제작된 수동 집적 회로의 경우, 고저항의 실리콘을 기반으로 제작되었으며, 스위치 칩과는 LGA 방식으로 통합되었다. 전체적인 칩의 두께는 0.8 mm이며, 전체 모듈을 통합하여 5×5 mm<sup>2</sup>로 제작되어 기존 제품과 비교할 때 획기적으로 크기의 감소를 이루었다. 특성 측정 결과, 각 대역의 삽입 손실은 평균적으로 1.0 dB이고, 반사 손실은 GSM/EGSM 대역에서 15.1 dB, DCS/PCS 대역에서 19 dB, 격리도는 35 dB 이하의 우수한 특성을 보였다. 본 논문을 통해 기술적으로는 일본, 미국 등의 부품 선진국이 점유하고 있는 수동 회로 및 모듈 기술을 기존의 방법이 아닌 반도체 기반의 수동 집적 회로를 통해 구현함으로써 기술적으로 우위를 점할 수 있고, 앞으로의 이동 통신 서비스에 있어서 대역 확장으로 인한 가격의 상승 및 제품 성능의 저하, 부피의 증가 등을 억제할 수 있음에 그 의미가 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. Ranta, J. Ella, and H. Pohjonen, "Antenna switch linearity requirements for GSM/WCDMA mobile phone front-ends", *IEEE 2005 Wireless Technology*, pp. 23-26, 2005.
- [2] R. Lucero, W. Qutteneh, A. Pavio, D. Meyers, and J. Estes, "Design of an LTCC switch diplexer front-end module for GSM/DCS/PCS applications", *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, pp. 213-216, May 2001.
- [3] Choong-Mo Nam, Young-Se Kwon, "High performance planar inductor on Oxidized Porous Silicon (OPS) substrate", *IEEE Microwave Guided Wave Letters*, vol. 7, no. 8, pp. 236-238, Aug. 1997.
- [4] Shiu-Ming Su, Sung-Mao Wu, Chi-Chang Lai, Yu-Che Tai, Wang-Yu Lin, and Sheng-Wei Guan, "Analysis and modeling of IPD for spiral inductor on glass substrate", *IEEE ICMMT*, vol. 3, pp. 1274-1277, Apr. 2008.
- [5] Lianjun Liu, C. Ramiah, Qiang Li, S. Pacheco, Shunmeen Kuo, M. Miller, S. Marshall, M. Watts, and P. Piel, "Integrated passive technology for wireless basestation applications", *IEEE MTT-S International*, pp. 1173-1176, Jun. 2007.
- [6] Kai Liu, R. C. Frye, "Small form-factor integrated passive devices for SiP applications", *IEEE MTT-S International*, pp. 2117-2120, Jun. 2007.
- [7] M. Shaw, M. Marazzi, and S. Bonino, "Low cost packaging techniques for active waveguide devices", *IEEE Electronic Components and Technology Conference*, pp. 742-748, May 2000.
- [8] 김동욱, 정인호, "실리콘 산화후막 공정과 Cu-BCB 공정을 이용한 고성능 수동 집적 회로의 구현과 성능 측정", *한국전자과학회논문지*, 15 (5), pp. 509-515, 2004년 5월.
- [9] Lianjun Liu, Shun-Meen Kuo, J. Abrokwhah, M. Ray, D. Maurer, and M. Miller, "Compact harmonic filter design and fabrication using IPD technology", *IEEE 55th Electronic Components and Technology Conference*, vol. 1, pp. 757-763, Jun. 2005.
- [10] K. Zoschke, J. Wolf, M. Topper, O. Ehrmann, T. Fritzsche, K. Scherpinski, H. Reichl, and F. -J. Schmuckle, "Thin film integration of passives-single components, filters, integrated passive devices", *Electronic Components and Technology Conference*, vol. 1, pp. 294-301, Jun. 2004.

정 인 호



1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1997년 2월: 학국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
2001년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
2001년 8월~2005년 3월: 텔레포스

(주) 연구소장

2005년 3월~2006년 2월: 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

2006년 3월~현재: 한국산업기술대학교 조교수

[주 관심분야] 초고주파용 전자부품 및 수동 집적 회로

홍 창 성



2008년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)

2008년 3월~현재: 한국산업기술대학교 정보통신공학과 (공학석사)

[주 관심분야] 초고주파 회로 및 시스템

신 원 철



2008년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)

2008년 3월~현재: 한국산업기술대학교 정보통신공학과 (공학석사)

[주 관심분야] 초고주파 부품 및 모듈