

이동통신 단말기용 초소형 필터 연구 동향
 Research Trends of Micro-Filter for Mobile Handsets

박준석 · 장병준 · 오하령
 · 임재봉 · 조홍구
 국민대학교
 전자정보통신공학부

무선통신 시스템의 소형화 저가격화 추세로 인하여 RF 및 초고주파 필터의 설계나 구현을 전통적인 초고주파 필터 구현 방법에서 벗어난 고품질, 다기능 재료 및 첨단 가공 기술과 연계된 초고주파 필터 설계 및 제작 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 휴대 이동단말 시스템을 포함한 복합 다기능화 되고 있는 다양한 단말기 시스템에 적용될 수 있는 세라믹, MEMS, FBAR, SAW 필터 등과 같은 초소형 고주파 필터 설계 기술 등에 대한 기술 동향에 대하여 기술하였다.

I. 서 론

현재 전기·전자 산업의 발전과 더불어 무선통신 시스템을 이용한 정보통신기술 및 통신산업의 급속한 성장은 우리를 다양하고 다형화된 정보의 혜택 아래 삶의 질을 급속도로 개선시키는데 지대한 일조를 하고 있다. 그러나 무선통신 시스템은 주파수라는 한정된 자원을 사용하기 때문에 주파수 자원의 효율적인 관리를 위한 규제나 방안이 필요하고, 이에 대한 여러 가지 대책과 방안이 연구되고 있다. 이러한 주파수 자원의 효율적 관리 및 규제의 일환으로 하드웨어 및 시스템적인 접근 방법인 무선통신 시스템을 구성하는 부품 및 서브 모듈 등의 spectrum mask에 대한 규격이 강화되는 추세이며, 특히 이러한 규격의 강화는 무선통신 시스템 전치부의 최종단을 구성하거나 무선 통신 모듈의 spectrum mask를 결정하는 필터의 성능을 지속적으로 개선시켜야 하

는 과제를 중요한 사안으로 대두시키고 있다.

또한, 무선통신 시스템의 소형화와 저가격화 추세로 인하여 RF 및 초고주파 필터의 설계나 구현을 전통적인 초고주파 필터 구현 방법에서 벗어난 고품질, 다 기능 재료 및 첨단 가공 기술과 연계된 초고주파 필터 설계 및 제작 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

초고주파 필터의 성능 개선과 소형화 및 저가격화 실현은 주파수 자원의 효율적인 사용과 무선통신 시스템의 성능 향상 및 생산 원가 절감 등을 통한 제품가치의 증대 등과 같은 부대적인 효과 창출을 도모할 수 있게 한다. 현재 다양한 무선 데이터 서비스용 모듈의 저가격화가 급속히 진행되면서 홈 네트워크를 비롯한 다양한 가전정보 장치 및 부품의 상용화를 목전에 두고 있는 시점에서, 무선통신 서비스 시장에서의 기술 선점을 통한 국가 경쟁력의 제고를 위해서는 초고주파대 무선 부품 기술 분야의 원천 기술과 응용 기술의 선행 개발이 지속적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 산·학·연의 공동 노력과 함께 정부기관 및 기업의 과감하고 지속적인 투자가 병행되어야만 한다.

본 기고에서는 휴대 이동단말 시스템을 포함한 복합·다 기능화 되고 있는 다양한 단말기 시스템에 적용될 수 있는 세라믹, MEMS, FBAR, SAW 필터 등과 같은 초고주파 초소형 필터 설계 기술 및 동향에 대하여 기술하고자 한다.

II. RF MEMS 필터 설계 기술

RF 통신 시스템의 수요가 마이크로파 및 밀리미터파 대역으로까지 요구됨에 따라 원하는 부품 및 시스템을 높은 수율과 저가격의 공정 기술을 이용하여 제작하는 것이 더욱 필요하게 되었다. 현재 RF Front-end단에 사용되는 LNA, PA, 믹서 등의 능동소자들은 점차 MMICs 공정이나 하이브리드 소자를 이용하여 집적화 되고 있으나, Ka-밴드 및 K-밴드 대역 이상에서 사용되고 있는 듀플렉서, 필터, LO에서 사용되는 수동소자들은 고주파에서 절대적으로 작용하는 기판에 의한 유전체 손실로 인해 집적화에 어려움이 있다. 이에 따라, 높은 Q를 갖는 공진기를 통한 필터 설계에 제약을 받게 되었고, 결과적으로 작은 삽입 손실, 높은 밴드와 억압 효과, 채널과 채널의 높은 격리도 등을 필터 설계를 위해 다양한 RF-MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 기술이 시도되고 있다. 마이크로머쉬닝 공정을 이용한 필터는 MMIC 공정과 상호성을 갖고 있으며, 능동소자와의 집적화가 가능하며, 결과적으로 K-밴드, Ka-밴드 이상의 주파수에서 저비용의 공정가격을 위한 대안 기술로 주목받고 있다.

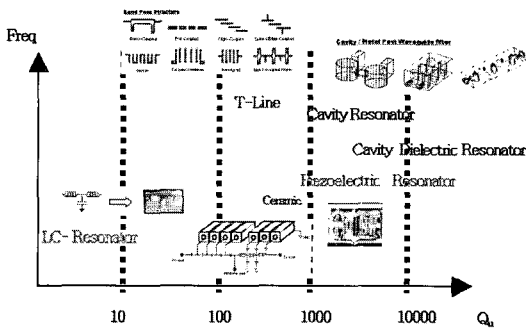
본 기고문에서는 Si, Glass, GaAs 등의 기판에 마이크로머쉬닝 공정을 이용하여 공진기를 구현한 RF-MEMS 필터에 관한 개발 동향을 소개하고자 한다. 마이크로머쉬닝 공정에 따라 먼저 실리콘의 몸

체를 가공하지 않고 실리콘 기판의 표면에 구조물을 제작하는 표면 미세 가공 기술을 이용한 필터를 소개하며, 실리콘 몸체를 가공한 필터, 마이크로머쉬닝 멤브레인을 표면 가공 기술에 적용하여 개발된 멤브레인 필터, 높은 aspect-ratio를 이용하여 커플링을 증가하여 만든 LIGA 구조의 필터 및 최종적으로 체적탄성과 압전 물질을 이용하여 무선통신에 적용하고자 하는 TFBAR 필터 등에 대해 소개하고자 한다.

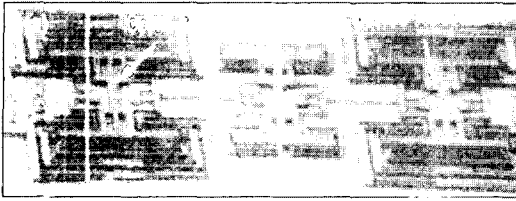
2-1 Surface-Micromachined MEMS 필터

일반적으로 기계적 공진기를 사용하고자 하는 이유는 높은 Q(10,000~50,000)와 기계적 안정성을 이용한 협대역의 필터를 가능케 하고자 한 것이다. 반면에, 기계적 공진기의 우수한 성능에 비해 공정가격과 크기가 커지는 문제에 이르게 된다. 이러한 문제를 해결하면서 동시에 IC와의 집적화를 위해 제안된 기술이 MEMS 필터이며, 미국 미시건 대학교의 Nguyen 그룹에서 선구적인 연구 결과가 발표되고 있다.

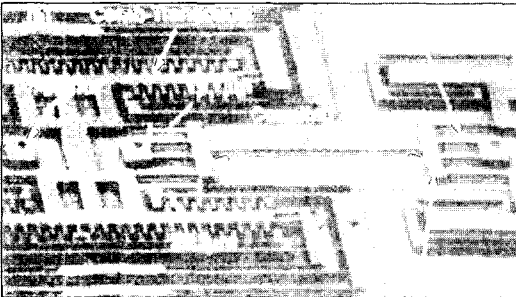
초기에 MEMS 필터는 폴리실리콘 표면 가공 공정을 이용하여 고주파용 대역 통과 필터를 구현하였다. 이러한 필터는 커플링을 위한 기계적인 스프링과 2개의 MEMS 공진기로 구성된다. 필터의 중심 주파수는 공진기에 의해 결정되며, 대역폭은 공진기 사이에 작용하는 결합용 스프링의 구조와 거리에 의해 결정된다. 공진기의 Q값은 약 10~400 정도의 연구 성과가 발표되었다. 또한 IC와 호환 가능한 폴리실리콘 표면 가공 기술을 이용하여 스프링에 의해 결합된 3개의 ratioed folded-beam 공진기로 구성된 MEMS 필터가 개발되어, 340 kHz의 중심 주파수, 0.1% 대역폭, 0.1 dB 미만의 삽입 손실 및 저지대역 특성이 64 dB 이상인 필터 성능을 갖는 연구 성과가 발표되었다. [그림 2]의 Ratioed folded-beam MEMS 공진기는 저속도 커플링이 가능하도록 설계되어 있고, 이



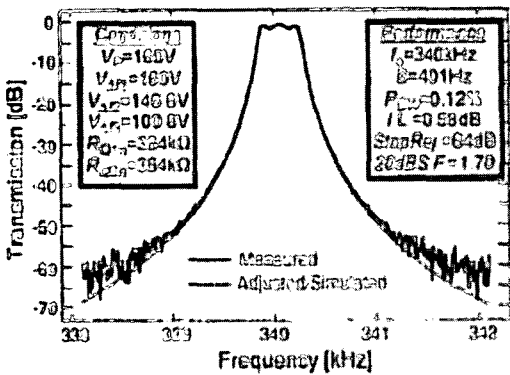
[그림 1] 마이크로파 필터 공진기의 품질 계수



(a) 전체 구조



(b) 구동 공진기 부



(c) 측정 특성

[그림 2] Ratioed folded-beam 공진기로 구성된 MEMS 필터^[1]

에 따라 임피던스 변환 및 필터의 대역폭 조절이 가능하도록 한 구조이다.

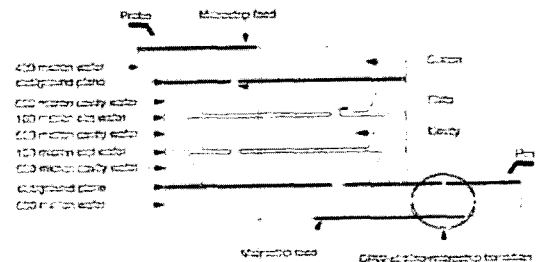
직렬공진기 및 커플링 스프링으로 구성된 MEMS 필터 구조도 연구되어 협대역(높은 Q), 높은 S/N 비, 온도에 안정적인 특성을 제공하는 연구 결과도 발표되었고, CMOS 실리콘 위에 표면 가공 기술을 이용하여 박막의 폴리이미드층을 버퍼층으로 사용한 TF-

MS(Thin Film Microstrip Line) 선로 위에 커패시터 성분을, 공기층에는 인덕터 성분을 이용하여 표면 가공 기술을 이용한 저역 통과 필터 결과가 연구되어 극히 적은 수의 마스크만으로 공정을 가능토록 하며, 우수한 삽입 손실 특성을 제공하는 MEMS 필터 연구도 활발히 진행중이다.

2-2 Bulk-Micromachined MEMS 필터

몸체 미세 가공 기술은 기판의 표면이 아닌, 기판의 몸체 자체를 가공하는 기술이며 기판의 일부를 선택적으로 제거함으로써 가능하다. [그림 3]은 커플링 슬릿을 이용하여 수직으로 마이크로스트립 급전 선로를 통해 급전하고 공기층의 공동기의 공진을 이용한 10 GHz 대역의 마이크로머쉬닝 필터이다. 제작을 위해 총 7층의 실리콘 웨이퍼가 사용되고 있으며, 상층의 급전 선로를 위해 400 um 실리콘, 하층의 급전 선로를 위해 500 um 실리콘이 사용되고 있고, 3개의 공동기용 500 um 실리콘과 2개의 슬릿용 100 um 실리콘이 적층된 구조이다.

날카로운 차단 주파수와 높은 저지대역 특성을 갖는 고성능의 필터를 얻기 위해 고임피던스와 저임피던스 비가 큰 스텝 임피던스 저역 통과 필터를 설계할 필요가 있다. 이를 위해 실리콘 마이크로머쉬닝 기술을 이용하여 저임피던스 선로의 임피던스는 더욱 낮게, 고임피던스 선로의 임피던스는 더욱 높게 하는 합성된 웨이퍼를 제작하여 그 비율을 1.5~2배

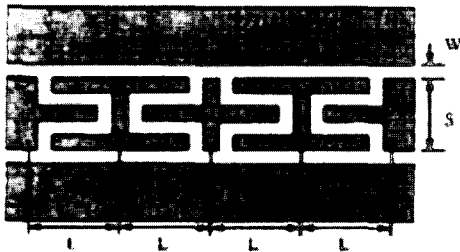


[그림 3] Micromachined MEMS 필터 구조^[2]

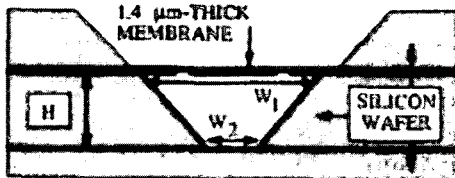
증가시킴으로써 필터의 성능을 향상시킬 수 있다.

2-3 Micromachined Membrane 필터

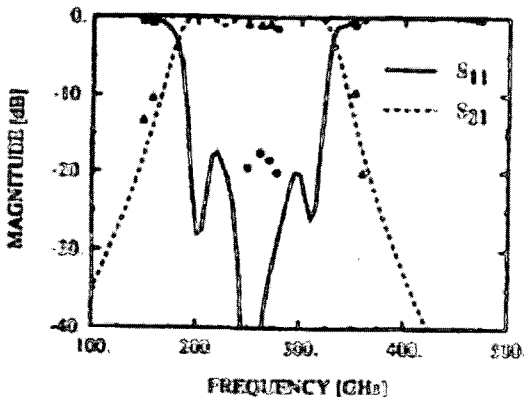
Microshield 선로는 Ka-밴드 및 W-밴드 영역에서 동작하는 회로를 구성하는데, 저손실의 광대역 TEM 전파전파 특성을 보이는 구조이다. 실리콘 웨이퍼에 에칭을 통해 유전체 손실을 줄이고, 그 위에 얇은 멤브레인을 형성하여 신호 및 그라운드면을 제작하는 구조이다. [그림 4]는 1.4 μm 두께의 유전체 멤브레인



(a) Microshield 필터의 layout

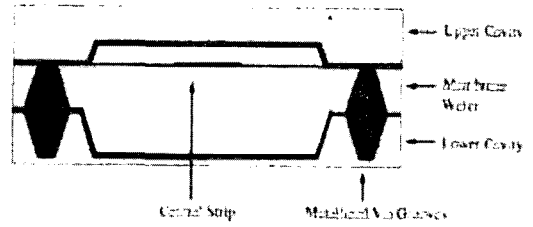


(b) 측면 구조



(c) 주파수 특성

[그림 4] 250 GHz microshield 대역 통과 필터^[3]

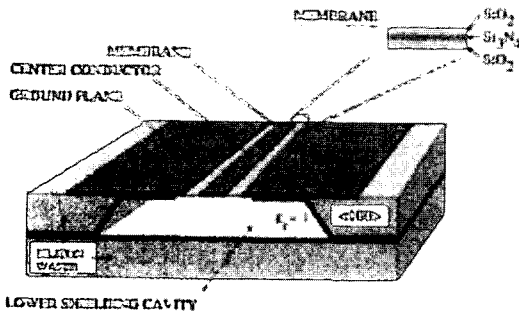


[그림 5] 마이크로패키징을 이용한 멤브레인 구조^[4]

인 위에 제작된 250 GHz microshield 대역 통과 필터이다. 중심 주파수가 250 GHz, 58 %의 대역폭에 1.5 dB의 삽입 손실을 갖는 특성을 보이고 있다.

[그림 5]는 기존의 평면형 공진기가 갖는 기판으로의 방사 손실 및 저항 손실을 극복하기 위한 대안책으로 마이크로패키징을 이용한 멤브레인 구조를 나타낸다. 이러한 구조는 낮은 Q 및 삽입 손실을 감소시키는 데 적합하며 마이크로머쉬닝 공정을 이용하여 공진기의 방사, 저항, 유전체 손실을 감소시킬 수 있다. 또한 기판의 일부분을 에칭하여 제거하는 벌크 마이크로머쉬닝 공정과 패키징을 이용하여 공기과 기판으로의 방사 손실을 감소시킬 수 있다.

[그림 6]은 멤브레인 위에 설계된 microshield형 coplanar waveguide(CPW) 전송 선로이다. 이러한 구조는 Ka-밴드부터 250 GHz의 주파수 범위에서 homogeneous 조건을 만족하며 광대역의 TEM, 분산 손실 및 유전체 손실을 거의 갖지 않는 구조이다. 반면에, 멤브레인형 microshield 선로는 유효 유전율이 거의 1에 근접하므로 선로의 전기적 길이가 Si이나 GaAs 기판 위의 것보다 2.5배 정도 길게 되어, 많은 면적을 차지함으로써 필터 등을 제작할 때, 소형화하는 데 제약을 받게 된다. 또한 낮은 유효 유전율로 인해 저임피던스 선로 설계에 한계가 있는 구조이다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 제안된 구조가 Metal-Insulator-Metal(MIM) 커패시터를 단락 스타터브 혹은 개방 스타터브에 집적화 하여 광대역, 초소형, 저손실의 저역 통과 필터와 대역 통과 필터를 설계, 제



[그림 6] 멤브레인 위에 설계된 microshield형 coplanar waveguide(CPW) 전송선로^[5]

작하는 내용이 연구되었다.

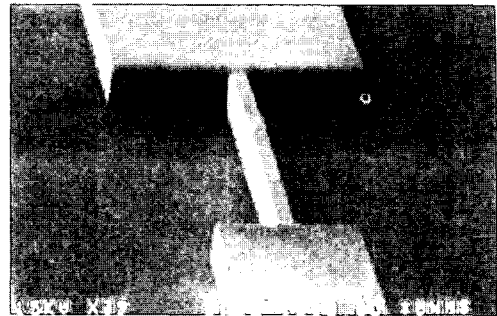
2-4 LIGA Micromachining 필터

LIGA 공정은 먼저 기판 표면 위에 원하는 구조의 몰드를 제작함으로써 3차원의 기하학적 구조를 갖도록 하는 MEMS 공정을 말한다. LIGA 공정을 통해 10 μm ~1 mm의 높은 aspect-ratio를 갖는 메탈이 정교하게 형상화 되며, 이는 또한 IC 공정과 호환성을 갖고 있다. 두꺼운 메탈 선로를 이용하여 강한 커플링이 필요한 커플러와 필터 외에도 고전력의 MMIC 소자를 구현하는 것이 가능하다.

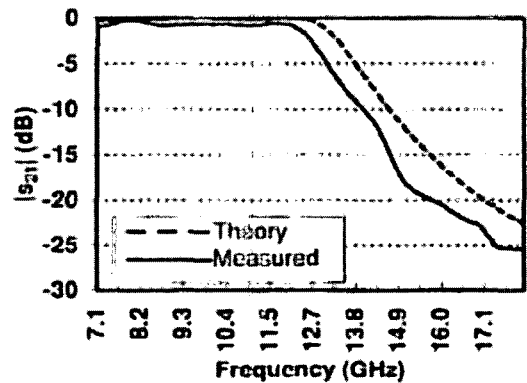
[그림 7]은 10 GHz 차단 주파수, 1.2 dB 리플, 7.9 GHz에서 최소 삽입 손실이 0.13 dB인 Chebyshev 응답을 갖도록 설계된 저역 통과 필터이다. 측정 결과 0.3~1.2 GHz 정도 주파수가 천이되었고, 9.22 GHz에서 3 dB의 응답 특성을 나타낸다.

2-5 TFBAR 필터

AIN, ZnO, PZT 등의 얇은 압전체를 두 도체 사이에 위치시켜 제작되는 Thin Film Bulk Acoustic Resonator(TFBAR)는 실리콘 기판 위에 제작, IC 회로와 집적화가 가능하며, SAW 필터나 세라믹 필터의 고전력 제약, 주파수 한계 등의 단점을 극복하고자 하는 시도로 최근 1~2 GHz 대역의 이동통신용 필터



(a) SEM 사진



(b) 주파수 특성

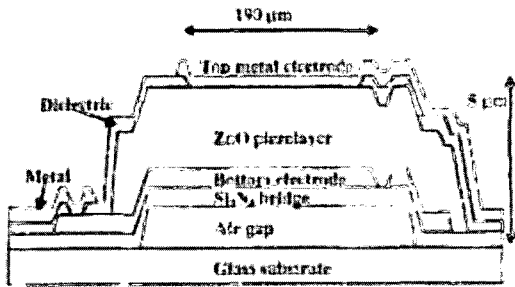
[그림 7] 분포정수 반파장 원형 여파기를 이용한 LIGA stepped-impedance 저역 통과 필터^[6]

로 제안되고 있다. 공정 방법에 따라 몸체 미세 가공 기술과 표면 미세 가공 기술로 구분되며, 공정의 용이성과 공정 단가를 고려한 다양한 표면 미세 가공 기술이 제안되고, 연구되고 있는 상황이다.

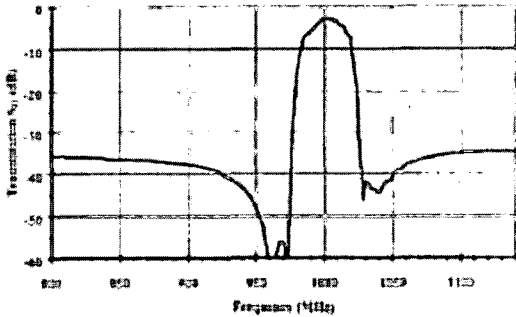
[그림 8]은 Glass 기판 위에 SiN의 브릿지 및 ZnO 압전체를 이용하여 표면 가공에 의해 제작되는 FBAR 공진기 구조이며, 이러한 공진기 가공 기술을 이용하여 사다리형 배열 등과 같은 다양한 배열 구조에 의해 이동통신 단말기용 필터가 구현되고 있다.

III. 표면 탄성과 필터 기술

일반적인 RF SAW 필터 설계 방법으로는 크게 La-



(a) 단면 구조

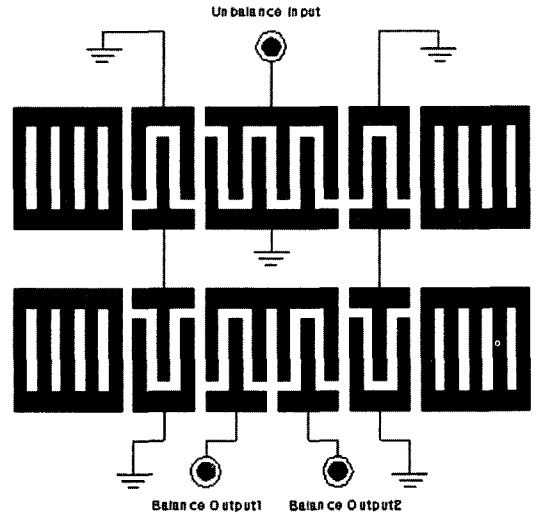


(b) 주파수 특성

[그림 8] FBAR 공진기 구조와 FBAR을 이용한 이동통신 단말기용 대역 통과 필터 특성^[7]

adder 회로형 필터 기법과 이중모드 SAW(DMS: Double Mode-coupled Saw) 필터 기법이 있다. RF SAW 필터의 요구 성능은 적용되는 단말기의 표준과 Chipset의 요구 조건에 의해 결정된다. 앞서 언급했듯이 Direct Conversion 단말기의 수신단용 RF SAW 필터는 Unbalanced Input과 Balanced Output 특성을 기본으로 하고 있으며, 이에 적합한 설계 기법은 이중모드 SAW 필터 구조에서, [그림 9]와 같이 반사기 내에 IDT(Inter-Digital Transducer)를 적절히 배치함으로써 원하는 특성을 구현할 수 있다.

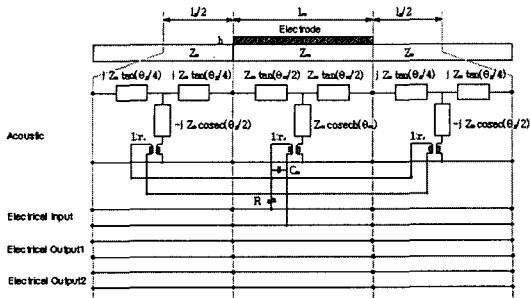
[그림 9]에 도식적으로 표현한 바와 같이 전기적 요구 성능을 구현하기 위해 42° Y-X LiTaO₃ 압전 단결정 기판상에 두 개의 DMS Block을 상단과 하단으로 배치해서 종속 접속시키게 되는데, 전기적 입력단에 해당하는 상측의 DMS Block은 반사기 내부에



[그림 9] Balun 기능이 내장된 DMS형 SAW filter의 구조

배치된 한 개의 입력 IDT와 양측의 두 개의 출력 Coupling IDT로 구성되며, 전기적 출력단에 해당하는 하측의 DMS Block은 반사기 내에 배치된 Balance 신호를 유도하게 되는 두 개의 출력 IDT와 양측의 두 개의 입력 Coupling IDT로 구성함으로써 Unbalanced Input과 Balanced Output 특성을 구현할 수 있다. 이러한 DMS 필터의 주파수 특성은 각 IDT의 주기, 전극의 개수, 그리고 위상을 제어하는 IDT간 간격에 의해 결정된다. 출력단의 두 개의 출력 IDT는 Balance 신호를 유도하기 위해 [그림 9]와 같이 임의적으로 180°의 위상차를 갖도록 배치시킨다.

이러한 SAW 필터의 전기적 특성에 대한 Simulation은 Smith 등가회로 이론을 바탕으로 실행하게 되는데, IDT에 대한 등가회로는 [그림 10]과 같이 한 개의 음향 경로(Acoustic Path)와 다수 개의 전기적 입력과 출력에 해당하는 전기 경로(Electrical Path)로 구분해서 나타낼 수 있으며, 전기와 음향간 상호 변환은 변환기(Transformer)의 변환계수를 통해 표현할 수 있다^{[8],[9]}. 이러한 Smith 등가회로는 일반적으로 널리 알려진 전송선로 이론, 즉 전송선로의 T형 등



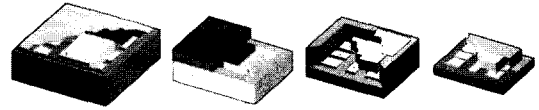
[그림 10] IDT에 대한 Smith 등가회로

가회로를 바탕으로 유도되었음을 알 수 있다.

IDT의 전반적인 특성은 Chain Matrix를 이용하면 쉽게 해석할 수 있는데, 다수의 전극지를 갖는 IDT의 구조에 있어서는 [그림 10]의 전극지의 기본구조에 대한 Chain Matrix를 그 개수(M)만큼 행렬곱을 함으로써 얻을 수 있고, SAW 필터의 전반적인 특성(FT)은 반사기 Block(F_R), IDT Block(F_T) 및 IDT 사이에 존재하는 전송 선로(F_{SP})에 대한 각각의 Chain Matrix의 순차적인 곱에 의해 구현될 수 있다.

3-1 Package 형태

단말기내 카메라 기능의 내장 및 GPS 기능 등의 부가와 같은 복합 다기능화와 단말기 자체의 경박단소화의 추세에 따라 적용되는 부품에 대한 지속적인 소형화 요구가 있으며, RF 부품으로서 SAW 필터도 예외는 아니다. 이러한 추세와 더불어 PCB의 유효면적 및 부피가 줄어들고 있고, 이에 대한 해결 방안으로서 종전의 3×3 mm 크기의 패키지에서 2.5×1.4 mm로 급격한 변환이 이루어졌으며, 최근 들어서는 2.0×1.4 mm 크기의 패키지가 상용화 되어 출시되고 있다. 패키지의 소형화에는 필수적으로 조립공법의 변화를 가져오고 있는데, [그림 11]에 도식적으로 나타내었듯이 Chip과 패키지간 전기적인 접속방법에 있어서 종래의 3×3 mm 패키지의 경우에는 반도체 조립 공정에서 일반적인 와이어본딩 기법이 적용되



[그림 11] SAW filter용 package의 종류

<표 1> 밀리미터파용 MMIC 공정

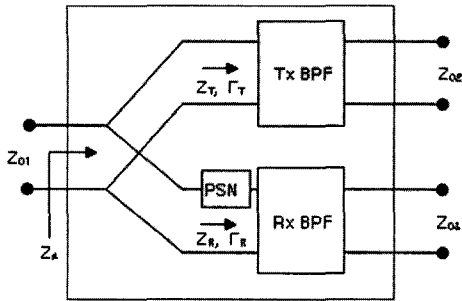
Process	사용 주파수 대역	주요 구현 가능 회로
GaAs HEMT (0.15 um)	1~65 GHz	저잡음, 고출력 MMIC
GaAs HEMT (0.1 um)	44~100 GHz	저잡음, 고출력 MMIC
1 um ImP HBT	DC~65 GHz	VCO, 고출력 선형 증폭기
0.1 um InP HEMT	44~160 GHz	LNA, Mixer, 고출력 증폭기

고 있는 반면, 2.5×2.0 mm 패키지로 소형화 됨에 따라 Bump Bonding과 Flip chip 기법이 적용되고 있음을 알 수 있다. 더 나아가서 2.0×1.4 mm 크기의 패키지로 더욱 소형화 됨에 따라 Bump Bonding과 Flip chip 기법의 적용은 물론이고, 조립된 Chip을 외부환경으로부터 보호하기 위해 Sealing 기법에 있어서도 Laminating 기법 적용 등에 의해 차별화 하여 CSP (Chip Scale Package) 기법이 적용되고 있다.

각각의 Application 및 현재 적용 가능한 주파수 대역은 <표 1>에 나타내었다.

3-2 SAW Duplexer 설계 기술

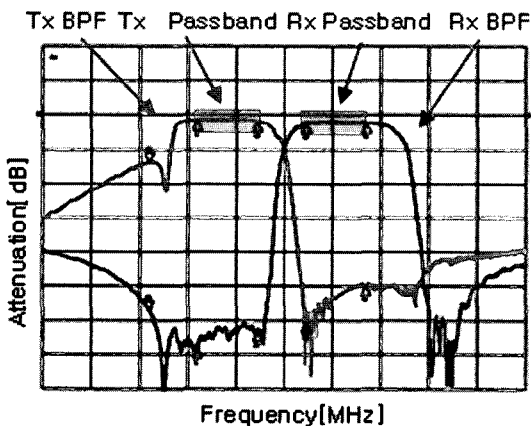
듀플렉서는 안테나와 송수신단을 연결하여 Full-Duplexing 하기 위해 동시에 송신 신호와 수신 신호를 분리시키는 역할을 한다. 즉 송신시에는 송신단의 PAM(Power Amplifier Module) 출력 전력이 듀플렉서를 통과하여 안테나로 최대 전력을 전달하고, 수신시에는 반대로 안테나를 통해 수신된 미약한 RF 신호가 듀플렉서를 통과하여 수신단의 LNA로



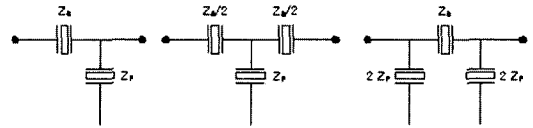
[그림 12] SAW 듀플렉서의 구조에 대한 블록도

신호를 전달하는 역할을 하는데, 이때 이러한 수신 신호에 대해 최대 전력 전달을 위해 통과 과정에서 삽입 손실이 적어야 함은 물론이고, [그림 12]의 두 개의 대역 통과 필터를 결합한 듀플렉서는 송수신 상호간의 간섭 영향을 최대로 억압하기 위해서 감쇠 특성 및 격리 특성(Isolation)이 우수해야 할 뿐만 아니라, 송수신간 대역에 있어서 간섭 대역에 대해 반사 특성이 우수해야 한다.

[그림 13]은 CDMA 단말기용 SAW 듀플렉서의 주파수 특성을 나타낸다. 듀플렉서를 구성하는 고유의 내전력성과 우수한 Skirt 특성의 구현을 위해 전극지의 개수를 임의로 조절할 수 있는 Ladder 회로형 기



[그림 13] SAW 듀플렉서의 주파수 특성



[그림 14] 대표적인 ladder형 SAW 필터의 회로망 구성도

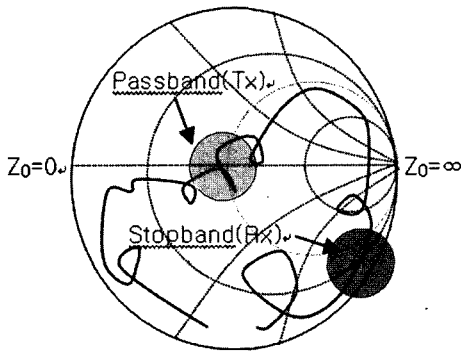
법을 적용해서 송수신용 SAW 필터를 설계하게 된다. Ladder형 SAW 필터는 1-port의 직렬공진기와 병렬공진기간의 조합으로 구성되는데, 필터에 요구되는 임피던스 특성에 따라 [그림 14]와 같이 L형, T형, 또는 π 형의 기본 회로망 구조를 영상 임피던스 정합법에 의해 다단으로 종속 접속시켜 구성하게 된다.

SAW 듀플렉서는 송신용 필터와 수신용 필터의 안테나 단자를 전기적으로 병렬접속해서 구현할 수 있다. 일반적으로 SAW 듀플렉서용으로 구성되는 송신용 필터의 경우 상기의 T형 회로망을 2단 접속해서 사용하게 되는데, 이러한 경우 송신 대역은 50 W으로 쉽게 정합이 가능하며, [그림 15(a)]와 같이 고주파측에 위치하는 간섭 대역인 수신 대역은 높은 임피던스를 가지게 됨으로써 별도의 위상천이기가 필요없게 되므로 소형화에 유리해진다. 수신 필터의 경우에는 필터 구조 및 위상천이기의 설계 편의성을 위해 상기의 π 형 회로망을 3단 접속해서 사용하게 되는데, 수신 대역에서는 쉽게 정합되는 반면, [그림 15(b)]와 같이 간섭 대역인 저주파측에 위치하는 송신 대역은 낮은 임피던스를 갖게 되므로, 통과 대역인 수신 대역의 임피던스는 50 오를 유지하는데 간섭 대역에서의 임피던스를 크게 증가시킬 수 있는 위상천이기의 도입이 필수적이다.

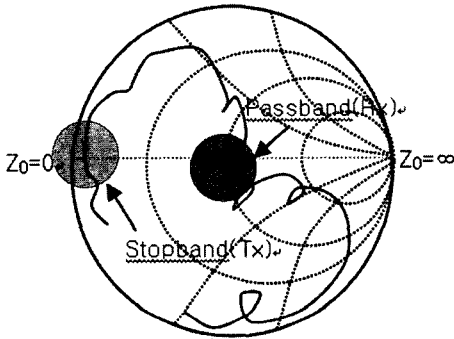
$$Z_{R_{x,i_n}}(X) = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tan(\beta x)}{Z_0 + Z_L \tan(\beta x)}$$

$$\infty \text{ at } f_{o, TX} \rightarrow Z_0 + Z_L \tan(\beta x) = 0 \quad (1)$$

위상천이기(PSN: Phase Shifter Network)의 설계에 있어서 안테나단에서의 임피던스를 무한대 근처로



(a) 송신용 SAW 필터



(b) 수신용 SAW 필터

[그림 15] 듀플렉서용 송수신 SAW 필터의 임피던스 특성

이동시켜줄 필요가 있는데, 여기서 β 는 위상상수를 Z_L 은 수신 필터의 송신 주파수에서 리액턴스, Z_0 는 PSN의 특성 임피던스로서 거의 50 Ω 에 근사한다. PSN의 위상 거리를 구해 보면 전송선로의 입력 임피던스를 나타내는 식 (1)의 해로부터 근사적으로 $\lambda/4$ 의 $(2n-1)$ 배가 됨을 알 수 있다. 여기서 $n=1, 2, 3, 4, 5, \dots$ 이다.

3-3 Front-End Module 기술

이중대역 GSM 단말기의 경우에는 이미 오래 전부터 ASM(Antenna Switch Module)을 필두로 해서 SAW 필터가 내장된 FEM(Front-End Module)이 적용

되고 있었던 반면, CDMA 단말기의 경우에도 지속적인 복합 다기능화와 경박 단소화의 요구로 필터, 매칭용 인덕터, 캐패시터 등과 같은 개별 수동소자와 능동소자를 집적화시킨 FEM 소자가 등장하기 시작했다. 대표적으로 Chipset 업체를 중심으로 수동소자로서 SAW 듀플렉서, RF SAW 필터 및 매칭소자를, 그리고 능동소자로서 Power Detector, PA(Power Amplifier) 소자를 집적화한 FEM 소자의 개발에 박차를 가하고 있다.

IV. LTCC 적층형 필터 기술

LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics)는 10여 년 전 개발 당시와는 달리 수치 다층기판이나 HTCC(High Temperature Co-fired Ceramics) 등의 유사 기술보다 많이 거론되고 다양한 용도에서의 개발 보급이 진행되거나 기대되고 있다. 이는 근래 이동통신시장이 폭발적으로 확대됨에 따라 고주파 아날로그 회로의 소형화, 저가격화, 고기능화를 실현해 내는 한 강력한 수단으로써 LTCC 기판, 부품, 모듈이 폭넓게 활용되는 측면이 있다. 향후에도 이러한 LTCC 제품들은 Wireless 기술을 중심으로 다양한 고부가가치 상품과 범용 상품에서의 다양한 수요를 창출할 것으로 예상된다. 그러나, 전체 무선 통신 산업의 활성화 정도와 SAW, Fbar, Multi-layer PCB 등의 대체 기술들의 동향도 중요한 요소가 된다.

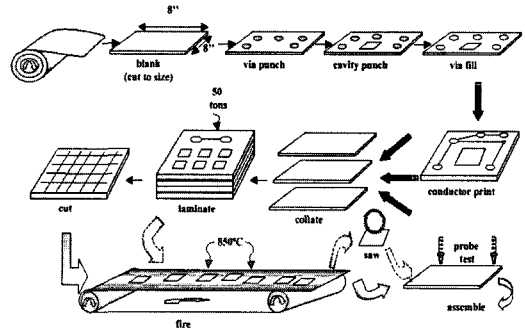
그 동안 기존의 LPF, BPF, Diplexer, Duplexer 등의 필터, 안테나, 커플러, Balun 등의 단품 부품 중심의 양산을 지나 몇 개의 단일 부품을 묶는 부품의 복합화와, ASM, FEM, PAM, VCO, Mixer, Doubler 등의 모듈 제품이 속속 일반화 되고 있는 가운데, 더 나아가 Zero-IF, Low-IF 등의 기술, RF-IC 기술의 발달과 함께 SOC(System On a Chip), SOP(System On a Package)의 연구 개발로 나아가고 있다. 이는 LTCC의 대량 양산성이 초소형, 초경량화, 저가격 대중화라는

방향과 맞아 떨어지면서 이러한 추세는 빠르게 진행되고 있다.

4-1 LTCC 기술

LTCC 세라믹 기술은 저손실, 고밀도 집적, 고속, 고신뢰성을 갖는 회로 및 부품의 대량 양산 대응을 위하여, Ag, Cu, Pd 등의 전도성이 높은 도체를 내부 전극으로 사용하고, 이러한 전극과 동시 소성이 가능한 다양한 유전율의 세라믹 소재를 sheet로 가공하고, R, L, C 수동소자를 3차원 배열하여 모듈화 하는 低溫同時塑性(LTCC) 기술이라 할 수 있다. LTCC 기술의 Core Technologies는 크게 재료 기술(Material Technology), 공정 기술(Processing Technology), Packaging 기술, 설계 기술(Design Technology) 등의 네 가지로 분류할 수 있다. LTCC 기술은 우선 다양한 High Q, High ϵ , Low Tf의 유전 재료를 사용할 수 있으며, 유전율도 5~수천(대개의 경우 수십까지) R 까지 다양한 재료를 사용할 수 있고, 고적층(100층 이상)까지 가능하다. 재료 취급회사는 DuPont, Ferro, Heraeus, CeramTec, Electro-Science Laboratories(ESL), Kyocera, Nikko 등이 있다. 공정의 안정성과 측정 기술이 확보된다면 LTCC 설계자는 수십 개의 capacitor, inductor, resistor 등 수동소자의 embedding이 가능하고 능동소자 및 chip들을 바로 연결할 수 있는 다층구조(multiplayer architecture)로 집적하여 적층화할 수 있는 광범위하고 다양한 설계의 자유도(Design of freedom)를 갖는다.

재료 기술(Material Technology)에서는 Glass-Ceramic 합성 기술, Green sheet의 binder 재료 기술, 공정 기술(Processing Technology)에는 미세패턴 인쇄, printing, micro via punching, 고밀도 적층기술, Munti-cavity 구조 형성 기술, 이종 접합 재료 기술, 도금 기술 등의 요소 기술이 요구되고 [그림 16]과 같은 Green sheet에서부터 Firing 및 측정까지의 일괄된 공정이 필요하다. 공정을 거친 LTCC 제품은 CSP(Chip Size



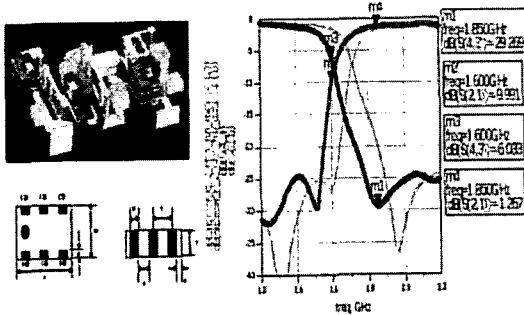
[그림 16] LTCC 제조공정(Plextek. Ltd.^[10])

Packaging) 기술, Wire Bonding, Hermetic sealing 등의 고난이도의 Package 기술과 측정 기술을 거쳐 하나의 제품이 완성될 수 있다. 이러한 기술들을 바탕으로 다양한 Schematic 및 2D, 2.5D, 3D의 회로 설계 기술 및 library 구축 등이 주요한 설계 기술이 된다.

LTCC 부품의 각 요소가 삽입 손실에 미치는 영향은 유전체 손실보다는 내부 전극에 의한 Resistive Loss가 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 Ag, Cu, Pd 등의 내부 전극의 선정은 손실과 공정 안정성 측면에서 아주 중요한 고려 요소가 된다. BPF에서의 Tf 영향에 대한 분석은 설계 및 재료 선정에 중요한 요소를 차지한다. 공정 과정의 xyz 수축율에 따른 변화도 중요한데, Tf 영향에 대한 분석을 공정 변수의 control에 지표로 삼아야 한다. 기타 설계치와 측정치의 일치를 위해서는 공정상의 전극의 두께, Roughness, Layer간 Air 층의 생성 정도, 외부 전극의 형상, 측정 방법과 Calibration 등 많은 고려사항들이 있을 수 있다. 이러한 여러 요소를 보다 다양하게 검토하고 Monte Carlo Simulation 등을 수행하는 것은 높은 수율(Yield)을 얻는데 필수요소로 인식된다.

4-2 집중소자형 LC 필터 기술

[그림 17]은 2012 사이즈의 Cellular-PCS, GPS, IMT-200, 2.3 GHz 무선 인터넷, 2.4 GHz IMS, 5.2 GHz,

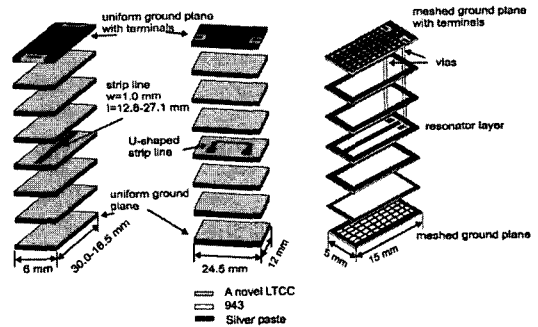


[그림 17] LTCC 기술을 이용한 cellular-PCS diplexer (Amotech^[11])

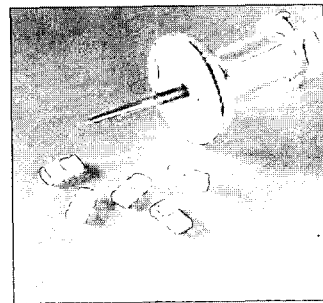
5.8 GHz Wireless Lan 등 다양한 서비스 대역을 2가지 이상 동시에 사용할 때 사용되어질 수 있는 다양한 제품이 개발되어 선보이고 있다. 주로 LPF, Diplexer, Triplexer 등의 형태로 단말기 분야의 여타 기술에 비해 경쟁력을 가지나 2 GHz 이하의 경우 현재 Diplexer를 지나 Triplexer의 제품 또는 FEM 등에 함께 묶여 들어가고 있다. BPF, Duplexer 등은 이 대역에서 SAW에 비해 경쟁력이 다소 떨어지는 추세다. 설계 유형은 주로 lumped element를 기반으로 하고 비유전율 10 이하의 저유전율의 Green Sheet이 사용되어지고 있다. EMI Filter의 경우는 비유전율 80~수천의 고유전율이 사용되어지고 구조상 LPF의 특성을 나타낸다.

4.3 분포소자형 필터 설계기술

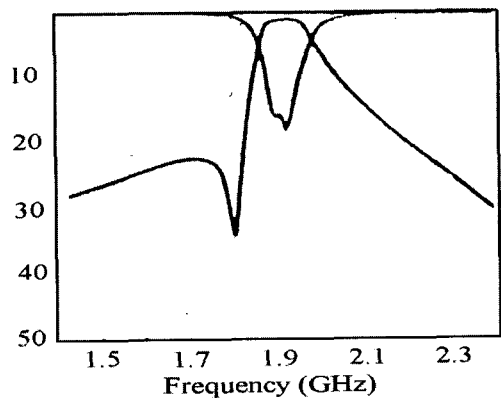
2 GHz 이상에서는 주로 비유전율 10 이상의 고유전율의 재료를 사용하여 주로 [그림 18]에 나타낸 분포소자(Distributed Element)형의 Comb-line filter가 주로 사용되어진다. 이 대역에서는 SAW 필터의 추격이 있으나, 주파수가 높을수록 보다 큰 경쟁력을 가지고 있다. [그림 19]는 Murata의 1.9 GHz 대 3-pole BPF의 예를 나타냈다. Set 업체의 소형화 요구에 맞추어 Soshin 등을 필두로 2520, 2012에 이어 1608 사



[그림 18] LTCC 기술을 이용한 분포소자형 대역 통과 필터 구조



(a) LTCC 기술을 이용한 대역 통과 필터



(b) 주파수 특성

[그림 19] 무라타의 3-pole 대역 통과 필터^[12]

이므로 빠르게 진행되어가고 있다.

V. 결 론

본 고에서는 휴대이동단말 시스템을 포함한 복합 다기능화 되고 있는 다양한 단말기 시스템에 적용될 수 있는 세라믹, MEMS, FBAR, SAW 필터 등과 같은 초소형 고주파 필터 설계 기술 등에 대한 기술 동향에 대하여 기술하였다.

무선통신 시스템의 소형화·복합화·저가격화 추세로 인하여 RF 및 초고주파 필터의 설계나 구현을 전통적인 초고주파 필터 구현 방법에서 벗어난 고품질, 다 기능 재료 및 첨단 가공 기술과 연계된 초고주파 필터 설계 및 제작 기술에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되어져야 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Kun Wang, Clark C. -T. Nguyen, "High-order medium frequency micromechanical electronic filters", *IEEE J. Microelectromech. Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 534-557, Dec. 1996.
- [2] Lee Harle, Linda P. B. Katehi, "A vertically integrated micromachined filter", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 50, no. 9, pp. 2063-2068, Sep. 2002.
- [3] T. M. Weller, Linda P. B. Katehi, and G. M. Rebeiz, "A 250-GHz microshield bandpass filter", *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 153-155, May 1995.
- [4] P. Blondy, A. R. Brown, D. Cros, and G. M. Rebeiz, "Low-loss micromachined filters for millimeter-wave communication systems", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 46, no. 12, pp. 2283-2288, Dec. 1998.
- [5] T. M. Weller, K. J. Herrick, and Linda P. B. Katehi, "Quasi-static design technique for mm-wave micromachined filters with lumped elements and series stubs", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 45, no. 6, pp. 931-938, Jun. 1997.
- [6] T. L. Willke, S. S. Gearhart, "LIGA micro-machined planar transmission lines and filters", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 45, no. 10, pp. 1681-1688, Oct. 1997.
- [7] M. Ylilammi, J. Ella, M. Partanen, and J. Kaitila, "Thin film bulk acoustic wave filter", *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 49, no. 4, pp. 535-539, Apr. 2002.
- [8] Y. Satoh, O. Ikata, T. Miyashita, T. Matsuda, and T. Nishihara, "A low-loss band-pass filter using SAW resonators(in Japanese)", *IEICE Trans.*, vol. J76-A, no. 2, pp. 245-251, 1993.
- [9] Y. Satoh, O. Ikata, and T. Matsuda, "A band-pass filter using one-port SAW resonators", *Fujitsu Sci. Tech. Journal*, vol. 29, no. 4, pp. 367-376, 1993.
- [10] <http://www.plextek.co.uk>
- [11] <http://amotech.co.kr>
- [12] <http://www.murata-northamerica.com>

≡ 필자소개 ≡

박 준 석



1991년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 8월: 국민대학교 전자공학과 (공학박사)
 1997년 3월~1998년 2월: Dept. of EE,

UCLA Post Doctoral Fellow

1998년 3월~2003년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 조교수

2003년 3월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 조교수
 [주 관심분야] RF 및 초고주파 필터 기술, SAW, MCM, LTCC, DGS 응용기술

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선통신시스템, RFID/USN

오 하 령



1983년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 컴퓨터공학전공 (공학석사)
 1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 컴퓨터공학전공 (공학박사)
 1983년 1월~1986년 1월: 삼성전자 종합

연구소 연구원

1992년 3월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수
 [주 관심분야] RFID/USN, 내장형 시스템, 병렬처리, 분산처리

임 재 봉



1974년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1976년: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
 1987년: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)
 1975년~1981년: 충남대학교 전자공학

과 조교수

1988년: 미국 텍사스 주립대학교 전기공학과 조교수

1990년: 한국통신학회 이사

1990년~2005년: SKT, 흥창, 삼성전자, Netel, A-telsys, SK-Telesys 기술고문

1996년: 제21회 산학협동대상 수상

1981년~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] GPS 시스템 application, 셀룰라/IMT-200용 광증계기 설계

조 흥 구



1972년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1974년: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1980년: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)

1993년~1997년: 국민대학교 RF/MMIC 연구소 소장

1998년: 미국 콜로라도 대학교 전기공학과 객원교수

1995년~1996년: 대한전자공학회 마이크로파 및 전파 연구회 위원장

1997년~2000년: 국민대학교 총무처장

2001년: 미국 시라큐스대학교 객원교수

1980년~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 무선통신용 안테나, RFID/USN 시스템