



무선통신 부품의 혁명을 위한 RF MEMS

- 김 종 석 / 고려대학교 마이크로 나노 협동과정
- 주 병 권 / 고려대학교 전기전자전파공학부 부교수
- 송 인 상 / 삼성종합기술원

Micro-Electro-Mechanical Systems(MEMS)이란 수~수백um 크기의 전기적, 기계적 소자나 system을 반도체 공정 기술을 이용하여 제작한 것을 말하며, Inkjet printer의 head 부분, DLP TV의 핵심소자 부분, MEMS microphone 등 일상생활에서 이미 그 적용 범위를 차츰 넓혀가고 있다. 이중 Radio Frequency(RF) MEMS는 RF 부품이나 system을 이러한 MEMS기술로 제작한 것으로 실용성 및 부가 가치가 높은 무선 통신 부품 및 모듈의 개발에 보다 중점을 두고 있다.

1960년대, 우리나라에도 무선 이동 통신 서비스가 시작 된 뒤 그 편리함과 유용성이 인식되면서 이를 이용하는 소비자가 점차 늘어났고, 전세계적으로도 그

이용자와 시장이 급격히 증가하게 되었다. 시장이 확대됨에 따라 진입 업체가 늘어나면서 경쟁이 치열해지고 무선 통신으로 서비스 할 수 있는 부분이 늘어나면서 소비자의 요구 또한 복합적이고 다양화 되었다. 실제로 초기의 이동 통신 시장은 음성통신 서비스만으로 소비자들이 만족했지만 현재는 음성, 이미지, 동영상, 멀티미디어, 데이터 서비스까지 요구하고 있는 추세이다. 따라서 소비자의 요구를 얼마나 만족시켜 주느냐 하는것은 사업의 성패를 결정하는 주요 요소 중 하나가 되었고 이동통신 단말기에서도 처리해야 하는 서비스 양이 급격히 늘어나게 되었다. 서비스 양의 증가는 단말기내 사용하는 부품 수 증가와 성능 향상을 필요

로 하게 되었고 이에 반하여 소비자는 보다 소형의 단말기를 요구함에 따라 좀더 작고, 가볍고 우수한 성능의 집적화 된 부품이 필요하게 되었다. 이에 많은 사람들이 이러한 요구들을 만족시킬 수 있는 기술을 연구하게 되었고 RF MEMS 기술이 이를 실현시킬 수 있는 기술 중 하나로 거론되고 있다. 본지에서는 이러한 RF MEMS 기술 중 대표적인 몇가지 기술들에 대한 최근 기술 동향 및 성능을 중점적으로 소개하려 한다.

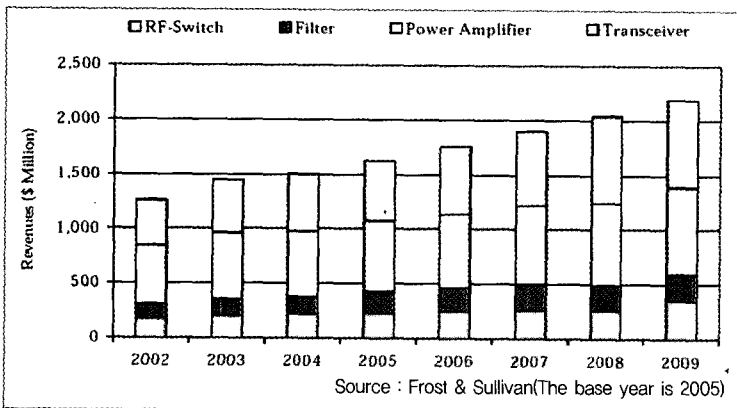


그림 1 RF component들의 시장 예상

표 1 Application fields for MEMS in RF systems

Category	Application examples
RF switch	Band switches, duplex switches, bypass switches, no static power consumption, low loss and signal distortion, System/antenna reconfiguration
MEMS filter and resonator	Duplexer filters, Rx & Tx bandfilters, GPS filters, VCOs, small size reference oscillators, RF system on chip capability
High Q inductors	Passives integration, matching components, baluns, High Q VCOs for on chip inductors
Tunable capacitor	VCOs, High Q tunable filters on chip capacitors

BAW resonator and filter

Bulk Acoustic Wave(BAW) resonator란 두개의 전극 사이에 압전 물질(AIN, ZnO)을 증착하고, electric field를 가함으로써 발생하는 acoustic wave를 이용한 resonator이다.

Electric field가 양 전극에 인가 되면 구조물은 Piezoelectric effect 역 방향으로 기계적인 변형이 발생하고 이는 acoustic wave를 발생시키게 된다. 이 acoustic wave는 electric field에 평행하게 전파되고 이것은 전극과 공기층 계면에 의해 반사된다. Mechanical 공진에서는 공진 주파수 반파장의 길이가 Piezo 박막의 전체 두께와 같기에 원하는 공진 주파수의 resonator를 제작하기 위해서는 정확한 박막 두께 조절이 요구된다.

Mechanical 구조물에서, 공진부가 바닥으로 부터 떠 있게 제작하거나 평면에 제작 한 뒤 바닥의 희생층을 제거하여 공진부를 띄우는 방법이 있는데, 이러한 type의 resonator를 'Thin film bulk acoustic

resonator(FBAR) 라고 한다. 이와 달리 바닥층에 'quarter wave layer'라는 acoustic reflector를 증착하고 그 위에 전극과 압전 물질을 증착하여 resonator를 제작하는 방법이 있는데 이를 solidly mounted resonator(SMR)라고 한다.

BAW filter는 몇개의 resonator들을 어떠한 형태의 조합으로 구성하여 제작하거나 여러개를 적층하여 제작하기도 한다. Filter 안에는 크게 두 그룹의 주파수가 존재하게 되는데 이를 resonator의 'detuning'이라 부르고 실제로 대

부분의 BAW filter들이 이러한 방식을 사용하고 있다. 각 resonator들의 면적과 이의 조합에 따라 filter의 기본적인 특성인 insertion loss, band rejection등이 변하기 때문에 이를 잘 디자인 하는것이 filter의 성능을 직접적으로 높일 수가 있다. 현재 BAW filter를 가장 먼저 양산화시킨 회사는 Agilent사로서 현재는 반도체 부분을 분사하여 새로이 만든 'Avago Technology'사에서 제작하고 있다.

Filter에서 부터 filter들의 조합으로 제작하는 Duplexer, Quintplexer, Front end module까지 다양하게 제작하고 있으며 그 band 영역 또한 US-PCS, KPCS, UMTS, Cellular, GPS등으로 점점 넓히고 있는 추세이다. 초기 ceramic duplexer의 size가 28×5 mm²인데 비하여 BAW duplexer의 경우 현재에는 3.8×3.8 mm² 까지 나온다고 하니 그 크기에서는 대단한 변화라고 볼수 있겠다. 현재의 연구 방향은 점차 IC와 integration시켜 one chip화가 진행 중이며 추후 RF단의 integration시 주요 부품으로 자리 잡기에, Agilent사

뿐만 아니라 LG 이노텍, phillips, Epcos, Infineon, Fujitsu등에서도 개발중이거나 양산 준비중이며 특히 삼성에서는 기존의 PCB 기판에 조립하는 방식이 아닌 Si에 집적화 시키는 방법으로 초소형의 filter와 duplexer를 개발 중이다.

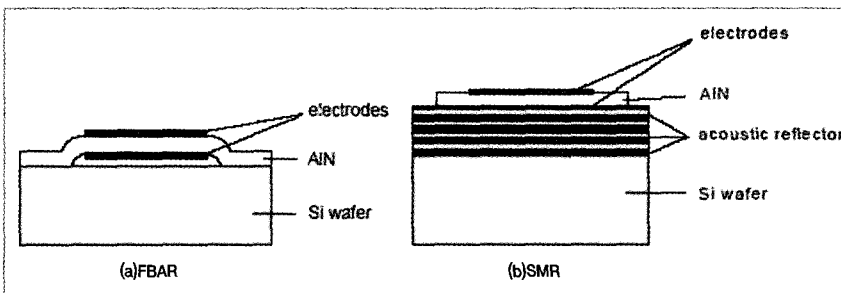


그림3 Schematic view of a film bulk acoustic resonator(FBAR) and solidly mounted resonator(SMR)

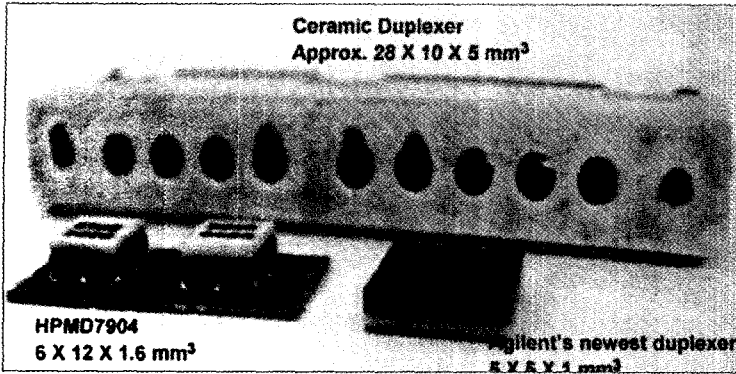


그림 4 Ceramic duplexer와 agilent duplexer의 size 비교

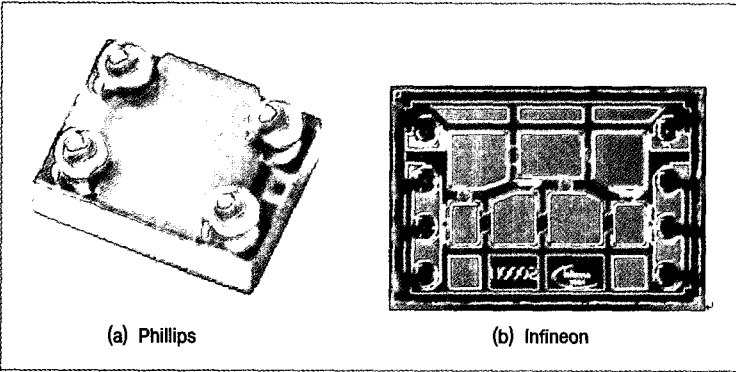


그림 5 Phillips, Infineon에서 각각 개발한 BAW RF filter

RF switch

MEMS 기술을 이용한 RF 소자 중 현재 가장 널리 연구되고 있는 것 중 하나는 스위치이다. RF switch는 말

이했으며 요구되는 사양도 주로 삽입 손실, 분리도 등으로 국한되어 있었다. 이동 통신 단말기 시장의 폭발적인 증가에 따라 이에 대응으로 개발된 MEMS 스위치를 상용으로 응용하고자 하는 움직임이 진행되었다.

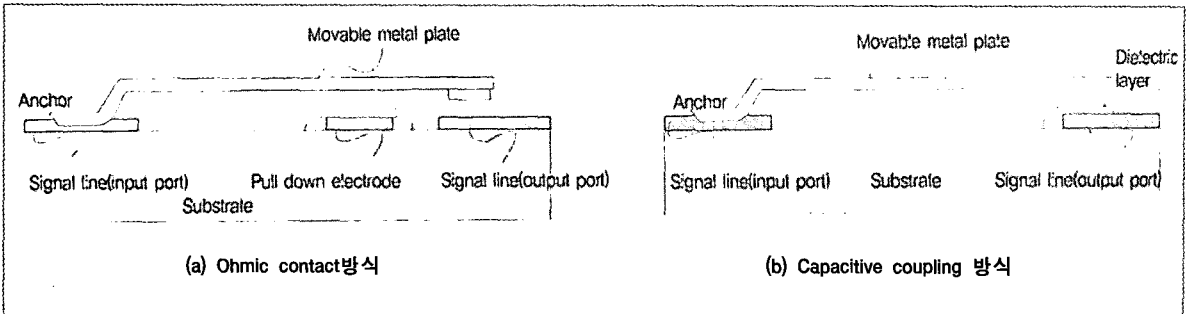


그림 6 RF MEMS 스위치의 개념도

RF MEMS 스위치에서 신호를 전달하는 방식은 크게 두 가지이다. 첫 번째 ohmic contact 방식의 스위치는 직접 전극과 전극을 접촉하는 방식으로 접촉 저항을 통해 RF 신호가 전달되며 주로 낮은 주파수 대역에서 사용한다. 두 번째 capacitive coupling 방식의 스위치는 구동전압이 인가되었을 때와 인가되지 않았을 때의 임피던스 on/off ratio에 의하여 RF 신호가 전달되는 방식으로 비교적 높은 주파수 대역에서 사용하고 있다.

RF MEMS 스위치의 구동 방식에서는 전기력을 이용한 구동(electrostatic actuation), 자기력을 이용한 구동(magneto-static actuation), 열에 의한 구동(thermal actuation), 압전체를 이용한 구동(Piezo material actuation), 액체를 이용한 구동 등이 있다.

전기력, 자기력을 이용한 방식은 전류를 공급하여 전기장 또는 자기장을 발생시키고 이를 이용하여 스위치를 구동 시키는 방식이며, 열에 의한 구동 방식은 전류를 저항체에 공급해 물질의 팽창이나 수축을 이용하여 구동 시키는 방식이다. 이러한 방식의 가장 큰 단점은 무선 통신 단말기의 경우 전력 공급원이 유한하므로 전력 소모의 특성이 단말기 전체의 특성에 큰 영향을 미치게 된다는 점과 자기장이 외부의 소자에 영향을 미쳐 오동작이나 특성 저하를 발생시킨다는 점이다. 그러므로 이러한 측면에서 RF MEMS 스위치에서 사용하는 구동 방식은 electro-static actuation 방식을 더 선호하고 있다. 하지만 전기력을 이용한 방식도 너무 낮은 전압에 동작하도록 제작 된 경우 membrane이나 cantilever가 여러 가지의 원인으로 stiction이 일어나 동작하지 않게 되는 경우가 많다. 이를 극복하기 위

해 구동부의 강도를 높이면 자연스럽게 동작전압이 수십 볼트 이상 필요하게 되는 문제가 발생한다. 이에 IC회로로 제작된 승압기를 내부에 심어서 제작하는 방식이 많이 선택하고 있다. 현재 RF MEMS switch를 연구하고 있는 회사로는 IBM, 삼성, Nokia, LG, Texas Instruments, Motorola, Ericsson micro wave systems, Sony등 통신쪽과 관련이 있는 주요 대기업은 모두 연구를 진행하고 있는 상태이다.

MEMS Inductor & Capacitor

MEMS를 이용하여 구현한 높은 Q값을 갖는 inductor나 capacitor는 passive와 active 회로상의 phase noise, power consumption, nose figure등을 감소시키고 matching network filter상에 loss를 감소시키는 역할을 한다. 또한 공정이 다른 MEMS device 제작보다 비교적 간단하고 CMOS 공정 완료 후 그 위에 구현하는 post-CMOS 공정 실현이 가능하기에 저 전력, 고성능을 요하는 TOC등에는 반드시 필요한 요소로 부각되고 있다.

높은 Q값을 가지는 inductor는 이미 MEMS 공정을 이용하여 비교적 잘 구현되어 있고 일부는 제한적인 단일 칩 형태로, PSN에 삽입되어 있는 상태로 제품화가 되고 있다. 또한 post-CMOS 공정을 이용하여 IC위에 집적화가 충분히 가능하기에 현재 보다는 향후 사용이 기대되는 부품중의 하나이다. MEMS 기술로 제작한 inductor는 크게 spiral과 solenoid의 두 가지 구조로 개발된다. Spiral 구조는 solenoid 구조에 비하여 높은

인덕턴스 값을 구현하기 어렵고 상대적으로 기관에 의한 손실이 크지만 제조 공정이 간단하여 RF IC에 집적시키기가 용이해 상용화 가능성이 더 높다. 초기에는 단품 위주로 최고의 성능을 내기위한 개발이 진행되었으나 최근에는 Bi-CMOS위에 inductor를 형성시켜 5GHz VCO를 제작하는 등 CMOS와의 inte-

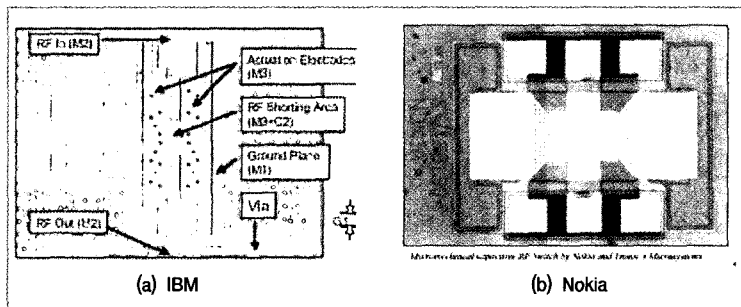


그림 7 IBM, Nokia에서 제작중인 electro static 방식의 RF MEMS switch

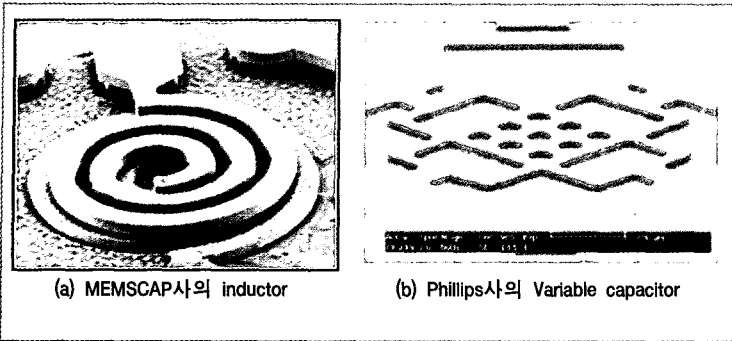


그림 8 MEMS inducotr와 capacitor

의 면적 또는 간격을 변화시키는 방법이 많이 연구 되었다. 또한, 두전극 사이의 유전체를 변화시키는 방법의 variable capacitor도 제작되었다. 따라서 전극의 간격 또는 면적을 변화시키기 위해서 정전기력 방식, 열적방식, 전자기적 방식 등의 마이크로 액츄에이터가 채택되어 variable capacitor가 설계되고 있다.

MEMS variable capacitor의 경우, 지금까지 연구는 구동체를 두고 air 유전층과 그 간극의 변화를 통해 그 capacitance를 가변하는 쪽으로의 진행이 주를 이루었다. 때로는 간극은 고정된 상태에서 유전층의 유전상수를 전기적으로 변화시킴으로써 가변 특성에 변화를 주어 왔는데, 전자의 경우가 그 가변 범위가 훨씬 더 크게 나타낼수 있었다. 하지만 hermetic 이나 진공 package의 부담이 매우 큰 방법이다. 향후, 가변 capacitor의 연구는 적용 가변 범위를 정확히 판단하여 그 구동 메커니즘을 명확히 결정하고 진행되어야 할것으로 보인다.

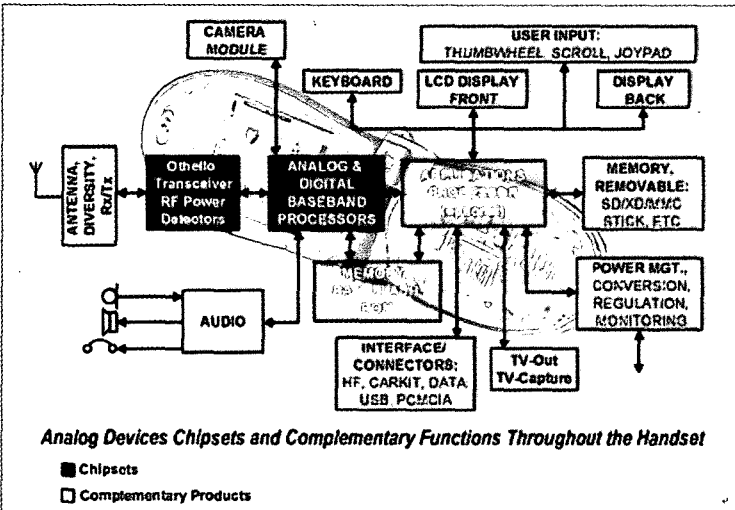


그림 9 부품의 집적화가 진행되고 있는 이동통신 단말기

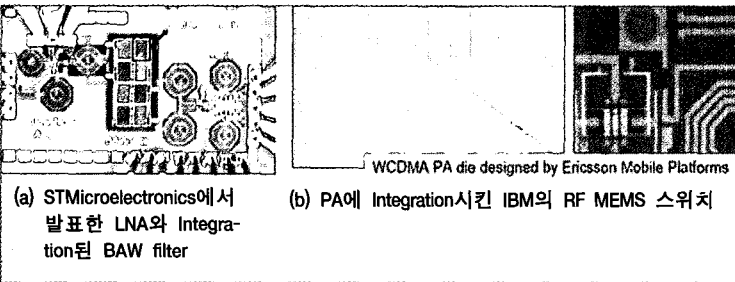


그림10 IC와 integration된 MEMS 소자

가속화 되고 있는 부품들의 집적화

가격에 대한 압력과 다양한 성능을 한곳에 모우면서도 보다 작은 size를 원하는 소비자들의 취향에 발맞추어 이러한 RF 관련 부품 회사들은 지금도 끊임없이 새로운 기술개발에 힘쓰고 있다.

gration 연구도 시작되고 있는 추세이다.

캐패시터의 캐패시턴스는 두 전극의 면적과 두 전극 사이의 유전체의 유전상수에 비례하고 두 전극의 간격에 반비례하므로, variable capacitance는 두 전극 사이

발에 힘쓰고 있다. 특히 앞으로는 이동 통신 제품에 들어가는 부품들의 수가 급격히 감소하고 이러한 부품들은 모듈화와 집적화가 이루어 질것으로 보인다. 또한 이동통신 단말기 제작업체들도 부품제작 업체들이 실

제 집적화 chip을 실현하기 까지 모듈, 집적화, 소프트웨어의 역할에 대해서도 계속적으로 구분 지으며 부품 업체들에게 그 기능을 요구할 것으로 보인다.

분명한 경향은 가능한 많은 기능을 IC에 넣으려고 하고 있고 이를 실현하기 위한 방법으로 system on chip(SOC)가 많이 언급되고 있다. 하지만 이러한 방법은 공정단가를 급격하게 증가시키고 유동성이 없기 때문에 아직까지는 보다 기술력이 쌓인 뒤 실현될 것으로 보인다. 지금은 이보다 system in package(SIP)쪽으로 실현가능성을 점치며 연구의 방향 또한 기판, 조립 방법, 소자 연결방법등이 가격과 각 소자의 성능 저항 방지라는 측면에서 집중적으로 연구되어 지고 있다.

참고 문헌

1) "MEMS RF switch 동향" 월간 전자 기술 2002년 5월 pp123~129
 2) "RF MEMS in mobile phones", www.RF

design.com, September 2005
 3) "Thin film bulk acoustic wave resonators: a technology overview" MEMSWAVE 03, toulouse, France, July 2-4, 2003
 4) "MEMS in RF Filter Applications: Thin-film Bulk Acoustic Wave Technology", R. Aigner, Infineon Technologies, Munich, Germany
 5) Ruby, R., Bradley, P., Larson, J., Oshmyansyk, Y., Figueredo, D., presented at the IEEE ISSCC2001 Conference, February 6, 2001.
 6) Meier, H., Baier, T., Riha, G., IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 49, No. 4, (2001) 743-748.
 7) K.M. Lakin, "Thin Film Resonators and Filters", presented at IEEE Ultrasonics Symposium, Lake Tahoe, NV, USA, 1999.