

Thema

| 차세대 이동 통신용 RF MEMS 부품과 그 응용

박 재영 교수
(광운대 전자공학과)

1. 서 론

21세기 산업을 이끌고 있는 정보통신은 하루가 다르게 빠른 성장을 하고 있다. 시장과 기술에서 가장 빠르게 발전하고 있는 정보통신 산업은 바로 이동단말기 산업이다. 초창기에 문자를 전송하는 페이지에서 현재 멀티미디어, 동영상 방송을 수신 할 수 있는 DMB폰으로 발전하기까지의 시간은 아주 짧다. 향후 휴대폰은 건강검진, 환경감시, 유비쿼스 네트워킹 기능을 추가하는 최첨단 제품으로 발전할 것으로 전망한다. 이러한 시대적, 기술적 흐름에 맞추어 RF(Radio Frequency) MEMS 기술은 차세대 이동통신산업을 이끌 차세대 핵심 전략 기술로 인정되어 전세계적으로 활발히 연구되고 있는 분야이다. RF MEMS 기술은 쉽게 풀이하자면 MEMS 기술을 휴대형 정보기기, 이동 및 무선 통신기기 등에 적용하여 소형화, 저가화, 경량화, 집적화, 고성능화, 그리고 다기능화 시키는 데 필요한 차세대 반도체 기술이다. 또한 이러한 기술들의 장점은 기존의 제품들에 적용되어 소형화, 고성능화, 그리고 저가격화 시키는 것을 뛰어넘어 다중밴드/모드에서 동작하는 새로운 이동통신 부품 및 시스템의 창출을 가져오는데 많은 공헌을 할 것으로 예상된다. 본 원고에서는 RF(Radio Frequency) MEMS 기술의 대표적인 적용 및 응용 예를 통하여 이 기술들이 앞으로 이동 및 무선통신 산업에 가져올 파급효과를 살펴보고자 한다.

2. RF MEMS 기술 및 응용

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술은 미세한 전기/기계 소자나 시스템을 구현하는 설계 및 제작기술로 Micromachining이라고도 한다. Micromachining은 반도체 기술을 기반으로 20~30년전에 연구가 시작되었지만 회로제작 및 2차원 구조물제작에 제한되지 않고 3차원 구조물 까지 구현함으로써 전자(가전, 디스플레이, 저장, 통신, 자동차등등), 기계, 화학, 생물 등 다양한 분야에 응용되어 기존의 사업을 보다 더 크게 확장하거나 새로운 사업을 창출해내는 핵심요소 기술로 인정 받고 있다. 이러한 MEMS 기술은 최근에 이동 및 무선통신의 핵심 사업 분야라 할 수 있는 휴대형 정보단말기(휴대폰, PDA)에 적용되기 위한 연구가 활발히

진행되고 있다. 왜냐하면 RFMEMS 기술은 이동통신 단말기에 사용되는 부품이나 시스템에 적용되게 되면 소형화, 저가화, 경량화, 집적화, 고성능화, 다기능화를 가져올 수 있어서 우리 삶에 커다란 변혁을 초래할 수 있기 때문이다. 또한 이동 및 무선통신에 사용되고있는 RF Transceiver는 RF 수동 부품인 필터, 인덕터, 스위치, 커패시터, 공진기, 안테나등과 HBT, CMOSFET 등과 같은 능동소자의 조합으로 구성되는데 현재는 앞에서 언급한 수동 소자들이 능동 소자들과 별도로 제작되고 패키징 된 후에 PCB 기판 위에 IC 칩들과 Assembly 되기 때문에 차세대 무선통신/정보기기들의 소형화, 경량화, 다기능화를 가로 막는 가장 큰 장애물로 알려져 왔다.

하지만 RF MEMS 기술을 이용하게 되면 앞에서 언급한 RF 수동 부품들을 제작하는 공정이 능동 소자들과 매우 유사하여 한 기판 위에 능동 소자들과 수동 소자들의 집적화 및 소형화가 가능하여 RF 송수신기를 초소형 Single Chip으로 구현이 가능하다. 그림 1은 RF MEMS 기술이 RF 송수신기에 적용되었을 때의 그 효과를 보여 준 것으로 기존의 Board Level Implementation 기술을 이용했을 때와의 차이점을 보여주고 있다. 초소형 Single Chip Transceiver가 구현이 되면 손목시계크기의 휴대형 초소형 정보통신 단말기 구현이 가능하다. 또한 단순히 소형화의 장점뿐만 하나의 송수신기로 여러 가지 방식의 무선통신을 할 수 있어서 미국이나 유럽 등 국경에 상관없이 동일한 초소형 이동통신단말기를 사용할 수 있고 또한 하나의 단말기로 여러 주파수 Band(Cellualr, PCS, IMT2000, Wireless LAN 등등)에서 사용이 가능하게 할 수 있다. 또한 고밀도 집적

화가 가능하여 화상전송을 포함한 대용량의 정보 전송도 가능하다.

2.1 RF MEMS 스위치

차세대 이동통신은 기존의 음성, 데이터 통신의 고속화, 고도화뿐만 아니라, 동화상 전송 등의 멀티미디어 서비스, 건강진단, 그리고 환경감지 등 다양한 서비스를 제공하며, 표준이 다른 지역간의 Roaming 및 기존에 보급된 셀룰러/PCS와도 호환성이 보장될 수 있는 Multi-mode/Multi-band 기능이 기본적인 사양이 될 것이 거의 확실하다. 또한 10 Mbps급 이상의 초고속 대용량 이동 통신인 제 4세대 MB-ISDN도 Multi-Mode/Multi-Band 기능을 기본사양으로 해서 표준이 서로 다른 지역에서 문제없이 사용될 것이다. Multi-Mode/Multi-Band 기능을 갖는 초소형 제 3, 4세대 이동통신단말기 개발에 꼭 필요한 소자가 바로 저손실, 고격리도, 선형서, 광대역 특성을 갖는 초소형의 RF 스위치이다.

현재 사용되고있는 RF 스위치는 FET와 Pin Diode 스위치와 같은 반도체 스위치로써 높은 삽입 손실과 낮은 Isolation, 높은 전력소모, 좋지 않는 고주파 특성 등 여러 문제점을 갖고 있다. 따라서 이러한 반도체 스위치의 문제점을 개선한 새로운 스위치가 연구 개발되고 있는데 바로 그것이 RF MEMS 스위치이다. 한 예로 반도체 스위치의 소비 전력은 수십 mW로써 이는 반도체 스위치 1개당 RFMEMS 스위치 1,000개의 소비 전력과 같은 결과로써 통신 시스템의 고집적화에 유리하다. 또한 RFMEMS 스위치는 기존의 반도체 공정으로 제작한 능동소자와 집적화 및 On-Chip Packaging이 가능하다는 것도 장점이다. 이러한 RF MEMS 스위치는 송신 신호/수신 신호 전환기, 임피던스 정합 회로, Re-Configurable 필터 Banks, Smart Antennas, Mm-Wave 대역의 Tuning Element 등으로 다양하게 사용될 수 있어서 연구 개발이 가장 많이 이루어지고 있는 RFMEMS 소자이다.

첫째, 낮은 삽입 손실과 높은 Isolation 특성을 갖는 RF MEMS Switch를 Antenna의 송신 신호/수신 신호간 절환(Diversity) Switch 기능으로 사용하는 Cellular, PCS, IMT 2000 등이 서로 호환이 가능한 다중밴드/모드에서 동작하는 단말기를 개발할 수 있다. 여러 주파수대역에서 사용 가능한 여러 개의 필터들과 Co-Integration하여 사용하고자 하는 필터들

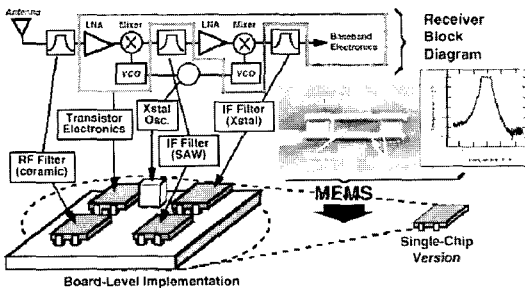


그림 1. RF 송수신기에 RF MEMS기술의 적용 예.

을 자동으로 선택할 수 있는 Filter Banks가 구현 가능하다. 또한 단말기의 수신기 잡음지수 효율도 크게 향상시킬 수 있다.

둘째, RF MEMS Switch를 이용해서, 고효율/소형/저가격의 Multi-Mode/Multi-Band에 동작하는 초소형 전력 증폭기 모듈을 개발할 수 있다. 기존의 Multi-Mode/Multi-Band 전력 증폭기는 미국 Anadigics 社의 AWT919D 전력 증폭기 모듈의 경우와 같이, 주파수 대역 별로 별도의 전력 증폭기를 구성하고, 사용하고자 하는 주파수 대역의 증폭기만 선택적으로 동작되도록 구성되어 있다. 따라서, 전력 증폭기 모듈이 여러 개의 별도 증폭기 Chain으로 구성되어, 전체 모듈 크기가 커질 뿐만 아니라, 가격도 매우 비싸진다. RF MEMS Switch를 이용한 전력 증폭기는 단일의 증폭기 Chain만을 가지고 있고, 입력과 출력의 임피던스 정합 회로가 Mode나 Band에 따라 적절한 Impedance를 갖도록 되어 있다. 이러한 변환은 임피던스 정합 회로 안에 삽입 손실이 작은 RF MEMS Switch를 돕으로써 가능하다. 통상적으로 Multi-Mode 구현을 위해 FET Switch를 사용한 경우에 50 %의 효율을 얻을 수 있다면, MEMS Switch를 사용하는 경우에는 70 %의 효율을 얻을 수 있다. MEMS Switch는 전력 소모가 거의 없고, 수십 W의 높은 출력의 신호에 대해서도, 신호 왜곡이 없는 장점도 갖고 있다. 또한, MEMS 스위치를 이용한 전력증폭기 모듈은 증폭기 Chain이 하나로 되어 있어, 가격 및 모듈의 크기 면에서, 다른 제품에 대해 뚜렷한 경쟁우위를 갖을 수 있다.

셋째, Mm-Wave 대역의 Tuning Element로서 Tunable MEMS Capacitor로 사용가능 하여서 주파수 가변 가능한 Tunable Filter, Mm-Wave Load-Pull(임의의 임피던스 합성기)를 개발할 수 있으며, 초소형 Tunable Phase Shifter나 Tunable Phased Array Antenna 같은 제품개발에도 응용 가능하다. 특히 위상배열 안테나는 군용 또는 민간용 레이더, 위성 통신 등에 다양한 목적으로 사용 가능하다.

RF MEMS Switch는 Cantilever와 Membrane 구조의 스위치들과 Rotary 방식의 스위치들이 있으며 이들 대부분이 정전기력을 이용하여 구동 되는 원리를 갖는 용량형의 소자들으로써 Raytheon System Corporation, Rockwell Science, Michigan 대학, LG 등에서 연구를 주로 수행하고 있으며, DC 전류도 통

과할 수 있는 집적 접촉 방식의 정전기력 방식의 저항형의 스위치는 Texas Instruments, SamSung 등에서 현재 연구를 수행하고 있다. 그림 2는 저항형 스위치와 용량형 스위치의 구조 및 동작원리에 대하여 설명해 준다. 저항형 스위치는 그림에서와 같이 직접적으로 전극과 전극을 접촉하는 방식이며 용량형 스위치는 구동전압이 인가 되었을 때(움직이는 상부 전극이 고정된 하부 전극 위의 절연체 위로 달라 붙어서 Capacitor가 형성되어 Capacitance가 커짐)와 인가되지 않았을 때(움직이는 상부 전극과 고정된 하부전극사이에 Air Gap이 존재하여 Capacitance가 아주 작음)의 Impedance On/Off Ratio에 의하여 스위칭하는 방식이다. 따라서 용량형 스위치의 경우는 Bias 전압이 인가 되었을 때의 Impedance가 커야 좋은 Isolation 특성을 얻을 수 있기 때문에 보다 좋은 Isolation 특성을 갖는 스위치를 개발하기 위하여 높은 유전율을 갖는 유전체를 절연체로 사용한다든지,

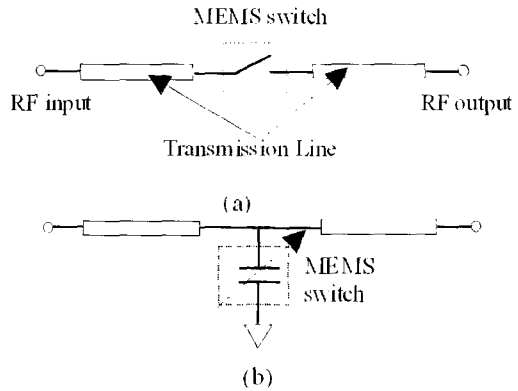


그림 2. RF MEMS 스위치의 개념도: (a)저항형 스위치 (b)용량형 스위치.

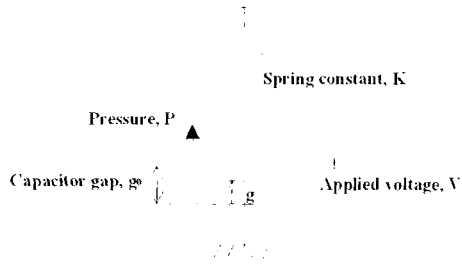


그림 3. RF MEMS 스위치의 lumped model.

희생층을 제거하고 난후에 절연체의 표면이 손상되지 않도록 하는 다양한 연구가 현재 수행되고 있다.

RF MEMS 용량형 스위치의 Impedance On/Off Ratio는 다음의 공식에 의하여 얻어질 수 있으며, RF MEMS 스위치가 좋은 격리도를 갖기 위해서는 적어도 On/Off Ratio가 100:1 이상이 되는 것이 바람직하다.

$$\frac{Z_{off}}{Z_{on}} = \frac{C_{on}}{C_{off}} = \frac{\epsilon_{dielectric}\epsilon_0 h_{air} + h_{dielectric}}{h_{dielectric}} \approx \frac{\epsilon_{dielectric}\epsilon_0 h_{air}}{h_{dielectric}} \quad (1)$$

또한 정전력 구동의 RF MEMS 스위치는 그림 3과 같이 Lumped Model을 통하여 스위치의 Pull Down Voltage를 수식으로 계산을 할 수 있는데 이 Model은 그림 3에서 보여지는 것처럼 고정된 접지전극 위에 Ideal한 Linear Spring을 Parallel Plate Capacitor와 연결 시킴으로써 한쪽의 전극이 인가한 전압 혹은 압력에 의해서 변화하게 되는 Model이다. 이 스위치의 Model로부터 Pressure Balance Equation을 이용하여 스위치의 움직임을 표현할 수 있다.

$$P(g) = K(g_0 - g) - \frac{\epsilon_0 V^2}{2g^2} \quad (2)$$

여기서 P는 스위치의 Mechanical Body에 걸리는 총 압력이고, g는 하부에 고정된 전극과 움직이는 상부전극과의 간격이고, g₀는 전압이 스위치에 인가되지 않았을 때의 초기 높이이며, V는 인가된 전압이다. 또한 스위치의 탄성계수는 움직이는 상부전극의 Young's Modulus, Possion Ratio, 그리고 Residual Stress에 의해서 결정된다. 즉 스위치에 전압이 인가됨에 따라서 움직이는 상부전극이 고정된 하부전극 쪽으로 움직이게 됨에 따라 두 전극들 사이의 격이 줄어들게 되고 움직이는 상부전극에 Electrostatic Pressure가 증가하게 된다. 위의 수식을 풀게 되면 두 전극들 사이의 간격과 인가한 전압과의 관계를

나타낼 수 있으며, 움직이는 상부전극이 어느 특정한 위치에 이르게 되면 고정된 하부전극위로 순간 달라붙게 된다. 이 특정위치는 일반적으로 초기높이의 2/3지점이다. 즉 앞의 공식에 g=2g₀/3를 대입하게 되면 다음과 같은 Pull Down Voltage를 계산하는 식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$V_p = \sqrt{\frac{8Kg_0^3}{27\epsilon_0}} \quad (3)$$

그림 4와 그림 5는 제작된 정전력 구동의 RFMEMS 스위치들의 예이며 구동방식과 응용분야에 따라서 그 구조가 다양하다. 표 1에서 본 바와 같

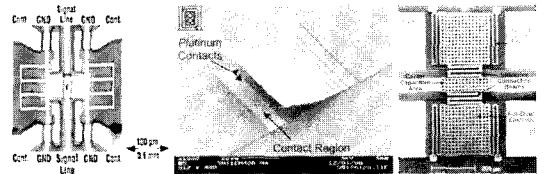
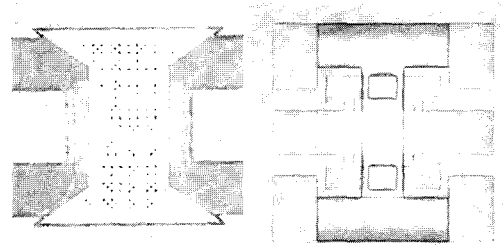


그림 4. 정전력구동의 RF MEMS 저항형 스위치: (a) Rockwell science, (b)MIT, (c)Univ. of Michigan.



(a) (b)

그림 5. 정전력구동의 RF MEMS 용량형 스위치 : (a) silicon nitride를 절연막으로 이용한 스위치(TI) (b)STO막을 절연막으로 이용한 스위치(LG).

표 1. 정전력구동의 RFMEMS 스위치와 반도체 스위치의 특성 비교.

변수	GaAs FET	RSC	TI	HRL	Michigan	LG Elite
구동전압 (V)	~ 1	~ 60	~ 50	~ 25	15 ~ 20	5 ~ 10
삽입손실 (dB)	2 at 6 GHz	0.2	0.15 at 10 GHz	0.2	0.6 at 22 GHz	~ 0.1
격리도 (dB)	22 at 2 GHz	32 at 10 GHz	15 at 10 GHz	40 at 12 GHz	20 at 22 GHz	42 dB at 5 GHz
응답속도 (us)	0.01	2 - 5	3.5 - 5.3	20	-	5 - 10
스위칭 원리		Au metal, 저항형	용량형	Au metal, 저항형	용량형	용량형

이 RFMEMS 스위치들의 성능이 구동전압이 높은 것을 제외하고는 기존의 반도체 스위치들 보다 훨씬 우수한 성능을 갖음을 볼 수 있다. 하지만 RFMEMS 스위치들이 상업화가 되기 위하여서는 응용분야에 따라서 차이는 있겠지만 수억만 번의 동작을 해도 동일한 특성을 유지할 수 있는 신뢰성이 가장 중요한 변수이다. 이동통신 단말기에 적용하기 위하여서는 신뢰성뿐만 아니라 낮은 구동전압과 저전력소모가 필수이다. 미국 콜로라도 대학에서는 열전(Electro-Thermal) 구동방식, 미국 Magfusion 사에서는 전자기력구동과 정전력을 결합한 방식, LG에서는 압전구동 방식을 채택하여 이동단말기용 RFMEMS 스위치를 연구개발하고 있다. 표 2는 구동방식에 따라서 RFMEMS 스위치들의 특성에 차이가 있음을 보여준다. 표 2에서처럼 압전 구동방식이 저전압구동과 저전력소모를 갖는 RFMEMS 스위치를 구현하기 위하여서는 가장 이상적인 구조이지만 다른 구동방식의 스위치들과 비교하여 제작공정이 복잡하고 소형화가 어렵다는 것이 단점이다.

표 3에서 볼 수 있듯이 용량형 RFMEMS 스위치의 경우는 크게 두 가지 원인에 의해서 신뢰성에 문제가 발생하게 된다. 낮은 전력의 신호에 있어서는 스위치의 구동전압에 의해서 발생하는 유전체의 Charging이 Stiction문제의 주원인이며, 높은 전력신호에 있어서는 Voltage Self-Actuation 때문에 신뢰성에 문제가 발생하게 된다. 저항형 RFMEMS 스위치의 경우, 낮은 전력 신호의 스위칭에 있어서는 Hardening과 Dielectric Formation 때문에 접촉 저

항이 증가하여 특성이 열화되는 문제가 발생된다. 높은 전력신호의 경우는 Microwelding과 Contact Material Transfer 때문에 Stiction 문제가 발생하거나 손실이 증가하는 문제가 발생한다. 현재 Radant 라는 미국의 조그마한 벤처회사는 고전압에서 동작하는 정전력 구동의 저항형 RFMEMS 스위치를 개

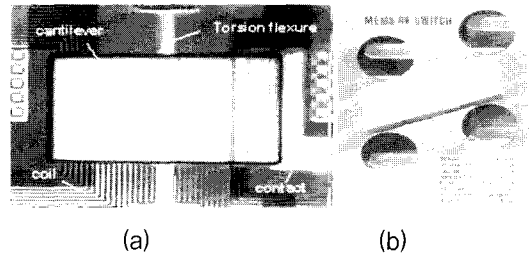


그림 6. 전자기력구동에 정전력구동이 융합된 RF MEMS스위치 : (a)Magfusion社, (b)Dow-key.

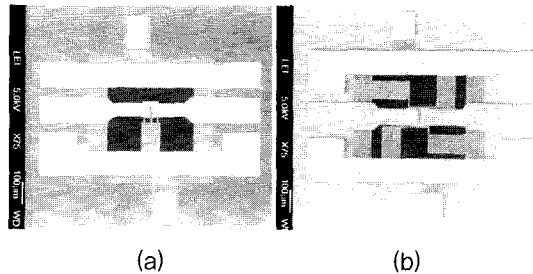


그림 7. 압전력구동의 RF MEMS스위치 (LG) : (a)하나의 캔틸레버 구동기를 이용, (b)푹차모양의 캔틸레버 구동기를 이용.

표. 2. 구동방식에 따른 RFMEMS 스위치의 특성비교.

구동방식/특성	Actuation Voltage (V)	Actuation Current(mA)	Consumed Power(mW)	Device Size	Switching Speed(μ s)	Contact Force(μ N)	Fabrication
Electro-static	8 ~ 100	0	0	Small	1 ~ 200	50 ~ 1000	Easy
Thermal	2 ~ 10	5 ~ 100	~ 200	Large	300 ~ 10,000	500 ~ 5000	Easy
Magneto-static	2 ~ 10	20 ~ 200	~150	Medium	300 ~ 1000	50 ~ 200	Hard
Piezo-electric	2 ~ 10	0	0	Medium	10 ~ 300	50 ~ 200	Hard

표 3. RFMEMS 스위치의 handling Power Level에 따른 Failure Mechanism 비교.

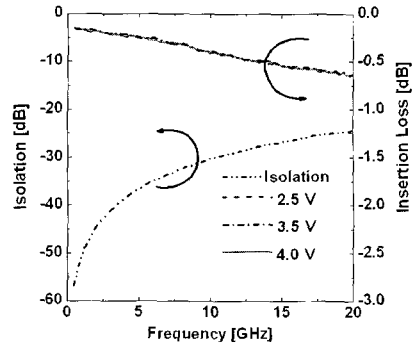
변수	Power level	Low(1 mW)	Medium(~100 mW)	High(>100 mW)
Capacitive Switches	Failure mechanism	Dielectric charging	Dielectric charging, current density	Voltage self-actuation, current density
DC-Contact Switches	Failure mechanism	Pitting, hardening, dielectric formation	Current density, material transfer	Micro-welding, current density, material transfer

발하여 수십억번의 동작에서도 특성이 변하지 않았다는 연구결과를 발표하였으며 현재 군사용 위성에 실장 하는 연구를 수행하고 있다.

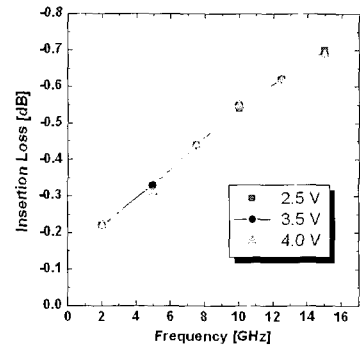
2.2 RFMEMS High Q 인덕터

인덕터는 RF 통신에 광범위하게 사용되는 소자이지만 반도체 기술로 집적화된 인덕터의 Q값과 인덕턴스값이 원하는 Specs에 만족되지 못하여 Discrete한 인덕터가 Assembly 되어 사용되고 있다. 집적화된 인덕터는 높은 Q값과 공진주파수를 갖는 것이 좋다. 이러한 특성을 갖는 인덕터 및 트랜스포머 제작을 위하여 최근에 전기도금을 이용하여 도체층을 두껍게 하고 기판의 손실을 줄이기 위하여 기판위로 소자를 띄우거나 소자가 제작된 부분의 기판을 선택적으로 식각하여 기판 손실의 영향을 줄이는 연구가 많이 이루어지고 있다. 또한 인덕터의 Conductor Lines 사이와 Conductor Lines 과 Core의 사이에서 야기되는 Parasitics나 Stray 커패시턴스를 줄이기 위하여 Core는 air로 하며 Conductor Lines 사이 또한 Air로 하는 연구 또한 이루어지고 있다.

인덕터 구조는 크게 Spiral 과 Solenoid 구조로 나뉘며 기본적인 디자인 변수는 Conductor line의 두께, Conductor lines들 사이의 Spacing, Effective Core Area, Turn Number 등이 있다. 고주파대역에서는 Conductor Line에 Skin Effect이 있기 때문에 두께를 무한정 높이는 것은 의미가 없으며 대략 Skin Depth의 2~3배를 하면 바람직하다. 그림 9와 그림 10은 집적화된 3-D MEMS Solenoid Type과 Spiral Type의 인덕터를 보여준다. 이 인덕터들은 3차원 구조로 이루어졌으며 코어로는 공기 및 절연체를 사용하였는데 그 이유는 자기코어의 경우 도체가기 때문에 고주파에서 손실이 크게 발생되기 때문이다. 그림 9(a)는 Alumina라는 절연체를 코어로 이용하고 전기도금을 이용하여 형성된 구리를 Conductor Line으로 사용하였으며, (b)는 공기를 Core로 사용하였고 전기 도금된 구리를 Conductor Line으로 사용하였다. 그림 10의 (a)는 Silicon 기판의 손실을 줄이기 위하여 기판을 부분적으로 식각하였고 (b)와 (c)는 Posts나 PDM(Plastic Deformation Magnetic)을 이용하여 소자들을 기판 위에 띄움으로 기판으로 오는 손실을 최소화하였다. 기판 위에 Polyimide나 Oxidized Porous Silicon을 두껍게 입혀서 절연층으로 사용한 후 그 위에 제작된 Planar



(a)



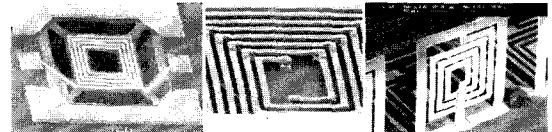
(b)

그림 8. 압전력구동의 RFMEMS 스위치 특성변화: (a) 구동전압에 따른 삽입손실과 격리도의 변화, (b) 구동전압에 따른 삽입손실의 변화.



(a) (b) (c)

그림 9. RF MEMS 3-D Solenoid Type 인덕터 : (a) Alumina Core를 이용한 인덕터(버클리대학), (b)기판 위에 띄운 Air Core 인덕터(Georgia Tech), (c)인덕터의 Close Up View.



(a) (b) (c)

그림 10. RF MEMS 3-D Spiral Type 인덕터 : (a) Silicon 기판을 식각한 Aircore 인덕터(미시간 대학), (b)기판 위에 띄운 Aircore 인덕터 (LG), (c)기판 위에 띄우고 Plastic 변형을 이용한 Aircore 인덕터(일리노이대).

Spiral Inductor들의 경우 대략 5~15의 Q값을 가졌으며, 표 4에서와 같이 기판 위에 띄우거나 두꺼운 Copper Conductor Line을 이용하여 제작된 3-D MEMS 인덕터들은 대략 20~50의 Q 값을 가졌다. 최근에 유리 기판 위에 제작된 그림 10의 (b) 인덕터 경우, 지금까지 제작된 MEMS 인덕터들 중에서 가장 높은 140의 Q값을 갖았다. 그림 11은 여러 개의 기판을 코일 형성시에 전기도금을 위한 마스크로 사용하여 제작된 적층형의 Solenoid 인덕터를 보여준다.

MEMS 인덕터와 가변 커패시터를 이용하면 현재 송수신기에 사용되고 있는 Off Chip 형태의 VCO(Voltage Controlled Oscillator)나 LC 가변 필터가 On Chip으로 구현 가능하다. 또한 이들 집적화된 MEMS 소자들은 수십 GHz 대역에서까지 사용할 수 있는 소자로서 CMOS 혹은 MMIC 제작공정과 유사하여 고성능을 갖는 집적화된 Power Amplifier 나 Oscillator 등의 제작이 가능하다.

2.3 RF MEMS 필터

RF 송수신기에서 꼭 필요한 수동소자 중 하나는 바로 필터이다. 기존의 Discrete 형태의 유전체 필터를 대신할 RF MEMS 필터 연구가 현재 많이 수행되고 있는데 이들 RF MEMS 필터들은 소형화, 집적화가 가능하며 또한 IC 공정과 호환성이 있어서 Co-Integration이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 그림 12는 RF 필터를 구현하기 위하여 현재 많이 연구되고 있는 분야로서 (a)는 기계적인 공진기의 Coupling을 이용하였고, (b)는 전기도금으로 증착된 두꺼운 구리선들의 단면으로부터 Capacitive Coupling을 이용하였고, 그리고 (c)는 전기적인 신호가 인가가 되면 압전체가 기계적으로 수축과 팽창을 하는 것을 이용한 공진기를 결합하여 구현하였다. 이들 필터 가운데, 그림 12(c)에서 보여준 FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) 필터는 USPCS, IMT2000, 제4세대 통신기에 적용을 위하여 널리 연구되고 있

다. 특히 FBAR 필터는 SAW 필터보다 높은 주파수 대역에서 Power Handling Capability가 훨씬 좋은 장점을 갖고 있다. 왜냐하면 Interdigitated Comb Structure를 갖는 SAW 필터는 주파수가 증가함에 따라서 Comb Finger의 Metal Line의 폭과 간격이 좁아지기 때문이다. FBAR 공진기는 기본적으로 상부

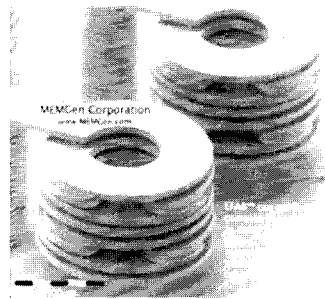


그림 11. 3-D solenoid 적층형 인덕터(MGEM).

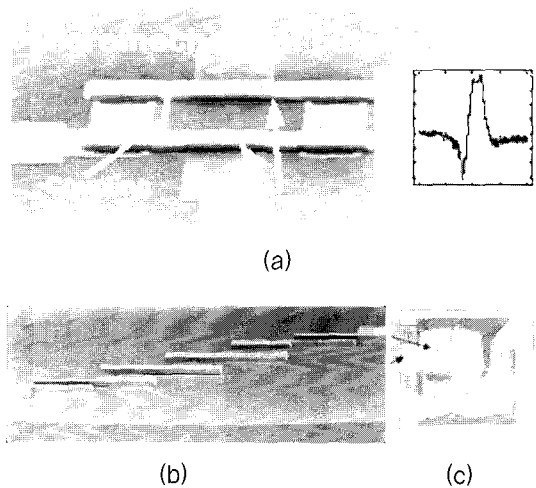
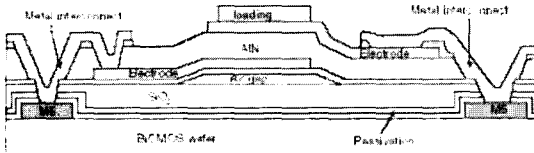


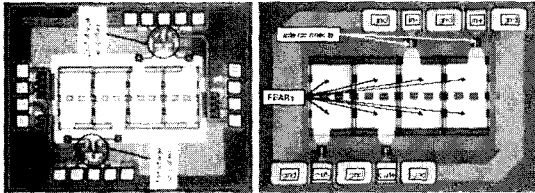
그림 12. RF MEMS 필터 : (a)Micromechanical Type(마시건 대학), (b)LIGA Like Metallic Type(LG), (c)FBAR Type(Agilent).

표 4. RF MEMS High Q 인덕터들의 특성 비교.

Parameters	버클리대학	조지아공대	KAIST	일리노이대	LG
Inductance	4.6 nH	6 nH	4 nH	3.5 nH	3.5 nH
Quality factor	30	45	47	12	135
Structure	Solenoid type with an alumina core	Suspended solenoid type with an air core	Suspended solenoid type with an air core	Suspended spiral type with an air core and permalloy coils	Suspended spiral type with an air core



(a)



(b)

(c)

그림 13. FBAR 필터와 CMOS 회로의 집적화(CSEM)
: (a)집적화의 계략도, (b)FBAR필터+LNA+ Amplifier, (c)FBAR필터+CMOS IC.

전극-압전체-하부전극으로 구성되며 크게 Membrane형, SMR(Solidly Mounted Resonator)형, 그리고 Free Standing형이 있다. Membrane형의 공진기는 얇은 Silicon, Silicon Nitride, Silicon Oxide, Polymer Membrane 위에 제작된 공진기를 말하며, SMR형은 여러 층의 Acoustic 반사층을 기판 위에 제작하고 그 위에 제작된 공진기를 말하며, Free Standing형은 공진기가 공중에 떠있는 형태이다. FBAR 공진기 구현을 위하여 좋은 압전체 재료는 낮은 Acoustic Loss, 높은 Acoustic Coupling Coefficient, 높은 Acoustic Velocity, 낮은 상대 유전율을 갖고 무게가 가벼워야 한다. AlN 과 ZnO가 현재 널리 사용되고 있는 압전체 들이다. 전극은 압전막이 잘 자라야 하고, 무게가 가벼워야 하고, Stress 가 적어야 하며, 전도율이 좋아야 하고, 압전체와 선택적으로 식각할 수 있는 재료가 좋다. 많은 회사와 연구소등에서 FBAR 필터 및 듀플렉서를 개발하기 위하여 연구를 진행하고 있지만 아직까지 사업화에 성공한 회사는 Agilent社 뿐이다. 양산을 위하여 가장 큰 어려움은 전극 및 압전막의 두께 및 질에 있어서 균일성을 확보하는 것이며 제작된 필터 칩을 Low Cost 패키징 하는 기술이다. 최근의 FBAR 연구는 필터 및 듀플렉서를 전력증폭기와 하나의 패키지로 묶어서 모듈화 하는 방향과 그림 13에서와 같이 CMOS 회로와 FBAR 공진기 및 필터를 집적화 하는

연구들이 활발이 이루어지고 있다.

4. 결론

필자는 본 원고를 통하여 차세대 이동단말기 산업을 선도할 핵심전략기술로 RF MEMS 기술에 관하여 소개하였으며 이러한 기술 및 부품들이 적용된 단말기가 우리 삶에 미치는 영향에 대하여 논의하였다. 또한 RF MEMS 기술 및 부품들을 이용하여 초소형 Single Chip/Package Transceiver가 구현이 되면 손목시계 크기의 휴대형 초소형 정보통신 단말기 구현이 가능하다. 단순히 소형화의 장점뿐만 아니라 하나의 송수신기로 여러 가지 방식의 무선통신을 할 수 있는 다중밴드/모드화가 가능하여서 미국이나 유럽 등 국경에 상관없이 동일한 이동 단말기를 사용할 수 있고 여러 주파수 Band(Cellular, PCS, IMT2000, Wireless LAN 등등)의 사용이 가능하게 할 수 있다. 트랜시버의 소형화는 이동 단말기에 많은 공간을 제공할 수 있어서 혈압, 당뇨 등 건강 진단용 칩들이나 공기오염을 감지하는 칩, 온도/습도를 감지하는 센서들을 함께 장착 할 수 있게 함으로써 다기능의 웰빙 휴대폰 구현을 가능하게 해준다. 또한 통신시스템의 고밀도 집적화가 가능하여 화상 전송을 포함한 대용량의 정보 전송도 가능하게 되고, 집에 있는 전자제품(TV, 라디오, 전자레인지, 에어컨, 냉장고등등)이나 사무실내에 있는 전자제품들도 외부에서 무선통신을 통해 제어가 가능하며, 자동차 또한 집적 운전하지 않고 음성이나 단말기의 Key Pad를 통하여 제어하는 등 차세대 정보화 사회 구현에 일조 할 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] Petersen K E, "Micromechanical membrane switches on silicon," IBM J. Res. Dev. 23 p.376, 1979.
[2] Yao J J and Chang M F, " A surface micromachined miniature switch for telecommunications applications with signal frequencies from DC up to 4 GHz," Tech. Digest, 8th Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators p. 384, 1995.

[3] Goldsmith C, Randall J, Eshelman S, Lin T-H, Denniston D, Chen S and Norvell B, "Characteristics of micromachined switches at microwave frequencies," Tech. Digest, IEEE Microwave Theory and Techniques Symp.p. 1141, 1996

[4] Jae Y. Park, Geun H. Kim, Ki W. Cheong, and Jong U. Bu, "Electroplated RF MEMS Capacitive Switches, IEEE 13th International MEMS Conference, Miyajaki, Japan, January, pp. 639-644, 2000

[5] Harsh K F, Zhang W, Bright V M and Lee Y C, "Flip-chip assembly for Si-based RF MEMS," Proc. IEEE, 12th Ann. Int. Workshop on Micro Electro Mechanical Systems p. 273, 1999.

[6] Jae Y. Park and Mark G. Allen, "Micromachined High Q Inductors for High Frequency Applications", Micromachining & Microfabrication '98 Conference, SPIE, vol. 3514, p. 218, Santa Clara, CA 1998.

[7] A. Massarini, M. Kazimierczuk, and G. Grandi, "Lumped parameter models for single- and multiple-layer inductors", 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, vol.1, p.295, 1996.

[8] R. B. Strokes and J. D. Crawford, "X-band thin film acoustic filters on GaAs," IEEE Tran. Microwave Theory Tech., vol. 41, p. 1075, July 1993.

[9] S. H. Kim, J. S. Lee, H. C. Choi, and Y. H. Lee, "The Fabrication of Thin-Film Bulk Acoustic Wave Resonators Employing a ZnO/Si Composite Diaphragm Structure Using Porous Silicon Layer Etching," IEEE Electron Device Letter, vol. 20, NO. 3, p. 113, March 1999.

[10] K. M. Lakin, G. R. Kline, and K. T. McCarron, "High Q Microwave Acoustic Resonators and Filters," Proceedings of the 1993 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, vol. 5, p. 1517, 1993.

[11] Gabriel M. Rebeiz, "RF MEMS Theory,

Design, and Technology," Wiley Interscience. John Wiley & Sons Publication, 2003.

저|자|약|력



성 명 : 박 재영

◆ 학 력

- 1992년 한국항공대 통신정보공학과 공학사
- 1995년 미국Georgia Institute of Technology 전기 및 컴퓨터공학 공학석사
- 1997년 미국Georgia Institute of Technology 전기 및 컴퓨터공학 공학박사

◆ 경 력

- 1997년 ~ 1999년 Georgia Institute of Technology 연구과학자
- 1999년 ~ 2004년 LG전자기술원 책임연구원
- 2000년 ~ 2004년 과기부 21세기 프론티어 지능형 마이크 로시스템 개발사업 총괄과제책임자 (RF MEMS 초소형 송수신 모듈개발) 광운대 전자공학과 교수
- 2004년 ~ 현 재