

하이브리드 LTCC 기술 기반의 압력 센서

황현석 전임강사 (서울대학 전기과)

1. 서론

압력 센서는 기본적인 물리량의 하나인 압력을 감지하여 전기신호로 변환시키는 목적으로 사용되는 감지기로서 가전제품을 비롯하여 자동차, 생체공학용 의료기, 환경제어와 산업체의 대규모 시스템 제어 등 광범위하게 응용되고 있다. 최근에는 환경에 대한 모니터링, 차량을 포함한 안전 관리에 대한 사회적 관심이 증가와 MEMS (Microelectromechanical System) 기술이 발전되면서 기존 기계적/전기적인 압력 센서를 MEMS 압력 센서가 대체한 센서의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있으며, 하이브리드 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) 기술을 적용하여 외부의 열악한 환경에서도 신뢰성 있게 동작 가능한 압력 센서에 대한 연구와 기능의 복합화 연구도 추진되고 있다.

압력 센서의 역사를 살펴보면, 1961년 압저항식 반도체 압력 센서가 처음 개발된 이후 1983년 Honeywell社에서 집적화된 압저항식 반도체형 압력 센서를 처음 출시하였고, 1988년 NovaSensor社에서 웨이퍼 접합기술을 이용한 압력 센서를 처음 생산하였다. 그리고 MEMS 기술이 발전되면서 기존의 기계적인 압력 센서를 MEMS 기술을 이용하여 작고 얇게 만들면서도 고감도, 고신뢰성의 특성을 갖도록 제작되었으며, MEMS 기술을 이용한 센서 중에서 가장 먼저 상용화되었다.

MEMS 압력 센서의 시장규모를 살펴보면 2009년

표 1. MEMS 디바이스별 시장규모 (자료 : iSuppli, MEMS Market Tracker, 2009).

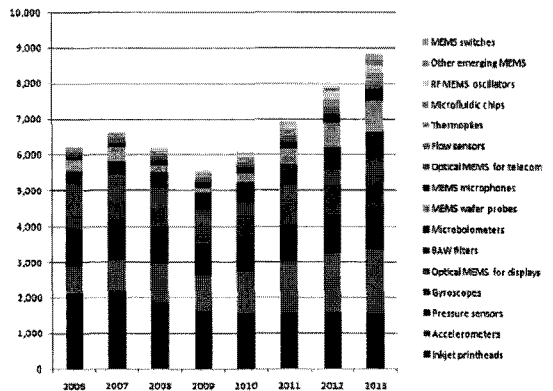


표 2. MEMS 압력 센서 시장규모 및 수량 변화 추이 (단위 : 백만 달러, 백만 개)(자료 : iSuppli, MEMS Market Tracker, 2009).

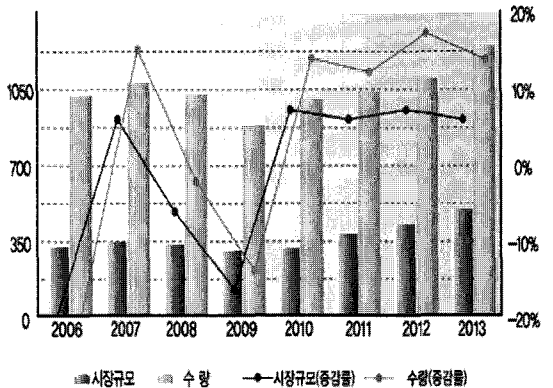
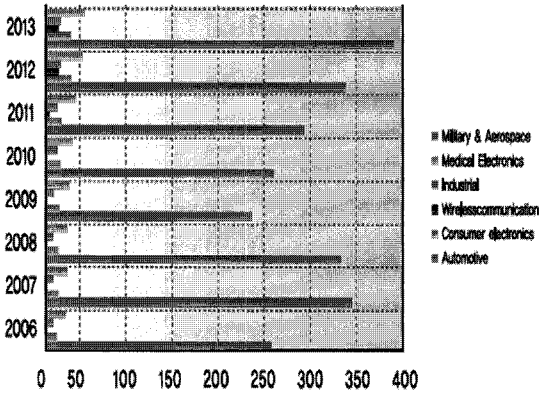


표 3. MEMS 압력 센서의 분야별 시장전망 (자료 : iSuppli, MEMS Market Tracker, 2009).



8억 6천 1백만 달러, 2013년에는 11억 6천 9백만 달러로 연평균 약 8%의 성장률을 보일 것으로 전망된다. 또한 전체 MEMS 디바이스 시장에서 2007년까지 잉크젯 프린트헤드에 이어 2번째로 큰 시장규모를 차지하고 있었으나, 소비자가전과 모바일 어플리케이션 등에 MEMS 가속도 센서의 채용이 급속히 늘어나면서, 현재는 잉크젯 헤드, 가속도 센서에 이어 3번째로 큰 시장을 형성하고 있다. 무역위원회의 조사에 의하면 2005년 MEMS 압력 센서는 전체 압력 센서의 96%에 달할 것으로 전망하였다.

MEMS 압력 센서의 주요 시장을 살펴보면 차량용과 의료용 시장이 주류를 이루고 있으며 특히 차량용 시장은 전체 MEMS 압력 센서 시장의 80%를 차지하고 있다.

2. MEMS 압력 센서의 원리 및 구성

MEMS 압력 센서는 압력에 의해 휘어진 다이어그램의 극소한 휨 정도를 검지하는 방법에 의해 두 개로 나뉘며 그 원리도는 그림 1과 같다.

피에조 저항식 타입은 다이어그램의 극소한 휨에 의해 다이어그램 상에 형성된 피에조 저항 소자가 변형에 의한 비틀림과 전기 저항의 변화로 압력을 검지한다. 정전용량 타입은 다이어그램의 휨 정도를

다이어그램 전극과 고정 전극 사이의 정전용량 변화로서 변화량을 전기 신호로 변화시켜 압력을 검지한다. 이외에도 현재 이러한 휨 정도를 검지하는 방법에는 다양한 방법이 있으며, 각 특장을 살려 구분하여 사용한다.

또 압력 측정에는 센서 소자 내부를 밀폐하여 절대압을 측정하는 절대압 검지용과 항상 외압과 측정압의 비교 압력을 측정하는 게이지압 검지용이 있다. 절대압 검지용은 기압계나 고온계에 사용하고 있으며 게이지압 검지용은 수위 센서나 풍속 측정용 등에 사용하고 있다. 압력 센서의 대표 제품 외관 사진은 그림 2와 같다.

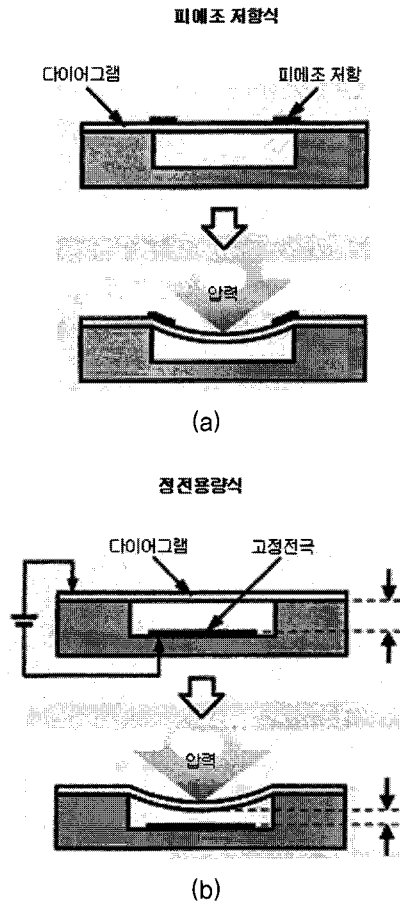


그림 1. 압력 센서 원리도 (자료 : JEITA '2018년까지의 전자부품기술 로드맵').

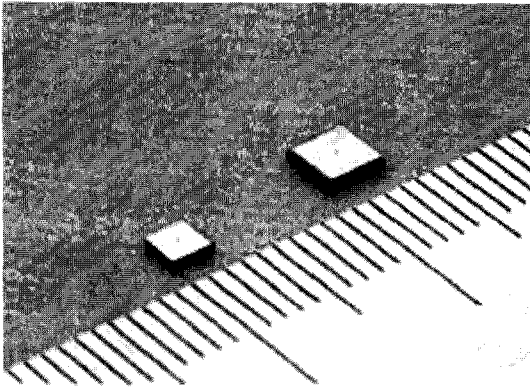


그림 2. 압력 센서 절대압 검지용 제품 대표 예 (자료 : JEITA '2018년까지의 전자부품기술 로드맵').

3. 하이브리드 LTCC 기반의 압력 센서

하이브리드 LTCC 기술은 기존 실리콘 기반에서 식각 및 증착 등의 공정을 이용하는 MEMS 기술이 아닌 LTCC 기술을 이용하여 3차원 구조물을 구현하는 기술로서 표 4에 나타낸 바와 같이 R, L, C 등 수동소자의 내장 및 집적화된 패키지에 적절하다는 장점을 가지고 있어 차세대 MEMS 기술로 관심이 증가하고 있다.

LTCC란 일반적으로 1000℃ 이상의 고온에서 소결되어야 하는 세라믹스의 근본 특성을 Ag 및 Cu계 등의 전극재료와 동시에 소결하기 위하여 기존 세라믹스 재료의 소결온도를 조성을 변화시켜 800~900

℃정도로 낮춘 세라믹스를 말한다. LTCC는 1980년대 Hughes와 Dupont에 의해 군사시스템을 위한 용도로 처음 개발되었으며, LTCC 기술은 도체, 유전체 그리고 저항체 등이 그려진 쉬트를 여러 장 적층하여 다층회로를 제작하는 기술로 정의할 수 있다. R, L, C 등을 내장한 적층된 쉬트를 한 번의 소성 공정을 통하여 동시에 소성하므로 적은 면적, 미세 배선 등의 장점을 활용하여 MCM (Multi Chip Module)을 제작 가능하다. 그림 3은 설명한 바와 같이 후막 기술 및 HTCC 기술과 LTCC 기술의 장단점을 나타내고 있다. LTCC 기술은 그림 4에 나타낸 바와 같이 RF 모듈, 광모듈, 자동차, 의료 및 군사용 시스템 모듈을 비롯하여 센서 등 다양한 분야에 응용되고 있다.

LTCC를 이용하여 모듈을 만드는 제조공정은 크게 LTCC 파우더를 혼합하여 쉬트를 제작하는 공정,

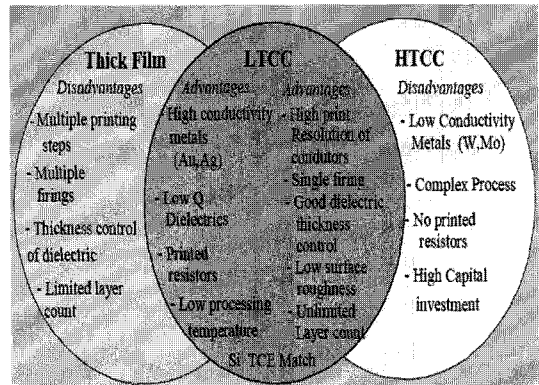


그림 3. LTCC 기술과 하이브리드 세라믹 기술의 비교.

표 4. 다양한 MEMS 기술에 따른 장단점 비교.

Merit figure	Hybrid LTCC	LIGA	Si Bulk Micromachining	Si Surface Micromachining
Feature height	100um~10mm	100um~1cm	500um~1mm	10um~20um
Cross sectional shape	Very good	Very good	Very good	Very good
Cross sectional shape variation with depth	Fair	Fair	Limited by DREI	Limited
Materials	Wide range	New material	Fixed	Fixed
Compatibility with integrated device	Good	Good	Good	Excellent
Process maturity	Mature for MCM	First products	Mature	First products
Aspect ratio	Large	Large	Small	Small
Low volume production	Excellent	Poor	Fair	Poor
High volume production	Good	Good	Excellent	Excellent

도체, 유전체, 저항체 등을 그려 넣거나 홀 등을 만드는 공정 그리고 적층하여 소성하는 공정으로 나눌 수 있으며 이를 그림 5에 나타내었다. 이러한 LTCC 기술은 전자부품의 집적화 및 경량화 경향에 따른 이동통신의 RF 부품을 비롯하여 다양한 복합모듈의 개발을 이끌어 왔다. 이러한 모듈화 기술은 PCB 공정을 기반으로 하는 표면실장 기술과 LTCC 공정을 기반으로 하는 세라믹 모듈 기술로 대변되며 LTCC 를 모듈의 단면도를 그림 7에 도시하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 기존의 LTCC 관련 기술 개발은 주로 전자부품이나 패키지부품에 집중되어 상업화되고, 고집적 모듈을 중심으로 기술개발이 진행되고 있다. 그러나 LTCC 기술에 MEMS 기술을 접목하게 되면 그림 5와 같은 채널 또는 공동을 가지는 다이어그램과 같은 3차원 구조물의 제작이 가능하다. 압력 센서와 같이 3차원 구조의 다이어그램을

요구하는 센서의 경우, 기존 MEMS 공정에서는 식각 및 증착 등의 고가의 장비를 필요로 하는 반면 LTCC 기술을 적용하게 되면 편칭 및 소성 공정으로

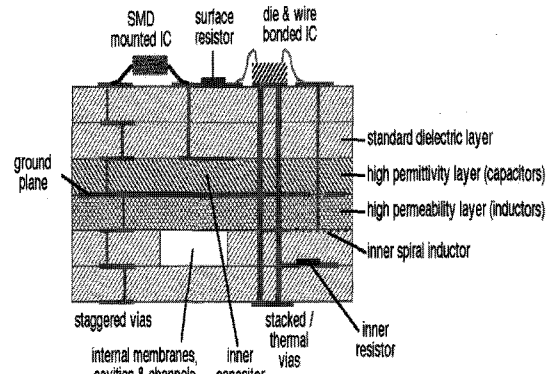


그림 6. LTCC 모듈의 단면도.

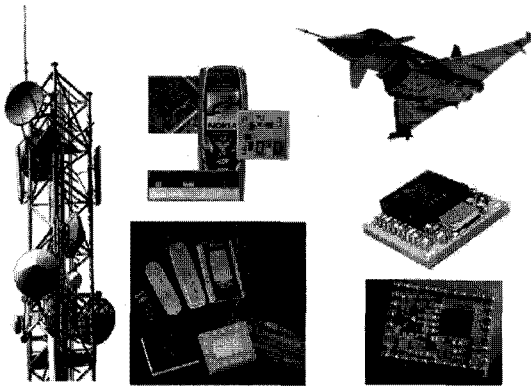
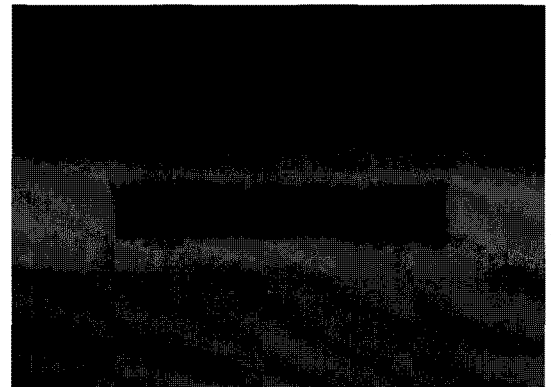


그림 4. LTCC 기술의 응용 사례.



(a)

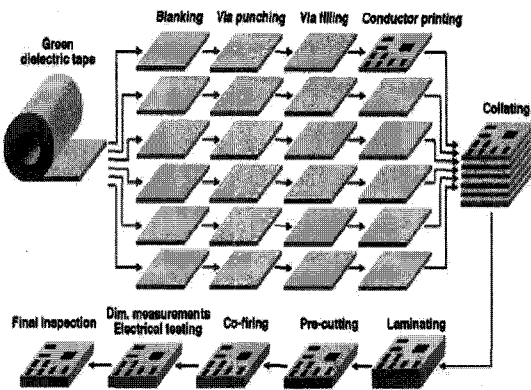
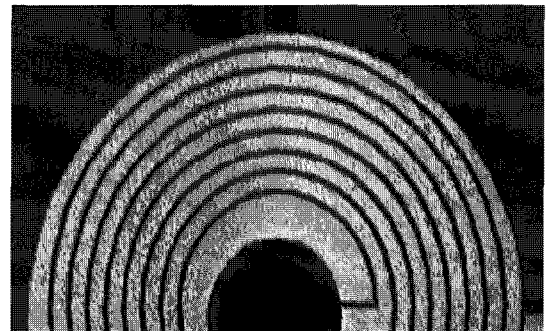


그림 5. LTCC 기술을 이용한 모듈 제조 공정.



(b)

그림 7. LTCC 기반의 3차원 구조물 및 인덕터.

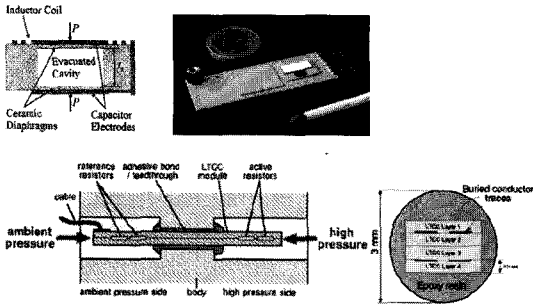


그림 8. LTCC 기반의 압력 센서.

손쉽게 제작할 수 있으므로 용이하게 적용될 수 있다. 또한 그림 6에서와 같이 나선형 전극을 인쇄함으로써 인덕터를 손쉽게 구현할 수 있을 뿐만 아니라 내장형 커패시터의 구현이 용이하므로 각종 수동소자의 내장 및 집적화가 가능해지고 이를 통하여 통신모듈의 구현도 가능하게 된다.

LTCC 기술을 이용한 센서 개발은 국내의 경우 한 국세라믹기술원 등의 연구소 및 일부 기업의 연구소를 중심으로 LTCC 기술을 이용하여 센서 모듈에 대한 기술개발을 추진 중에 있으나 아직 연구단계에 머물러 있는 수준이다. 하지만 미국 등 선진국에서는 이미 실리콘 기반이 아닌 LTCC 기반의 센서개발을 추진하고 있으며, 통신모듈 및 각종 수동소자를 집적화하여 유비쿼터스 네트워크 등에 적용 가능한 수준의 연구를 진행 중에 있다. 그림 8은 LTCC 기반의 압력 센서에 대한 연구사례를 보여주고 있다. 대부분의 경우 정정용량 방식과 피에조 저항방식을 적용하여 개발을 추진 중에 있으며, 자체 인덕터를 설계하여 수동 무선 통신 소자를 내장시킴으로서 근거리 통신이 가능한 센서를 개발하는 사례도 증가하고 있다.

4. 결론

전 세계적으로 LTCC 관련 기술개발은 MCM과 같은 패키지 시장에서 PCB를 대체할 기술로서 많은 연구가 진행되고 있을 뿐만 아니라 센서로 응용한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 국내에서는 LTCC

기술을 센서에 적용하는 연구가 미흡한 실정이다. 특히 3차원 구조물의 제작이 용이한 LTCC 기술의 특성은 압력 센서로 응용 시 가격 및 생산성 등에서 많은 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라 각종 수동부품의 내장과 통신모듈의 복합화가 가능하므로 유비쿼터스 센서 시장에서 큰 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 이를 위해서는 다양한 LTCC 소재의 개발, 무수축기술 등의 공정기술 연구, 센서의 고성능화를 위한 구조 및 해석기술의 연구, 통신모듈의 복합화 연구 등 기술적으로 해결해야할 많은 부분이 남아 있다. 특히 세라믹 강국인 일본으로부터 대일 무역 적자를 해소하고 국내 세라믹 산업이 성장할 수 있는 길은 IT, BT 등 다양한 학문 분야가 융합하여 압력 센서뿐만 아니라 다양한 종류의 센서를 연구 개발함으로써 세계적인 경쟁력을 갖추는 것이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 정보통신산업진흥원, "MEMS Market Brief 2010" VOL.2 2010.06.01
- [2] 한국전자정보통신산업진흥회, "일본 부품소재 Report - 센서/액추에이터 기술동향" 2010.03.04
- [3] 일본 전자정보기술산업협회 (JEITA), "센서 생산 실적과 관련된 조사 연구 보고서XXI", 2008년 3월

담당위원



성명 : 황현석

◆ 학력

- 1995년
성균관대학교 공과대학 전기공학과
공학사
- 1997년
성균관대학교 대학원 전기공학과
공학석사
- 2007년
성균관대학교 대학원 전기전자 및
컴퓨터공학부 공학박사

◆ 경력

- 1997년 - 2003년 한국산업기술평가원 선임연구원
- 2008년 - 현재 서울대학교 전기과 전임강사