포/커/스

실리콘 기반 압력 센서 기술동향

천재영* 조평동**

1961 년 실리콘 기반 센서가 시연된 이후 최신의 반도체 기반 센서는 부품의 소형화와 다기능화가 가능해졌다. 과거 기계식 센서에 비해 반도체 기산 센서는 정확도와 제품간 편차를 적은 양질의 센서를 개발할 수 있게 되었다. 또한 반도체 기반 센서는 외부 환경의 변화에 따른 반응속도가 빠르고 실측된 데이터를 컴퓨터나 기계기 인식할 수 있는 전기적 신호로 변환하여 주기 때문에 산업, 서비스, 학계에서 널리 사용되고 있다. 본 고에서는 온도, 가스, 압력, 가속도, 위치 등을 인식하는 다양한 센서 중 전세계적으로 가장 활발하게 연구가 진행 중인 압력 센서에 대해 다루며, 각국의 동향 및 국내 현황에 대해 다룬다. 또한 현재 실리콘 기반 반도체 센서에 대해 소개하였으며 마지막으로 향후 전망에 대해 다루고자 한다. ▧

목 차

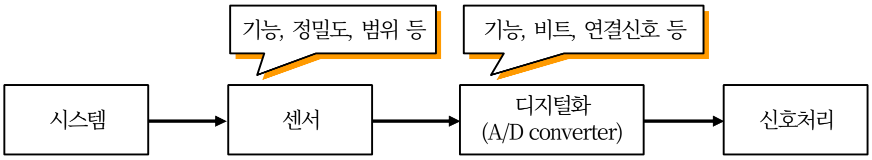
Ⅰ. 서 론

인간이 느낄 수 있는 모든 감각을 센서로 다루기란 어려운 일이며 현대의 센서 부품들은 자기·변위·진동·가속도·회전 수·유량·유속·액체성분·가스성분·가시광·적외선·초음파·마이크로파·자외선·방사선·엑스선 등 몇몇 물리량을 전기적인 신호로 검출해 산업 현장, 서비스업, 의료업, 학계에서 활용하고 있다. 일반적으로 검출기라 하면 온도·압력·습도 등 여러 종류의 물리량을 검지·검출하거나 판별·계측하는 기능을 갖춘 소자로 흔히들 센서라고도 한다. 센서에서 검출된 신호를 전기적 신호로 변환하여 마이크로 컨트롤러나, 컴퓨터가 인식할 수 있는 신호의 형태로 증폭, 축적, 조작 등을 걸쳐 응용 애플리케이션에 맞게 활용할 수 있다. (그림 1)은 센서가 외부 시스템으로부터의 물리적, 역학적,

---

* ETRI 기술기준연구팀/연구원

** ETRI 기술기준연구팀/팀장



(그림 1) 센서의 신호처리 프로세스

화학적 정보를 검출기가 감지하여 최종 컴퓨터단에서 인식할 수 있는 형태의 전기적 신호로 변환하는 프로세스를 블록다이어그램으로 도시화한 예이다.

센서는 응용방법에 따라 자연재해 방지, 생태환경 감시, 도난 및 위험 감시, 에너지 자원감지, 자동화 시스템, 및 가정의 홈오토메이션 구축에 응용할 수 있다. 예를 들어 진동을 감지하는 센

<표 1> 센서의 분류

감지 대상	센서 종류
광	광전자 방출형, 광도전형, 전합형(PD 등)
이미지	촬상관, 고체이미지형(CCD 형, MOS 형)
변위	포텐숀미터, 차동변압기, 인코더 등
위치/근접	광전형, 근접형 등
압력/하중	스트레인게이지형, 압전형
자기	홀소자, 반도체 자기저항, 강자성체 자기저항
온도	금속저항형, 써미스터, 열전대, IC 온도, 방사온도
습도	전해질 습도, 고분자형, 세라믹형
화학	가스센서, 이온센서, 바이오 센서

<표 2> 분야별 센서 부품의 응용

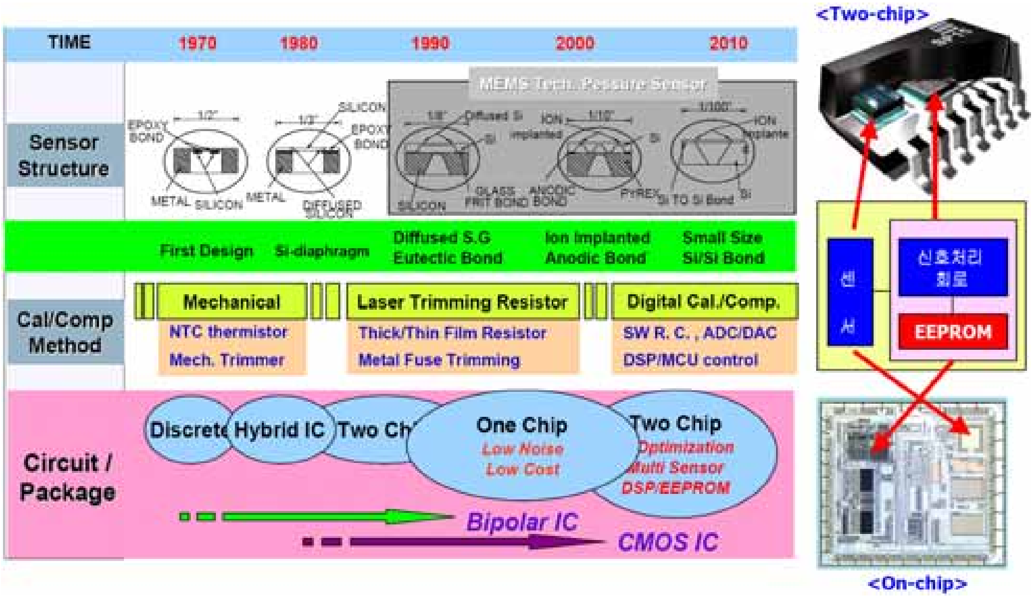
분류	응용 분야
상용 및 산업 분야	- 자동차용: 가속도센서, 자이로, 압력센서 - 로봇용: 컨트롤러 - 반도체 장치: 프로브카드
바이오 및 의료 분야	- 바이오 센서: 혈당측정센서 - 바이오 칩: DNA, Lab, 프로틴 - 내시경용 부품 - 주사용 부품
통신 및 광학 분야	- MOEMS : 광스위치 등 - RF 스위치 - 차세대 무선통신용
소비자 가전 분야	- 마이크로 미러 디스플레이 - 잉크젯 프린터 헤드 - 칩냉각기 - 대용량 데이터 저장장치
기타 분야	- 방위산업 분야: 항공레이더, 전자전장비용 센서 - 우주 분야:

서를 교통량이 많은 교량이나 고가도로에 설치하여 지진이나 홍수로 인한 균열 등을 감시하며 예측할 수 없는 불의의 사고로부터 인명안전을 위해 활용할 수 있다. 또한 진동 센서의 경우 먼 바다에서 발생하는 미세한 진동도 감지할 수 있어 지진 해일과 같은 미세한 환경변화도 감지하여 위험 수위를 예보하는데 활용할 수 있다. 뿐만 아니라 사람이 항상 감시할 수 없는 생물체의 서식지 특성을 분석하거나 이동경로를 추적하는 데에도 센서 위치 인식 센서를 이용할 수 있다. <표 1>는 현재까지 개발된 센서에 대해 용도별로 항목을 정리한 것이다. <표 2>는 응용 분야별 센서의 최종 사용처를 기준으로 항목을 정리한 표이다.

II. 센서 기술의 발전 동향

초창기 반도체 센서가 개발되기 이전에는 기계식 센서가 주루 이루었다. 1950 년대 이후로 Bell Technology Lab 을 중심으로 Honeywell, Westinghouse 등지에서 실리콘 센서제조에 핵심적인 기술을 확보하기 위하여 기초 연구가 진행되었다. 1970 년대부터 학계에서도 실리콘 기반 센서의 연구개발이 진행되었으며 1990 년대부터는 국가적인 과제로 각국에서 앞다투어 기술개발이 진행되었다.

최신의 대부분의 센서는, 예를 들어 1 마이크론은 백만분의 1 미터로 인간의 머리카락의 굵기가 대략 80 마이크론 정도이므로 1 마이크론은 육안으로는 식별이 사실상 불가능하며 매우



(그림 2) 센서 기술의 발전 동향

소형화 되어있다. 일반적으로 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술로 일컬으며, MEMS 부품이란 수십에서 수백 마이크론 크기의 아주 작은 기계적인 구조물을 마이크론 단위의 정밀도로 가공하고 여기에 전자회로를 결합 또는 집적화 시켜 원하는 기능을 수행할 수 있도록 만든 초소형 시스템을 말한다. (그림 2)에서 보았듯이 MEMS 기술의 변천사를 살펴보면 아래와 같다.

○ 1950~1960 Discovery Period
  - 1954: Smith discovers piezoresistivity at Bell Labs
  - 1958: Discrete silicon strain gages commercially available

○ 1960~1970 Commercialization and Market Development
  - 1961: Integration of strain gages into silicon diaphragm(Kulite)
  - 1966: Mechanically milled cavity introduced(Honeywell)
  - 1970: Isotropic micromachined window introduced(Kulite)
  - 1970: First piezoresistive acceleration sensors developed(Kulite)

○ 1970~1980 Cost Reduction and Application Expansion
  - 1971: Sensors employing anodic bonding introduced(Kulite)
  - 1974: First high volumn hygrid sensor(National Semiconductor)
  - 1976: Anisotropic micromachined windows introduced(Kulite)
  - 1976: First under-hood automotive silicon sensor(Honeywell)
  - 1977: First silicon capacitive pressure sensor demonstrated(St anford Univ.)
  - 1978: Bossed silicon diaphragms introduced(Endevco)
  - 1979: Passive on chip temperature compensation(Kulite)
  - 1979: Ion implantation of strain gages(Honeywell)

○ 1980~1990 Micromachining and Rapid Market Growth
  - 1982: First disposable medical transducer(Foxboro/ICT, Honeywe ll)
  - 1982: Active on chip signal conditioning(Honeywell)
  - 1985: Polysilicon diaphragm sensor by additive process(Wisconsin Univ.)
  - 1987: Si-Si and Si-SiO2 lamination implemented into sensor designs(NovaSensor)
  - 1988: SFB based acceleration sensor with 1000:1 overload protec tion(NovaSensor)
  - 1990: Introduction of SenStable: new superstable piezoresistive process/design (NovaSensor)

과거 MEMS 기술개발 과정을 살펴보면, 마이크로 메커니즘 영역에서 기술개발이 진행되어지다 보니 현실 세계의 중력이나 관성력 보다는 원자간의 인력이나 표면 장력에 의한 효과에 더욱 영향을 받기 때문에 기술개발이 더디었다. 또한 전자, 기계, 재료 및 회로 기술이 융합된 것으로서 고장의 발견 및 진단이 쉽지 않았다는 것이다. 그럼에도 센서 부품개발은 꾸준히 지속되

<표 3> MEMS 주요 제품 상용화 시기

제품	Discovery	Evolution	Application & Expansion	Full Commercialization
Pressure Sensors	1954-1960	1960-1975	1975-1990	1990-Present
Accelerometers	1974-1985	1985-1990	1990-1998	1998
Gas Sensors	1986-1994	1994-1998	1998-2005	2005
Valves	1980-1988	1988-1996	1996-2002	2002
Nozzles	1972-1984	1984-1990	1990-1998	1998
Photonics/displays	1980-1994	1986-1998	1998-2004	2004
Bio/Chemicals Sensors	1980-1994	1994-1999	1999-2004	2004
RF Switches	1994-1998	1998-2001	2001-2005	2005
Rate Sensors	1982-1990	1990-1996	1996-2002	2002
Micro relays	1977-1982	1993-1998	1998-2006	2006

<표 4> 연도별 세계 센서 시장 규모

(단위: 백만 달러)

품목	02	03	04	05
레벨	1580	1640	1690	1740
유량유속	3670	3720	3780	3840
압력	4040	4340	4940	4940
속도가속	1400	1610	2110	2110
하중힘	284	297	305	315
근접	2530	2740	2950	3180
위치	2790	2940	3300	3300
변위	560	590	630	670
이미지	1160	1210	1320	1450
광	1030	1100	1170	1240
온도	2270	2460	2630	2810
방사선	186	190	194	199
음향	520	540	560	580
습도	189	200	212	223
가스	2200	2380	2560	2740
바이오	268	285	305	320
합계	24677	26242	27906	29657

어왔으며 현재 대부분의 센서들<표 3>이 각 업체에서 다양하게 개발되어 있어 최종 사용자에서는 응용 목적에 따라 선택할 수 있다. <표 4>는 연도별 센서 시장 규모에 관한 예이다.

III. 실리콘 센서의 기술 동향

MEMS 기술 개발의 역사는 불과 20년이 채 안되지만 눈부신 기술 발전이 이루어졌다. 외국의 경우 MEMS를 국가 차원에서 확보해야 할 중요한 기술로 인식하고 연구개발에 과감한 투자를 시행하였기에 가능한 결과라 볼 수 있다. 미국의 경우 NSF(National Science Foundation)나 DARPA(Defence Advanced Research Project Agency), NASA, DOE(Department of Energy) 등에서 MEMS 분야의 연구를 지원해 왔다. 이처럼 산학연간의 긴밀한 공조 하에 체계적인 기술개발이 진행되어 옴에 따라 다양한 MEMS 상품들을 출시하고 있다.

최근 들어 산업계에서 MEMS 분야의 시장성을 높게 평가하여 인텔과 Corning, Honeywell, Xactix, Xerox 등 5개 회사는 MEMS 산업 분야의 교역을 지원할 특별그룹인 'MEMS Industry Group(MEMS-IG)'을 신설하였으며, MEMS 기술의 발달 상황과 시장 정보를 제공하고 있다. 2000년대에 들어서는 바이오, 복지, 광통신, 무선통신용 핵심소자 분야에 집중 투자하고 있다. 한 가지 주목할 만한 점은 캘리포니아주가 MEMS 기술 개발의 세계적 클러스터가 되고 있다는 점이다. 캘리포니아주에는 유력 대학이나 대기업도 많지만 풍부한 벤처 캐피탈에 지지 받은 무수한 벤처 기업이 존재한다. 기술 분야별로 보아도 캘리포니아주는 마이크로 유체, 광 스위치, RF 분야 등의 업체 수가 다른 주에 비해 훨씬 많다. 실리콘밸리의 마이크로일렉트로닉스와 바이오테크놀로지, 로스앤젤레스 지구의 국방ㆍ항공, 샌디에고의 바이오테크놀로지와 무선통신 관련 기업의 집중이 MEMS의 이노베이션을 견인하고 있다고 할 수 있을 것 같다.

유럽은 미국, 일본에 비해 상대적으로 늦게 출발하였으나 1994년부터 NEXUS 등과 같은 네트워크를 구축하여 관련 연구 기관과 산업체 간의 정보 교환, 공동 연구 컨소시엄 형성 등을 통해 활발한 연구개발을 진행 중이다. NEXUS 외에도 EC Europractive IST 프로그램의 일환으로 유럽의 8개 MEMS 및 마이크로시스템 R&D 센터를 포함하는 MEMSOI를 형성하고 있다. MEMSOI에서는 유럽 업체들이 새로운 부품을 추진하는 데에 소요되는 개발 시간과 비용을 단축시키기 위해 입증된 마이크로시스템 기술의 네트워크 획득을 촉진시키고 있다.

일본은 1991년 시작된 Micromachine Project(1991~2000년, 10년간 250억 엔 규모)를 계기로 본격적으로 시작하였다. 이 사업은 통상산업성이 주도가 되어 국가적 차원에서 지원이 이루어지고 있으며, 대부분의 연구개발 자금은 MMC(마이크로머신 센터)를 통해 주요 기업체의 기술개

발 활동에 집중 투자되고 있다. 미국에서의 MEMS 연구를 반도체 공정을 이용한 Lithography-based MEMS로 정의할 수 있다면 일본의 경우는 이것에 더하여 Mechatronics가 가미된 마이크로머신(기존의 크고 비싼 기계가 할 수 있는 많은 일을 마이크로머신이 대신할 수 있다는 생각에서 출발)으로 정의하여 MEMS 개발을 추진하고 있다. 또한 미국의 경우 대학과 연구소를 중심으로 기술이 발전하여 수많은 벤처기업으로 발전하는 양상을 보이는 반면, 일본의 경우 기술 발전에 기업이 중추적인 역할을 하고 있다는 점이다.

국내의 경우 기술 선진국에 비해 저변이 낮고 연구 인력도 부족한 상황이었으나 80년대 대후반에 대학을 중심으로 MEMS 분야의 연구가 시작되었으므로, 시기적으로 큰 격차가 나지 않는다고 볼 수 있다. 이후 1995년 선도기술개발 사업을 통해 초소형 정밀기계 기술개발을 체계적으로 수행하기 시작하였고, 과기부의 프론티어 연구개발 사업의 일환으로 2000년부터 10년간 지능형 마이크로시스템 과제를 통해 체내 자율 주행 내시경과 극소형 마이크로 PDA 개발에 약 2000억 원의 연구비를 투입하는 등 다양한 국책 프로그램을 통해 MEMS 기술 개발이 활성화되고 있는 추세이다. 산업계에서는 삼성전자와 LG전자가 주요 연구 개발을 하고 있으며, 여러 중소기업에서도 MEMS 센서류 등을 개발 및 상용화하고 있는 단계에 있다. 한국은 세계 최고 수준의 반도체 기술과 통신 기술 및 시장을 확보하고 있다.

또한 국가 핵심 산업 분야인 자동차, 정보통신, 바이오/환경, 가전 등의 육성 전략에 따라 반도체 기반기술을 Nano/MEMS 기술과 접합 시 우수한 시너지 효과가 나타날 가능성이 매우 높다. 그러나 아직 원천기술 및 개발기술의 산업화 연결 체계가 미흡하고, 인프라 부족과 MEMS 분야 산업 구조가 영세한 단점을 극복해야 하는 과제가 있다.

이미 앞서 살펴본바와 같이 인간의 오감과 비슷한 센서의 종류 또한 다양하고 그 용도와 목적에 따라 센서를 구성하는 부품의 소재까지 다르게 된다. 본 기술 동향지에서는 다양한 종류의 센서중에서 현재 각 산학계에서 활발히 연구중인 압력 센서를 기반으로 최신 센서의 기술동향을 소개하고자 한다. <표 5>는 용도별 센서를 구성하는 소재 리스트 목록이다. 또한 <표 6>는 센서 분류 방식에 따른 센서의 종류를 나열하였다.

압력을 간단히 정의하자면 압력은 물질이 인접하는 각 부분에 서로 미치는 힘의 크기를 나타내는 양이며 단위 면적당 작용하는 면과 법선 방향의 힘을 말한다. 고체 내에서는 압력에 따른 유동이 없으므로 힘의 방향성이 유지되지만 유체(기체, 액체)는 힘이 가해지는 방향에 따라 자유롭게 형을 바꿔 유동하므로 압력은 방향성이 없고 임의 점에서 어느 방향의 면에 대해서도 같은 크기의 압력이 작용한다. 최근에 개발되어진 대부분의 압력 센서들은 기계적인 변위를 어떤 방법으로 전기신호로 변환하는 것으로, 외부압력을 응력으로 변환하는 다이어프램과 다이어프램에

서 발생하는 동력을 전기신호로 변환하는 방법을 이용한다.

압력 센서는 프로세스 또는 시스템에서 압력을 측정하는 소자로서 공업계측, 자동제어, 의료, 자동차 엔진제어, 환경제어, 전기용품 등 그 용도가 다양하고 가장 폭넓게 사용되는 센서중의 하나이다. 압력 센서는 프로세스 또는 시스템에서 압력을 측정하는 소자로서 공업계측, 자동제어, 의료, 자동차 엔진제어, 환경제어, 전기용품 등 그 용도가 다양하고 가장 폭넓게 사용되는 센서

<표 5> 압력 센서 원리와 기구 재료

검출량	변화량	변환기구	소자	주요 소자재료
변위	길이	액주의 무게 선단변위, 힘 선단변위, 힘 선단변위, 힘	마노미터 다이어프램 벨로스 부르동관	수은, 물, 오일 금속, Si, 세라믹, 고분자 금속, 고분자 금속, 석영
온도	열기전력	열전도성의 압력 의존성	열전대진동계 피라니 게이지 서미스터 진공계	금속(PtRH−Pt, NiCr−Ni) 금속저항체 세라믹, 반도체
방전	전압	방전개시 전압의 압력 의존성	가이슬러관 필립스 게이지	냉음극형 진공관
변형	저항 자기 전압 지연시간 저항 전압/전류 색	형상 변화 자기변형효과 압전효과 표면탄성파의 지연효과 피에조 저항효과 pn 접합부의 변화 홀 효과 압전효과 압전효과+전계효과 PZT 의 압전효과 마이크로 캡슐의 파괴와 염료의 발색	변형 게이지 자기변형소자 압전소자 표면파소자 변형 게이지 다이오드, 트랜지스터 홀 소자 압전 시트 PI−DMOS 압전 시트 블록 감압 필름	금속(Ni−Cr, Fe−Ni 외) 금속(퍼멀로이, Ni, 페라이트 외) 세라믹(PTZ, ZnO, 수정, BaTiO3, LiNbO3) 세라믹(수정, ZnO+Si 외) 반도체(Si, Ge) 반도체(Si, Ge) 반도체(Si, Ge, GeP, InSb, GaAs 외) 고분자[PVDF, P(VDF/TrFE), P(VDF/TFE), P(VDCN/VAC) 외] 복합체(ZnO+MOSFET) 복합체(PZT 미립자 배합 고분자) 복합체
이온	이온 전류 이온 전류	기체의 전리현상 기체의 전리현상+자계	전리진공계 전리진공계	열음극형 진공관 마그네트론형
빛	위상 광강도	빛의 간섭현상 마이크로벤드 손실		석영계 글라스 모드 스트리퍼

<표 6> 분류 방식에 따른 센서 종류

분류 방식	센 서
구성방법	조립센서 : 소자형 센서 조립센서 : 여러 개의 센서와 전기소자로 결합된 것
측정대상	광센서, 이미지 센서, 적외선 센서, 온도 센서, 습도센서, 기하광량센서, 압력센서 등
구성 재료	반도체 센서, 세라믹 센서, 고분자 센서, 효소 센서 등
검출방법	전자기적센서, 광학적 센서, 역학적 센서, 화학적 센서 등
동작 방식	능동형 센서, 수동형 센서
출력 방식	아날로그 센서, 디지털 센서

중의 하나이다. 압력 센서의 측정원리는 변위, 변형, 자기-열전도율, 진동수 등을 이용하는 것으로 현재 많은 종류가 실용화되어 사용되고 있다. 최근에는 반도체기술과 마이크로머시닝 기술의 발전으로 보다 소형화되고 복합화된 다기능의 스마트 센서에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 시장에서 구할 수 있는 압력 센서의 종류 및 특성을 살펴보도록 하겠다.

1. 기계식 압력 센서

기계식 압력 센서에도 많은 종류가 있지만 대표적인 것은 부르돈관, 다이어프램, 벨로우즈이다. 그중에서도 탄성식의 부르돈(Full Dorne)관은 현재 가장 많이 사용되고 있는 것으로 단면이 원상 또는 평면상의 금속파이프이고 개방된 고정단으로부터 측정압력을 도입하면 다른 밀폐된 관 의 선단이 이동하는 원리를 이용하고 있다. 이 관선이동량은 관내의 압력크기에 비례하므로, 이동량은 기계적으로 확대된 압력을 지시한다. 다음으로 많이 사용되고 있는 것이 다이어프램과 벨로우즈로 전자는 압력차에 비례한 원판의 휨정도로, 후자는 원통 내부와 외부의 압력차에 의해 주름상자가 신축하여 그 변위량이 압력차에 비례하는 것으로부터 각각 압력을 측정한다.

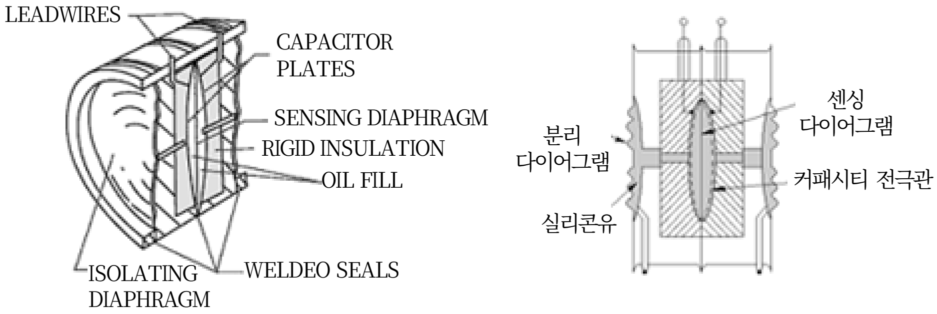
2. 전자식 압력 센서

전자식 압력 센서의 대부분은 기계적인 변위를 전기신호로 변환하는 부분이 기계식과 다를 뿐 기본적으로 는 기계식과 동일하다. 용량형 압력 센서는 2 개의물체(전극)간의 정전용량변화로부터 그사이의 변위를 측정하는 방법을 기본적으로 이용한다. 이외에도 스트레인 게이지를 이용한 압저항형, 유기 또는 무기압전소자를 이용한 압전형 그리고 LVDT·인덕티브타입의 코일형이 있으며 최근에는 초고온의 환경이나 원격감 등의 목적으로 광섬유나 광격로차를 이용한 광학형 압력 센서가 개발되어 사용되고 있다. 이중에서도 스트레인게이지를 이용한 압저항형센서가 성능이나 가격 면에서 우위를 점하고 있어 가장 많이 사용되고 있다.

3. 반도체식 압력 센서

반도체 압력 센서는 최근에 실용화가 가속되고 있는 센서로 크리프현상이 없고 직선성이 우수하며 소형·경량으로 진동에도 매우 강한 것이 특징이다. 또한, 기계식보다 고감도, 고신뢰성이며 양산성이 좋다. 이것은 압력을 왜(歪)응력으로 변환하는 다이어프램과 다이어프램에서 발생하는 동력을 전기신호로 변환하는 두 부분으로 구성되어 있다. 다이어프램은 단결정실리콘을 화학적으로 에칭하여 형성하며, 다이어프램에서 발생하는 응력을 전기적인 신호로 변환하는 방법

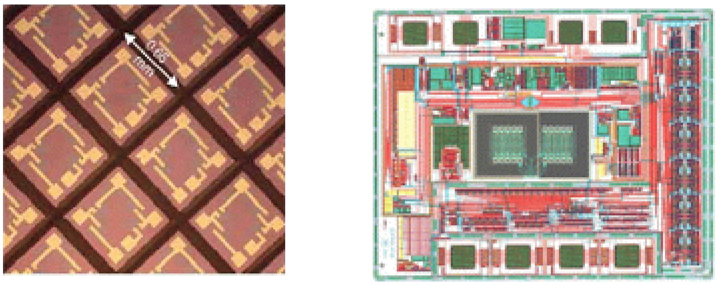
으로 진동자의 고유진동수 변화와 표면탄성파를 이용하는 것도 있으나, 주로 압저항식과 정전용량식의 두종류가 가장 많이 사용되고 있다. 이중 압저항식은 저항확산식또는 확산식이라고도 하는데 압저항소자를 형성시킬 때에 반도체의 불순물 확산공정이 이용되기 때문이다. 정전용량식은 서로 마주보고 있는 전극판의 간격을 외부로부터의 응력에 의하여 변화시키면 전극간의 정전용량이 변화한다. 이 정전용량변화를 전기신호로 변환시키면 응력이 검출된다. 정전용량식은 압저항식애 비해 고감도이나 전극의 형성, 외부회로와의 연결이 복잡한 구조로 되어 있고 응답성이 나빠 수요는 적다. 그러나 온도특성이 우수하고 소형이며 고감도인 관계로 생체등 미압의 영역에서 사용할 때는 잇점이 많다. 이외에도 다결정실리콘 압력 센서는 변형게이지가 다결정 Si 박막으로 되어있고 다이어프램이 금속위에 만들어져 있어서 측정압력의 범위를 확대시킬 수 있다. 또 고온과 부식성 분위기 등의 악환경하에서도 사용할 수 있는 SOS(Silicon On Sapphire)압력 센서가 있다. 이것은 사파이어 기판 위에 실리콘 박막을 에피텍셜 성장시켜, 이 SOS 막을 검출소자로 이용하는 센서이다. (그림 3)은 정전용량형 압력 센서의 예이다.



(그림 3) 정전용량형 압력 센서

4. 실리콘 압력 센서

1961 년 실리콘 압력 센서가 처음 시연된 이후 Honeywell 사에서 센서와 신호처리부가 집적화된 실리콘 압력 센서를 1983 년 처음으로 출시하였다. 그 후 1988 년에 Nova Sensor 사에서는 웨이퍼 접합기술을 이용하여 일괄처리공정(batch process)에 의한 압력 센서를 처음으로 생산하였다. 우리나라에서는 2002 년에 신호처리회로가 집적화된 자동차 흡기압(MAP) 압력 센서의 양산체제가 산업체에서 처음으로 구축되었다. (그림 4 (좌))은 실리콘 압력 센서의 단면 사진이다. 이 센서 칩의 크기는 0.65×0.65mm 로서 150mm 웨이퍼 한 장에 24,000 개의 센서 칩을 만들 수 있다. (그림 4 (우)) 프리스케일(사)의 MPXY8000 Series 센서로 공기압과 온도를



(그림 4) (좌)실리콘 MEMS 압력 센서 (우)MPXY8000 Series 실로콘 센서

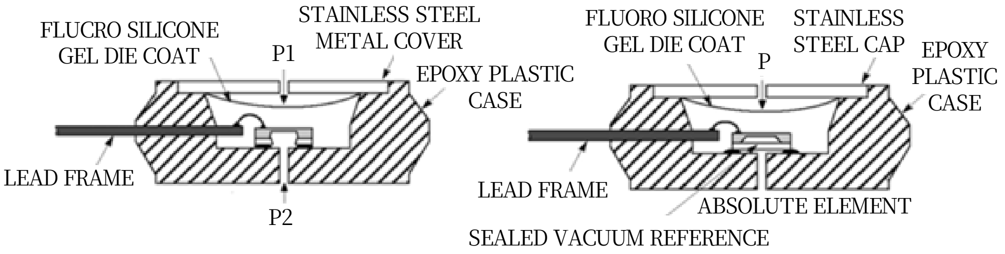
동시에 측정할 수 있다.

압력 측정용 실리콘 압력 센서 혹은 압전형 실리콘 센서로 일컬어지는 센서(Sensor)는 계장설비 및 기계제작 그리고 자동화, 생산공정제어와 환경모니터링에 적합한 센서로서, 진동과 내맥동이 심한 환경에서 높은 특성을 보여준다. 이 센서는 -40°~125° 사이의 온도에서 액체 및 가스등의 매체들을 0.1 350kgf/cm 의 압력범위에서 압력측정에 사용되며, 이 센서의 특징으로서 높은 직선성과 주파수 범위, 영향을 받지 않는 히스테리시스(Hysteresis)등으로 고정밀 측정에 적합한 센서이다. 실리콘 압력 센서는 외부에서 압력이 가해지면 압저항 효과(Piezoresistive effect)를 응용 반도체에 압력이 인가되면 저항값이 변하는 현상을 이용 한다.

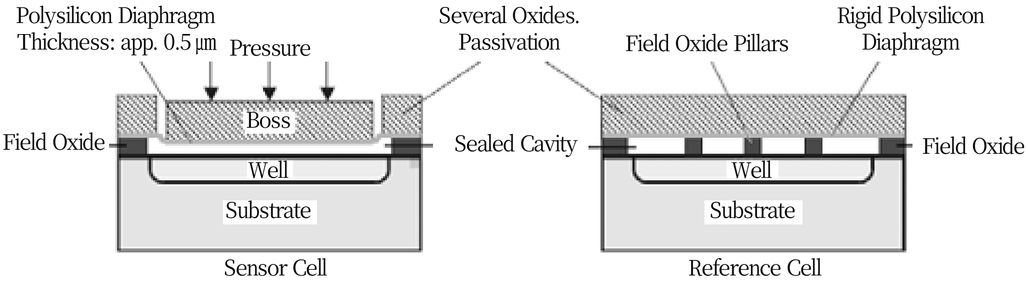
압전현상이란 어떤 종류의 결정판에 일정한 방향에서 압력을 가하면 그 외력에 비례해서 양전 또는 음전하기 때문에 나타나는 현상이다. 압전현상은 1880 년에 피에르와 폴 자크 퀴리 형제에 의해 발견되었다. 그들은 석영, 전기석, 로셀염과 같은 결정에 어떤 결정축을 따라 압력을 가하면 결정의 표면에 생기에 전압이 생기는 것을 관측했다. 다음해에도 그들은 전류를 가하면 그 결정들의 길이가 늘어나는 역효과도 관측하였다. 일반적으로 한 장의 결정판에 의한 압전기는 극히 미약하지만 금속박을 삽입하여 익서를 여러장 겹치면 그 전기량을 충분히 측정할 수 있게 된다. 이를 압전효과라 하는데 이를 이용하면 기계적인 변형을 전기적으로 꺼낼 수 있어 마이크로폰이나 전축용 픽업등에 이용할 수 있게 된다. 여기에는 압전율이 큰 로셀염의 결정을 많이 쓰게 된다. 간단히 말해서 일정한 방향의 압력을 어떤 종류의 결정판에 가하면 그 압력에 비례하여 양전하 또는 음전하가 발생하게 되는 것이다.

(그림 5)와 (그림 6)은 실리콘 압력 센서와 정전용량형 실리콘 압력 센서에 관한 예이다. (그림 5)는 일반적인 실리콘 압력 센서의 기본구조이다. (상)에서는 유리 기판에 압력을 도입하는 큰 홀(hole)이 만들어지는 반면, (하)에서는 실리콘 기판과 유리기판 사이를 진공으로하여 밀봉된다. (그림 6)은 정전용량형 실리콘 압력 센서의 블록구조이다. 압력을 감지하는 정전용량형은

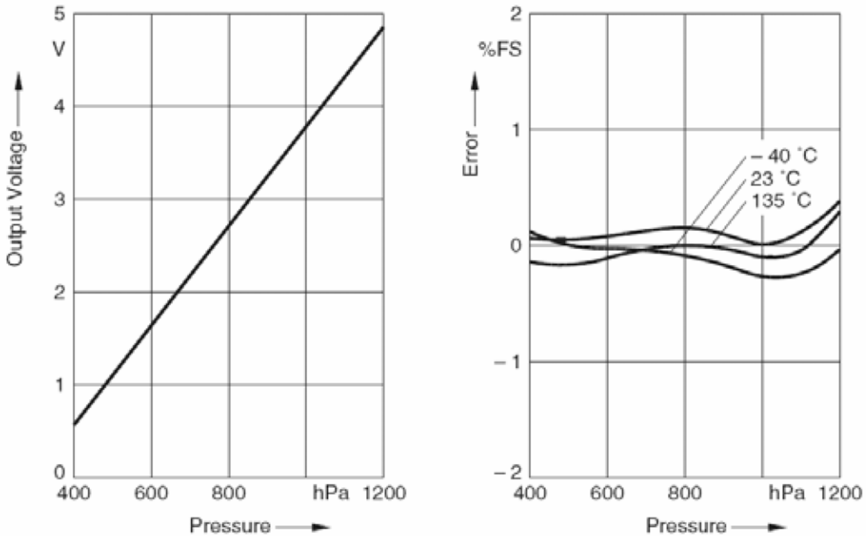
센서는 하부전극과 폴리실리콘 다이어프램 사이에 형성된다. 압력이 가해지면 탄성체인 폴리실리콘 멤브레인이 휘어져 정전용량이 변하게 되는 원리를 이용한다. 높은 분해능을 갖는 센서를 구현하기 위해 거의 동일한 용량을 갖는 기준 셀(Reference Cell)을 다수(14 개)의 셀을 어레이



(그림 5) 실리콘 압력 센서



(그림 6) 정전용량형 실리콘 압력 센서



(그림 7) 센서의 온도 및 압력 변화 특성

구조로 설계하여 센싱 감도와 SNR을 개선시킬 수 있다. (그림 7)은 온도 변화에 따른 실리콘 압력 센서의 출력 전압에 관한 그래프이며, 온도가 최대 약 125°에서도 센서 분해능 감도의 변화폭이 크지 않음을 알 수 있다.

IV. 결 론

1960년대 센서라는 용어가 처음 등장한 이후로 여러가지 표현으로 센서가 정의되어 왔지만 일반적으로 측정대상물의 정보를 측정하여 전기적인 신호로 변환하는 장치로 정의되며 온도, 압력, 유량, 화학, 진동, 소음, 빛 등의 상태 정보를 검출할 수 있다. 2002년 세계시장규모는 247억불 정도이다. 센서를 포함한 unit나 module을 포함하면 시장은 더 클 것이다. 해마다 시장규모는 커지고 있고, 가장 규모가 큰 것은 압력 센서이다. 압력 센서는 각종 시스템에서 압력을 측정하는 소자로서 공업계측, 자동제의, 의료, 자동차엔진제어, 전기용품 등 그 용도가 다양하고 폭넓게 사용하는 센서 중의 하나이다. 압력 센서의 측정원리는 변위, 변형, 열전도율, 진동수, 등을 이용하는 것으로 현재 많은 종류가 실용되어 사용되고 있다. 최근에는 반도체 기술과 마이크로머시닝 기술의 발전으로부터 소형화되고 복합화된 다기능의 스마트 센서에 대한 관심에 커지고 있다. 압력을 검출하는 방식으로 크게 분류하면 기계식, 전기식, 반도체식으로 분류할 수 있으며, 점차 반도체 압력 센서의 비중이 높아지고 있다. 반도체 산업의 성장은 지수 함수적인 급격한 집적도의 향상에 힘입은 바 크며, 그 결과 대형의 고가 시스템들이 점차 작고 더 우수한 성능의 저가 집적회로로 대체되었다. 앞으로 다가올 미래 사회에서 반도체 산업은 순수한 집적도 증가보다는 다기능화의 방향으로 발전할 것이 분명하다.

<참 고 문 헌>

[1] 삼성종합기술원 좌성훈 박사(shchoa@samsung.com), 상용화 관점에서 바라본 MEMS 산업현황, 2005.
[2] 한국에너지기술연구원 한상도 박사, "에너지이용 센서 및 소재 기술 동향," 2005.
[3] 고려대학교, cie.koera.ac.kr/microsensor/notefile/sensor/8-1.pdf, 2003. 5.
[4] 전자부품연구원 박효덕, "NEMS/MEMS 기술,"
[5] 한국전자부품연구원, "비접촉식 전기용량센서," 2004.
[6] S.M. Sze, Semiconductor Sensors, John Wiley & Sons, Inc.
[7] J. J. Carr, Sensors and Circuits, PTR Prentice-Hall, Ltd.
[8] Ranjit Singo, Low Lee Ngo, Ho Soon Seng, Frederick Neo Ghwee Mok, "A Silicon Pizoresistive Pressure Sensor," IEEE Computer Society, 2002.