

반도체 칩을 응용한 간극수압계 센서 개발

윤용수*, 김태희**, 손정호**, 신치건**

1. 서론

건설 현장에서 진동현식 간극수압계 센서 (Vibrating Wire Piezometer)는 많은 문제점을 가지고 있음에도 불구하고 현재까지 널리 애용되고 있음은 무엇보다 가격이 저렴하고 관리가 쉽기 때문이다.

진동현식 센서의 출발은 일찍이 1888년 서구에서 최초 발견된 이래로 1936년 독일의 마이학사 (Maihak A.G.)와 1947년 프랑스의 텔레막사 (Telemac)가 일부 진동현식 계측기기를 상용화하였고, 1950년대부터는 본격적인 생산과 제품개발이 이루어져 현재에 다다르고 있으나 낡은 기술로의 과도한 집착은 첨단 정보화 시공에 전혀 도움이 되지 않을 뿐만 아니라, 토목기술 자체가 타 산업에 비교하여 낙후되거나 역행할지도 모르는 퇴행의 부산물이 되고 있다.

2. 반도체 간극수압 센서 탄생 배경

지중 간극수압을 측정하는 원리는 각종 시스템에서 압력 센서를 이용하여 측정하는 시스템원리와 똑 같으며, 그 대상물이 간극내 수압을 측정하는 것이 주요 목적이다.

*1 동아지반계측 대표
*2 동아지반계측 기술이사
*3 (주)서신엔지니어링 부장
*4 (주)이제이텍 차장

압력 센서의 측정원리는 변위, 변형, 열전도율, 진동수 등을 이용하는 것으로 현재 많은 종류가 연구 개발되어 실용화되고 있다.

최근에는 반도체 기술과 극미세 가공 기술의 발전으로부터 소형화되고 복합화된 다기능의 스마트 (Smart)센서가 끊임없이 연구 개발되어 출현하고 있다.

3. 센서 종류에 따른 간극수압계 분류

간극수압을 계측하는 방식으로 크게 분류하면 공압식, 기계식, 전기식, 반도체식으로 분류할 수 있으며 궁극적으로는 반도체식 간극수압계 센서의 출현이 건설 공사에 경제적인 면과 기술적인 면에서 큰 역할을 담당하게 될 것이다.

3.1 기계식 간극수압계

기계식 간극수압 센서에도 많은 종류가 있지만 그 중에서도 탄성식의 풀돔(Full Dome)관이 많이 사용되고 있다.

풀돔관들은 단면이 원상 혹은 편평상의 금속 파이프이고 C형, 나선형(Spiral), 혹은 헬리칼(Helical)형 등에 곡선으로 가공된 것이 있다.

개발된 고정 단으로부터 측정 압력을 도입하면, 다른 밀폐된 관의 선단이 이동하여 관내 압력의 크기에 비례하므로 이동량은 기계적으로 확대된 압력을 지시한다.

다음으로 많이 사용하고 있는 것은 다이어프램(Diaphragm)과 벨자(Bell jar)로, 전자는 압력 차에 비례한 원판의 휨 정도로 계측하는 것이고, 후자는 원통 내부와 외부의 압력 차에 의해 주름 상자가 신축하여 그 변위량이 압력 차에 비례하는 것으로부터 각각 압력을 측정하는 것이다.

3.2 전기식 간극수압계

전기식 간극수압 센서의 대부분은 기계적인 변위를 전기 신호로 변환하는 부분이 기계식과 다르고, 기본적으로는 기계식과 동일하며 전극간의 정전용량 변화로부터 그 사이의 변위를 측정하는 방법을 이용한다.

이 밖에도 스트레인게이지(Foil Strain Gauge)를 응용한 압저항형, 유기 또는 무기 압전소자를 이용한 압전형과 엘브이디티(LVDT)와 인덕티브타입의 코일형이 있으며, 최근에는 초고온의 환경이나 원격감지 등의 목적으로 광섬유를 이용하기도 한다.

이중에서도 스트레인 게이지를 이용한 압저항형 압력센서가 성능이 우수하나 잡음현상(Noise)에 다소 취약하다.

3.3 반도체 간극수압계

반도체칩을 응용한 간극수압 센서는 세계 최초로 반도체를 이용하여 토중 간극수압을 측정시도한 사례로써, 그 의미가 자못 크며 성능이 매우 우수하여 선진국에서의 도입 논의가 활발하다.

반도체 간극수압계 센서로써의 주요 특징은 압력의 상승과 하강이 나타나는 편차가 없어 히스테리시스(Hysteresis) 현상이 없고 반복성이 뛰어나며 직진성이 매우 우수하고, 소형 및 경량으로 진동에도 강하다.

또한 온도 보상 회로를 삽입하여 온도에 편차에 따른 자동 보상이 되도록 하였고, 이엠아이(EMI) 필터를 삽입시켜 외부 노이즈에 의한 영향을 없도록 고안하였다.

또한 기계식보다도 高감도 高신뢰성이 담보되어 생산성이 여타 제품에 비해 월등히 좋다.

이것은 외부 압력을 응력으로 변환하는 다이어프램과 다이어프램에서 발생하는 동력을 전기 신호로 변환하는 두 부분으로 구성되어 있기 때문이다.

즉, 다이어프램은 단결정 실리콘을 화학적으로 에칭(Etching)으로 형성하며, 다이어프램에서 발생하는 응력을 전기적 신호로 변환하는 방법이다.

이 중에서 압저항식은 저항 확산식 또는 확산식이라고도 하며, 저항소자를 형성시킬 때 반도체의 불순물 확산 공정이 이용되기 때문이다.

4. 반도체 간극수압 센서의 구조와 동작 원리

4.1 구조

4.1.1 절대압 센서(Absolute Pressure Sensor)

절대압 센서는 진공을 0 압력으로 하여 외부 압력

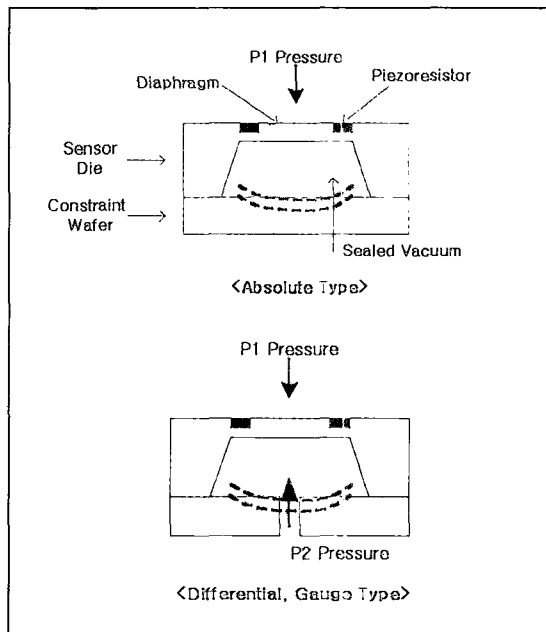


그림 1. 반도체 간극수압 센서의 구조

기술 기사②

을 측정한다. 즉, 진공과 외부에 가해지는 압력 차를 측정하게 된다.

4.1.2 차압 센서 (Differential Pressure Sensor)

차압 센서는 P1과 P2와의 압력차를 측정한다.

4.1.3 상대압 센서 (Gauge Pressure Sensor)

상대압 센서는 차압센서와 유사하나 P2를 대기압에 노출시킴으로써 대기압을 기준으로 외부에서 가해지는 P1의 압력을 측정한다.

4.2 압저항 효과

압력이 가해지면 그림 1에서 점선과 같이 다이아프램(다이아프램의 두께는 통상적으로 10~50 μ m이다.)이 안으로 휘게 된다. 이때 가장자리에 가장 많은 인장 스트레스(Stress)를 받게 된다. 이 스트레스는 가장자리에 있는 압저항체에 전달되게 된다. 압저항체는 반도체 공정중 확산 공정으로 제작되며, 이는 반도체 표면에 불순물을 주입하는 하나의 방법이다. 이 확산 저항(압저항체)은 주입된 불순물의 양 및 깊이에 따라 감도 및 온도 특성이 달라진다. 압저항체는 기계적 스트레스의 양에 비례하여 저항값이 변하게 되는데 이를 압저항효과(Piezoresistive effect)라 한다.

이러한 압저항체는 그림 2에서 보는 바와 같이 다이아프램면의 각 가장자리에 위치한다. 압저항체는 두가지 종류가 있는데 하나는 가장자리 면과 수직인 방향으로 길게 있는 Rl과 수평으로 있는 Rt가 그것이다. Rl은 압력이 증가하면 저항값이 증가하고, Rt는 압력이 증가하면 저항값이 감소한다.

그림과 같이 R1과 Rt는 회로적으로 서로 마주보게 위치하도록 하여 휘스톤 브릿지(Wheat-Stone Bridge) 회로를 구성하게 된다.

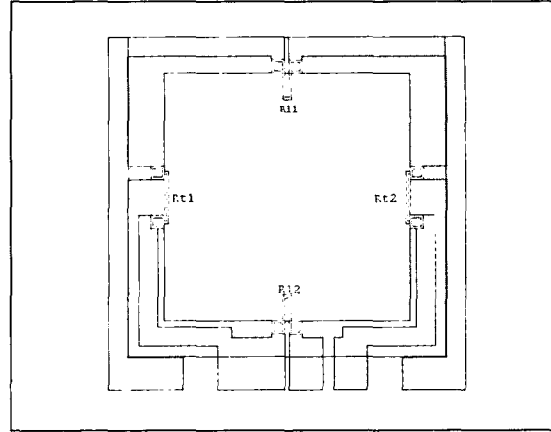


그림 2. 압저항 효과

4.3 휘스톤 브릿지 회로(Wheat-Stone Bridge Circuit)

압저항은 민감도를 높이고 자기보정을 하도록 하기 위해 휘스톤 브릿지 회로 구조를 갖는다. 원리는 외부 압력이 셀에 응력으로 작용하여 휘스톤 브릿지로 구성된 센서에 저항 변화를 일으킨다. 실리콘에 위치한 압저항에 따라서 저항 2개는 압력에 양의 값(R1, R4)으로, 나머지 저항 2개는 부의 값(R2, R3)으로 변함으로써 출력 변화를 증가시킨다. V+, V-출력단을 차동 증폭기에 연결하여 증폭하고, 이 전압을 다시 증폭단(OP AMP) 및 트랜지스터에 연결함으로써 전류로 바꾸어 압력트랜스미터를 제작하게 된다.

4.4 스테인레스 스틸 압력센서(S.S Pressure Sensor)

센서의 표면 손실을 줄 수 있는 유체 및 기체의 압력을 측정하기 위해서 고안된 구조이다. 박판이 매질과 센서를 분리시켜주고, 봉입되어 있는 오링이 압력을 전달하게 된다.

박판을 압력에 대해 탄성을 좋게하고, 변형을 막기 위해 스테인레스 스틸 재질 316L 박판(두께 : 25~

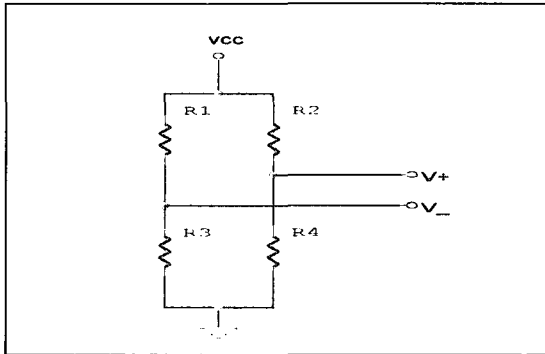


그림 3. 휘스톤 브릿지 회로

50 μ m)에 주름내어 용접하여 사용한다.

5. 결론

진동현식 간극수압계의 가장 큰 문제점은

- ① 영점 변화 현상(Zero Drift)이 심하고
- ② 진동현 센서의 내부 주요 철선은 진동과 온도의 영향을 많이 받고
- ③ 대기압 보정이 필요하며
- ④ 압력 가압과 감압시 히스테리시스의 차이가 크며
- ⑤ 반복도에서 재현성이 떨어지며
- ⑥ 응답 속도가 늦어 안정화에 걸리는 시간이 지체되는 등 여러 가지 단점이 있다.

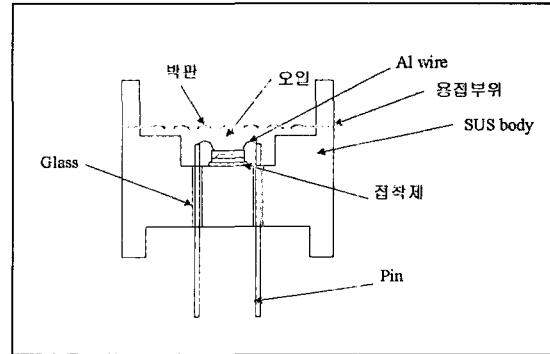


그림 4. 스테인레스 스틸 압력센서

이에 향후 정밀 보급형인 반도체 간극수압계는 이러한 단점들을 보완하고 정밀 계측의 초석을 다지는 계기가 되리라 본다.

또 한편으로는 반도체가 컴퓨터 이외의 품목으로 사용될 수 있다는 다양한 시도와 접근을 통해, 발전적이고도 건설적인 변이의 과정을 제시하고 있으며, 이러한 도전적 연구는 소형, 저가격, 고신뢰성, 고감도를 가진 여러 계측기기류의 모델 가능성을 보여줌으로써 한 개의 칩(Chip)을 이용한 복수 센서를 집적화한 다기능화와 서로 다른 기능의 센서를 융합하는 기술의 집적화, 그리고 전자 기술을 응용한 계측기기가 생산되어 건설 기술 발전에 밑거름이 될 수 있도록 학계와 현업이 한마음되어 연구하는 각고의 노력이 필요하다.