

MEMS 기술을 이용한 접촉연소식 가연성 가스센서

글 _ 한치환, 한상도 || 한국에너지기술연구원, 센서소재연구센터
hanchi@kier.re.kr

1. 서 론

인류가 불을 발견한 이래 문명사회는 에너지의 사용과 함께 발전되어 왔으며 어떤 에너지를 사용하는가가 인류 문명사회의 생활방식을 결정하는 중요한 요인이 되어왔다. 나무에너지를 시작으로, 석탄에너지, 석유에너지, 그리고 가스에너지 시대까지 현재 진보되어 왔으며, 앞으로 수소에너지 시대를 예상하고 있다. 18세기 초의 산업 혁명 이후 증기기관으로부터 시작한 기관도, 이후에 내연기관, 연료전지기관으로 점차 진보하게 되었다. 이러한 에너지의 진보를 살펴보면 알 수 있듯이 인류가 사용한 에너지는 하드에너지(hard energy)로부터 소프트에너지(soft energy)로 발전하여 왔고, 이러한 에너지의 진보는 에너지 사용에 있어서 안전 확보의 명제를 인류에게 안겨주었다. 예를 들면 현재 많은 가정에 보급되어 난방 및 취사용으로 사용되고 있는 도시가스의 경우, 사용이 편리한 장점이 있지만 부주의한 사용으로 인하여 인명 및 재산상의 피해를 끼칠 수 있다. 특히 앞으로 사용하게 될 것으로 예상되는 수소에너지는 폭발의 위험성이 기존의 도시 가스에 비해서 훨씬 더 크다. 따라서 이러한 가연성 가스들의 누설을 미리 감지하여 안전을 확보하는 것은 에너지의 활용에 있어서 대단히 중요한 일이다.

현재까지 양산화에 성공한 가연성 가스 검지 기술은 크게 세 가지로 구분될 수 있다. 첫째는 접촉연소식, 둘째는 반도체식, 셋째는 전기화학식이다. 그 외에도 FET 식 열전식 및 광학식과 같이 다양한 방법들이 있으나, 이

러한 기술들은 아직까지 기술이 완전히 성숙하지 못하여 양산화까지는 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 현재 양산화된 가연성 가스 센서의 구성 및 장단점을 다음 Table 1에 나타내었다.

이 중에서 가연성 가스센서로서 가장 많이 쓰이고 있는 형태는 뛰어난 안정성을 장점으로 가지고 있는 접촉연소식 센서이다. 접촉연소식 센서는 산화반응에 촉매활성을 가진 물질로 백금히터를 피복한 것에 가연성 가스를 함유한 공기를 접촉시키면 촉매 상에서 가연성 가스와 산소가 반응하여 반응열이 발생하고 이러한 반응열에 의한 백금히터의 저항변화를 이용하여 가연성 가스를 감지한다. 접촉연소에 의해서 생기는 반응열은 완전연소가 이루어지는 범위 내에서는 가스의 농도에 비례하고, 이 반응열에 의하여 소자의 온도가 상승하고, 백금선의 전기저항이 증가하는데 이를 전기신호로 바꾸면 가연성 가스의 정량적 감지가 가능하다. 현재까지 가장 많이 사용된 비드형 접촉연소식 센서와 Wheatstone bridge 회로를 Fig. 1에 나타내었다.

원리는 기본적으로 백금선 코일에 세라믹 Alumina계 물질을 소결하고 그 위에 백금족 촉매금속을 코팅한 검

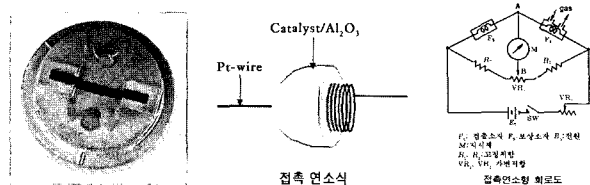


Fig. 1. 양산화에 성공한 비드형 접촉연소식 가스센서.

Table 1. 대표적인 가연성 가스 검지 기술

기술명	원 리	구 성	장단점
접촉연소식	가연성 가스의 표면 촉매 연소에 의한 연소열에 의해서 발생하는 백금히터의 저항 변화	반도체 촉매 연소열을 Wheatstone bridge 회로로 검출	- MEMS 공정 적용 가능 - 고농도 측정에 적합 - 온도/습도에 영향 없음 - 5년 이상 긴수명 - 저농도 측정의 어려움 - 고온에서 작동하고, 전력소모가 큼
반도체식	세라믹 반도체 물질인 SnO ₂ , TiO ₂ , ZnO, NiO 등의 물질표면에서 가연성가스와외 흡탈착에 의한 저항변화	전극 위에 코팅한 막 형태의 반도체 물질과 히터로 구성	- MEMS 공정 적용가능 - 저농도 측정이 용이 - 감지물질 및 촉매선택에 의한 선택성 향상 가능 - 외부 온습도에 영향을 많이 받아서 안정성이 떨어짐
전기화학식	가연성 가스의 이온화 및 이온 이동에 의한 기전력 형성	구리 전극과 수소이온 전도성 전해질, 백금 전극과 pumping cell 등	- MEMS 공정 적용이 매우 어려움 - 실리콘 등에 의한 피독 현상 - 독성가스 검출에 많이 사용되고 있음

지 소자와 불활성 물질을 코팅한 보상소자 및 한 쌍의 고정저항으로 브릿지 회로를 구성하여 가스가 없을 때는 초기의 기준치가 유지되어 출력의 변화가 없지만 가스가 발생하면 검지소자의 저항치가 상승하여 균형이 깨어져 출력전압의 변화로 가스량을 알아내는 것이다. 이러한 접촉연소식 가연성 가스센서는 5년 이상의 긴 수명 등의 장점과, 온도나 습도변화에 영향을 받지 않는 장점이 있지만, 고온에서 작동하기 때문에 전력소모가 큰 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 최근에는 MEMS (micro-electro mechanical system) 공정을 적용한 마이크로 접촉연소식 센서의 개발이 진행 중이다.

2. 본 론

1970년대부터 IC 등 소형부품의 개발에 의하여 소형 회로 제조 기술의 발전이 비약적으로 이루어졌다. 이후 반도체 공정 기술을 기반으로 초정밀 미세 가공기술이 발전하게 되는데, 이러한 초소형 회로제조기술에 의한 전반적인 초소형정밀소자 제조 기술을 MEMS (Micro-Electro-Mechanical System)라 한다. MEMS 공정기술은 마이크로 시스템, 마이크로 머신, 마이크로 메카트로닉스 등의 동의어와 혼용되어 사용되고 있다. MEMS는 실리콘 가공기술에서 시작되었으며 실리콘 기판에 미세 기계요소 즉 밸브, 모터, 펌프, 기어 등의 부품을 2차원 평면으로 제작한 것이 시초였다. 이후 이방성 에칭을 이

용하여 3차원 구조를 만들 수 있게 되었고, 현재 LIGA, LASER, 전기방전 등의 여러 가지 제작 기술이 개발되어 다양한 마이크로 머신이 제작되었지만 실용화 된 분야는 대부분 센서 기술 분야로 자동차 에어백용 충돌감지 센서, 압력센서는 이미 세계적인 상품으로 시장을 형성하고 있으며, 국내의 중소기업에서도 반도체식 가스센서를 이용한 음주측정기를 실용화하는데 성공하였고, 선택성 및 안정성을 향상시키려는 연구가 나노감지물질 개발과 더불어 많이 진행되고 있다.

접촉연소식 가스센서는 1923년 미국의 J&W사가 모델 F를 내놓은 것이 실용화의 효시이다. 그 후 1958년 일본의 광명이화학공업에서 모델 FM-1을 출시하면서 오늘날 접촉연소식 센서의 본보기가 되었다. 이 센서는 장시간 사용에 따른 백금선과 비드 간의 박리현상이 문

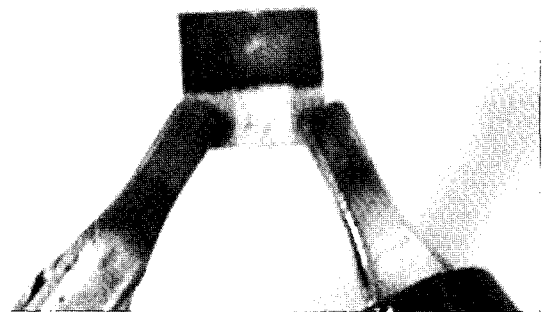


Fig. 2. 평판형 접촉연소식 가스센서.

제가 되고 있으나 알루미늄 담지체에 적용하는 촉매의 종류에 따라 높은 선택성을 부과할 수 있는 특성을 가졌다. 이러한 접촉연소식 센서는 서론에서도 언급했다시피 비드형으로 개발되어 양상화에 성공하였다. 하지만 비드형은 대부분의 제작을 수작업으로 진행하여야 하기 때문에 대량생산이 어렵고, 센서 크기를 작게 하는데 한계가 있으며, 작동온도가 높기 때문에 소비전력이 높은 단점을 가지고 있다. 평판형 접촉연소식 센서는 대량생산성 면에서 비드형 접촉연소식 센서에 비해 유리한 점을 가진다. Fig. 2에 한국에너지기술연구원에서 개발한 평판형 접촉연소식 센서의 그림을 나타내었다.

이러한 평판형 접촉연소식 가스센서는 대개 알루미늄 기판 위에 스크린 프린팅 기법을 이용하여 백금 전극을 형성시키고, 그 위에 절연성이 좋고, 고온에서 안정한 세라믹 물질인 알루미늄이나 촉매로 사용되는 팔라듐과 백금을 섞은 물질을 역시 스크린 프린팅 기법을 이용하여 코팅하여 제작한다. 평판형 접촉연소식 가스센서는 기존의 비드형의 센서에 비해서 백금 코일의 변형의 염려가 없기 때문에 보호체와 감지체를 이중으로 코팅하지 않아도 되고, 또한 스크린 프린팅 기법을 이용하기 때문에 양상화에 매우 유리한 장점을 가지게 된다. 하지만 평판형 센서 역시 크기가 크기 때문에 전력소모가 많은 단점을 가지게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 MEMS 공정에 의한 접촉연소식 센서의 개발이 진행되고 있다. MEMS 공정을 이용한 접촉연소식 가스센서를 개발하는 대표적인 연구기관을 꼽으면, 미국의 산디아 국립연구소, 일본의 나가사키 대학, 그리고 한국의 한국에너지기술연구원을 들 수 있다.

미국의 산디아 국립연구소에서 개발한 접촉연소식 센서의 사진을 아래 그림에 나타내었다. 산디아 국립연구소에서 개발한 접촉연소식 센서의 특징은 다결정 실리콘을 히터로 사용한다는 점이다. 다결정 실리콘 반도체 공정에 의해서 그림과 같은 히터 모양으로 형성하고, 실리콘의 산화를 막기 위해서 Si_3N_4 를 $0.25 \mu\text{m}$ 두께로 코팅한 후 촉매로 사용되는 백금을 화학증착방법인 CVD (Chemical Vapor Deposition) 방식으로 히터위에 증착하였다. 이러한 과정에 의해서 개발된 마이크로 센서는

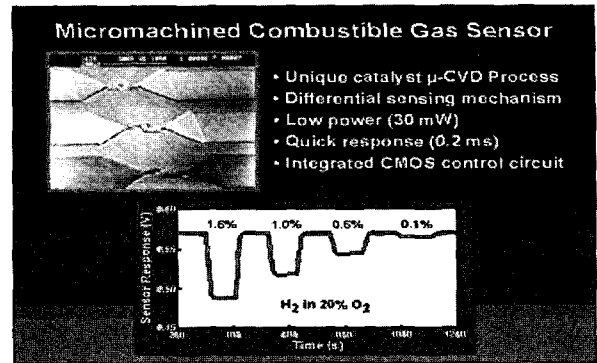


Fig. 3. 산디아 국립연구소에서 개발한 접촉연소식 마이크로 가스 센서.

0.5% 이상의 고농도 수소센서에 대한 감지 성능이 매우 좋은 것으로 보고 되었다.

다른 특징으로는 안정성을 향상시키기 위해서 보상소자의 저항변화를 측정하여 늘 같은 온도를 유지시킬 수 있도록 회로를 설계하였다는 것이다.

일본의 나가사키 대학의 접촉연소식 마이크로 센서의 개발을 이끌고 있는 사람은 이가시라 교수로 화학센서 분야에서 매우 오랫동안 반도체식, 접촉연소식 등의 다양한 연구를 진행한 권위자이다. 나가사키 대학에서 개발한 접촉연소식 센서를 Fig. 4에 나타내었다.

나가사키 대학에서 개발한 접촉연소식 마이크로 센서의 특징은 배면 식각에 의해서 열손실을 줄이는 구조를 가지고 있다는 것이며, 보상소자와 감지소자의 전극을

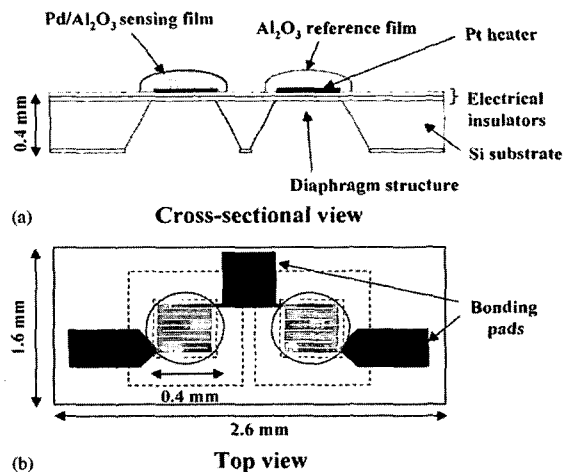
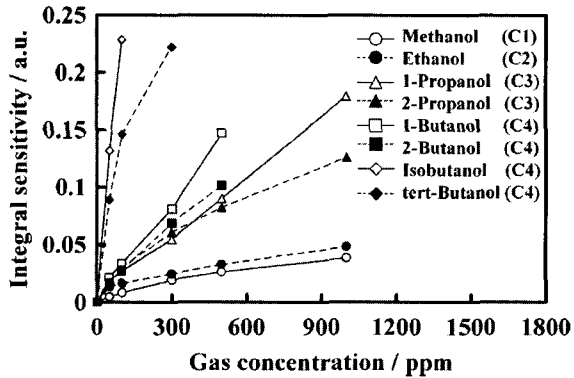
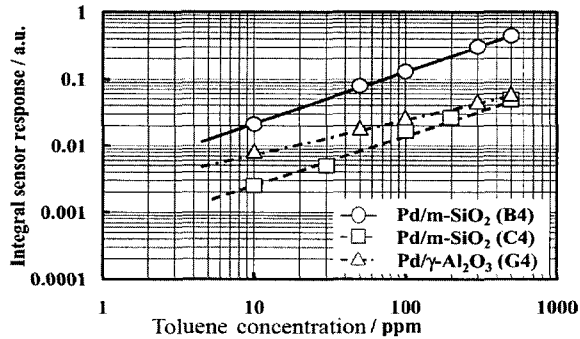


Fig. 4. 나가사키 대학에서 개발한 접촉연소식 마이크로 가스센서.



(a)



(b)

Fig. 5. 모물질 변화에 따른 감지특성 변화. (a) 알루미늄을 모물질로 사용한 경우에 알코올에 대한 감지 성능, (b) 실리카를 모물질로 사용한 경우에 톨루엔에 대한 감지 성능.

공통전극으로 설계하여 구조를 간단히 하였다. 또한 펄스 전원공급방법을 사용하여 전력소모를 줄였으며, 감지체의 모물질을 변화시켜 알코올류, 방향성 화합물류 등의 VOCs 물질에 대한 선택성을 높이는 실험을 하였다. 논문에 의하면 알루미늄을 모물질로 사용한 경우에는 알코올류에 대한 감지 성능이 좋았고, 실리카를 모물질로 사용한 경우에는 톨루엔과 같은 방향성 화합물에 대한 감지 성능이 좋았다. Fig. 5에 알루미늄을 모물질로 사용한 경우와 실리카를 모물질로 사용한 경우에 각각의 알코올 및 방향성 화합물에 대한 감지성능을 나타내었다.

이들은 이러한 모물질의 변화에 의한 감지 가스에 대한 선택성의 변화를 모물질 및 촉매의 흡착능력으로 설명하고 있다. 따라서 적절한 모물질 및 촉매를 선택함으로써 인해서 접촉연소식 가연성 가스센서도 특정 가연성

가스에 대한 선택성을 가질 수 있는 가능성을 보여 주고 있으나, 일반적인 탄화수소인 메탄, 프로판, 부탄 등과 같은 기체들과 요즘 많은 관심이 집중되고 있는 수소에 대한 연구결과가 없어 좀 더 다양한 선택성에 대한 연구가 필요하다.

한국에너지기술연구원에서는 지난 2003년부터 접촉연소식 마이크로 수소센서를 개발하고 있다. 한국에너지기술연구원에서 개발하는 접촉연소식 마이크로 수소센서의 특징은 기판으로 절연성과 단열 특성이 좋은 알루미늄을 코팅한 실리콘을 사용하여 안정성을 높인 것이다. 또한 알루미늄, 실리카, 타이타니아 등과 같이 다양한 모물질을 사용하여 수소센서에 대한 감지 성능을 높이는 연구를 진행하였다. 연구결과는 조만간 학회와 잡지를 통하여 발표될 예정이다.

3. 결론

MEMS 공정을 이용한 물리센서인 마이크로 가속센서와 자이로스코프는 이미 자동차에 적용되어 세계적으로 2억9천만달러(2천9백억원)와 3억천만달러(3천1백억원)의 시장을 형성하였으며, 앞으로 시장의 규모가 급성장할 것으로 예상된다. 프랑스의 YOLE 사는 이러한 마이크로 물리센서의 시장이 2008년까지 연간 8% 이상 급증할 것으로 예상하였다.

MEMS 공정을 이용한 물리센서의 성공적인 양산화에 힘입어, 많은 전문가들이 가까운 미래에 MEMS 공정을 이용한 화학센서가 시장에 진입하게 될 것으로 예상하고 있으며, 이미 반도체식 마이크로 가스센서의 경우에 작은 규모지만 양산화가 시작되었다. 앞으로 안정성과 신뢰성이 우수한 MEMS형 접촉연소식 가스센서가 양산화에 성공하게 되면, 가격, 크기, 소비전력 면에서 유리하기 때문에 현재의 비드형 접촉연소식 가스센서를 매우 빠른 시간 내에 대체할 것으로 예상되며, 보다 많은 적용분야를 확보하게 될 것으로 예상된다. 이러한 MEMS형 화학센서들의 발전은 LNG, LPG 등의 에너지는 물론 수소에너지 등의 소프트에너지의 안전이용에 활용되어 인류의 보다 풍요로운 미래생활에 기여하게 될 것이다.

참고문헌

1. T. Sasahara, A. Kido, H. Ishihara, T. Sunayama, M. Egashira, "Highly sensitive detection of volatile organic compounds by an adsorption/combustion-type sensor based on mesoporous silica" *Sensors & Actuators*, B **108**, 478-83 (2005).
2. Gerard Rose, Isabelle zdanevitch, "A new method using a catalytic sensor for the identification and concentration measurement of combustible gases" *Sensors & Actuators*, B **24**, 426-8 (1995).
3. J. R. McBrise, K. E. Noetering, K. R. Ellwood, "Design consideration for optimizing the sensitivity of catalytic calorimetric gas sensoe: moldeling and experimental results" *Sensors & Actuators*, B **73**, 163-73 (2001).
4. T. Sasahara, A. Kido, T. Sunayama, S. Uematsu, M. Egashira, "Identification and quantification of alcohol by a micro gas sensor based on adsorption and combustion", *Sensors & Actuator*, B **99**, 532-8, (2004).
5. <http://www.sandia.gov/mstc/technologies/microsensors/techinfo.html>
6. <http://www.yole.fr/pagesAn/accueil.asp>
7. Chi-Hwan Han, Sang-Do Han, Ishwar Singh, Thierry Toupance, "Micro-bead of nanocrystalline F-doped SnO₂ as a sensitive hydrogen gas sensor", *Sensors & Actuators*, B **109**, 264-9, (2005).

●● 한치환



- 고려대학교 화학과 (학사, 석사, 박사)
- 프랑스 보르도 1대학 (박사후과정)
- 현재 에너지기술연구원 센서소재연구센터, 선임연구원

●● 한상도



- 경북대학교 물리학과 (학사)
- 충남대학교 화학과 (석사)
- 프랑스 보르도 1대학 (박사)
- 현재 에너지기술연구원 센서소재연구센터, 센터장