

論文2003-40SD-2-1

파릴렌 막이 증착된 봉입형 압력센서의 제작 및 그 특성 (Fabrication and Characteristics of Parylene Coated Isolated Type Pressure Sensor)

金 愚 正 * , 趙 容 秀 * , 金 洪 均 * , 崔 時 永 *

(Woo Jeong Kim, Yong Soo Cho, Hong Kyun Kim, and Sie Young Choi)

요 약

반도체형 압력센서를 이용하여 물이나 화학약품 매질의 압력을 측정하기 위해서는 센서를 보호하기 위한 패키징이 필요하다. 스테인레스 봉입형 압력센서는 SUS316으로 패키지 되어있으며 SUS316은 표면이 다량의 크롬과 니켈을 함유하고 있어 내부식성이 강하고 또한 인성 및 용접성이 양호하여 센서를 분리하는 박막으로 널리 사용된다. 그렇지만 SUS316은 강산과 강알칼리 용매에서는 급격히 부식된다. 따라서 내부식성이 우수한 파릴렌 막을 SUS316의 표면에 2000Å의 Cu막을 증착한 다음에 5 μ m 두께로 코팅 처리함으로써 내화학성이 우수한 압력센서를 제작할 수 있었다. 파릴렌 막을 코팅하기 전에 봉입형 압력센서의 정확도는 ± 0.5 %FSO이었고, 코팅 후의 센서도 동일한 특성을 보여주었다.

Abstract

To measure the pressure using semiconductor type pressure sensor in water or chemical solutions, the sensor must be protected from the solutions using proper packaging materials. Stainless steel isolated type pressure sensor packaged with SUS316 can be widely used to measure the pressure in water or chemicals due to its high corrosion resistance and good performance in tensility and welding. Even if the surface of SUS316 has a plenty of nickel and chromium, the SUS316 is highly corrosive in acidic or alkaline solution. We coated parylene films on copper deposited SUS316 substrate. The thickness of parylene and adhesion promoting copper layer are 5 μ m and 200nm, respectively. The parylene coated stainless steel pressure sensor showed good anti corosive characteristics in various strong acids. The accuracy of the pressure sensor wasn't varied after parylene coating with 0.5 %FSO.

Keywords : parylene coated stainless, isolated type pressure sensor

I. 서 론

MEMS(micro electro mechanical System) 기술은 반도체 기술을 바탕으로 1970 연대 이후 급속히 발전했

* 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部
(School of electronic and electrical engineering,
Kyungpook national university)

接受日字:2002年9月10日, 수정완료일:2003年1月29日

다. 이 기술에 의해 해당 산업분야에서는 종래의 크고 복잡한 구조의 기계식 센서를 탈피하는 경향을 보이며, 일괄 생산공정이 가능한 초소형, 초경량의 전자식 반도체 센서가 제작되게 되었다.

반도체형 압력센서는 외부에서 가해지는 압력의 변화를 감지하여 이를 전기적 신호로 변환시키는 장치로서 압력 측정이 요구되는 산업용 로봇트를 비롯하여 자동차, 생체공학용 의료기, 항공, 환경제어와 산업체의 대규모 시스템 제어 등에 광범위하게 응용되고 있다¹⁻³⁾. 최근에는 반도체, 생명공학, 항공우주, 의료 기기, 식료

품, 계측기 등의 첨단산업분야에서 수요가 늘어나고 있는 추세이다. 기존의 압력센서에 비해 히스테리시스(hysteresis) 현상이 없고 직선성이 우수하며, 소형·경량으로 진동에도 매우 강한 것이 특징이다. 또한 고압도·고신뢰성이며 양산성이 좋다.

반도체형 압력센서를 이용하여 물이나 기름 등의 유체가 침투하는 열악한 환경에서도 정확한 압력 측정이 가능하도록 cell이 직접 압력 매체와 접하지 않는 봉입형 압력센서가 요구되고 있다^[4]. 봉입형 압력센서는 박막의 스테인리스강을 이용하여 매질과 센서를 분리하고 매질의 압력을 전달받게 된다. 압력손실 없이 압력센서에 전달하기 위하여 수십 마이크로 두께의 스테인리스강으로 용접, 패키징된다. 외부에 노출된 수십 마이크로 스테인리스 강 표면은 다량의 크롬 층과 니켈 층으로 형성되어 있으므로, 물, 기름 그리고 일반적인 화학용액에서는 견디지만, 강산이나 강알칼리에서는 부식 보호막이 되지 못한다.

따라서, 본 논문에서는 내부식성이 우수한 폴리머를 이용해 스테인리스 강 표면 코팅처리 함으로써 내화학성이 우수한 파리렌 막이 증착된 압력센서를 제작하고 그 센서의 표면인 스테인리스 강 위에 도포된 파리렌 막의 부착성 및 각종 강산과 강알칼리 용액들에 대한 내부식성 특성과 제조된 센서의 재특성의 변화 여부를 조사하였다.

II. 실험 및 측정

최근에 폴리머나 금속 복합체는 자동차 산업, 전기전자 산업, 항공우주 산업 등의 다양한 분야에 응용되고 있으며, 특히 금속 표면에 대한 폴리머의 흡착 현상은 접착(adhesion), 습기(wetting), 콜로이드 안정화(colloid stabilization), 생체 적합성(bio-compatibility) 및 극소전자공학(micro-electronics) 등의 구체적인 분야에서 실제로 중요하게 다루어지고 있다. 반도체형 압력발신기에 폴리머를 코팅하기 위해서는 막의 두께 조절 가능성, 내부식성 그리고 금속과 폴리머의 접착력이 중요한 요소이다. 이러한 고분자/금속 복합체의 물리적, 화학적, 전기적 및 역학적 성질은 고분자와 금속간의 상호 작용, 계면 접착력 및 미세 분자구조 등에 의하여 결정적으로 영향을 받게 되므로 이러한 계면특성을 잘 이해하고 조절하는 것이 매우 중요하다^[5].

봉입형 압력센서의 SUS316 다이어프램의 두께는 50 μm 로써 막의 두께가 발신기의 감도에 중요한 요인이다. 그러므로 폴리머 증착은 수 μm 내에서 이루어져야 하며 치밀한 막의 성장이 요구된다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서 우리는 gas phase 상태를 이용한 폴리머 증착법을 선택하였다^[4]. 이때 사용될 폴리머로는 Novellous 사의 제품인 Parylene-C를 이용하였다. 파리렌의 특성은 <표 1>에 나타나 있다.

파리렌은 <표 1>에서 보여지는 바와 같이 높은 열적 안정성이 매우 낮은 수분 흡수계수, 그리고 금속계 물질과의 우수한 부착특성 등의 장점을 가지고 있으며, 더욱이 spincoating이 아닌 상온에서 열증착이 가능하고 박막의 두께 조절이 용이하다는 장점이 있다^[6]. 특히 본 실험에서 사용된 Parylene-C는 수분 및 부식성 가스에 매우 강한 특성을 가지고 있으며, 전기적 또는 물리적 특성이 우수한 박막을 형성하는 특성이 있다. 그리고 핀홀(pinhole)이 없으며 균일한 박막의 증착이 가능해 중요한 부품의 보호막으로 많이 사용되고 있으며, 특히 낮은 수분 흡수도는 외부 환경적인 영향에 강한 소자의 구현이 가능하다^[7].

표 1. 파리렌의 주요 특성

Table 1. Characteristic of the parylene.

Purity(%)	99.5
Density(g/cm^3)	1.309
Index of refraction	1.649
Tensile modulus(Gpa)	3.2
Tensile strength(psi)	9,800
Yield strength(psi)	9,500
Elongation to break(%)	3.5
Yield elongation(%)	3.5
Rockwell hardness	R80
Coefficient of friction (static&dynamic)	0.29
melting temperature($^{\circ}\text{C}$)	290.7
linear coefficient of expansion($1/^{\circ}\text{C}$)	3.01×10^{-7}
Water absorption, 24hr(%)	<0.1
Moisture vapor transmission	0.016

파리렌 막을 증착하기 위하여 Labcoter PDS2010 장비를 사용하였다. 파리렌 막은 기존의 액상 코팅과 달리 진공상태에서 powder로부터 승화된 가스가 표면에 노출되어 기판에 증착된다. 증착 공정의 특성으로 두께

는 100 Å부터 100 μ m까지 조절이 가능하며, 두께는 파 리렌의 양을 조정하면 가능하며, 증착율은 분당 0.2 μ m 정도이다. 파리렌 막 제조조건은 120 $^{\circ}$ C의 전기로에서 파리렌 분말이 증화되고 이어서 650 $^{\circ}$ C의 두 번째 전기 로에서 열분해 되어 폴리머의 형태로 증착되게 된다.

본 실험에서는 파리렌 막이 화학적인 내구성을 가지 는 범위와 외부로부터의 스크래치를 견딜 수 있는 정 도를 고려하여 막의 두께를 5 μ m로 증착하였다. 증착된 파리렌 막이 압력센서의 표면인 SUS316과의 접착력을 개선하기 위해서 SUS316 박판 위에 Cu와 Au를 스퍼 터링법, e-beam법 및 열증착법으로 약 2000Å 정도 증 착한 후 그 위에 파리렌 막을 증착한 테스트 샘플을 제작하여 접착력 테스트와 내부식 특성을 조사하였다.

내부식 특성을 조사하기 위하여 염산, 황산, 과산화수 소, 아세트산, 질산, 불산, 메탄올 및 증류수 등의 원액 에 제조된 테스트 샘플을 50시간 담근 후에 파리렌 막 의 표면 및 단면을 SEM으로 변화를 관찰하였다. 또한 박막의 접착력 측정은 ASTM("measuring adhesion by tape test", 1984 ASTM standards) 법을 이용하였다.

위의 조건에서 접착성과 내부식 특성을 만족하는 가 장 우수한 조건인 스퍼터링법으로 Cu를 2000Å 증착한 후에, 파리렌을 5 μ m 코팅하여 파리렌 막이 증착된 봉입 형 압력센서를 제작하였다. 그 센서들의 내부식 특성과 전기적 특성의 변화를 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

본 실험에서는 파리렌과 SUS316 박막의 접착력을 측정하기 위해 ASTM 표준 측정 법을 사용하여 SUS316 위에 증착된 파리렌 막을 3M 테이프를 이용 하여 여러 각도 및 속도에 따라서 잡아 당겨서 박막의 상태를 측정하였다. 테스트를 실행한 결과 파리렌은 SUS316에서 모두 박리되었다.

파리렌과 SUS316의 접착력을 향상시키기 위해서 중 간층 박막을 삽입하는 실험을 진행하였다. 파리렌과 접 착력이 우수한 것으로 연구되어진 바 있는 Cu와 Au를 이용하여 증착 방법에 따른 SUS316과 금속박막 및 금 속박막과 파리렌에 대한 접착력 ASTM 테스트를 실행 하였다¹⁷⁾. 결과를 <표 2>에 나타내었다.

표에서 Cu를 스퍼터링법과 열증착법으로 증착한 것 과, Au를 E-beam법과 열증착법으로 증착한 것에 파리 렌을 코팅하여 접착력을 테스트한 결과를 보면, Cu와

Au는 모두 파리렌과의 접착력이 우수하였으며 특히 스 퍼터링법으로 증착된 Cu와 E-beam 법으로 증착된 Au 는 파리렌과의 접착력이 매우 우수하였다.

표 2. SUS316과 파리렌에 증착된 금속의 종 류와 증착 방법에 따른 ASTM 측정 결과

Table 2. ASTM results on adhesion of deposition materials and deposition methods for SUS316 and parylene .

	Parylene	SUS316
Cu (Sputtering)	verygood	good
Cu (Thermal)	good	poor
Au (E-beam)	verygood	poor
Au (Thermal)	good	verypoor

또한 SUS316에 금속박막의 접착력 테스트를 위해 Cu와 Au를 스퍼터링, 열증착과 E-beam법을 이용해서 박막을 증착시킨 것들을 ASTM 테스트 실행 한 결과 는 스퍼터링법에 의해 증착된 Cu박막만 SUS316과 접 착력이 양호하였다. 다른 금속 박막들과는 접착력이 좋 지 않았다.

내부식성 특성을 위해 SUS316 박판 위에 2000 Å 두께의 Cu를 스퍼터링법으로 증착시킨 후에, 파리렌을 5 μ m 두께로 코팅한 테스트 샘플들에 대하여 화학약품 들에 대한 부식성 실험을 하였다. 일반적으로 폴리머들 은 화학약품과 반응하면 표면에 변하고 부풀어오르는 현상을 나타나게되며, 이러한 현상에 의하여 용액이 침 투되어서 SUS316이 부식하게 된다¹⁷⁾.

위와 같이 제조된 테스트 샘플들을 반도체 공정에 많이 사용되는 HCl, H₂SO₄, HNO₃, HF, 아세톤, 메탄 올, 과산화수소, DI water 등의 용액들에 대해 50시간 동안 dipping 한 후, SEM 사진을 통해서 각각의 용액 에 대한 파리렌의 반응 여부를 분석하였다. 각각 용액 들에 대하여 50시간 dipping 후의 파리렌의 두께 변화 를 <그림 1>에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 파리렌 막은 모든 용액들 에 대하여 dipping 전과 동일하게 5 μ m가 측정되었고, 표면도 SEM분석 사진을 통해서 약품에 반응하지 않음

을 확인하였다. 또한 Cu 막을 SEM 사진으로 분석한 결과도 dipping 전과 비교해 전혀 변화가 없었으며 파리렌은 각 용액들이 전혀 투과시키지 않음을 알 수 있었다.

앞의 테스트 샘플 실험결과를 이용하여 봉입형 압력 센서의 SUS316 위에 스퍼터링법으로 2000 Å 두께의 Cu를 증착하고, 그 위에 Labcoater PDS2010 장비를 사용하여 파리렌 막을 5μm 증착한 압력센서의 외형이 <그림 2(a)>와 같다.

이와 같이 제작된 파리렌 막이 증착된 봉입형 압력 센서들을 앞 실험에서 사용한 강산과 강알칼리 원액에 넣어 50시간 사용 후에도 파리렌 막의 변화나 변형은

전혀 없었다<그림 2(b)>. 또한 Cu와 SUS316의 부식도 전혀 없었으므로 이 센서를 반도체 공정에 사용되는 각종 화학 용액의 압력측정에 사용 가능하리라고 예상된다.

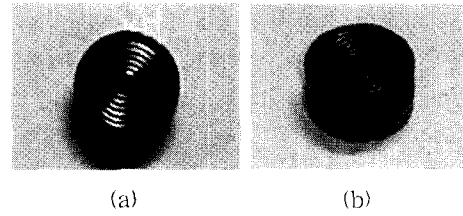


그림 2. 파리렌 막이 증착된 봉입형 압력센서의 사진. (a) 화학용액에 담그기 전과 (b) 50시간 화학 용액에 담근 후

Fig. 2. Photograph of parylene coated isolated pressure sensor. (a) before dipping and (b) after dipping into various chemical solutions for 50 hours.

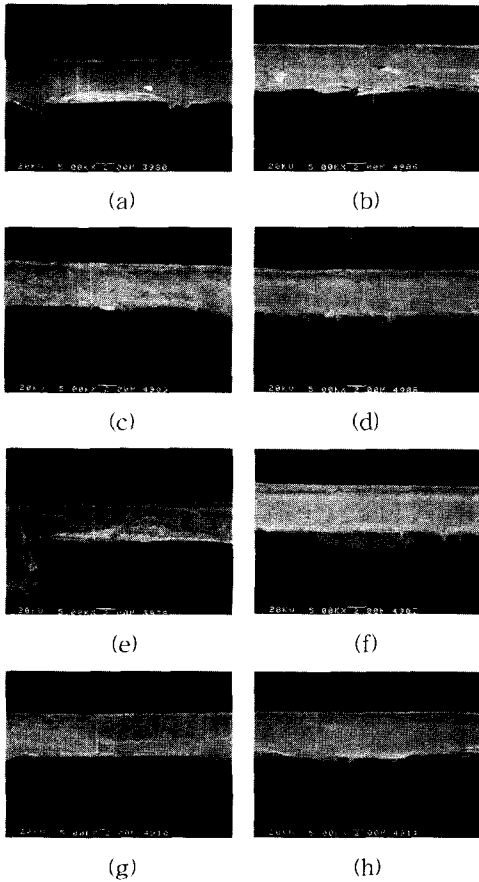


그림 1. 50시간 동안 화학약품에 담근 후의파리렌 막의 단면 사진. (a) 염산, (b) 황산, (c) 과산화수소, (d) 아세트산, (e) 질산, (f) 불산, (g) 메탄올, (h) 증류수

Fig. 1. Cross section of parylene which dipped into various chemicals for 50 hours. (a) HCL, (b) H₂SO₄, (c) H₂O₂, (d) CH₃COOH, (e) HNO₃, (f) HF, (g) methanol, and (h) DI water.

압력 트랜스미터를 제작하기 위하여서는 차동 전압을 4~20 mA의 2선 출력으로 나타나도록 회로를 구성하여야 한다. 이번 실험에서는 기존 제품의 복잡한 회로를 대신하여 <그림 3>에서 보느바와 같이 XTR105라는 전용 chip을 이용하여 트랜스미터 회로를 구성하였다. 기본적으로 XTR105는 센서의 차동 전압에 비례하여 4~20 mA라는 전류가 출력되도록 하는 기능을 가지는 chip이다. 이러한 chip의 출력은 다음 식과 같은 특성을 가진다.

$$I_o = 4mA + V_{in} \times \left(\frac{40}{R_g} \right)$$

여기에서 R_g는 회로에서 R₂, R₃, R₄, VR₁의 합산저항에 해당하여 gain을 조정하도록 하였다. V_{in}은 센서에서 출력되는 차동전압에 해당한다. 브릿지형 반도체 압력센서에서는 온도에 대한 보정이 필요하다. 이 회로에서는 오프셀을 보정하기 위한 저항 R₅~R₁₀중에서 R₆을 온도 감지 저항으로 사용하고 R₇을 이용하여 그 기울기를 조정하도록 하였다. 또한, 감도의 온도 특성을 보정하기 위하여 R₂에 온도 감지 저항을 두고, 그 기울기를 R₃로 조정하도록 하였다.

압력 컨트롤러 DPI520을 사용하여 일정한 압력을 제어하고, 실험을 위해 특별히 고안된 가공물 내에 화학 용액을 넣고 그 분위기에서 압력 테스트를 하였다. <그림 4>와 같이 화학 용액의 안정성을 고려하여 내부는

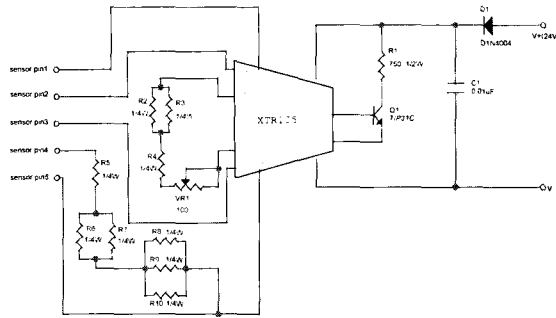


그림 3. 압력트랜스미터 회로
Fig. 3. Pressure transmitter circuit.

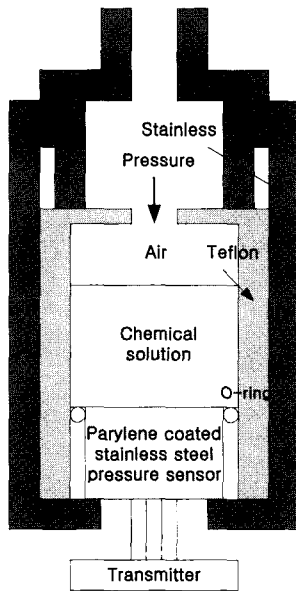


그림 4. 화학 용액 분위기에서 압력을 주기 위해 고안된 소형 챔버
Fig. 4. Designed small chamber for pressure in chemical solution.

테프론 재질을 사용하였고, 외부는 압력을 견디기 위해 SUS재질로 가공되었다.

제작된 압력 센서를 압력 및 온도에 대한 감도 및 오프셋 전압의 변화를 측정된 결과 파리렌 막을 코팅하기 전의 압력센서와 코팅한 후의 압력센서는 압력에 대한 감도는 동일하게 나타났으나, 온도에 대한 오프셋의 변화는 약간의 차이가 있었다.

<그림 5>는 온도에 따른 오프셋 전압의 변화를 나타내고 있다. 파리렌 막을 코팅하기 전에는 $-0.07\%FS/^\circ C$ 의 특성이 나타났으나, 파리렌 막을 코팅한 후에는 $-0.09\%FS/^\circ C$ 의 특성이 나타났다. 따라서, 트랜스미터

회로에서 다른 저항은 모두 동일한 저항값을 사용하였으나, 온도에 따른 오프셋 보정 저항 R7의 저항값을 각각의 기율기에 맞게 조정하였다.

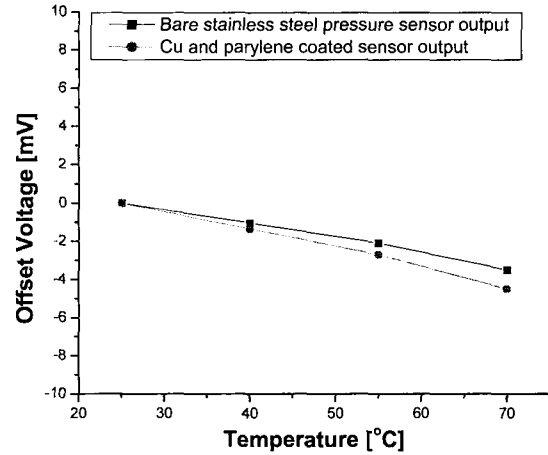


그림 5. 온도에 따른 오프셋 전압의 변화
Fig. 5. Offset voltage variation versus temperature.

<표 4>는 제작된 봉입형 압력트랜스미터 출력특성이다. 이러한 봉입형 압력센서에 파리렌 막을 코팅한 후 동일한 방법으로 온도 및 압력특성 보정용 저항을 삽입한 결과 <표 4>와 같은 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

표 4. 봉입형 압력트랜스미터 출력 특성
Table 4. Output characteristics of pressure transmitter.

Characteristic	Typ.	Unit
Output	4 ~ 20	mA
Accuracy	0.5	%FSO
Temperature Effect on Span	0.5	%FSO
Temperature Effect on Offset	0.5	%FSO

<그림 6>은 파리렌 막이 코팅되기 전의 압력트랜스미터 출력특성과 파리렌 막이 코팅된 압력트랜스미터 출력특성이다. 그림에서 보는 바와 같이 파리렌 막을 코팅한 후에도 동일한 압력트랜스미터의 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

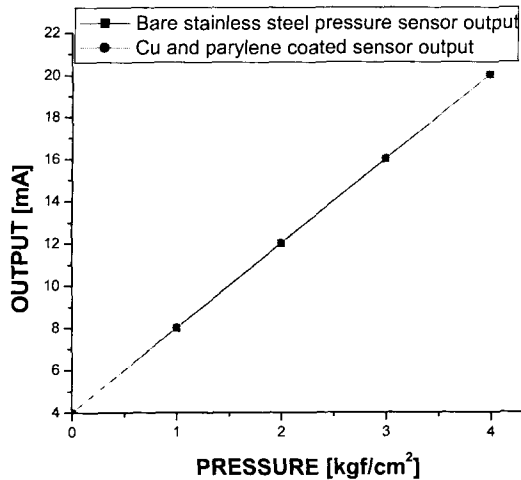


그림 6. 봉입형 압력센서와 Cu 와 파리렌 막이 증착된 봉입형 압력트랜스미터 출력특성

Fig. 6. Stainless steel pressure sensor and Cu and parylene coated Stainless steel pressure transmitter output.

IV. 결 론

봉입형 압력센서에 파리렌 막을 증착시켜서 반도체 공정에 압력측정으로 사용할 수 있고 강산과 강알칼리 매질에도 견디는 내부식성이 우수한 압력센서를 제작하였다. Parylene-C는 Cl 기를 포함한 치밀한 막으로 구성되어 있어 내화학성이 우수하였으나 SUS316과의 접착력이 나쁜 단점이 있었다. 이를 보완하기 위해 파리렌과 접착력이 우수한 것으로 연구되어진 바 있는 Cu를 버퍼 층으로 하여 접착력을 향상시켰다. 내부식성 실험을 위해서 SUS316 위에 스퍼터법을 이용해 Cu를 2000Å 증착시킨 후 파리렌 막을 5 μm 증착시킨 테스트 샘플을 반도체 공정에 많이 사용되는 각종의 약품들에 대하여 50시간 dipping 한 후 이 파리렌 막들을 SEM 측정결과 이 막들의 두께와 표면 모두 변화가 없는 것을 확인하였다. 이를 통해 파리렌 막은 약품들을 통과시키지 않는 우수한 코팅 막으로 판명되었다.

파리렌 막이 증착된 봉입형 압력센서에 대하여 테스트 샘플과 동일한 조건으로 내부식성 테스트한 결과도 화학적으로 매우 안정한 특성을 나타내었으며 그 센서의 압력 특성도 변화가 없었다.

또한 봉입형 압력센서 트랜스미터의 출력도 파리렌 막의 코팅 전과 후의 정확도 ±0.5 %에는 거의 변화가 없었다.

참 고 문 헌

- [1] W. G. Wolber and K. D. Wise, "Sensor development in the microcomputer age", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-26, No. 12, pp. 1864~1874, 1979.
- [2] R. Jhonson and R. E. Higashi, "A highly sensitivity silicon chip microtransducer for air flow and differential pressure sensing application", Sensors and Actuators, Vol. 11, pp. 63~72, 1987.
- [3] K. M. Mahmoud, R. P. Van Kampen, M. J. Rutka and R. F. Wolffen buttel, "A silicon integrated smart pressure sensor", Transducers' 93, pp. 217~220, 1993.
- [4] 김우정, 조용수, 황정훈, 최시영, "스테인레스 봉입형 반도체 압력센서의 제작 및 그 특성" 센서학회지, 제11권 제3호, pp. 138~144, 2002.
- [5] Tak-Jin Moon, Tae-Oan Ahn, Jongkoo Jeong, and Chang Gyun Kang, "Adhesion Phenomena at Polymer/Metal Interfaces", Polymer, Vol. 12, No. 7, pp. 642~651, 1988.
- [6] Hyun Huh, Ju-Won Seo, Min-Su Kim, and Jae-kyung Pan, "A study on deposition and characterization of low-k Parylene film", Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material, Vol. 12, No. 4, pp. 326~332, 1999.
- [7] S. Petrovic, A. Ramirez, T. Maudie, D. Stanerson, J. Wertz, and G. Bitko, "Reliability Test Methods for Media-Compatible Pressure Sensors", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 6, pp. 877~885, 1998.

저 자 소 개



金 愚 正(正會員)

1966년 7월 30일생. 1989년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1991년 동대학 전자공학과 반도체전공 졸업(석사). 1996년~현재 동대학 전자공학과 박사과정. 2000년~현재

(주) 맨텍 대표이사. <주관심분야 : MEMS, 센서, 시스템개발>

趙 容 秀(正會員)

1973년 10월 8일생. 1992년 인제대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2000년 경북대학교 전자공학과 반도체전공 졸업(석사). 현재~경북대학교 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 물리센서, MEMS, 시스템개발>

金 洪 均(正會員)

1974년 5월 1일생. 2001년 경북대학교 전자전기공학부 졸업(공학사). 2003년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

崔 時 永(正會員)

1949년생. 1972년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1974년 경북대학교 대학원 졸업(공학석사). 1986년 일본 동북대 대학원 졸업(공학박사). 1978년~현재 경북대 전자전기공학부 교수. 경북대학교 센서기술 연구소 소장. 한국센서학회 편집위원장. 대한전자공학회 대구경북지부 지부장. <주관심분야 : 실리콘 공정 및 소자제조, 압력센서 및 가속도센서, TFT 공정, Cu CVD 및 전해도금, PDP, 고속 스위칭 다이오드>