'94 대한전기학회 하계학술대회 논문집(1994, 7, 21~ 23)

다결정실리콘 박막의 센서에의 응용

박 성준*, 박 세광
경북대학교 전기공학과*

Applications of Polycrystalline Silicon Layer to Sensors

Sungjune Park*, Sekwang Park
Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University*

Abstract

Applications of poly-Si layers which are important as sensing and structual material of various sensors were reviewed in this research. A piezoresistive pressure sensor with piezoresistors has sensitivity of 6.93μV/(VmmHg) within 300mmHg. Temperature sensor was studied with measurement range of -40~140℃ and 400~800℃ using boron-doped and undoped poly-Si resistors, respectively. Poly-Si layer was used to transduce volume change of polyimide to stress of silicon diaphragm for humidity sensor.

1. 서 론

다결정실리콘은 불순물농도를 이온주입에 의해 조절가능하고, 성장이 용이하므로 MOS의 게이트전극, Solar Cell, 집적회로의 Interconnect와 차폐 및 절연막으로 여러분야에서 응용되고 있지만, 마이크로 센서분야에서의 응용이 점차 증가되고 있다. 다결정실리콘은 주로 표면미세가공기술의 중요한 재료로서, 가속도 센서의 외팔보, 압력센서의 박막, 그리고 마이크로모터의 제작등에 이용되며, 그의 제작은 LPCVD, PECVD, APCVD의 화학기상증착법을 사용하고 있다. 본 논문에서는 다결정실리콘 박막을 이용하여 압력, 온도, 습도를 감지하는 센서에의 응용을 연구하였다. 그리고 실제 설계, 제작된 센서의 특성을 조사하였다.

2. 다결정실리콘박막의 제작 및 특성

다결정실리콘은 제작방법과 조건에 따라서 성장막의 특성이 여러가지로 나타날 수 있으나, 크게는 온도범위, 압력범위, 어닐링(annealing)의 온도와 시간에 따라 막의 결정화 정도와 크기를 비롯한 물리적 특성들이 달라지게된다. 막의 응용에 따라 제작조건은 다르지만, 대부분의 경우 그레인의 크기가 일정하고, 그레인간의 응력이 낮게 존재하고, 표면거칠기가 작은 다결정실리콘막을 얻어야 한다. 증착방식은 주로 600~630℃의 온도에서 결정상태로 막을 성장시키고 어닐링하여 다결정실리콘막을 얻는 방법이 많이 쓰이고 있고, 560~580℃의 상대적으로 낮은 온도에서 비정질로 성장시켜, 어닐링하여 결정화하는 방식이 연구되고 있기도 하다. 어닐링온도의 범위는 900~1100℃ 정도이고, 결정화정도를 높이기 위해 레이저를 이용하여 재결정화하는 방식이 연구되고 있다.

본 연구에서 압력센서제작에 사용된 다결정실리콘은 LPCVD장비를 이용하여 성장시켰으며, 그 조건은 표 1과 같다.

표 1 다결정실리콘 성장조건

SiH_4	60SCCM
성장온도	625℃
개스압력	300mTorr
시간	60MIN
두께	4500Å

성장된 다결정실리콘의 물리적 특성을 시험하는 방법은 XRD로 결정의 크기와 구조, 그리고 결정화의 정도를 시험하고, 성장막의 비정질 또는 결정화의 정도, 그리고 결정의 완성도를 상대적으로 평가하기 위해서는 투사전자현미경(TEM)을 이용한다. 또, 일정파장의 빛을 조사하여 그 흡수계수를 조사하는 방법과 막에 입사되는 빛의 산란을 이용하여 각 조건에 따라 성장된 막의 특성을 비교할 수 있다[1].

3. 압력센서에의 응용

다결정실리콘을 이용한 압력센서는 기판으로부터 감압소자가 절연이 되기 때문에, 단결정 압력센서보다 높은 온도와

압력의 범위에서 사용할 수 있고, 금속 스트레인 게이지 압력센서보다 높은 감도를 가진다. 실리콘 기판상에 다결정실리콘 압저항체를 제작하여 박막상에 위치시킨 구조로, 압저항효과를 이용한다. 즉 압저항체의 종게이지율과 횡게이지율이 압력에 의해 저항율이 변화하는 현상을 이용하여 센서를 설계하고 제작한다. 단결정실리콘의 경우와는 달리, 다결정실리콘의 종게이지율은 횡게이지율보다 그 절대값이 모든 조건에서 더 크므로 압저항체의 설계가 직사각형 박막상의 중앙부분에 위치하며, 전류방향과 평행한 방향의 형태로 저항을 설계한다. 실제제작된 센서의 단면 구조는 그림 1과 같다. 다결정실리콘 압저항체는 온도에 대해서 증속성을 가지므로 이를 최소화하는 도핑(doping)농도는 그림 2에서 약 4.5×10^{15}[ions/cm^2] 이다. 이 압저항체의 저항값은 압축응력에 대해서 감소하고, 인장응력에 대해서는 감소한다[2].

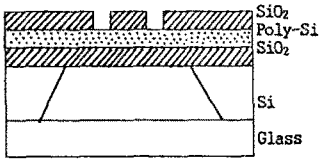

그림 1 다결정 실리콘 압력센서의 구조.

센서의 제작은 반도체 공정기술을 이용하며 그 과정은 표 2와 같다. 마스크는 Passivation 마스크까지 모두 4장을 사용한다. 실리콘 박막을 제작하기 위하여 (100) n-type의 웨이퍼를 사용하였으며, 그 웨이퍼위에 1.2[㎛]의 열산화막을 성장시키고 다시 다결정실리콘을 증착한다.

열확산으로 저항체를 제작하였고, 저항값은 약 2.7~3.0[kΩ]이다. 실리콘 식각은 TMAH 용액을 90℃에서 행하여, 25-30[㎛]의 박막을 얻는다. 센서의 패키징(packaging)은 Pyrex glass #7740으로 정전접합하고, Ni-Fe합금의 TO-can에 넣어 압력을 인가할 수 있게 하였다.

센서의 구동 및 특성시험을 위하여 전원(전압, 전류원)부, 증폭부, 그리고 디스플레이부와 각 조정단을 제작한다. 혈압측정용 마노미터와 미세조정밸브로 센서에 압력을 인가하고 스트레인 게이지형 압력센서를 기준으로 센서의 특성을 시험하였다. 센서 인가전압과 그 결과는 표 3과 같다. 센서에 인가된 압력의 범위는 0~300[mmHg]이며, 이에 대한 출력전압은 ㎶ range 이므로 증폭하여 사용한다.

단결정 압력센서보다 상승된 온도범위에서 안정하고 반복성이 있는 센서를 제작하기 위해서는 full 웨이퍼공정의 연구가 필요하며, 저항체의 온도의존성을 최소화하기 위해 다결정 실리콘의 재현성 있는 성장조건이 필수적이다.

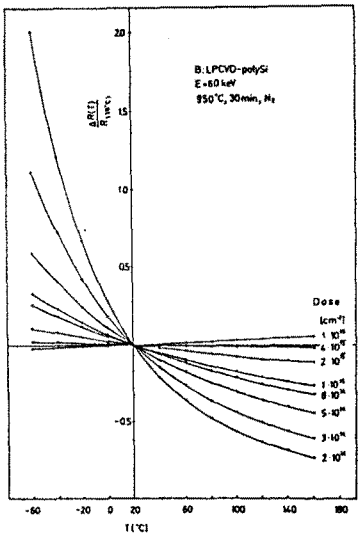

그림 2 다결정실리콘 저항체의 온도와 도핑농도에 따른 저항값의 상대적인 변화.

표 2 압력센서 제작공정

제 작 공 정	내 용
1. 박막성장	· 웨이퍼준비 및 세척 · 열산화막 1.2㎛ · LPCVD 4500Å · 열산화막 2000Å
2. 압저항체제작	· 선확산 1000℃, 15MIN · 후확산 1000℃, 20MIN · Al METALLIZATION
3. 박막제작	· TMAH, 90℃
4. 패키징	· 정전접합 · 금속배선 · SLICING, 센서하우징

표 3 다결정실리콘 압력센서의 특성

인가전원	5[VDC]
감도	6.93[㎶/(VmmHg)]
비직선성	1.44%FS
히스테리시스	0.29%FS
오프셋 드리프트	0.19%FS
작동온도범위	-30~200℃
감도변화	±1.06%FS
저항온도계수	95.5 ppm/℃

4. 온도센서에의 응용

다결정 실리콘을 온도센서에 응용하는 방법은 불순물이 주입된 다결정 실리콘과, 불순물이 주입되지 않은 다결정실리콘을 이용하는 두가지로 나눌 수 있다[3-4].

전자의 경우는, 그림 2에서와 같은 도핑된 다결정 실리콘의 온도변화에 따른 저항값의 상대적인 변화를 온도측정에 응용한다. 즉, 온도에 따른 저항값의 변화가 선형적이지 않고 도핑농도에 따라 온도계수를 양의 값과 음의 값으로 선정할 수 있어 온도센서 응용이 가능해진다. 그러나 넓은 온도범위에서는 직선성이 좋지 않으므로 저항체의 온도특성은 선형화되어야 한다. 조사된 온도센서는 -40~140[℃]의 온도범위에서 -3.5×10^{-3}/K의 감도를 가지고, 이때 상온에서의 저항값은 1[kΩ]이다[2].

후자의 경우를 살펴보면, 도핑이 되지 않으므로 다결정실리콘의 저항율은 진성(intrinsic) 단결정 실리콘의 저항율과 유사하다. 즉, 단결정 실리콘의 저항율 ρ_c 는

$$\rho_c = q(\mu_n + \mu_p)n_i$$

이고, 여기서 q는 전자의 전하량을, μ_n는 전자의 이동도를, μ_p는 Hole의 이동도를, n_i는 진성 캐리어 농도를 각각 나타내고 진성 캐리어 농도 n_i는

$$n_i = (NcNv)^{1/2}EXP(-\varepsilon_g/2kT)$$

이므로, 결국 저항율은 온도의 함수가 된다. 여기서 Nc, Nv 각각 전도대와 가전자대의 전자농도를 나타내고, ε_g는 실리콘의 에너지 갭(gap)을 나타낸다. 다결정실리콘의 저항율 ρ는 그레인 경계내의 저항율($\approx\rho_c$)과 그레인 경계에서의 저항율(ρ_{GB})의 합으로 간략화하여

$$\rho = \rho_c + \rho_{GB}(S/L)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 L은 그레인의 크기, S는 그레인 경계의 두께이다. 그러므로 도핑이 되지 않은 다결정실리콘 저항율의 온도에 대한 변화는 그레인 경계와 연관됨을 알 수 있으며, 그레인 크기에 반비례한다. 이 원리를 이용하여 제작된 온도센서의 저항체는 도핑이 되지 않으므로 저항값이 크고, 따라서 도핑된 저항체보다는 높은 온도의 변화를 측정하는 경우에 응용될 수 있다. 4단자 Kelvin 저항의 구조로 만들어진 온도센서는 400~800℃의 온도범위에서 500~5[kΩ]의 저항값 변화를 보인다[3].

5. 습도센서에의 응용

다결정실리콘은 습도센서의 제작에서도 사용가능하다. 그러나 이는 다결정실리콘이 직접 감습재료로 쓰이는 것이 아니고 감습재료의 부피변화를 압저항체로 변환하는 역할을 한다. 그리고, 실리콘 산화막상의 다결정실리콘막은 열절연의 기능을 하므로 습도감지의 온도영향을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그림 1의 압력센서와 같은 다결정실리콘 저항체상에 감습재료인 폴리이미드를 도포하여 감습층을 제작한다. 그 구조는 압력센서의 경우와 흡사하지만, 형성된 폴리이미드층이 습기를 흡수 또는 탈수함에 의해 그 막의 부피가 변화하고, 이 변화에 기인하여 실리콘 박막이 응력을 받아 압저항체의 저항값을 변화시켜 상대습도를 검지한다.

제작된 센서의 감도는 1[mV/V], 비직선성이 ±2[%RH/FS], 응답시간이 수분 흡수의 경우 60[sec], 탈수의 경우 100[sec] 정도이다.

현재 사용되고 있는 감습층의 비저항 또는 유전율의 변화를 측정하는 방식은 습기가 감습층의 전기접촉에 영향을 미치는 단점이 있으나, 다결정실리콘 저항체에 폴리이미드를 도포한 형식의 습도센서는 폴리이미드가 저항체와 금속배선을 외부와 차폐시키므로 위와같은 단점을 줄일 수 있다.

6. 결 론

다결정실리콘박막을 센서제작에 응용하여 압력센서, 온도센서, 습도센서의 제작과 그 특성을 시험하였다. 압력센서는 압저항체의 온도계수를 낮게하고 기판과 절연하여 200℃까지 온도보상없이 압력측정이 가능하고, 다결정실리콘 박막의 도핑유무에 따른 온도의존성을 이용하여 저온(-40~140℃)과 고온(400~800℃)의 온도를 측정할 수 있다. 또한 감습재료의 부피변화를 저항체로의 응력으로 변환하여 습도의 감지도 가능함을 살펴보았다.

이외에도 다결정실리콘박막은 가속도센서, 적외선센서등에 이용되고 있으므로, 집적회로기술 뿐만 아니라 센서의 구조형성과 감지물질로 그 응용범위가 확대되리라 기대된다.

참 고 문 헌

[1] G.Harbeke and A.E.Widmer, "Growth and Physical LPCVD Polycrystalline Silicon", J. Electrochemical Society; SOLID-STATE SCIENCE AND TECHNOLOGY, vol. 131, no. 3, pp.675-682, 1984.

[2] E.Obermeier and P. Kopystynski, "Polysilicon as a Material for Microsensor Applications", *Sensors and Actuators A*, 30 (1992) 149-155.

[3] E. Ling and J. Wakefield, "A Novel Polycrystalline Silicon Temperature Sensor", *Sensors and Actuators*, 16 (1989) 225-234.

[4] A. W. Van Herwarden and P.M.Sarro, "Thermal Sensors Based on the Seebeck Effect", *Sensors and Actuators*, 10 (1986) 321-346.