

MEMS 기술을 이용한 Flexible Module Packaging

(Flexible Module Packaging using MEMS technology)

황은수, 최석문, 주병권*, 김용준

연세대학교 기계공학부, *한국과학기술연구원 마이크로시스템 연구센터

Abstract

MEMS공정을 이용하여 폴리실리콘의 piezoresistivity를 이용한 스트레인 센서어레이를 제작하였고, 이 센서 어레이를 flexible substrate에 패키징하는 공정을 개발하였다. 실리콘 웨이퍼에 표면 가공(surface micromachining)된 센서는 폴리이미드 코팅, release-etch 방법을 통해 웨이퍼로부터 분리되어 폴리이미드를 기판으로 하는 flexible sensor array module을 완성할 수 있었다. 공정은 희생층과 절연층을 증착하고 폴리실리콘 0.5 μm 을 증착, 도핑 및 패터닝하여 센서 어레이를 구성하였다. 이 센서어레이를 flexible substrate에 패키징 하기 위해서 폴리이미드를 코팅하여 15 μm 의 막을 구성하였고, 100% O_2 RIE를 이용한 선택적 식각 방법으로 via hole을 구성하였다. 이후 전기도금을 통해 회로를 구성하여 1단계 패키징(die to chip carrier)과 2단계 패키징(chip to substrate)을 웨이퍼 레벨에서 완성하였다. 희생층을 제거함으로써 웨이퍼로부터 센서어레이 모듈을 분리하였다. 제작되어진 센서 모듈은 임의의 곡면에 실장이 가능하도록 충분한 flexibility를 얻을 수 있었다.

1. 서론

정보화 사회로 발전해 가면서 셀룰러폰, PDA(Personal Digital Assistant), Notebook computer 등 많은 휴대용 기기들이 등장하게 되었다. 정보 수준이 높아지고, 정보 교환 빈도가 증가함에 따라 오늘날의 휴대용 기기들은 내일의 입을 수 있는 기기(wearable device)로 진화하게 될 것이다 [1]. 전기·전자 제품을 입을 수 있는 기기로 생산하기 위해서는 IC(Integrated Circuit), Sensor 등의 반도체 소자를 non-planar 표면에 실장 시켜야 하며, 이를 위해서 flexible packaging 기술의 개발이 필요하다. 실리콘 웨이퍼를 10~30 μm 로 얇게 가공하였을 때 실리콘이 휘어지기 쉬운 성질을 이용하여, 웨이퍼 연삭을 통해 유연성 있는 칩을 생산하고, RF ID 카드를 제작한 연구 결과가 발표된 바 있다[2]. 그러나, 얇게 가공된 칩, 웨이퍼는 그 유연함으로 인해 다루기가 어려워므로 패키징 단계에서 수율이 낮아지는 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 표면 미세 가공된 센서 어레이를 flexible substrate에 패키징하기 위하여, 폴리이미드 액상 전구체(precursor)를 스펀 코팅한 후 큐어링(curing)을 통하여 기판을 형성하고, 전기도금을 통해 회로를 구성하여 인쇄회로 기판의 역할을 하게 함으로써, 1단계 패키징과 2단계 패키징을 동시에 수행하였다. 희생층을 제거함으로써 얻어진 폴리이미드 기판은 센서를 포함하고 있는 하나의 모듈로서 완성되었다.

2. 실험

Flexible Sensor Array Module을 제작하기 위한 공정을 그림 1.에 나타내었다.

2.1 센서어레이 제작 공정

일반적인 반도체 공정을 이용할 경우 대량생산이 용이하여 생산 단가를 낮출 수 있으며, 작은 크기의 센서를 만드는데 용이하다. 센서는 폴리 실리콘(polycrystalline silicon) 저항선을 이용한 스트레인 게이지로 선택하였다. 세부공정은 아래에 열거하였다.

일반적인 반도체 공정을 이용하여 희생층으로 사용될 실리콘 산화막층(PSG) 2 μm 과 폴리 실리콘층을 LPCVD를 이용하여 0.5 μm 증착하였다. 폴리 실리콘은 Boron 이온 주입공정을 통해 전도성을 가지도록 하였다(a). 폴리실리콘층 위에 알루미늄 박막을 증착하고 패터닝하여 건식 식각을 위한 마스크로 사용하였다(b). SF_6 기반의 RIE(Reactive Ion Etching)공정으로 폴리실리콘을 식각하였다(c). (a)(b)(c)공정을 통하여 스트레인 센서 어레이를 제작하였다.

2.2 패키징 공정

표면 미세가공을 통해서 제작된 폴리 실리콘 스트레인게이지를 적당한 칩 캐리어(chip carrier)에 실장 시키기 위해서, 본 논문에서는 폴리이미드(DuPont-PI2611)을 코팅하고 큐어링하여 기판을 형성하였다. 전기신호를 교환하기 위한 회로는 전기도금을 통해 구성하였다. 이러한 공정을 통해 폴리이미드는 인쇄회로기판(PCB;Printed Circuit Board)의 역할을 할 수 있으며, 웨이퍼에 제작되어 있는 센서 어레이는 별도의 조립 공정 없이 폴리머 기판 내에 위치하여 외부와 신호를 주고 받을 수 있다. 세부공정을 아래에 열거하였다.

Cr/Cu/Cr을 각각 500Å/3000Å/500Å을 via 전기 도금을 위한 씨앗층(seed layer)로 증착하였다(d). 이 씨앗층을 사진 감광제(photoresist)로 코팅한 후 사진공정(Lithography process)를 통해 선택적으로 씨앗층을 노출시켰다. 희석시킨 염산용액과 질산:인산:아세트산 혼합용액을 통하여 각각 크롬층과 구리층을 습식 식각 하였다(e). 폴리이미드를 1000rpm으로 2회 스핀 코팅한 후 350 $^{\circ}\text{C}$ 1H 동안 큐어링(curing)하여, 15 μm 의 폴리머 기판을 형성하였다. 폴리실리콘 스트레인 게이지와 전기접촉을 위한 via를 만들기 위해 알루미늄을 1500Å증착하였다(f). 100% O_2 RIE로 폴리이미드 기판을 건식 식각하여 via hole을 구성하였다(g). Cu 전기도금을 통해 via를 형성하고 다시 씨앗층을 증착, 사진감광제(photoresist)를 몰드(mold)로 하여 외부와 신호 전달을 위한 contact pad를 형성하였다(h).

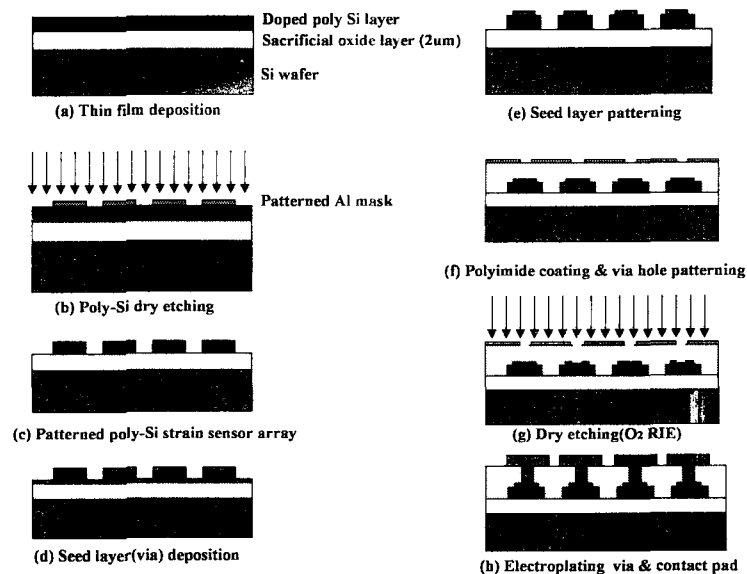


그림 1. Simplified fabrication process

2.3 Release-Etch

웨이퍼에 표면 미세가공(surface micromachining)을 통해 구성된 스트레인 게이지 어레이는 희생층을 제거하므로써 웨이퍼 표면으로부터 분리되어야 한다. 이러한 release-etch는 확산 메커니즘에 의한 과정이므로 자칫 긴 시간이 소요되게 되어 생산성을 낮추는 효과를 가져올 수 있다. 따라

서, release-etch 시간을 예측하여 모듈을 설계하는 것은 생산성 향상을 위한 주요한 작업이다. 실리콘 산화막과 불산 용액과의 반응은 많은 사람에 의해서 연구되어져있다.

실리콘 산화막의 식각 속도는 불산 용액의 유속(flux)에 비례한다.

$$\frac{d\delta}{dt} = (aJ_{HF}) |_{x=\delta} \quad (1)$$

불산용액의 유속은 농도의 함수이며 이 함수는 실험적으로 아래의 식과 같다.

$$J_{HF} = f(C) = k_1C + k_2C^2 \quad (2)$$

(1)식과 (2)식을 통해 센서 어레이 모듈을 release 하기 위한 시간을 계산할 수 있다[3]. 센서 모듈의 크기는 9.4mm×4mm 이므로 2시간 10분이면 충분히 웨이퍼로부터 분리될 수 있다.

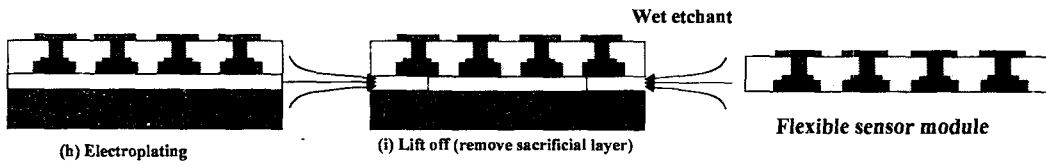


그림 2. Release-etch process

49% 불산 용액을 통해 폴리머를 기판으로 하고 폴리실리콘 스트레인게이지와 내부 회로를 포함한 센서 모듈을 웨이퍼로부터 분리, 완성할 수 있었다.

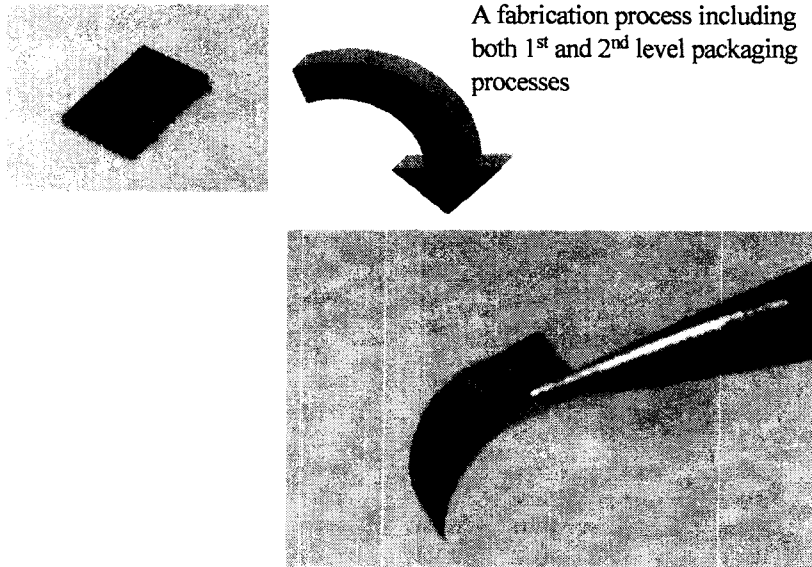


그림 3. Released flexible sensor array module

2.4 Gauge Factor(GF)

스트레인게이지의 감도는 GF로 표현된다. GF는 가해진 스트레인에 대한 저항값의 변화율로 정의되며 아래의 식과 같다.

$$GF = -\frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\Delta R}{\epsilon R} \quad (3)$$

제작된 센서 모듈의 GF를 측정하기 위해 다음과 같이 실험장치를 구성하였다.

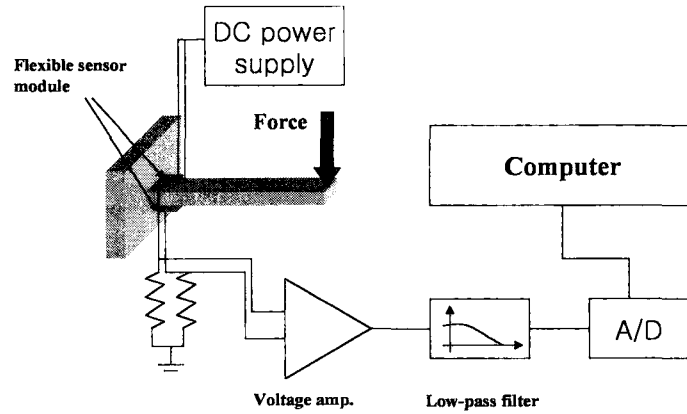


그림 4. Simple GF measurement scheme

힘을 가하는 것은 추를 이용하여 하였다. 변형률은 moment-curvature equation을 이용해서 구해질 수 있다.

$$\kappa = \frac{M}{EI}$$

$$\epsilon = \kappa \times \text{thickness}/2$$

where E is young's Modulus of Aluminum alloy

I is moment of Inertia of the cross-sectional area

측정된 결과는 아래의 표로 나타내었다.

표 1. 변형률에 대한 저항값의 변화율

strain(ϵ)	$\Delta R/R$
-4.923×10^{-4}	-3.106×10^{-3}
-3.282×10^{-4}	-2.280×10^{-3}
-1.641×10^{-4}	-1.206×10^{-3}
0	0
1.641×10^{-4}	1.255×10^{-3}
3.282×10^{-4}	2.718×10^{-3}
4.923×10^{-4}	3.522×10^{-3}

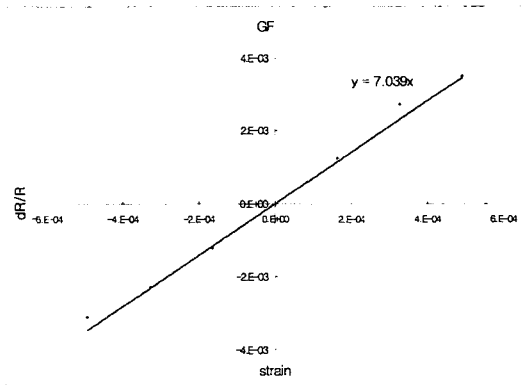


그림 5. Gauge Factor

3. 결과 및 고찰

폴리이미드를 이용하여 센서어레이를 flexible substrate에 패키징하는 방안이 새롭게 제안되었다. 제안된 공정은 폴리실리콘에 구현된 반도체소자 위에 액상 폴리이미드를 코팅하고 전기도금을 통해 배선 회로를 구성함으로써, 폴리이미드를 반도체 소자를 포함한 인쇄회로기판(PCB; Printed Circuit Board)의 기능을 담당하게 하여 1단계 패키징과 2단계 패키징을 일괄적으로 수행할 수 있도록 해준다. 제안된 방안은 재생 가능한 공정이며, 웨이퍼 상에서 패키징 공정을 수행하므로 기존의 조립에서 발생할 수 있는 수율 저하 등의 문제점을 원천적으로 없앨 수 있는 장점을 가진다. 표면미세가공 기술을 이용하여 제작된 스트레인 게이지 어레이는 회로를 갖춘 폴리이미드 회로

기판에 성공적으로 실장 되었으며, 센서로서의 기능을 수행할 수 있었다.

또한 하나의 센서가 아닌 어레이 형태의 센서모듈을 이용하여 압력의 2차원적 위치 추적 및 이동을 동반한 압력변화량을 감지할 수 있으므로, pointing device나 sensitive skin등의 넓은 분야의 응용이 가능하다고 하겠다. 비록, 가장 간단한 구조라는 이유로 스트레인 게이지가 본 연구에 사용되었지만, 제안된 방법을 이용하여 기타 폴리실리콘 소자, 단결정 소자를 위한 SOI 나 Silicon thinning에 의한 flexible silicon 등을 같은 방법으로 flexible substrate에 패키징 할 수 있다. 따라서, 향후 wearable device의 구현을 위한 패키징의 한 방안으로 제안되어질 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 부분적으로 과학기술부 21C 프론티어 사업의 지원을 받아서 진행되었으며 이에 감사드립니다.

Reference

- [1] Pentland, A. , "Wearable information devices ", IEEE Micro , Volume: 21 Issue: 3 , May-June 2001 Page(s): 12 -15
- [2] Klink, G.; Feil, M.; Ansorge, F.; Aschenbrenner, R.; Reichl, H. "Innovative packaging concepts for ultra thin integrated circuits", Electronic Components and Technology Conference, 2001. Proceedings., 51st , 2001, Page(s): 1034 -1039
- [3] Eaton, W.P.; Jarecki, R.L.; Smith, J.H. "Prediction of release-etch times for surface-micromachined structures", Solid State Sensors and Actuators, 1997. TRANSDUCERS '97 Chicago., 1997 International Conference on , Volume: 1 , 1997 Page(s): 249 -252 vol.1