

탄성 버퍼층 결합형 마이크로 프로브

최주찬¹ · 최영찬¹ · 정동건¹ · 공성호^{1,2,*}

Elastic Buffer Layer Coupled Micro Probe

Ju Chan Choi¹, Young Chan Choi¹, Dong Geon Jung¹, and Seong Ho Kong^{1,2,*}

Abstract

In this paper, a new structure of probe unit is designed and fabricated with PDMS, which is well-known elastic material, as a buffer layer for increasing overdrive force and mechanical strength. In general, PDMS is widely used as actuation material due to its elasticity and compatibility of fabrication process. In this work, PDMS layer is chosen for mechanical elasticity of the proposed probe unit. We achieved the high overdrive force by placing PDMS buffer layer under the silicon based cantilever due to its elasticity. Moreover, the relation between probe length and overdrive force was measured by experiment in this work. Therefore, the various specifications of the micro probe unit can be designed by using the results of this work.

Keywords : Cantilever, Probe, PDMS, Elastic layer, Overdrive force

1. 서론

최근 집적 공정 기술이 발달하면서 마이크로 단위의 크기로 제작된 소자의 전기적 테스트를 위해 다양한 검사 장비들이 개발되어 소개되고 있다. 이들 장비들의 대부분은 초소형으로 제작된 소자를 검사 장비와 연결해주는 역할을 하는 핵심 부품인 프로브를 장착하게 된다. 최근 반도체 집적회로 및 디스플레이 기술의 발달로 고집적화됨에 따라 전극 패드의 크기가 소형화되고 집적화되고 있는데 이에 따라 미세한 간격의 전극 패드를 통해 전기적 성능을 측정하기 위한 프로브에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

프로브는 집적회로의 측정을 위해서 프로브 서로 간에 미세한 피치를 가져야 한다. 프로브만 미세하게 만드는 것이 아니라 프로브 간의 거리도 미세하게 제작되어야만 집적회로를 효과적으로 측정하는데 유리하다. 또 다른 중요한 성능 요소는 프로브의 움직이는 정

도인 탄성 영역(elastic region)이며 프로브가 측정을 하기 위해 확보 해야 하는 오버드라이브 힘(overdrive force)이다. 집적회로의 측정 표면에 불규칙한 단차가 존재할 경우 프로브는 어느 정도 움직임이 확보되어야만 불규칙한 단차에서의 측정이 가능하기 때문에 프로브는 충분한 탄성 영역을 확보해야만 하고 그 범위 안에서 변형이 가능하여야 한다. 또한 집적회로의 금속 전극 패드 표면에 형성될 수 있는 산화막을 관통하여 전기적인 측정을 하기 위해서 프로브는 어느 정도의 힘을 견딜 수 있어야 하는데 바로 이 힘이 오버드라이브 힘이다. 이러한 요구에 따라 최근 micro electro mechanical systems (MEMS) 기반의 프로브에 대한 연구가 많이 보고 되었다 [1-5].

본 연구실에서는 MEMS 기반의 미세 간격 켈틸레버 타입의 프로브 유닛을 보고했었다[6, 7]. 기존에 보고된 실리콘 기반으로 제작된 프로브 유닛은 185 μm 의 탄성 영역과 3.5 gf의 오버드라이브 힘 특성을 보였다. 본 논문에서는 기존에 보고되었던 실리콘 기반의 프로브 유닛의 오버드라이브 힘을 증가 시키고 기계적 내구력을 향상시키기 위해서 탄성력을 가진 버퍼층을 프로브 아래쪽에 형성하는 방법에 대해서 보고한다.

2. 설계 및 제작

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 탄성 버퍼층 삽입형 마이크로 프로브의 개념도이다. 실리콘을 기반으로 제작된 프로브를 탄성 버퍼

¹경북대학교 대학원 전자공학부(Graduate School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

²경북대학교 IT대학 전자공학부(School of Electronics Engineering, College of IT Engineering, Kyungpook National University)
1370 Sangyuk-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea

*Corresponding author : shkong@knu.ac.kr

(Received : Aug. 26, 2013, Accepted : Sep. 15, 2013)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

층과 결합하여 구성하였다. 기존에 보고되었던 프로브와 달리 실리콘 캔틸레버 아래에 탄성 버퍼층을 형성시켰다. 본 논문에서 제안하는 구조는 탄성 버퍼층을 삽입하여 탄성 영역을 확보하는 동시에 오버드라이브 힘을 증가시키기 위한 목적으로 설계 되었다. 캔틸레버 아랫부분에 실리콘을 제거하지 않고 벌크 상태로 남겨두게 되면 오버드라이브 힘은 아주 크지만 두꺼운 실리콘으로 인해 프로브가 휘어지지 못하기 때문에 탄성 영역을 갖지 못하게 된다. 따라서 실리콘 아래 부분을 식각하여 제거해야만 캔틸레버 상태로 제작된 실리콘 프로브가 휘어지게 되고 탄성 영역을 충분히 갖게 된다. 그러나 반대로 실리콘이 제거되어 캔틸레버 상태가 되면 오버드라이브 될 때 캔틸레버를 받쳐 줄 부분이 없어 오버드라이브 힘이 작아지게 된다. 따라서 본 논문에서는 오버드라이브 힘을 증가시키기 위해 탄성력이 있는 물질을 버퍼층으로 사용하여 탄성 영역을 확보하는 동시에 오버드라이브 힘을 증가시키고자 하였다.

버퍼층은 Polydimethylsiloxane (PDMS)를 선택하였다. 버퍼층으로 사용될 물질은 탄성력과 복원력이 좋아야만 넓은 탄성 영역과 큰 오버드라이브 힘을 형성할 수 있을 것이다. PDMS는 좋은 탄성력과 복원력 때문에 다양한 응용 분야에 사용되어 보고되는 물질 중 하나다[8-10]. 즉 PDMS의 기계적 성질은 논문에서 제안하는 프로브의 버퍼층으로 사용하기에 적합하고 또한 프로브를 제작하기 위한 공정의 호환성 부분에서도 큰 무리 없이 적용이 가능하다.

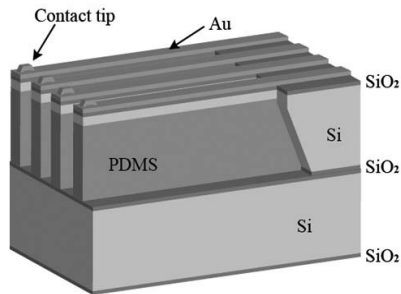


Fig. 1. The schematic structure of the proposed probe unit.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 제안된 프로브는 상부 프로브 부분과 하부 기판 부분으로 구분된다. 상부 프로브 부분은 실제로 캔틸레버 형태로 프로브가 제작되는 부분이며 하부 기판 부분은 PDMS를 도포하여 상부 기판 부분과 접합되는 형태로 설계하였다. 즉 하부 기판은 프로브가 오버드라이브 될 때 변형되는 PDMS를 받쳐주는 역할을 하여 PDMS가 상부 기판 쪽으로 힘을 줄 수 있도록 하는 역할을 한다.

Fig. 2는 본 논문에서 제안하는 프로브의 제작 공정 순서이다. 본 논문에서 제안하는 프로브는 캔틸레버가 형성되는 상부 기판과 PDMS 탄성 버퍼층을 형성하는 하부 기판으로 제작되어 접합된다. 상부 기판은 실리콘 웨이퍼 기판에 습식 산화하여 산화막을 성장시키고 후면의 실리콘을 식각하기 위해 산화막을 식각하여 패터닝한

다. 이후 실리콘을 습식 식각하여 뒷면의 실리콘을 제거한다. 그 다음 앞면의 산화막을 식각하여 패터닝하고 프로브의 팁을 형성 시킬 목적으로 앞면의 실리콘을 다시 습식 식각한다. 팁의 형상이 완성되면 기판 상의 산화막을 모두 제거하고 다시 습식 산화하여 새로운 산화막을 전체적으로 성장시킨다. 이렇게 되면 프로브 유닛의 전반적인 형태가 완성된다. 이후 전기적 연결을 할 금속 팁을 앞면에 형성 시킨다. 금속 팁으로는 전기적인 전도도 및 기계적 성질이 우수한 Au를 사용하였다. 진공 증착 공정을 이용하면 프로브의 팁으로 형성된 부분에 금속을 잘 증착 시킬 수 있다. 프로브 유닛의 캔틸레버 형태를 완성하기 위해 상부 기판의 금속이 형성된 사이의 산화막을 식각하여 패터닝 한다. 실리콘이 드러난 부분을 deep reactive ion etching (DRIE) 공정을 통해 건식 식각하게 되면 최종적으로 상부 기판의 프로브 유닛이 완성된다. 제작된 각각의 캔틸레버 피치는 20 μm 로 제작 하였다. 하부 실리콘 기판 위에 PDMS를 스핀 코팅하여 상부 기판과 결합시켰다. Fig. 3은 제작된 상부 기판의 SEM 영상이다.

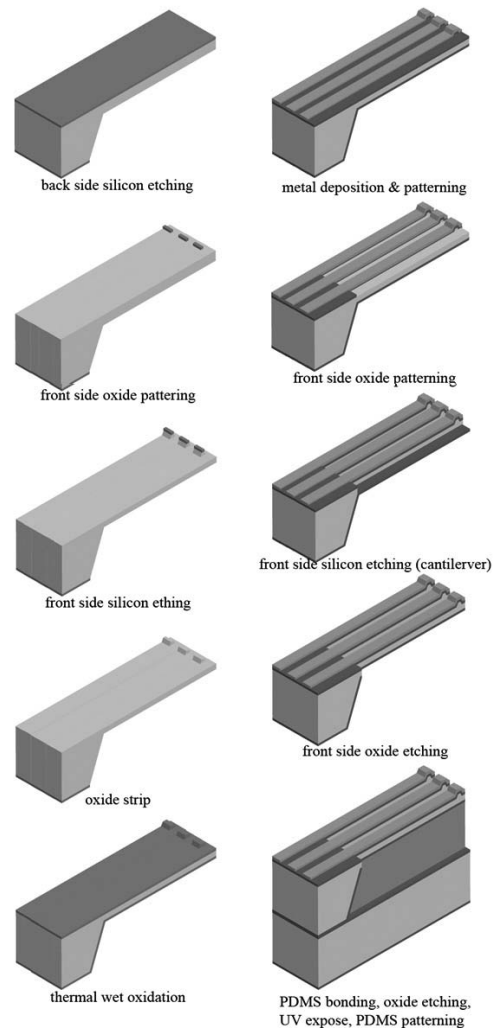


Fig. 2. Fabrication sequence of the proposed micro probe unit.

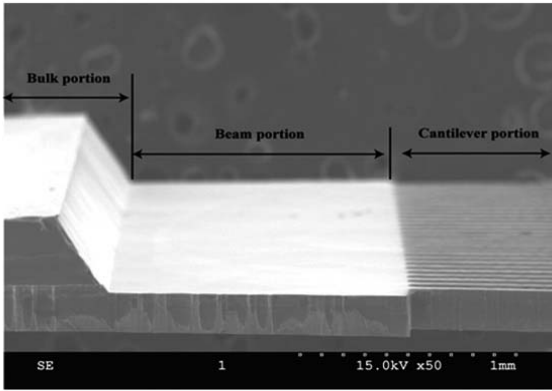


Fig. 3. SEM image of the proposed micro probe unit.

PDMS는 700 RPM으로 별도로 준비된 실리콘 웨이퍼 기판에 400 μm 두께로 회전 코팅하여 형성하였는데 이때 주제와 경화제의 혼합비는 10:1로 진행하였다. 이때 PDMS가 톨루엔 용액에 식각되도록 하기 위해 자일렌과 벤젠을 3%(무계비율)로 혼합하였다. 자일렌과 벤젠은 PDMS와 결합하여 UV 광반응을 일으키는 물질로써 UV에 노출된 PDMS가 톨루엔에 식각 될 수 있도록 한다. 프로브 유닛의 상부 기판과 하부 기판은 PDMS를 회전 코팅한 후 PDMS가 경화되기 전에 접합되고 열경화 과정을 거쳐 완전히 접합된다. Fig. 4는 PDMS 접합 공정 중인 기판의 모습이다.

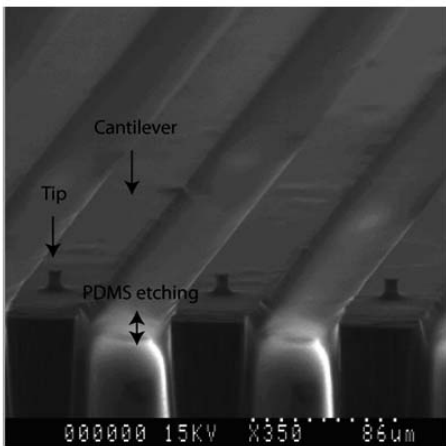


Fig. 4. SEM image of the proposed micro probe unit.

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 제작된 프로브 유닛의 오버드라이브 힘과 탄성영역을 측정하기 위한 장치 구성 및 측정 사진이다. 프로브 유닛의 탄성 영역과 오버드라이브 힘을 측정하기 위해 수직방향으로 변위를 인가하였고 그에 대한 반발력을 로드셀을 통하여 측정하였다. 측정은 단위 셀로 진행하였다.

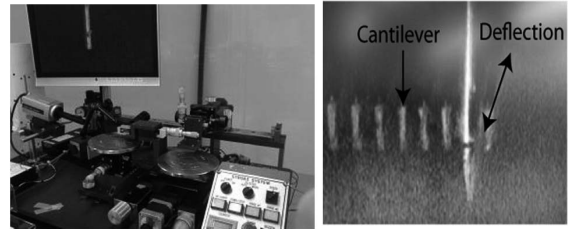


Fig. 5. Measurement equipment of the probe unit.

Fig. 6는 제작된 프로브 유닛의 탄성 영역과 오버드라이브 힘에 대한 결과이다. 측정에 사용된 프로브는 캔틸레버의 길이 방향으로 6, 4 mm 두 종류를 제작하여 측정하였다.

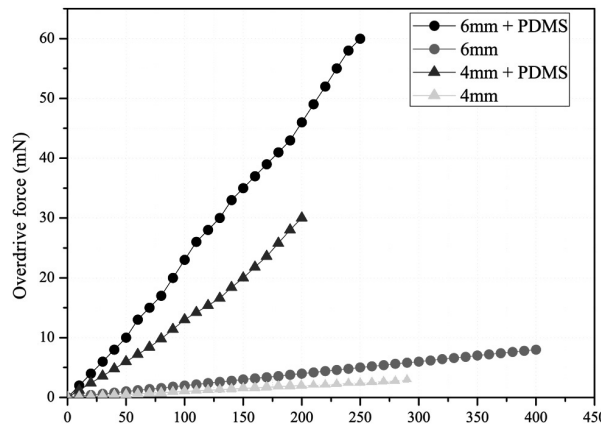


Fig. 6. The measurement result of the probe unit as a function of overdrive deflection.

Fig. 6에서 동그라미 모양으로 표시된 부분이 6 mm 길이의 캔틸레버를 측정한 그래프이고 삼각형 모양으로 표시된 부분이 4 mm 길이의 캔틸레버를 측정한 그래프이다. 6 mm의 경우 4 mm보다 큰 탄성 영역을 보여주었다. 즉, 캔틸레버의 길이가 길수록 더욱 많이 구부러질 수 있다는 뜻인데 본 측정 실험에서는 상부 기판 아래에 위치한 하부 기판으로 인해 400 μm 이상 구부러질 수 없기 때문에 최대 측정 범위는 400 μm 다.

본 결과에서 확인 할 수 있는 현상 중 하나가 PDMS 버퍼층의 삽입에 따른 오버드라이브 힘 증가와 탄성영역의 감소이다. PDMS 버퍼층이 있는 프로브와 없는 프로브를 비교했을 때 PDMS버퍼층은 기대한 것과 같이 프로브 유닛의 오버드라이브 힘의 증가를 보여주었는데 이는 PDMS 버퍼층이 탄성력을 기반으로 프로브 유닛을 받쳐주기 때문으로 생각된다.

6 mm 길이의 프로브인 경우 PDMS 버퍼층이 없을 때에 최대 400 μm의 변위에서 8 mN의 오버드라이브 힘을 갖지만 PDMS 버퍼층을 형성하였을 때는 최대 250 μm의 변위에서 60 mN으로 오버드라이브 힘이 증가되었다. 이러한 결과는 6 mm 길이의 프로

브 유닛과 4 mm 길이의 프로브 유닛에서 동일하게 관찰되었다.

또한 PDMS 버퍼층이 삽입됨에 따라 탄성영역의 최대범위가 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 PDMS 버퍼층이 없는 상태에서는 자유롭게 아래쪽으로 구부러질 수 있는 공간이 있지만 PDMS 버퍼층이 존재하는 상태에서는 캔틸레버 하부에 삽입된 PDMS 버퍼층이 캔틸레버가 아래쪽으로 휘어질 공간을 차지하고 있기 때문에 발생하게 된다. PDMS가 탄성력을 갖고 있기 때문에 어느 정도까지는 압축되어 변형이 일어나다가 어느 정도 이상 압축이 되면 더 이상 움직이지 못하는 것이다. 실제로 6 mm PDMS 삽입형 프로브 유닛의 경우 250 μm 이상 휘어지지 못했고 4 mm PDMS 삽입형 프로브 유닛은 200 μm 이상 휘어지지 못했다.

본 결과를 종합해보면 PDMS 버퍼층은 프로브 유닛의 오버드라이브 힘을 증가 시키는 효과가 있으나 어느 정도 의 탄성 영역 손실이 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 함께 실험된 6 mm 길이와 4 mm 길이의 실험을 통해 프로브 유닛의 캔틸레버 부분의 길이를 조정함을 통해서 오버 드라이브 힘 및 탄성 영역을 조정 할 수 있음을 제시하였다. 이와 관련하여 PDMS는 주제와 경화제의 혼합비율에 따라 그 기계적인 성질이 달라지게 되므로 혼합비율의 조절에 따라서도 오버드라이브 힘 및 탄성 영역의 범위 조정이 가능 할 것으로 생각된다.

Fig. 7은 캔틸레버가 탄성 영역 안에서 휘어졌을 때 저항의 변화를 측정하는 그래프이다. 측정은 0~120 μm 변위를 반복 측정하였다. 제작된 프로브 유닛은 반복적인 움직임에서도 탄성 영역 안에서 전기적인 연결을 할 수 있음을 보여준다.

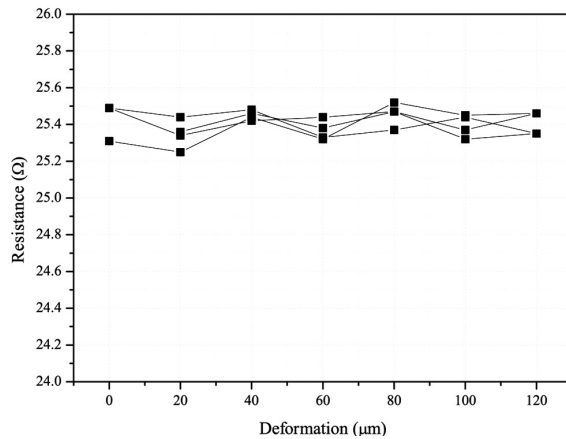


Fig. 7. The measurement result of the prove unit as a function of overdrive deformation.

4. 결론

본 논문에서는 프로브 유닛의 오버드라이브 힘 증가 및 기계적 내구력을 향상시키기 위한 방법으로 프로브 유닛의 캔틸레버 하부

에 PDMS 탄성 버퍼층을 삽입하는 방법을 제안하였다. 제작된 탄성 버퍼층 삽입형 프로브 유닛은 PDMS 버퍼층의 삽입에 따라 오버드라이브 힘이 증가되는 결과를 보였다. 또한 캔틸레버의 길이에 따라 오버드라이브 힘과 탄성영역의 조절이 가능함을 보였으며 탄성 버퍼층으로 사용되는 PDMS의 혼합 비율에 따라 기계적 특성을 조정 가능하다는 것을 언급하였다. 본 논문에서 제안한 버퍼층의 삽입에 따른 프로브 유닛의 기계적 특성 변화를 통해 여러 영역에 다양한 스펙을 만족시키는 프로브 유닛을 제작하는 것이 가능 할 것으로 생각된다.

감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2008-0062617).

REFERENCES

- [1] P. H. Hong, D. Y. Kong, D. I. Lee, B. Kim, C. S. Cho, and J. H. Lee, "Fabrication of probe beam by using joule heating and fusing", *J. Sensor Sci. & Tech.*, Vol. 22, No. 1, pp. 89-94, 2013.
- [2] T. Itoh, K. Kataoka, and T. Suga, "Characteristics of low force contact process for MEMS probe cards", *Sens. Actuator A-Phys.*, Vol. 97-98, pp. 462-467, 2002.
- [3] T. Itoh, S. Kawamura, K. Kataoka, and T. Suga, "Electroplated Ni microcantilever probe with electrostatic actuation", *Sens. Actuator A-Phys.*, Vol. 123-124, pp. 490-496, 2005.
- [4] Y. Zhang, Y. Zhang, and R. B. Marcus, "Thermally actuated microprobes for a new wafer probe card", *IEEE J. Microelectromech. Syst.*, Vol. 8, No. 1, pp. 43-49, 1999.
- [5] F. Wang, R. Cheng, and X. Li, "MEMS vertical probe cards with ultra densely arrayed metal probes for wafer-level IC testing", *IEEE J. Microelectromech. Syst.*, Vol. 18, No. 4, pp. 933-941, 2009.
- [6] C. J. Kim, H. Jung, J. C. Yang, S. H. Kong, D. S. Jang, and C. Kim, "Fabrication of a MEMS-based fine-pitch cantilever-type probe unit", *Proc. of IEEE*

- Conf. on Sensors*, pp. 530-533, Daegu, Republic of Korea, 2006.
- [7] J. C. Yang, H. Jung, C. J. Kim, J. E. Kim, and S. H. Kong, "Fabrication of a MEMS-based fine-pitch cantilever-type probe unit", *Proc. Intern. Microprocesses and Nanotechnology Conf.*, pp. 328-329, Kamakura, Japan, 2006.
- [8] S. H. Yoon, V. R. Ortiz, K. H. Kim, Y. H. Seo, and M. R. K. Mofrad, "Analysis of circular PDMS microballoons with ultralarge deflection for MEMS design", *J. Microelectromech. Syst.*, Vol. 19, No. 4, pp. 854-864, 2010.
- [9] O. C. Jeong and S. Konishi, "All PDMS pneumatic microfinger with bidirectional motion and its application", *J. Microelectromech. Syst.*, Vol. 15, No. 4, pp. 896-903, 2006.
- [10] A. S. Nezhad, M. Ghanbari, C. G. Agudelo, M. Packirisamy, R. B. Bhat, and A. Geitmann, "PDMS microcantilever-based flow sensor integration for lab-on-a-chip", *IEEE Sens. J.*, Vol. 13, No. 2, pp. 601-609, 2013.