

응력 및 표면 고장물리를 고려한 MEMS 신뢰성 설계 기술

이학주[†] · 김정엽^{*} · 이상주^{*} · 최현주^{*} · 김경식^{*} · 김장현^{**}

Reliability Design of MEMS based on the Physics of Failures by Stress & Surface Force

Hak-Joo Lee, Jung Yup Kim, Sang Joo Lee, Hyun Ju Choi, Kyung Shik Kim & J.-H Kim

Key Words : Physics of Failure(고장물리), Probe Card(프로브 카드), Vertical Probe(수직형 프로브), Variable Stiffness(가변강성)

Abstract

As semiconductor and MEMS devices become smaller, testing process during their production should follow such a high density trend. A circuit inspection tool "probe card" makes contact with electrode pads of the device under test (DUT). Nowadays, electrode pads are irregularly arranged and have height difference. In order to absorb variations in the heights of electrode pads and to generate contact loads, contact probes must have some levels of mechanical spring properties. Contact probes must also yield a force to break the surface native oxide layer or contamination layer on the electrodes to make electric contact. In this research, new vertical micro contact probe with bellows shape is developed to overcome shortage of prior work. Especially, novel bellows shape is used to reduce stress concentration in this design and stopper is used to change the stiffness of micro contact probe. Variable stiffness can be one solution to overcome the height difference of electrode pads.

기호설명

t : 두께(um), OD : Over Drive

1. 서 론

최근 반도체 기술의 발전과 더불어 반도체 회로를 고밀도로 검사하는 기술 또한 필요로하게 되었다. 프로브 카드(Probe Card)는 전극 패드에 기계적, 전기적 접촉을 통하여 반도체 회로를 검사하는 장치이다. 현재 많이 사용되고 있는 외팔보 형태의 프로브는 높이 차 극복에 불리하며 1 차원 배열에 국한되는 단점으로 인해 검사 시간의 단축 등에 어려움이 있다. 최근 다층화 및

고집적화에 따라 전극패드를 불규칙하게 배치 할 수 있는 수직형 프로브의 개발이 필요하다. 수직형 프로브는 전극패드에 형성 되어 있는 자연 산화막을 제거할 수 있어야 하므로 접촉력이 어느 정도 이상이 되어야 한다. 그리고 높이 차를 흡수하고 접촉력을 증가시키기 위해서는 가변강성 구조물의 개발이 요구된다. 많은 연구자들이 수직형 프로브를 개발하고 있으나 기존에 개발된 수직형 프로브는 단일 프로브가 차지하는 면적이 크며, 허용할 수 있는 패드의 높이 차가 작고, 응력집중 및 좌굴 현상이 나타나는 단점이 있다.[1-7]

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 벨로우즈 형상의 가변강성 수직형 프로브를 설계하고, MEMS 공정을 통하여 제작하였으며 [1][7], 기계적, 전기적 특성 및 내구성을 평가하였다.

그림 1 의 타원 안에 나타난 스토퍼를 사용하면 가변강성 기능을 가지게 할 수 있으며 자동정렬

† 한국기계연구원, 나노공정장비연구센터
E-mail : hjlee@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7633 FAX : (042)868-7884

* 한국기계연구원, 나노공정장비연구센터

** (주)JML

되는 특성을 가지게 되어 보다 작은 패드피치를 가진 전극패드의 배열을 가능하게 하며 좌굴 또한 방지할 수 있다. 그리고 그림 1에 보이는 것과 같이 바이올린 형상을 닮은 벨로우즈 형상을 사용하여 응력 집중을 최대한 완화하고자 하였다.

2. 수직형 미세접촉 프로브 설계

수직형 프로브는 패드의 높이 차를 흡수 하여야 하며, 패드의 표면에 존재하는 자연 산화막을 제거 할 수 있도록 일정한 강성을 가져야 한다. 본 연구에서는 패드의 높이 차를 흡수하고 접촉력을 증가시키기 위해서 필요한 가변강성 구조물을 개발하였다. 벨로우즈 형상을 가진 가변강성 수직형 프로브의 설계목표는 100 um Pad Pitch, 20-50 um OD(Over Drive), 5 mN 접촉력 그리고 최소 2×10^4 Cycle 까지 사용이 가능하여야 한다.

프로브의 재료로 기계적, 전기적 특성이 좋은 Ni-Co 소재를 이용하였으며 Ni-Co의 소재물성을 측정하기 위하여 나노압입시험기법과 마이크로인장시험을 수행하여 기계적 물성을 측정하였다. 측정된 Ni-Co의 탄성계수는 210 GPa, 인장강도는 1.3 GPa 이었다.

수직형 프로브는 실제 작동 중에 압축하중을 받고 있으므로 좌굴 현상을 모사할 수 있는 비선형 유한요소해석을 통하여 설계하였다. 그림 1에 나타난 2 가지 설계 변수인 두께와 피치(pitch)를 정하여 이를 설계변수의 민감도 해석을 수행하였다. 두께의 값으로 5 um, 10 um 피치의 값은 10 um, 20 um을 사용하였다. 그림 1에서는 설계된 수직형 프로브를 Type 별로 보여주고 있다. Type A는 기존의 수직형 프로브이며, Type B, C는 벨로우즈 형상을 가진 수직형 프로브, Type D, E는 벨로우즈 형상에 가변강성 기능을 추가시킨 수직형 프로브이다. Type B, C와 Type D, E는 끝 단의 형상변화에 의한 효과를 보기 위하여 구분하였다. 해석 결과를 보면 응력값이 Case 1의 경우 Type A는 1.14 GPa이며 Type B는 855 MPa로 나와 벨로우즈 형상에 의해 응력이 완화되는 것을 볼 수 있었다. 그림 2의 해석 결과를 보면 두께가 피치보다 강성에 영향을 많이 주고 있음을 알 수 있었다.

3. 수직형 미세접촉 프로브 제작

수직형 프로브의 제작을 위하여 MEMS 공정을 이용하였다. 주요 MEMS 공정은 그림 3에 나타난 CMP, RIE, 전기도금이다. 먼저 Glass Wafer 위에

Seed Layer를 깔고 그 위에 Silicon Wafer를 접합시킨 후 원하는 두께(50 um)를 만들기 위하여 CMP 공정을 이용한다. 그 다음으로 사진 식각 공정을 이용하여 패터닝을 하고 RIE를 통하여 전기도금 틀을 만든다. 이후 전기도금을 이용하여 Ni-Co로 만들어진 수직형 프로브를 만들고 KOH를 이용하여 Silicon을 제거하여 최종적으로 수직형 프로브를 완성시켰다. 그림 4에 MEMS 공정을 이용하여 만들어진 수직형 프로브의 SEM 사진을 보여주고 있다. 최종적으로 만들어진 프로브의 치수는 공정 중에 Loading Effect로 인하여 설계한 형상차수와 다소 차이가 발생하였다.

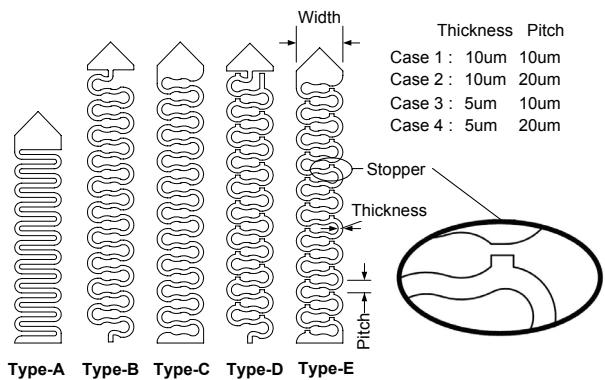


Fig. 1 Vertical Probe and Design Variable

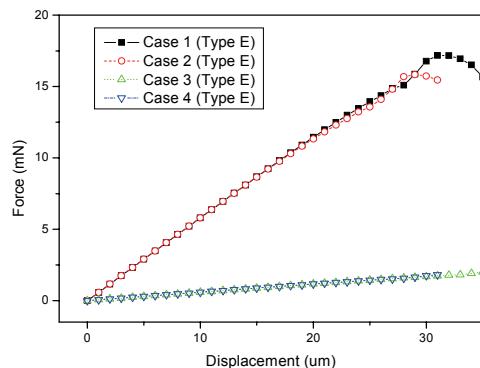


Fig. 2 Simulation Result of Type E

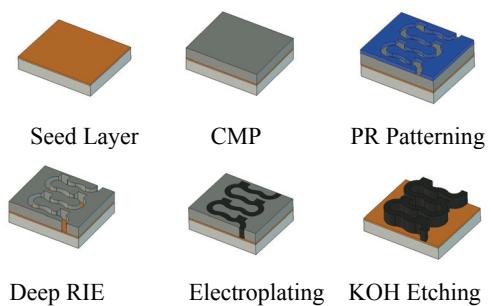


Fig. 3 Fabrication Procedure

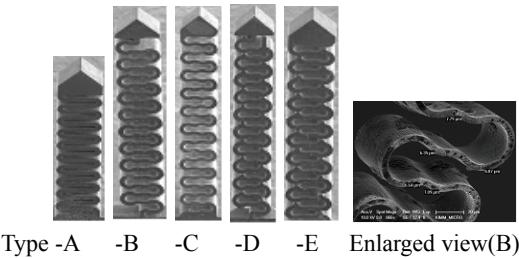


Fig. 4 Fabricated Vertical Micro Contact Probe

4. 소재 물성시험

프로브에 사용된 Ni-Co의 탄성계수와 항복응력을 측정하기 위해서 그림 5와 같은 폭 2mm의 시편을 제작하였으며 MTS사의 Tytron 250을 이용하여 인장시험을 수행하였다. 변형률은 laser extensometer를 이용하여 측정하였으며 인장시험 결과를 그림 5와 표 1에 나타내었다. 결과를 보면 탄성계수는 문헌보다[5] 비교적 작게 나왔으며 이는 전기도금 공정조건의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

Table 1. Mechanical Properties of Ni-Co

Elastic Modulus	150.5 ± 4.7 GPa
Yield Stress	964.5 ± 16.0 MPa
Tensile Stress	$1,309 \pm 74$ MPa
Thickness	68.0 ± 13 um

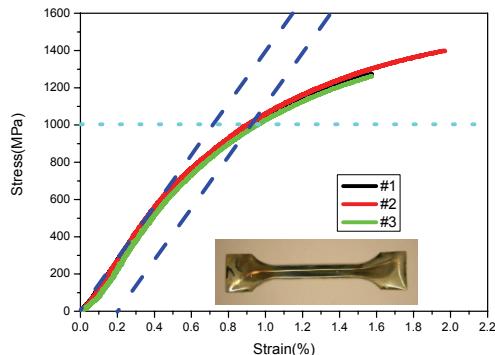


Fig. 5 Result of Tensile Test

5. 수직형 미세 접촉 프로브의 특성

수직형 프로브의 기계적 특성과 전기적 특성을 측정하기 위하여 그림 6에 보여주는 프로브 특성시험기를 제작하였다. 시험기는 180um까지 구동할 수 있는 PZT Actuator, 1N 로드셀, 2개의 CCD 카메라와 전기적 특성 측정을 위한 Sourcemeter로 구성되어 있다. 직경 1.5 mm의 펀치가 PZT Actuator의 끝에 장착되어 있으며 프로브의 정렬을 위하여 5자유도 Micro Positioner와 Goniometer가 사용되었다.

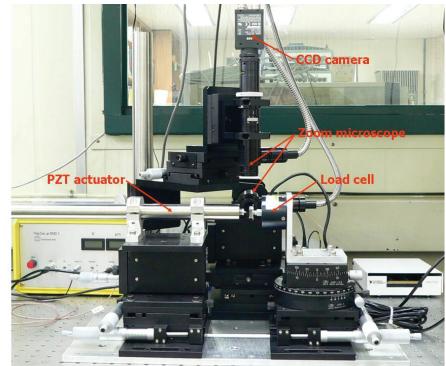


Fig. 6 Probe Characterization Equipment

모든 수직형 프로브는 그림 7에서와 같이 PZT Actuator를 이용하여 변위를 증가시키면서 측정하였다. 그림 7의 결과에서 보여주는 것과 같이 스토퍼가 있는 Type E의 프로브는 25um의 변위에서 가변강성의 성질을 보여주고 있으며 PZT Actuator의 Hysteresis 현상도 보여주고 있다. 그림 8의 결과를 보면 그림 2의 해석결과와 같이 피치보다는 두께가 강성에 영향을 많이 주고 있으며 Case 3과 4의 경우 강성이 해석결과와 같이 매우 낮게 나왔다. 그림 9과 그림 10의 결과를 보면 Type D와 E의 경우 가변강성의 성질을 실험적으로 보여주고 있으며 전극패드의 높이 차를 극복하는데 유리하게 작용할 수 있음을 알 수 있다. 즉 높이 차를 흡수하는 구간인 변위가 25um까지는 프로브의 강성이 284 N/m이고, 그 이상에서는 프로브의 강성이 2,128 N/m인 것으로 나타나서 자연 산화막을 제거하기에 적합한 힘을 부가할 수 있음을 알 수 있다.

그림 11의 Au Pad를 사용한 프로브의 전기적 특성 실험 결과를 보면 접촉력이 증가함에 따라 전기저항의 값이 감소하는 경향을 보여주고 있으며 프로브의 접촉력이 10 mN 이상에서는 안정된 전기저항의 특성을 보여주고 있다.

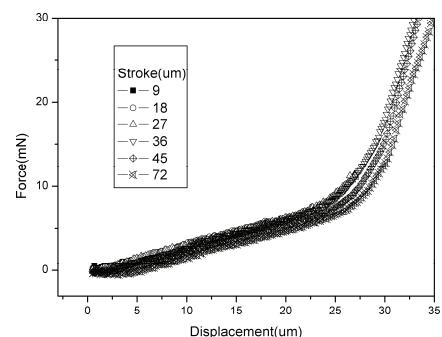


Fig. 7 Mechanical Test Result of Type E(Case 1)

6. 결론

본 연구에서는 기존에 사용되는 외팔보 프로브와 기존에 사용되는 수직형 프로브를 개선하기 위하여 벨로우즈 형상을 가진 가변강성 수직형 프로브를 제안하였으며 이의 설계, 제작 및 기계적, 전기적 특성 측정을 수행하였다. 본 연구를 통하여 제안된 벨로우즈 형상을 가진 수직형 프로브가 응력 완화 효과가 있고 가변강성을 가져 전극패드의 높이 차 극복에 유리하게 작용할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 해석결과와 실험결과 간 기계적 특성의 차이는 수직형 프로브 제작 시 MEMS 공정에서의 Loading Effect로 인한 오차로 분석된다. 전기적 특성 실험 결과를 보면 어느 정도 접촉력이 있어야 원하는 전기특성을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 추후 연구에서 프로브의 내구성 평가를 수행 하여 프로브의 신뢰성 설계기술을 확보하고자 한다.

후기

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 기술료 사업인 전자부품 신뢰성 설계 기술개발 과제의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

- (1) J.H. Kim, S.I. Chu, S.H. Lee, J.W. Shim, J.H. Park, K.T. Kim and S. Moon, "Fabrication and Mechanical Characterization of MEMS Vertical Type Probe Tip for Micro Sized Pad's Measurement", 8th Korea MEMS Conference ,pp. 533-536.
- (2) T. Haga, "Development of Micro Contact Probe," SEI Technical Review, N55, January 2003.
- (3) Kataoka, "Multi layer electroplated micro spring array for MEMS probe card," MEMS 2004 , 17th IEEE Conference, pp. 733-736, 2004.
- (4) B.H. Kim, D.Y. Chung, C.H. Chung, T.U. Chunk, S.H. Seok and K.J. Chun, "A vertically guided MEMS probe card with deeply recessed trench-type cantilever", MEMS 2006, 18th IEEE Conference, pp. 271-274.
- (5) S.H.Goods, "Electrodeposited nickel-manganese: an alloy for microsystem applications", Microsystem Technologies, v10, n6-7, 2004.
- (6) J.Y. Kim, H.J. Lee, H.J. Choi, S.J. Lee, S.W. Moon, "Design, Fabrication and Mechanical Characterization of Vertical Micro Contact Probe", IEEE Sensors 2006 Conference, Taegu, 2006.
- (7) J.H. Kim, S.I. Chu, H.W. Seo, J.W. Ryu, G.T. Kim, S. Moon, "Fabrication and Characterization of MEMS Vertical Type Probe Tip for Micro Sized Pads Measurement", MEMS 2007, 19th IEEE Conference, pp. 283-286.

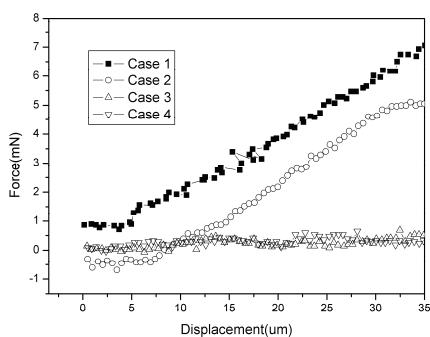


Fig. 8 Mechanical Test Result of Type C

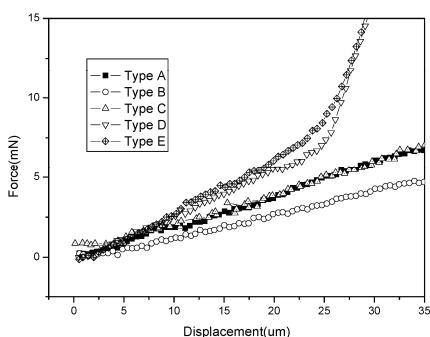


Fig. 9 Mechanical Test Result of Case 1

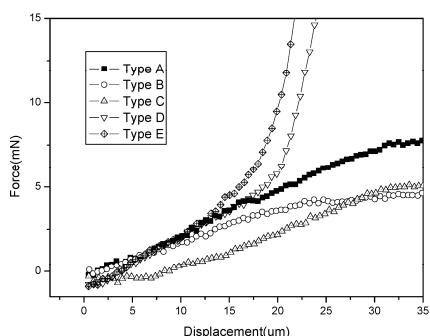


Fig. 10 Mechanical Test Result of Case 2

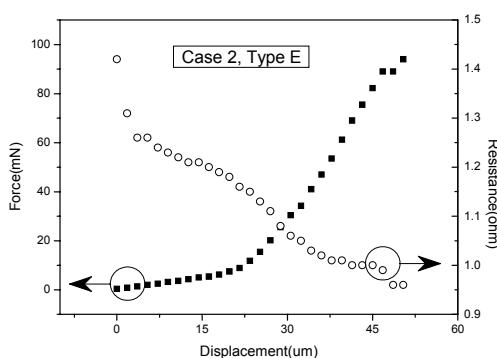


Fig. 11 Electrical Test Result on Au Pad