

## 수직형 MEMS 프로브 팁의 신뢰성 설계 및 전기적 특성평가

이승훈\*<sup>1,2</sup> · 추성일<sup>2</sup> · 김진혁<sup>2</sup> · 한동철<sup>1</sup> · 문성욱\*\*<sup>2</sup>

서울대학교 기계항공공학부<sup>1</sup>, 한국과학기술연구원 나노바이오연구센터<sup>2</sup>

## Reliable design and electrical characteristics of vertical MEMS probe tip

SeungHun Lee<sup>1,2</sup> · Sung il Chu<sup>2</sup> · Jin hyuk Kim<sup>2</sup> · Dong chul Han<sup>1</sup> · Sung Moon<sup>2</sup>

School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University<sup>1</sup>  
Nanobio research center, Korea Institute of Science and Technology<sup>2</sup>

### Abstract

Probe card is a test component which is to classify the known good die with electrical contact before the packaging in the ATE(automatic testing equipment).

Conventional probe tip was mostly needle type, it has been difficult to meet with conventional type, because of decreasing chip size, pad to pad pitch and pads size increasingly. For that reason, probe cards using MEMS(micro electro mechanical system) technology have been developed for various semiconductor chips.

In this paper, Area Array type MEMS Probe tip was designed, fabricated, and

---

\* Author : 이 승 훈(shlee91@kist.re.kr)  
한국과학기술연구원 나노바이오연구센터  
Tel: 02-958-6809. 017-228-6624 Fax: 02-958-6910

\*\* Co-Author : 문 성 욱(s.moon@kist.re.kr)  
한국과학기술연구원 나노바이오연구센터  
Tel: 02-958-5776. 011-9133-9145

characterized its mechanical and electrical properties. The authors found that good electrical characteristics under  $1\Omega$  were acquired with gold(Au) and aluminium(Al) pad contact test over 0.5gf and 4gf respectively. And, contact resistance variation under  $0.1\Omega$  were achieved with 100,000 times of repetition test. And, insertion loss(IS) for high frequency operation was ascertained over 300MHz at  $-3\text{dB}$  loss.

## 1. 서론

반도체 장비는 일반적으로 전공정과 후공정으로 나뉘며, 프로브 카드는 후공정 검사장비의 하나로서 제작된 칩을 패키징 전(前)단계에서 웨이퍼 상에 직접 전기적 접촉을 하여 KGD(Known Good Die)를 선별하거나 이를 이용한 테스트에서 얻은 정보를 향후 공정에 피드백하여 수율을 향상하기 위해 필수적인 부품이다.

기존의 웨이퍼 프로브는 1960년대 Rucker와 Kolls가 제안한 니들방식이 현재까지 쓰여왔으나, 최근 헵피치, 고온, 고주파, multi-DUT(device under test)를 만족하기 위해서 다양한 새로운 방식의 프로브카드가 개발되고 있다.[3] [6]

이러한 새로운 방식을 개발하기 위한 추세에 따라 최근 약  $50\mu\text{m}$ 의 미세 단자 간격(pitch)에까지 대응이 가능한 MEMS(micro electro mechanical system) 프로브 카드(Probe card)가 개발되었다. 그러나 이것은 현재 가장 보편화되어 사용되고 있는 캔틸레버형(Cantilever Type) 프로브 팁(Probe Tip)을 가지는 프로브 카드로써 한쪽 방향으로 긴 구조적인 한계를 가지고 있어 LOC(Lead On Chip)형태의 소자에 국한되어 사용 될 수밖에 없다.

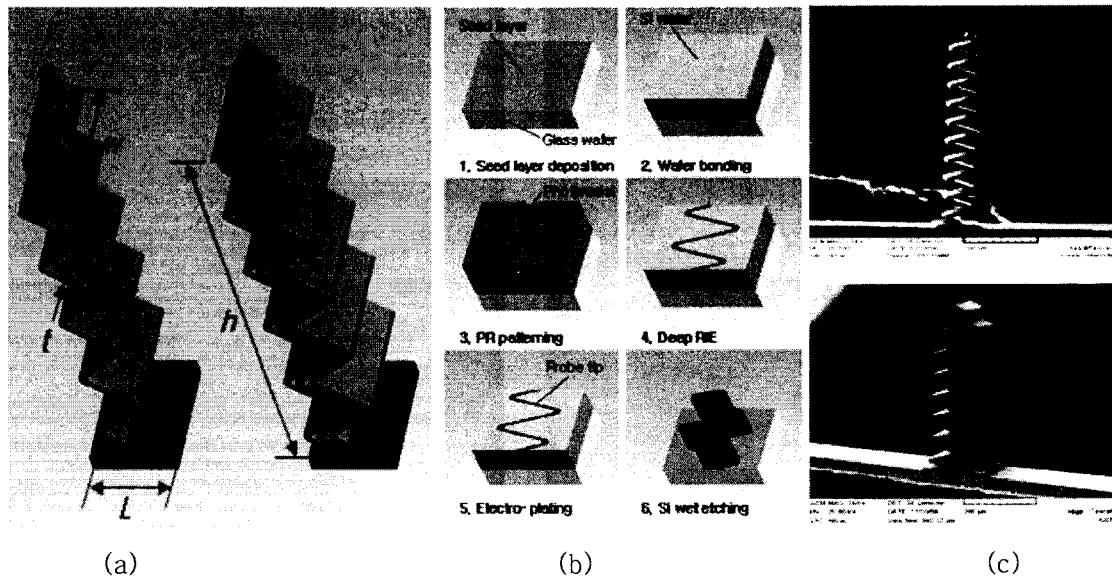
현재 비메모리 분야에 사용되고 있는 C4(Controlled Collapse Chip Connection)소자의 단자 형태는 일반적으로 비정규 2차원 배열(Area Array)을 가지므로 이에 대응 하기위한 새로운 프로브 카드의 개발에 관심이 모아지고 있다. 최근 C4에 대응 가능한 프로브 카드에 대한 연구로 Kataoka K[4]. 등은 약  $250\mu\text{m}$ , K. J. Kim[5] 등은 약  $175\mu\text{m}$ 의 프로브 간격(pitch)을 갖는 수직형 마이크로 프로브 배열을 구현하였다. 그러나 이러한 수직형 프로브 카드는 단위 팁 하나가 가지는 면적이 크므로 반도체의 미세 단자 간격에 대응하기가 어려운 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 C4 소자에 대응 가능하고, 더욱 작은 단자 간격(약  $100\mu\text{m}$ )에 대응할 수 있는 초소형 수직형 프로브 카드의 프로브 팁에 응용하기 위한 몇 가지 모델을 선정 후 마이크로 스프링(Micro-spring)을 설계하고, 각 모델의 설계변수의 변화에 따른 스프링의 특성을 평가함여 원하는 조건을 만족하는 초소형 마이크로 스프링의 설계방안을 마련하기 위한 전기특성 중 하중에 따른 접촉저항의 변화 및 고주파 특성에 관해 연구하였다.

## 2. 프로브 팁의 설계 및 제작 [2]

### 2.1 모델링과 설계변수

반도체 단자와 접촉 시 스프링에 가해지는 수축방향의 하중에 대한 응력을 여러 번 분산시켜 반도체 단자와 프로브 간의 단차에 대응하기 위한 스프링의 최대변위는 그대로 유지 하면서 스프링의 강성을 증가시킬 수 있도록 여러 개의 스프링이 병렬로 연결된 구조를 그림 1(a)과 같이 설계하였다.



<그림 1> 프로브 팁의 설계 및 제작

스프링 재료의 탄성계수는 210 GPa, 항복응력 1 GPa로 가정하였으며, 재료가 완전소성 (Perfectly plastic) 거동을 한다고 가정하여 해석을 하였다.

유한요소 해석결과로 스프링의 꺾인 각( $\theta$ )은 약  $35^\circ$  이하에서 최대응력과 최대변위에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 해석을 단순화 하기 위해  $20^\circ$  로 고정하였다

스프링의 두께( $t$ )가 두꺼워 질수록, 그리고 병렬로 연결된 스프링의 개수가 증가 할수록 스프링 최대반력이 증가하며, 두께  $t$ 가  $5 \mu\text{m}$ 에서  $10 \mu\text{m}$ 로 증가할 때 최대반력은 평균 3.0배 증가 하였고, 병렬로 연결된 스프링의 개수가 1개에서 3개로 늘어났을 때 최대반력은 평균 3.4 배 증가함을 확인할 수 있었다.

### 2.2 제작

설계된 스프링의 기계적 특성을 분석하고 프로브 카드로서의 활용 가능성을 검증하기 위한 시험모델을 MEMS공정을 이용하여 제작하였으며, 공정은 금속증착(deposition), 웨이퍼 본

딩(bonding), 웨이퍼 건식식각(Deep-RIE), 전기도금(electroplating), 웨이퍼 습식식각공정(Wet-Etching)이다. 그림 1(b)는 프로브 팁의 개략적인 전체 공정도를 나타낸다.

먼저 전기도금을 위한 기반층 제작을 위해 KOH에 반응하지 않는 Pyrex glass 웨이퍼 위에 크롬(Cr)과 금(Au)을 증착하고, 도금형틀 구성을 위한 Deep RIE 공정 시 실리콘 웨이퍼가 완전히 식각되어 관통되었을 때, 기반층의 손상과 자연산화막이 형성되는 것을 방지하기 위한 알루미늄(Al)을 다시 증착하였다.

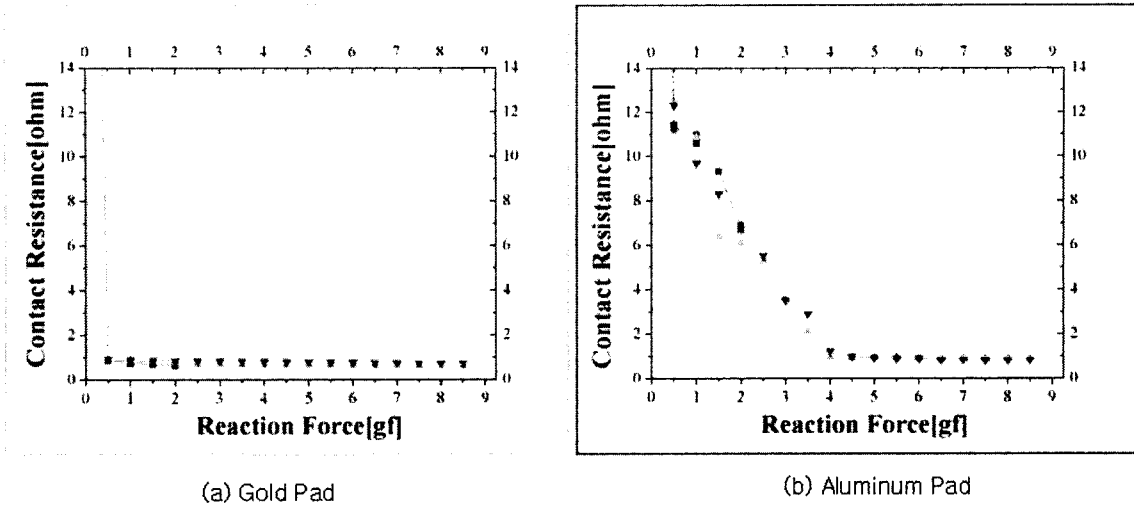
도금 틀로 이용되는 실리콘 웨이퍼를 이 증착면 위에 본딩한 후 CMP(Chemical Mechanical Polishing)공정을 이용하여 스프링의 폭이 되는 두께만큼 남겨두고 실리콘을 제거하였으며, 건식식각을 하기 위하여 포토레지스트(PR, photo resist)를 패터닝 한 후 건식식각을 통해 실리콘 웨이퍼를 끝까지 식각하여 도금 틀을 완성하였다.

또한, 도금의 전극인 금(Au) 층을 보호하기 위해 증착된 알루미늄(Al) 층을 제거한 후 니켈(Ni)-코발트(Co)합금을 전기도금하고, 연마작업을 통해 과도하게 도금된 부분을 제거하였으며, 도금 틀인 실리콘을 습식식각을 통하여 제거하고, 유리기판 위에 형성된 금(Au)를 전용 식각용액에 넣어 제거함으로써 프로브 팁을 유리기판으로부터 분리하여 제작을 완성하였으며, 그림 1(C)는 완성된 프로브 팁의 SEM사진을 나타낸다.

### 3. 전기적 특성

프로브 팁과 반도체 칩 패드 사이의 접촉 시 저항, 반복접촉 시 저항, 단일 프로브 팁의 노이즈의 변화 그리고 프로브 팁의 길이 및 형상에 따른 고주파 특성은 프로브 카드의 중요한 특성 중에 하나이다. 예를 들면, 프로브 검사 시 높은 접촉저항은 더욱 높은 전압과 더 큰 힘을 가하게 된다. 이로 인해 금속 패드와 반도체 칩에 손상을 가하게 되고, 실제로 약 5gf이상의 하중에서 테스트에 의한 불량률이 증가하며, 선폭이  $0.1\mu\text{m}$ 이하 공정에서 소자의 게이트 산화막 파괴로 인한 칩의 불량률이 발생하게 된다. 또한, 프로브 카드는 100,000 회 이상의 반복 구동을 필요로 하는 반면 접촉 시 저항은 항상 일정한 값을 나타내어야만 신뢰성을 가진 데이터를 확보할 수 있다.

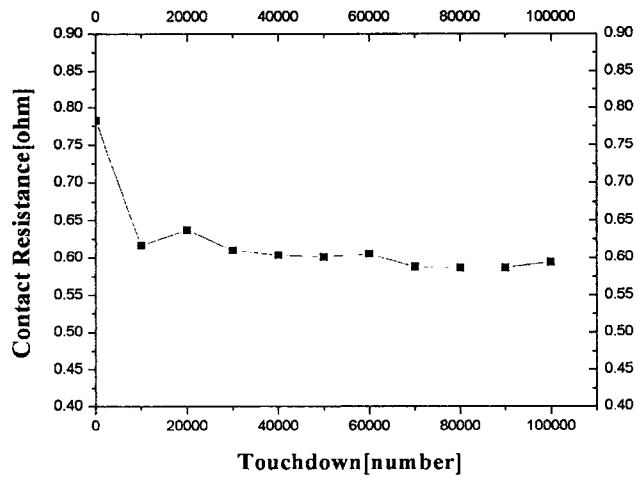
최근 칩의 동작속도 또한 점차 빨라지게 되어 주파수 특성이 좋은 프로브 카드를 요구하고 있다.



<그림 2> 프로브 팁과 Au/Al Pad의 전기적 특성 평가

### 3.1 접촉저항 측정

하중과 전기저항을 측정할 수 있게 제작된 측정장비를 통하여 Au, Al 패드를 고정하고, 프로브 팁을 탄성구간 영역 안에서 변위를 가하여 프로브 팁과 패드 간의 하중에 따른 전기저항값을 측정하였으며, 그림 2는 Au, Al 패드에서 하중에 따른 접촉저항 그래프를 나타낸다. 그림 2(a)의 Au 패드에서는 0.5gf부터 접촉저항이 1Ω 미만의 값을 가지며, Al 패드의 경우 산화가 잘 되는 재료의 특성상 산화막의 두께로 인해 4gf 이상에서 1Ω 미만의 값을 가지는 것을 확인하였다.



<그림 3> 반복 회수에 따른 접촉저항 변화(Au)

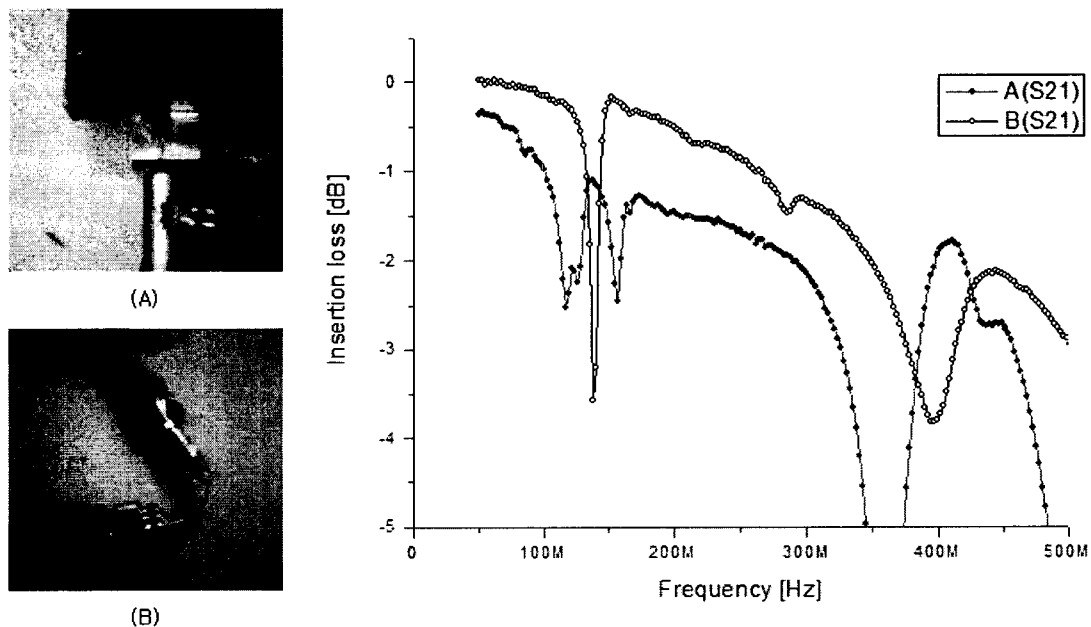
### 3.2 반복 접촉시의 저항변화

반복시의 접촉저항은 패드의 종류와 무관하게 팁의 마모나 불순물에 의해 발생하는 프로브 팁의 특성이므로 본 실험에서는 Au 패드를 사용하여 측정하였고, 그림 3과 같이 처음부터 100,000회 동안 반복 동작을 통해 안정적으로 접촉저항이 1Ω 이하로 일정함을 확인할 수 있었다.

### 3.3 RF 특성 측정

프로브의 고주파 특성을 확인하기 위하여 Network Analyzer(Agilent 8722ES)를 이용하여 S21 (dB)을 측정하였다. 그림 4(A)는 RF특성을 평가하기 위한 측정지그를 나타내며 Au패드에 프로브를 접촉시켜 측정하였다. 그림 4(B)는 측정지그에 사용된 케이블의 손실을 측정하기 위한 그림이다. Au 패드에 일정 하중이상을 가한 후에는 하중에 따른 고주파 특성의 변화의 차이는 거의 없었으며, 이는 접촉저항의 변화가 크지 않음에 기인한 결과로 예상된다.

그림 4(A)와 같이 프로브의 측정 시 삽입손실(IR, insertion loss)가 그림 4에서처럼 약 300MHz 정도에서 -3dB특성을 가지는 것을 확인하였으며, 이는 예상보다 낮은 결과로 판단하여 그림 4(B)와 같이 케이블 만의 loss를 측정한 결과 케이블의 loss와 측정지그가 상당한 변수로 작용한다는 것을 확인할 수 있었고, 측정 시 케이블과 지그의 특성을 감안하면 프로브 자체의 주파수 특성은 개선되어질 것으로 예상된다.



<그림 4 > 프로브 팁의 주파수 특성 측정지그 및 결과

## 4. 결론

본 연구에서는 초소형 수직형 MEMS 프로브 팁의 신뢰성 설계 및 전기적인 특성을 평가하였으며, 이러한 전기적 특성은 프로브 카드의 중요한 특성으로, 프로브 팁과 반도체 칩 패드 (Au, Al) 간의 접촉저항, 반복 동작 시 접촉저항의 변화, 동작 주파수대역 등을 평가하였으며 우수한 전기적인 특성이 있음을 확인하였다.

- (1) 하중에 따른 전기저항의 특성을 금(Au)과 알루미늄(Al) 패드에 직접 접촉실험을 통하여 Au 패드에서는 0.5gf에서 Al 패드는 4gf이상에서 1Ω 이하의 우수한 전기적 특성을 얻을 수 있었다.
- (2) 반복적인 작업에 기인한 팁의 마모나 불순물에 의해 발생하는 반복 동작시의 접촉저항의 변화특성을 평가하였으며, 100,000회의 반복 동작 시 접촉저항의 변화 또한 1Ω 이하의 안정적인 특성을 얻었다.
- (3) 고주파 동작영역을 확인하기 위한 S-Parameter를 통한 삽입손실을 확인하였으며, 일정하중이 가해진 후에는 유사한 결과를 얻었고, 그 결과 약 300MHz대역에서 -3dB 손실이 나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 측정지그 및 케이블의 손실이 포함된 결과로 실제 프로브카드에 장착 시에는 더 나은 결과를 예상할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. JW. RYU, JH. KIM, SI. CHU, SH. LEE and S. MOON, "*Fabrication and Mechanical Characterization of Micro Electro Mechanical System Based Vertical Probe Tips for Micro Pad Measurements*", Japanese Journal of Applied Physics Vol. 45, No. 12, 2006, pp. 9238 - .9243
2. S. I. CHU, "*Structural Design and Mechanical Characterization of the MEMS Spring for Probe Card Application*", the dissertation of Tong-Myong University, 2007
3. D. Keezer, "*Bare die testing and MCM probing techniques*", Proc. IEEE MCM Conf., 1992, p. 20.
4. K. Kataoka, T. Itoh, K. Inoue and T. Suga, "*Multi-layer electroplated micro-spring array for MEMS probe card*," MEMS 2004, 17th IEEE international Conference, pp. 733-736, 2004.
5. K. J. Kim, J. Y. Kim, S. H. Jeong, J. S. Kim and H. M. Lee, "*Realization of vertical microprobe arrays for C4 application*," 7th Korea MEMS Conference, April, pp. 381-384, 2005.
6. R. D. Bates, "*The search for the universal probe card solution*", Internatinal Test Conference, Washington, DC, USA, Nov. 1997, pp533-538