

논문 20-9-1

마이크로 스프링 구조를 갖는 121 pins/mm² 고밀도 프로브 카드 제작기술

Development of 121 pins/mm² High Density Probe Card using Micro-spring Architecture

민철홍¹, 김태선^{1,a}

(Chul Hong Min¹ and Tae Seon Kim^{1,a})

Abstract

Recently, novel MEMS probe cards can support reliable wafer level chip test with high density probing capacity. However, manufacturing cost and process complexity are crucial weak points for low cost mass production. To overcome these limitations, we have developed micro spring structured MEMS probe card. For fabrication of micro spring module, a wire bonder and electrolytic polished gold wires are used. In this case, stringent tension force control is essential to guarantee the low level contact resistance of micro spring for reliable probing performance. For this, relation between tension force of fabricated probe card and contact resistance is characterized. Compare to conventional probe cards, developed MEMS probe card requires fewer fabrication steps and it can be manufactured with lower cost than other MEMS probe cards. Also, due to the small contact scratch patterns, we expect that it can be applied to bumping types chip test which require higher probing density.

Key Words : MEMS probe card, Micro spring, Electrolytic polishing, Electro plating, Chip test

1. 서 론

프로브 카드는 웨이퍼상에 제작된 다수의 칩들을 동시에 테스트하기 위해 PCB(Printed Circuit Board) 위에 미세탐침을 고정시키고, 이를 테스트하고자하는 칩의 본딩패드(bonding pad)에 접촉시킨 후 프로브 스테이션의 전기적 신호를 받아 칩으로 전해주는 검사장비로 EDS(Electrical Die Sorting) 테스트의 핵심장비이다. 프로브 카드의 종류는 크게 수평형 프로브 카드와 수직형 프로브 카드 그리고 MEMS 프로브 카드로 구분할 수 있다. 그러나 오늘날 칩의 집적도가 높아지면서 칩의 I/O 패드간격(pad pitch)과 패드사이즈(pad size)가

계속 줄어들고 있으며, 또한 보다 많은 칩의 테스트를 위해 테스트 파라(para)를 증가하고 있는 상황에서 기존에 널리 사용되어 오던 수평형 프로브 카드[1]는 수많은 프로브 탐침을 수평으로 적층하는 프로브 카드의 구조 때문에 많은 수의 칩 테스트에 한계가 있었다. 이러한 이유로 다양한 형태의 프로브 탐침을 갖는 수직형 프로브 카드[2-4]와 MEMS 프로브 카드[5-11]들이 개발되었다. 수직형 프로브 카드는 텅스텐 와이어를 수직으로 세우는 방법으로 수평형 프로브 카드의 문제점 이었던 공간상의 제약을 해결 할 수 있었으나 수직으로 세운 벤딩(bending)된 탐침부분에서 버클링(buckling)현상으로 인한 단락(short)과 미세누설전류(leakage current)가 발생 할 수 있다는 단점이 있다[2-4]. 한편, MEMS 프로브 카드는 반도체 공정을 이용하여 고집적도의 프로브 탐침을 제작하기 위해 개발되었다. 그러나 캔틸레버(cantilever) 타입으로 개발된 MEMS 프로브 카드[5,9]의 경우 프로브 탐침

1. 가톨릭대학교 정보통신전자공학

(부천시 원미구 역곡2동 산43-1)

a. Corresponding Author : tkim@catholic.ac.kr

접수일자 : 2007. 8. 13

1차 심사 : 2007. 8. 22

심사완료 : 2007. 8. 24

의 장력이 작아 접촉저항이 크고 쉽게 파괴될 수 있다는 단점이 있다. 일본 Tokyo대학에서 개발된 또 다른 형태의 MEMS 프로브 카드[8]는 PR(photoresist)을 단계적으로 올리면서 니켈 전해도금(Ni electroplate)을 이용하여 프로브 탐침을 형성시켰다. 그러나 O.D(overdrive: 첫 번째 프로브 탐침이 패드에 접촉하고 나머지 프로브 탐침들이 전부 접촉되는 거리)가 최대 40 μm 정도로 짧은 편이고 연속적인 도금과정으로 인해 도금된 부분이 쉽게 파괴될 수 있는 단점을 가지고 있다. 이처럼 MEMS 프로브 카드는 반도체 공정을 이용하는 특성상 매우 작고 다양한 형태의 프로브 탐침을 제작할 수 있으나 제작공정이 복잡하고 웨이퍼(wafer)기판과 프로브 카드의 메인 PCB와의 연결이 쉽지 않다는 전체적인 단점을 가지고 있다. 현재 일부 프로브 카드 업체에서는 웨이퍼 기판 대신 고가의 세라믹 PCB를 사용하여 이러한 문제를 해결하고 있다[10,11].

본 논문은 웨이퍼 기판에 KOH 식각을 통해 홀을 뚫고 그 위에 Au 패턴(pattern)을 증착하는 방법으로 웨이퍼 기판과 프로브 카드의 메인 PCB를 연결하는 방법을 제안한다. 또한, 형성된 패턴 위에 와이어 본더(wire bonder)를 이용하여 마이크로 스프링을 제작하고 그 끝단을 전해연마 하여 프로브 탐침을 형성시킨 후 니켈 전해도금을 하여 마이크로 스프링의 장력을 높이는 방법으로 프로브 탐침을 제작하였다. 제작된 마이크로 스프링의 물리적, 전기적 특성을 분석하기 위하여 마이크로 스프링의 슈프트 길이와 두께를 조절하며 장력과 접촉저항을 측정하였다. 본 논문에서 제안한 MEMS 프로브 카드의 마이크로 스프링은 최대 피치(pitch) 51 μm 까지 제작이 가능하므로 1 mm의 공간상에 최대 121개의 프로브 탐침을 형성시킬 수 있으며, 이러한 방법으로 H사의 2nd 256M SDRAM Device 프로브 카드의 모듈을 제작하였다. 제작한 마이크로 스프링 모듈은 기존의 MEMS 프로브 카드의 탐침 모듈 보다 제작공정이 간단하며 제작비용 또한 낮은 장점이 있다.

2. 프로브 카드 제작

MEMS 프로브 카드 그림 1과 같이 메인 PCB, 메인 PCB와 마이크로 스프링을 연결해주는 웨이퍼 기판, 그리고 프로브 탐침 역할의 마이크로 스프링으로 나눌 수 있다. 웨이퍼 기판은 KOH 습식 식각을 통해 창(window)이 형성되어 마이크로 스프링

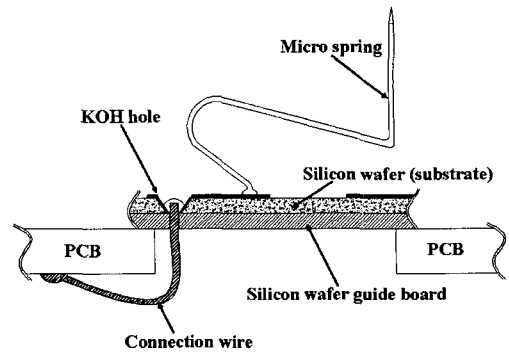


그림 1. 제안한 MEMS 프로브 카드의 단면도.
Fig. 1. Sectional view of proposed MEMS probe card.

을 형성시킬 부분까지 연결가능하며, 메인 PCB는 웨이퍼에 뚫린 KOH 창을 통해 동선으로 연결된다. 마이크로 스프링은 와이어 본더를 이용하여 제작하며 그 끝단을 전해 연마하여 프로브 탐침을 형성시킨 후 도금을 통해 마이크로 스프링의 장력을 높인다.

2.1 웨이퍼 기판 제작

웨이퍼 기판은 웨이퍼 위에 패턴을 형성시켜 마이크로 스프링과 메인 PCB를 연결해주는 역할을 한다. 웨이퍼 기판에 창을 뚫기 위해서는 실리콘 웨이퍼의 식각기술을 필요로 하며, KOH용액을 이용하여 실리콘 웨이퍼를 습식식각을 할 경우 <111>면과 <110>면을 따라 일정한 각도로 식각이 이루어지며 그 각도는 식(1)과 같다[12].

$$\tan \alpha = \frac{L}{a} \quad (1)$$

여기서, $L = a \times \frac{\sqrt{2}}{2}$, $a = \arctan \frac{\sqrt{2}}{2}$ 이며, 따라서 $\alpha = 35.26^\circ$, 여각은 54.74° 이다.

이 때, 그림 2와 같이 웨이퍼의 두께가 z이고, 식각을 위한 마스크의 너비가 W_m 인 경우 실제 실리콘 웨이퍼 상에 식각되는 홀의 너비 W_0 은 식(2)와 식(3)을 따르게 된다.

$$W_0 = W_m - 2 \cot \alpha m (\angle 54.74^\circ) z \quad (2)$$

혹은,

$$W_0 = W_m - \sqrt{2} z \quad (3)$$

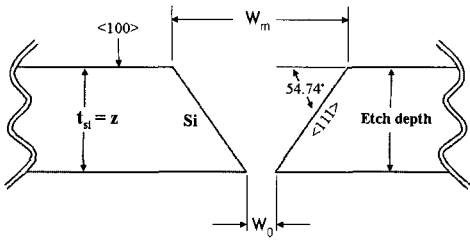


그림 2. KOH식각 후 홀의 너비와 마스크 너비의 관계.

Fig. 2. Relation between width of hole bottom and mask opening width.

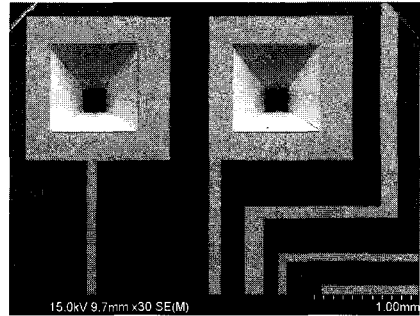


그림 4. 제작된 프로브 카드의 웨이퍼 기판.

Fig. 4. Fabricated wafer substrate for proposed MEMS probe card.

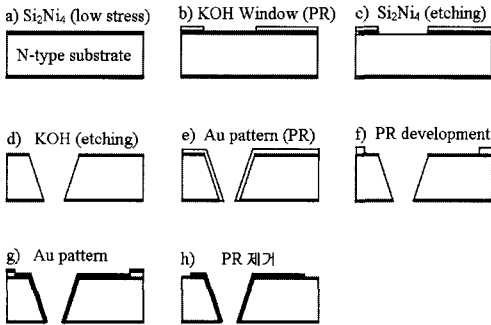


그림 3. 웨이퍼 기판의 제작공정.

Fig. 3. Fabrication process for wafer substrate of proposed MEMS probe card.

그림 3은 제안하는 웨이퍼 기판 제조공정이다. 그림 3의 a)와 같이 결정(1,0,0)인 P타입 실리콘 웨이퍼를 CVD(Chemical Vapor Deposition)장비를 이용하여 두께 5000 Å low-stress Si₂Ni₄를 증착한다. 그 후 그림 3의 b), c)와 같이 마스크를 통해 KOH window를 만들어 Si₂Ni₄를 건식식각 시켜 부분적으로 제거한다. 그 다음 PR을 제거하고 KOH용액에 웨이퍼 기판을 습식식각하면 Si₂Ni₄가 제거된 부분으로 실리콘 웨이퍼가 습식식각이 되며 54.74°의 경사면을 갖는 창이 뚫린다(그림 3의 d)). 패턴 형성을 위해 KOH 습식 식각된 웨이퍼 기판에 PR을 도포한 후 스퍼터(sputter)장비를 이용하여 Au 패턴을 증착하고 PR을 제거하여 웨이퍼 기판을 완성시킨다(그림 3의 e)~h)). 그림 4는 완성된 웨이퍼 기판이다.

2.2 마이크로 스프링 제작

마이크로 스프링의 제작 방법은 그림 5와 같이 와이어 본더(wire bonder)를 이용하여 제작한다.

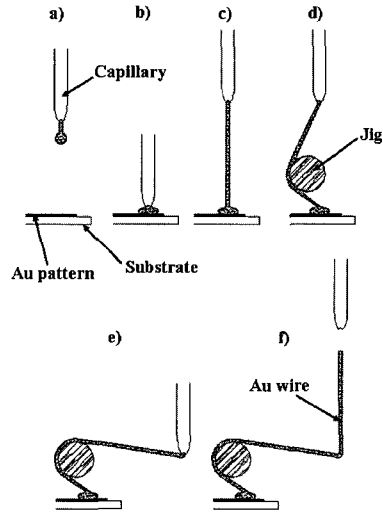


그림 5. 마이크로 스프링의 제작방법.

Fig. 5. Fabrication process of micro spring for proposed MEMS probe card.

우선 그림 5의 a)와 같이 와이어 본더의 capillary 끝단에 Au 와이어를 방전시켜 단면적을 넓히고 웨이퍼 기판위에 Au 와이어를 접합시킨 후 수직방향으로 Au 와이어를 뽑는다(그림 5의 b), c)). 길게 뽑힌 Au 와이어에 둥근형태의 지그(jig)를 밀어 넣고 Au 와이어를 수평방향으로 빼낸다(그림 5의 d), e)). 그 후 다시 capillary을 수직방향으로 올려 Au 와이어를 뽑고 그 끝을 절단하면 마이크로 스프링을 제작할 수 있다(그림 5의 f)). 여기서 Au 와이어의 수평방향 길이는 마이크로 스프링의 장력(tension force)변수가 되며 디바이스의 I/O패드 모양과 크기에 따라 선택적으로 조절 할 수 있다.

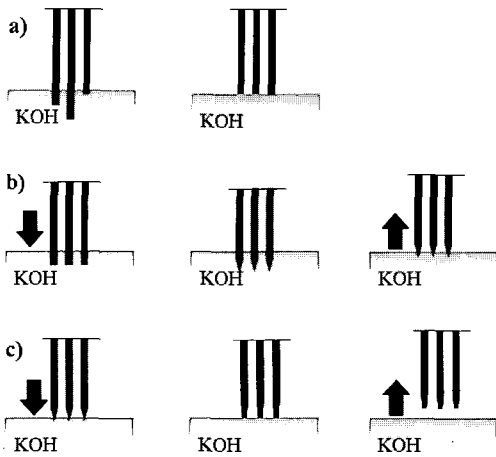


그림 6. 프로브 탐침 제조 방법.
Fig. 6. Probe needle fabrication flow.

2.3 마이크로 스프링의 전해연마

초기 마이크로 스프링 끝단은 탐침의 형태가 두껍고 균일하지 않기 때문에 프로브 탐침을 형성시키기 위해 마이크로 스프링의 끝단을 전해연마한다. 전해연마는 KOH 4몰(mol)에 31 °C 온도에서 공정을 진행하였으며 마이크로 스프링에 양(+)전극을 연결하고, KOH 용액에 음(-)전극을 연결하여 스텝핑(steppping) 모터를 조절하며 전해연마를 실시하였다. 전해연마 공정은 그림 6의 a), b), c)와 같이 3단계로 이루어진다. 그림 6의 a)는 제작된 마이크로 스프링의 끝단을 KOH 수면을 이용하여 전해연마하는 방법으로 마이크로 스프링의 평탄도를 일정하게 맞추는 공정이다. 그리고 그림 6의 b)는 마이크로 스프링의 끝단에 프로브 탐침을 제작하기 위한 공정으로 마이크로 스프링과 KOH 용액에 일정한 전류를 공급하고 마이크로 스프링을 KOH 수면에 담겼다 서서히 빼는 방법으로 뾰족한 모양의 프로브 탐침을 제작한다. 그림 6의 c)는 뾰족하게 만들어진 프로브 탐침의 끝단이 칩 패드에 접촉되었을 때 휘어지는 것을 막기 위해 탐침의 끝단을 짊아주는 공정이다.

2.4 마이크로 스프링의 전해도금

와이어 본더를 이용하여 제작된 마이크로 스프링의 두께는 25 μm 정도로 Au 와이어 자체로는 강도가 약해 스프링의 역할을 충분히 할 수 없다. 따라서 전해연마 공정이 끝난 마이크로 스프링에 전해도금을 하여 강도와 내구성을 높이게 되며 도금 용액의 조성비와 도금환경은 표 1과 같다.

표 1. 도금액 성분 및 조건.

Table 1. Electro plating solution conditions for micro spring.

성분	조건
황산니켈(NiSO ₄)	240 g/l
염화니켈(NiCl ₂)	45 g/l
붕산(H ₃ BO ₃)	30 g/l
온도	55 °C
PH	3.5 ~4.5
전극	니켈(Ni)판

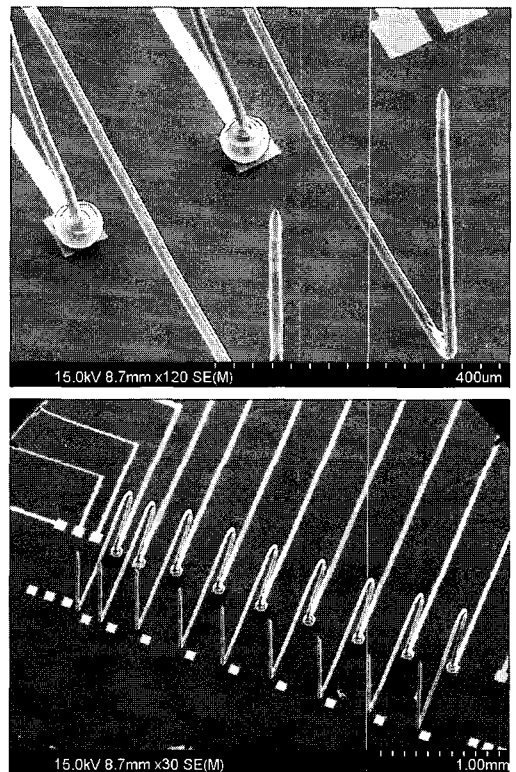


그림 7. 제안한 프로브 카드의 마이크로 스프링.
Fig. 7. Micro spring of proposed MEMS probe card.

도금 용액의 구성은 전해연마 용조구성과 같으며 마이크로 스프링에 음(-)전극을 연결하고 니켈 판에 양(+)전극을 연결하여 전류를 조절하며 전해도금을 한다. 전해연마와 전해도금 공정이 끝나면 그림 7과 같이 마이크로 스프링의 끝단에 프로브 탐침과 일정한 장력을 갖는 마이크로 스프링을 제작할 수 있다.

표 2. 마이크로 스프링의 장력 테스트 변수범위.
Table 2. Parameter ranges for tension force test.

Parameter	Range	Step	Units
Shift (S)	1~2	0.5	mm
Diameter (D)	40, 60	-	μm
Overdrive (O.D)	10~120	10	μm

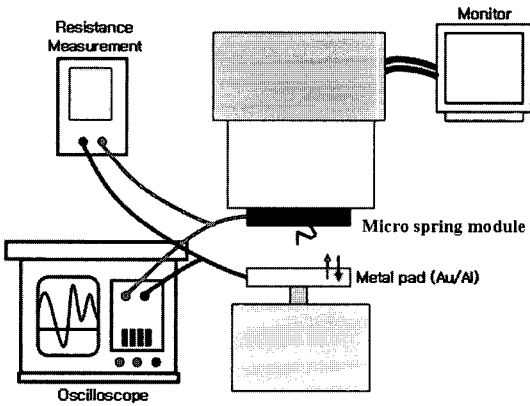


그림 8. 마이크로 스프링의 장력 특성분석 시스템 구성도.

Fig. 8. Tension force measurement system of micro spring.

3. 결과 및 고찰

프로브 카드의 제작에 있어서 탐침의 장력측정은 매우 중요하다. 만약 프로브 탐침의 장력이 높을 경우 탐침 모듈의 마모가 심해져 프로브 카드의 수명이 짧아지고 칩 패드에 손상을 주어 수율(yield)을 떨어트릴 수 있으며, 탐침의 장력이 작을 경우 접촉저항이 커져 원활한 테스트를 수행할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서 마이크로 스프링의 장력특성을 분석하기 위해 표 2와 같이 장력 변수를 설정한 후 마이크로 스프링을 제작하였으며, 그림 8과 같이 마이크로 스프링 모듈을 장착하고 시스템의 z축을 조절하며 O.D값을 설정하였다. 장력측정은 시스템의 z축에 전자저울을 고정하고 O.D값을 10 μm 씩 이동시키면서 측정하였으며, 접촉저항은 시스템의 z축에 알루미늄을 증착시킨 웨이퍼를 고정하고 10 μm 씩 O.D값을 설정하여 측정하였다.

그림 9는 두께 40 μm , 쉬프트 양 1, 1.5, 2 mm의 마이크로 스프링을 이용하여 장력과 접촉저항을

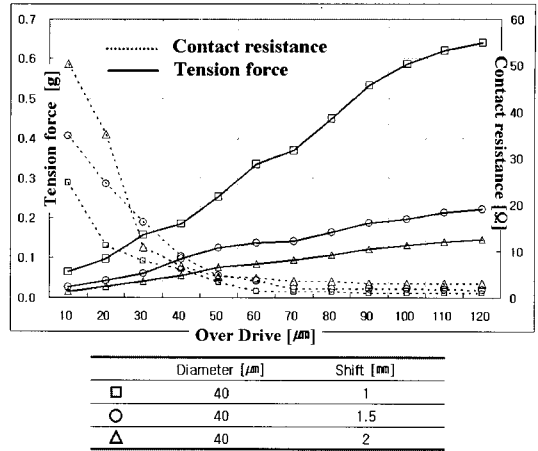
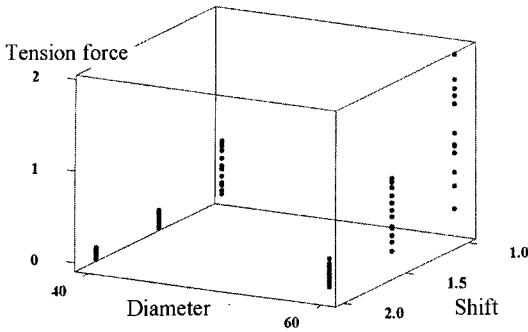


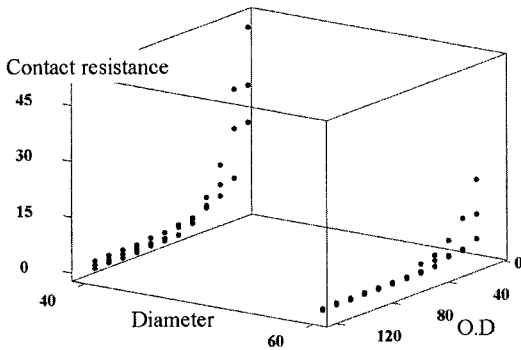
그림 9. 마이크로 스프링의 장력과 접촉저항 측정 결과.

Fig. 9. Tension force and contact resistance measurement result of micro spring.

측정한 그래프이다. 측정 결과를 보면 쉬프트 양이 클수록 장력이 작아지는 반면 접촉저항은 커지는 것을 알 수 있다. 접촉저항의 경우 O.D 70 μm 이상부터 저항 값이 거의 일정하게 측정되었으며, 본 논문에서 제작한 두께 40 μm , 쉬프트 양 1 mm의 마이크로 스프링은 최소 접촉저항이 1 Ω 으로 O.D 70 μm 부터 일정하게 측정되었다. 그림 10의 (a)는 쉬프트 양과 두께변화에 따른 마이크로 스프링의 장력변화를 측정한 그래프로 쉬프트 양이 작고 두께가 클수록 마이크로 스프링의 장력이 점점 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 10의 (b)는 마이크로 스프링의 두께와 O.D값 변화에 따른 접촉저항의 변화를 그린 그래프로 마이크로 스프링의 두께가 크고 O.D값이 커질수록 접촉저항이 작아지는 것을 알 수 있다. 일반적으로 프로브 카드의 허용 접촉저항은 2 Ω 이하로 마이크로 스프링의 장력이 클 경우 접촉저항이 작게 측정되나 실험 결과 두께 70 μm 의 일부 마이크로 스프링에서 복원이 되지 않는 현상이 일어났다. 반대로 작은 두께의 마이크로 스프링에서는 접촉저항이 상대적으로 크게 나타나므로 최적화된 마이크로 스프링의 조건은 쉬프트 양 1~2 mm에서 두께는 40~60 μm 에 장력은 0.2 g이상이 적당하다. 그림 11은 알루미늄 패드에서의 접촉 모양(contact mark)을 측정한 그림이다. 만약 접촉 마크가 크면 칩 테스트 환경에서 패드 정렬(align)에 오차가 생겨 프로브 탐침이 칩 패드



(a) 두께와 쉬프트 양 변화에 따른 장력변화



(b) 두께와 O.D값 변화에 따른 접촉저항 변화

그림 10. 마이크로 스프링의 변수 변화에 따른 장력과 접촉저항 측정결과.

Fig. 10. Tension force and contact resistance measurement result by the change of micro spring variables.



그림 11. 접촉 모양 측정 결과.

Fig. 11. Measurement result of micro spring contact mark.

에서 벗어나 칩에 손상을 줄 수 있으나 본 논문에서 제작한 마이크로 스프링의 접촉모양의 길이는 O.D값 50 μm 에서 약 10~12 μm 정도로 다른 프로브 카드(O.D값 125 μm 에 50~60 μm)에 비해 작은 것을 알 수 있다[13].

4. 결론

본 논문에서는 와이어 본더를 이용하여 마이크로 스프링의 형태를 만들고 그 끝단을 전해연마하여 프로브 탐침의 제작 방법과 실리콘 웨이퍼 기판에 KOH 홀을 뚫어 메인 PCB와 연결하는 방법으로 기존에 사용해 오던 고가의 세라믹 PCB를 대체할 수 있는 방법을 제안한다. MEMS 프로브 카드의 특성을 분석하기 위해 마이크로 스프링 모듈을 측정 시스템에 장착한 후 마이크로 스프링의 두께와 쉬프트 양 그리고 O.D값을 변화시키며 마이크로 스프링의 장력과 접촉저항을 측정하였다. 또한 알루미늄 패드를 이용하여 마이크로 스프링의 접촉 모양의 길이를 측정하였다. 본 논문에서 제안한 마이크로 스프링은 기존의 MEMS 프로브 카드보다 제작공정이 간단하며 제작비용 또한 낮은 장점이 있으며, 1 mm의 공간상에 최대 121개의 프로브 탐침을 형성시킬 수 있어 고밀도의 프로브 카드 제작이 가능하다. 또한 접촉 모양의 길이가 짧아 기존 프로브 카드로 테스트 할 수 없었던 범핑(bumping) 타입의 칩 테스트가 가능할 것으로 본다.

감사의 글

본 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-311-D00703).

참고 문헌

- [1] Tada T., Takagi R., Nakao S., Hyozo M., Arakawa T., Sawada K., and Ueda M., "A fine pitch probe technology for VLSI wafer testing", Test Conference, p. 900, 1990.
- [2] Sasho S. and Sakata T., "Four multi probing test for 16 bit DAC with vertical contact probe card", Test Conference, p. 86, 1996.
- [3] 니혼 덴시자이료, 가부시카가이샤, "수직형 프로브 카드", 대한민국특허, 10-0395064-0000,

- 2003.
- [4] 니혼 덴시자이료, 가부시키가이샤, "수직형 프로브카드 및 그것에 이용되는 기관", 대한민국특허, 10-0385650-0000, 2003.
- [5] Y.-M. Kim, H.-C. Yoon, and J.-H. Lee, "Silicon micro-probe card using porous silicon micromachining technology", ETRI Journal, Vol. 27, No. 4, p. 433, 2005.
- [6] Leslie B. and Matta F., "Membrane probe card technology", Test Conference, New Frontiers in Testing, p. 601, 1988.
- [7] Leung J., Zargari M., Wooley B. A., and Wong S. S., "Active substrate membrane probe card", Electron Devices Meeting, p. 709, 1995.
- [8] Kataoka, K., Itoh, T., Suga, T., and Inoue, K., "Contact properties of Ni micro-springs for MEMS probe card", Electrical Contacts Conference, p. 231, 2004.
- [9] Yanwei Z., Yongxia Z., and Marcus R. B., "Thermally actuated microprobes for a new wafer probe card", Microelectromechanical Systems, Journal of Volume 8, p. 43, 1999.
- [10] Formfactor. Inc, "Method and apparatus for wirebonding, for severing bond wires, and for forming balls on the ends of bond wires", US Patent, 5,601,740, 1997.
- [11] (주)파인컴, "초소형 프로브 구조체, 프로브 카드 및 이의 제조 방법", 대한민국특허, 2003-0046169, 2003.
- [12] Marc J. Madou, "Fundamentals of Microfabrication", CRC Press, p. 187, 2002.
- [13] Yoshihiro H., Tsuyoshi H., and Masao S., "New composite probe of Rh and Ni-Mn for high current and fine pitch testing", 2005 SouthWest Test Workshop, Technical Program, 2005.