

신뢰성을 갖는 MEMS 프로브 팁의 설계 및 특성평가

이승훈^{†*}·추성일*·김진혁*·서호원*·한동철**·문성욱*

Reliable design and characterization of MEMS probe tip

SeungHun LEE, Sung il Chu, Jin Hyuk Kim, Ho Won Seo, Dong-Chul HAN and Sung Moon

Key Words: MEMS(멤스), Probe card(프로브 카드), Electro-plating(전기도금), FEM(유한요소법), Micro-spring(마이크로스프링), Area array(2차원 배열)

Abstract

The Probe Card is a test component which is to classify the good semiconductor chips before the packaging. The yield of semiconductor product can be better from analysis of probe test information. Recently the technology of the probe card needs narrow width and large amount of probe tip. In this research, the probe tip based on the MEMS(micro electro mechanical system) technology was designed and fabricated to improve the reliability of the test and to meet 2-dimensional Array of tip. The mechanical and electrical properties of proposed tip were evaluated and it has over 100,000 of repetition times in the condition of 5gf, 20um Over Drive.

기호설명

F : 접촉반력 (N)

k : 스프링 상수

C_{stress} : 접촉반력과 최대응력사이의 관계상수

σ_{max} : 최대응력

σ_{yield} : 항복응력

1. 서론

프로브 카드는 반도체 칩 패드(pad)에 직접 기계적인 접촉을 가하고, 여기에 전기적인 신호를 흘려 칩의 동작유무와 가혹한 조건에 의한 칩의

신뢰성을 평가하기 위한 테스트 장비의 하나이다. 그 중 가장 중요한 특성으로 반도체 패드의 산화막을 침투하여 전기적인 접합이 일어나기 위한 접촉반력(강성), 프로브와 패드들 간의 서로 다른 단차에 유연히 대응하여 동시에 모두 접촉이 가능하게 하기 위한 접촉변위(연성)가 필요하다. 즉, 프로브는 패드와의 접촉 시 적절한 힘이 발생하며 수축운동과 복원을 반복하는 마이크로스프링 역할을 하는 것으로, MEMS(micro electro mechanical system)의 신뢰성을 연구하기에 좋은 부품이다.

Rucker와 Kolls가 1960년대 제안한 니들(needle) 형태의 일반적인 프로브에서 최근 반도체 기술의 소형화, 집적화 추세에 따른 반도체 검사용 프로브에 이르기까지 다양한 제품이 제조되고 있다.[2,3] 최근 50 μ m이하의 패드간격(pitch)에 대응하는 한쪽 방향의 긴 구조인 In-line 형태의 메모리용 프로브카드와 비메모리 분야에 사용되는 비정규 2차원배열(area array)의 제품들이 개발되고 있다. 이러한 비메모리 분야의 C4(Controlled

† 회원, 서울대학교 기계항공공학부 대학원

E-mail : shlee91@kist.re.kr

TEL : (02)958-6809 FAX : (02)958-6910

* 한국과학기술연구원 나노바이오연구센터

** 서울대학교 기계항공공학부

Collapse Chip Connection)소자에 대응가능한 프로브 카드로 Kataoka K[4]의 250 μm , K. J. Kim[5]의 175 μm 피치의 수직형 마이크로 프로브가 있다.

따라서, 본 연구에서는 신속하게 제작가능하고 기존의 제품보다 작고 동작 특성이 우수한 새로운 수직형 MEMS 프로브 팁(tip)을 제안하고, 이에 응용하기 위한 몇 가지 모델을 선정하고, 마이크로스프링을 설계/제작 후, 각 모델별 특성을 평가하고, 재료의 물성을 측정하여 설계에 반영함으로써 원하는 조건을 만족하는 MEMS 프로브 팁을 제작 후 기계적/전기적 특성을 평가하였다.

2. 프로브 팁의 구조설계 및 제작[1]

2.1 프로브 팁의 구조

본 연구에서 설계하고자 하는 것은 C4소자 등과 같이 2차원 배열의 패드형태를 갖는 반도체 칩을 검사할 수 있는 수직형 프로브 카드의 프로브 팁으로 단위 프로브가 차지하는 면적이 가로/세로 130 μm X 130 μm 이내이며, 반도체 패드와 접촉 시 패드의 자연 산화막(native oxide film)을 뚫을 수 있는 5gf 이상의 접촉반력, 반도체 패드와 프로브의 간의 단차에 대응하기 위한 30 μm 이상의 스프링 구동변위(over drive, O.D)를 갖는 MEMS 기술로 제작 가능한 구조로 제한하였다.

이러한 조건을 만족시키기 위해 Fig. 1과 같이 지그재그(zigzag)형으로 여러 번 꺾인 구조를 제안하고, 반도체 패드와 접촉 시 스프링에 가해지는 수축방향의 하중에 대한 응력을 여러 번 분산시켜 패드와 프로브 간의 단차에 대응하기 위한 충분한 스프링 변위를 얻기 위한 구조와 스프링

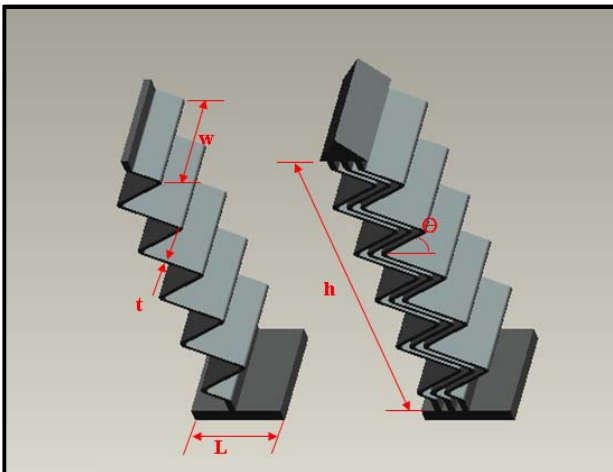


Fig. 1 Schematic diagram of experimental models

Table 1 Design parameter of the probe tip

Model No.	t [μm]	No. of spring	No. of layers
1	5	1	15
2	5	1	20
3	5	3	15
4	5	3	20
5	10	1	15
6	10	1	20
7	10	3	15
8	10	3	20

의 최대변위는 그대로 유지하면서 스프링의 강성을 증가시킬 수 있도록 여러 개의 스프링이 병렬로 연결된 구조를 선정하였다.

이러한 구조의 스프링 거동과 같은 기계적 특성에 크게 영향을 미칠 것으로 생각되는 스프링의 두께(t), 높이(h), 지그재그로 꺾인 범의 층수(No. of Layer), 그리고 병렬로 연결된 스프링의 개수(No. of Spring)를 설계변수로 두었다.

여기에 스프링이 차지하는 면적이 되는 폭 L과 w는 130 μm 로 제한하고, 스프링의 꺾인 각(θ)은 해석결과가 약 35°이하에서 최대응력과 최대변위에 큰 영향을 미치지 않으므로, 해석을 단순화하기 위해 20°로 고정하였다.

Table 1은 주요 설계변수의 수준(level) 설정값과 이에 대한 모델의 번호를 나타낸다. 3가지의 주요 설계변수에 각각 2가지의 수준을 선정하여, 총 8가지 모델에 대한 유한요소해석을 수행하고, 설계변수에 변화에 따른 스프링 거동 양상을 예측하여, 설계변수가 결과에 미치는 영향을 분석하였다.

2.2 재료선정 및 물성시험

니켈-코발트(Nickel-Cobalt) 합금은 주로 장식용 목적으로 전기도금하여 사용되고 있으며, 또한 내마모성, 내구성과 같은 기계적 성질 및 전기전도성, 저항성 등과 같은 전기적 성질이 우수하여 반도체 검사용 미세 프로브로 많이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 반도체 검사용 프로브로 사용가능한 MEMS 스프링의 재료를 니켈-코발트 합금으로 선정하였고, 전기도금된 니켈-코

Table 2 Results of the nano-indentation

Thickness	5 μm	5 μm	10 μm	10 μm	20 μm
Compensation	before	after	before	after	before
Young's Modulus[GPa]	205	202	217	212	211
Hardness[GPa]	6.6	6.5	7.2	6.9	6.9

발트 합금재료의 시편을 제작하고, 이에 대한 물성시험을 수행하여 그 결과를 구조설계에 활용하였다.

설계하고자 하는 수직형 MEMS 프로브 크기는 마이크로 단위이다. 마이크로 단위의 기계적 물성은 큰 물체(bulk)의 재료물성과는 다르다는 사실이 알려져 왔다. 따라서, 신뢰성 있는 MEMS 스프링의 구조설계를 위해 재료의 기계적 특성을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 기존의 연구에 의해 알려진 니켈-코발트 합금의 기계물성치를 바로 활용하지 않고, 설계의 신뢰성을 높이기 위해 직접 재료의 시편을 제작하여 물성시험을 수행한 후, 이 실험의 결과를 구조설계에 활용하였다. 마이크로 및 나노 박막재료 탄성계수 측정의 대표적인 방법인 나노압입시험법을 활용하여 구조설계에 필요한 도금된 니켈-코발트 합금의 재료물성을 측정하였다.

5 μm , 10 μm , 20 μm 의 두께(t)를 가지는 세 종류의 니켈-코발트 합금 시편에 대해 각각 16회의 압입시험을 수행하였고, 압입시험 방법은 시편의 압입된 정도가 2 μm 에 이를 때까지 하중을 가하여 수행하였으며, 취득한 데이터 중 시험 상 오류가

없는 데이터만을 선별하여 결과를 정리하였다.

Table 2의 결과와 같이 시편을 약 2 μm 압입한 결과, 두께별로 탄성계수(Young's modulus)는 최소 202GPa에서 최대 217GPa, 경도(hardness)는 최소 6.6GPa에서 최대 7.2GPa까지 비슷한 값으로 나타났으나, 비교적 시편의 두께가 두꺼울수록 반복성이 좋게 나타났다.

실험에서 대상 시편의 압입시험을 전후하여 측정된 Fused silica의 물성에 근거하여 시편의 결과값을 보정한 결과, 평균 탄성계수 값은 약 210GPa이고, 경도는 약 6.7GPa이며, 5 μm 의 시편의 경우 10 μm , 20 μm 두께의 시편에 비해 탄성계수와 경도값이 각각 약 4.7%, 5.8% 정도 작은 값으로 나타났다.

2.3 스프링 거동예측 및 설계변수의 영향분석

스프링의 최하단을 완전구속하고 최상단에는 반도체 패드가 접촉했을 때를 가정하여 아랫방향으로 힘을 적용하여 계산을 수행하였다. 스프링 재료의 탄성계수는 210GPa, 항복응력은 1GPa로 가정하였으며, 재료가 완전소성(Perfectly plastic)거동을 한다고 가정하여 해석을 하였다.

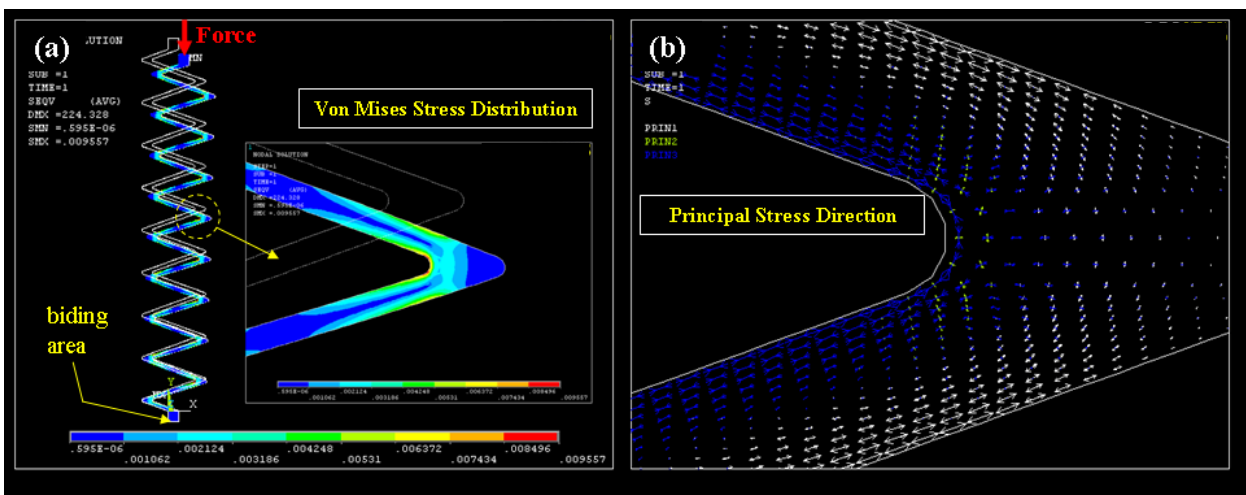


Fig. 2 FE Analysis results (a) Von Mises stress distribution (b) Principal stress distribution

Fig. 2는 유한요소해석 결과이며, Fig. 2(a)는 스프링의 폰미세스응력(Von mises stress) 분포도를 나타내고, Fig. 2(b)는 주응력(principal stress)의 분포와 방향을 나타낸다. Fig. 2(a)에서와 같이 최대응력은 빔의 꺾인 부위 안쪽 모서리에 집중이 된다는 것을 확인하였으며, 또한 Fig. 2(b)의 결과에서 모서리 원호의 평행한 방향으로서는 압축응력이, 수직한 방향으로서는 인장응력이 함께 작용한다는 것을 확인하였다. 따라서, 꺾인 부위의 라운딩 처리도 응력집중이나 파손 양상에 다소 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있다.

유한요소법을 통한 계산결과는 다음과 같은 식 (1)을 통해 쉽게 스프링의 특성을 구할 수 있다.

$$F = k \cdot d = C_{stress} \cdot \sigma_{max} \quad (1)$$

(when, $\sigma_{max} \leq \sigma_{yield}$)

스프링의 두께(t)가 두꺼워 질수록, 그리고 병렬로 연결된 스프링의 개수가 증가 할수록 스프링 최대반력이 증가한다. 두께 t가 5 μ m에서 10 μ m로 증가할 때 최대반력은 평균 3.0배 증가 하였고, 병렬로 연결된 스프링의 개수가 1개에서 3개로 늘어났을 때 최대반력은 평균 3.4배 증가 하였다. 지그재그로 꺾인 빔의 층수가 증가할수록 최대변위가 증가하였으며 최대반력에는 영향을 주지 않았다. 빔의 층수가 15층에서 20층으로 증가할 경우 최대변위는 평균 1.3배 증가함을 보였다. 세 가지 설계변수(t, No. of Spring, No. of layer)들은 각각 최종결과에 독립적으로 영향을 미치며 각 변수들 간의 상호작용(interaction)에 의한 영향은 없는 것으로 확인되었고, 하나의 스프링으로는 하중을 크게 하기 위한 조건과 변위를 크게 하기 위한 조건이 서로 상충되며, 이를 최대한 보완하기 위해 얇은 스프링 여러 개를 병렬로 연결함으로써, 스프링의 최대변위를 증가시키고 동시에 최대반력도 함께 늘일 수 있다는 것을 확인하였다.

2.4 MEMS 프로브 팁의 제작

설계된 수직형 MEMS 프로브의 기계적, 전기적 특성을 분석하고 프로브 카드로서의 활용 가능성을 검증하기 위한 시험모델을 제작하였다.

수직형 프로브의 제작은 MEMS 기술을 활용하여, 전기도금을 위한 주형의 형성과정과 프로브

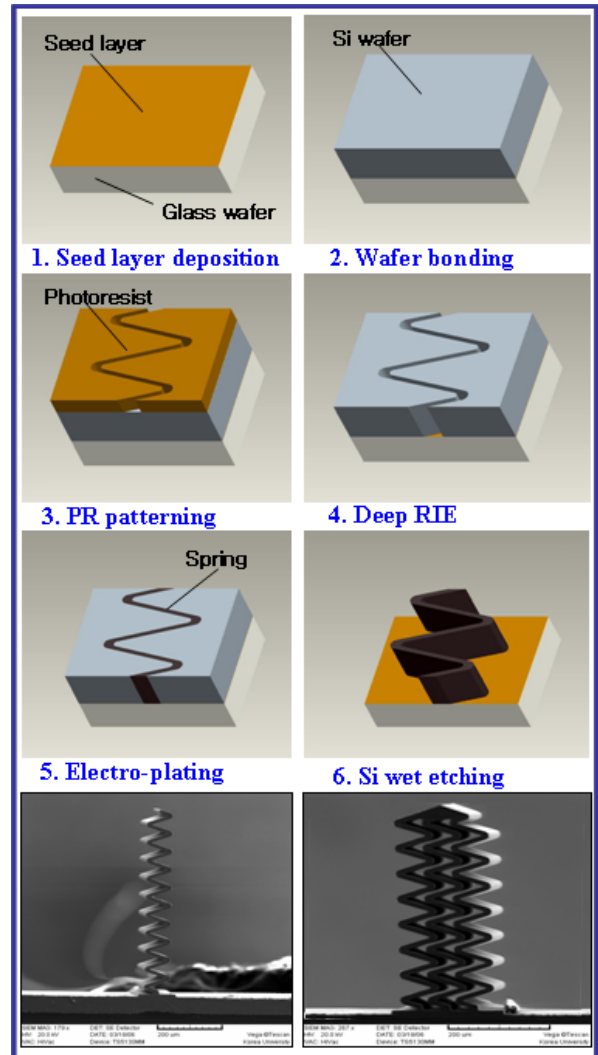


Fig. 3 Fabrication process of MEMS spring

의 완성과정으로 나뉜다. 먼저 전기도금을 위한 주형 형성과정에 사용된 공정은 금속증착(deposition), 웨이퍼 본딩(bonding), 그리고 웨이퍼 건식식각(etching)공정이며, 프로브 완성과정에 사용된 공정은 전기도금(electroplating)과 웨이퍼 습식식각공정이다. Fig. 3은 수직형 MEMS 프로브의 개략적인 전체 공정도를 나타낸다.

3. 프로브 팁의 특성평가[6]

3.1 기계적 특성

Fig. 4와 같이 여덟 가지 스프링 모델의 압축시험을 수행하였으며, 변위에 따른 접촉반력의 변화 값은 최대 약 10~40 μ m의 변위에 약 1~8 gr의 접촉반력을 가질 수 있는 것으로 확인되었다. 일

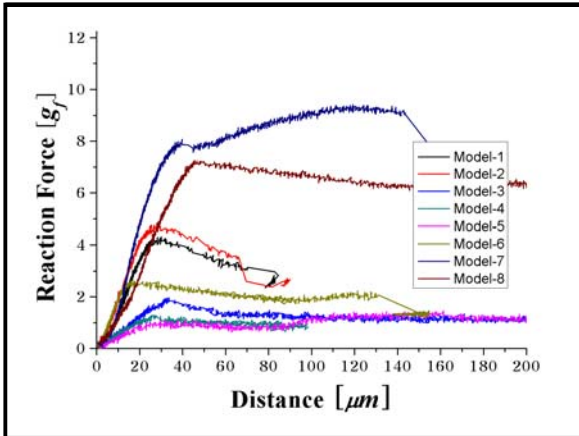


Fig. 4 Results of the compression test

부 모델은 실험결과와 시뮬레이션의 결과가 다소 차이를 보였는데, 그 이유는 이상적인 경계조건 (boundary condition)에서 선형해석을 통한 스프링의 거동과는 달리, 실제 시험에서는 접촉, 마찰이나 좌굴과 같은 비선형적인 거동이 많이 발생했기 때문으로 추측되며, 니켈-코발트 합금의 기계

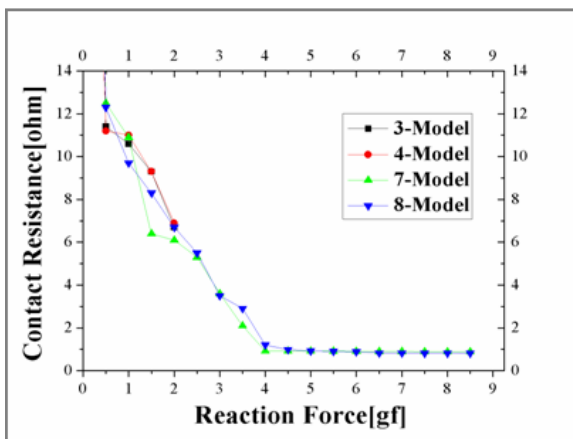
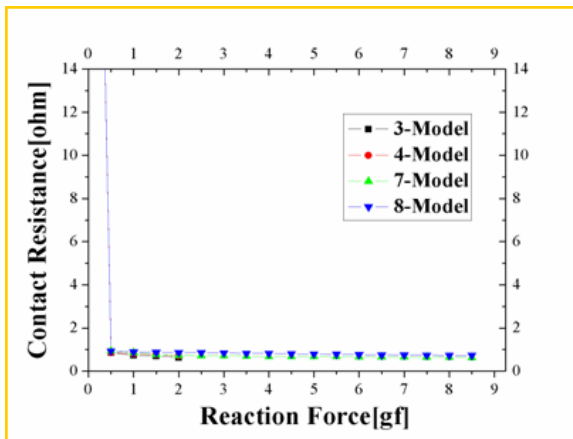


Fig. 5 Contact resistance between probe tip and Au(top), Al(bottom) pad

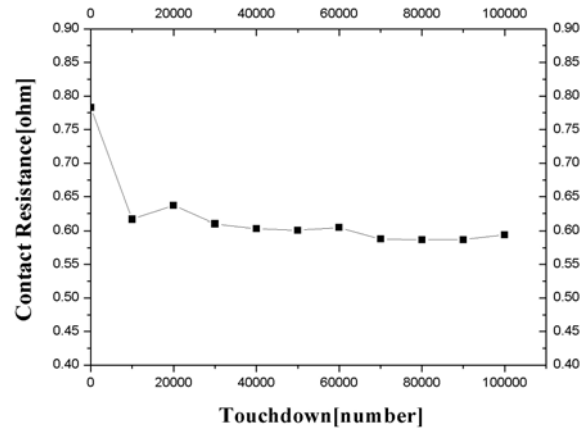


Fig. 6 Contact resistance variation of repeat test of Au pad

적 성질에서 전기도금으로 형성될 때 발생하는 내부응력(residual stress) 등에 의한 영향, 그리고 여러 공정을 거치는 동안 발생하는 구조물 형상 및 치수의 미세한 변화 등에 따른 오차가 그 요인인 것으로 추측된다. 따라서, 수직형 프로브에 요구되는 기계적 특성, 즉, 5 gf 이상의 접촉반력에 30 μm 이상의 최대구동변위(Over Drive)를 가져야 하는 설계목적을 만족함을 확인하였다.

3.2 전기적 특성

3.2.1 접촉저항 측정

탄성구간 영역 내에서 하중을 가하여 프로브 팁과 Au(gold), Al(aluminium)패드 사이의 접촉저항을 측정하였으며(Fig. 5), 4gf 이상의 하중에서 모두 1Ω이하의 값을 가지는 것을 확인하였다.

3.2.2 반복 동작시의 저항변화

반복시의 접촉저항은 팁의 마모나 불순물에 의해 발생하는 프로브 팁의 특성이므로 본 실험에서는 Au 패드를 사용하여 측정하였으며, 5gf의 하중조건에서 Fig. 6과 같이 100,000회 반복 동작을 통해 안정적으로 접촉저항이 1Ω이하로 일정함을 확인할 수 있었다.

3.2.2 RF 특성평가

프로브 팁과 패드간의 전기적인 특성을 평가하기 위하여 Network Analyzer(Agilent 8722ES)를 이용하여 S_{21} (dB)을 측정한 결과를 Fig. 7에 나타내었고, Fig. 7(A)는 RF특성을 평가하기 위한 측정 지그를 나타내며, Au패드에 프로브를 접촉시켜

후 기

본 연구는 과학기술부의 핵심연구개발사업의 “MEMS 액추에이터 신뢰성설계기술” 과제로부터 연구비를 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 관계 부처에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) JW. RYU, JH. KIM, SI. CHU, SH. LEE and S. MOON, 2006, "Fabrication and Mechanical Characterization of Micro Electro Mechanical System Based Vertical Probe Tips for Micro Pad Measurements", JJAP, Vol. 45, No. 12, pp. 9238~9243.
- (2) D. Keezer, 1992, "Bare die testing and MCM probing techniques", Proc. IEEE MCM Conf., pp. 20.
- (3) R. D. Bates, 1997, "The search for the universal probe card solution", International Test Conference, Washington, DC, USA, Nov. pp. 533~538.
- (4) K. Kataoka, T. Itoh, K. Inoue and T. Suga, 2004, "Multi-layer electroplated micro-spring array for MEMS probe card," MEMS 2004, 17th IEEE international Conference, pp. 733~736.
- (5) K. J. Kim, J. Y. Kim, S. H. Jeong, J. S. Kim and H. M. Lee, 2005, "Realization of vertical microprobe arrays for C4 application", 7th Korea MEMS Conference, April, pp. 381~384.
- (6) 이승훈, 김진혁, 추성일, 한동철, 문성욱, 2007, “수직형 MEMS 프로브 팁의 신뢰성 설계 및 전기적 특성평가”, 2007년도 한국신뢰성학회 및 대한기계학회 신뢰성부문 공동학술대회, pp. 52~56

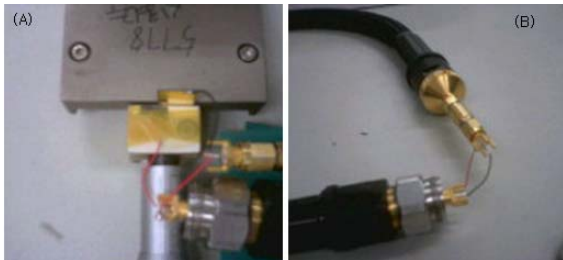
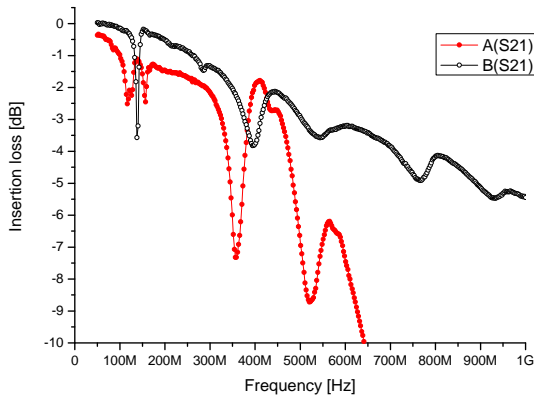


Fig. 7 Insertion loss and test fixture

삽입손실(IR, insertion loss)을 측정하여 약 300MHz 정도에서 -3dB 특성을 가지는 것을 확인하였으며, 이는 예상보다 낮은 결과로 판단되어 Fig. 7(B)와 같이 사용된 케이블 만의 손실을 측정하여 케이블의 loss와 측정지그가 상당한 변수로 작용한다는 것을 확인하였고, 케이블과 지그의 특성을 감안하면 프로브 자체의 주파수 특성은 개선되어질 것으로 예상되며, 패드에 일정 하중이상을 가한 후에는 하중에 따른 고주파 특성 변화가 크지않아 접촉저항의 변화가 크지 않음에 기인한 결과로 사료된다.

4. 결 론

MEMS 부품의 신뢰성 설계를 위한 모델로 반도체 검사용 MEMS 프로브 팁을 선정하고, Ni-Co 재료를 선정하여, 물성을 테스트한 값을 설계에 반영하여 최적의 MEMS 구조물을 제작하였으며, 기계적, 전기적 특성 평가를 통해 프로브 카드에의 응용에 적용 가능성을 확인하였으며, 탄성구간 내에서의 100,000회 반복 동작을 통해 제작된 프로브 팁의 신뢰성을 확인하였다.