

절연절단법을 이용한 프로브 빔의 제작

홍표환¹ · 공대영¹ · 이동인^{1,2} · 김봉환³ · 조찬섭^{4,+} · 이종현¹

Fabrication of Probe Beam by Using Joule Heating and Fusing

Pyo-Hwan Hong¹, Dae-Young Kong¹, Dong-In Lee^{1,2}, Bonghwan Kim³, Chan-Seob Cho^{4,+}, and Jong-Hyun Lee¹

Abstract

In this paper, we developed a beam of MEMS probe card using a BeCu sheet. Silicon wafer thickness of 400 μm was fabricated by using deep reactive ion etching (RIE) process. After forming through silicon via (TSV), the silicon wafer was bonded with BeCu sheet by soldering process. We made BeCu beam stress-free owing to removing internal stress by using joule heating. BeCu beam was fused by using joule heating caused by high current. The fabricated BeCu beam measured length of 1.75 mm and width of 0.44 mm, and thickness of 15 μm . We measured fusing current as a function of the cutting planes. Maximum current was 5.98 A at cutting plane of 150 μm^2 . The proposed low-cost and simple fabrication process is applicable for producing MEMS probe beam.

Keywords : BeCu, Fusing, Joule heating, Probe card

1. 서론

일반적으로, 프로브 카드는 기존 방식인 바늘처럼 미세하게 만들어진 텅스텐 와이어를 이용해 끝단을 구부려 수평으로 적층하는 방식의 수평형 프로브카드[1]와 텅스텐 와이어를 수직으로 배열하는 수직형 프로브카드[2], 그리고 현재 주류를 이루고 있는 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)공정을 이용하여 프로브 빔을 제작하는 방식의 MEMS 프로브 카드[3, 4]로 구분할 수 있다. 하지만 수평형 프로브 카드는 공간의 제약을 받아 단락(short)과 미

세누설전류(leakage current)가 발생하기 쉽고[5] 수직형 프로브 카드는 고주파 테스트와 미세누설 전류의 문제점을 최소화 하였지만, 고밀도 테스트를 위해 프로브 니들의 간격이 축소되면서 수직형 텅스텐 와이어들의 버클링(buckling)현상으로 인해 밴딩된 부분에서 뒤틀림 현상이 발생한다. 이러한 현상들로 인해서 인접 프로브 니들과 단락이 발생하는 문제점이 있다[4]. 따라서 프로브 카드 제작시 반도체 일괄공정으로 패드의 복잡성에 대응이 가능하고, 프로브 빔을 다양하고 작게 제작이 가능한 MEMS 프로브 어레이의 개발에 관한 연구가 진행되고 있다. 그러나 기존의 MEMS 프로브 카드는 복잡한 제작 공정과 제작비용이 많이 드는 문제점이 있다. 본 논문에서는 기존의 MEMS 프로브 카드의 복잡한 제작 공정을 최소화 하고, 저비용으로 제작이 가능하도록 BeCu 박판을 이용해 절연절단방식의 프로브 빔을 개발하였다. 본 논문에서 제안된 프로브 어레이는 간단한 마스크 만으로도 다양한 형태의 프로브 빔을 제작할 수 있을 뿐 아니라, 추가적으로 팁을 제작할 필요가 없으며, 절연절단법을 이용하여 일괄적으로 프로브 빔을 제작할 수 있다. 또한 비하 홀(via hole)내에 전도성 물질을 채우기 위해 일반적으로 사용하는 도금방식을 솔더링 공정으로 대체하여 공정비용 감소효과를 가져올 수 있다.

¹경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

702-701, Kyungpook National University, Sangyeok 3-dong, Buk-gu, Daegu, Korea

²(우)엠투랩(M2lab)

702-010, M2lab, Sangyeok-dong, Buk-gu, Daegu, Korea

³대구가톨릭대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Catholic University Daegu)

712-702, Daegu Catholic University, Geumnak-ri, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk, Korea

⁴경북대학교 산업전자전기공학부(School of Electrical Engineering, Kyungpook National University)

742-711, Kyungpook National Univ. Sangju Campus, Gajang-dong, Sangju-si, Gyeongbuk, Korea

+Corresponding author: choes@knu.ac.kr

(Received : Dec. 6, 2012, Revised : Jan. 21, 2013, Accepted : Jan. 21, 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.

2. 연구 방법

2.1 소재선정 및 특성

본 논문에서 프로브 빔 제작에 사용한 재료는 BeCu 박판 (C17200 1/2HT, Brush Wellman)이다. 박판의 두께는 15 μm 이고, 600 ° F에서 2시간 열처리와 냉간압력가공(cold-work hardening)을 통하여 강화되었다. 전기전도도가 매우 높고, 연성과 응력완화에 우수한 특성을 보이며, 베릴륨을 첨가해 강도와 탄성, 경도가 높은 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인하여 프로브 빔의 소재로 널리 사용되고 있다. Table 1은 BeCu 박판의 물성을 나타낸다[6].

Table 1. Material properties of BeCu sheet

Properties	Values	Properties	Values
Composition	$\text{Cu}_{98}\text{Be}_{1.8}\text{Co}_{0.2}$	Hardness(DPH)	373-435
Density(ρ)	8.36g/cm^3	Resistivity	$78.18 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$
Young's modulus(E)	13.5kg/mm^2	Specific heatcapacity(c)	$0.38\text{J/g}^\circ\text{C}$
Yield strength	112-138 kg/mm^2	Melting temperature(T_m)	1080°C
Tensile strength	130-152 kg/mm^2	Electrical conductivity(σ)	$59.6 \times 10^6 \text{ S/m}$
Heat of fusion*(H_f)	$130\text{W} \cdot \text{s/g}$	Thermal conductivity*(k)	$401\text{W/m}^\circ\text{C}$

*는 Cu(copper)의 물성을 나타낸다.

2. 2 프로브 빔의 제작

실험에 사용된 웨이퍼는 두께 400 μm 의 6인치 P-type 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 프로브 빔은 실리콘 기판과 BeCu 박판, 솔더 페이스트를($\text{Sn}_{36.5}\text{Ag}_3\text{Cu}_{0.5}$) 사용하여 제작되었다.

Fig. 1에 프로브 빔의 제작 공정 순서를 나타내었다. 프로브 빔의 설계는 어레이 형태로 설계를 하였다. 먼저 BeCu 박판에 사진식각 공정(photolithography)을 통해 PR (Photo Resist)로 마스크를 하고, BeCu 박판을 염화제이철(ferric chloride, FeCl_3)용액을 사용하여 마스크 되지 않은 부분을 식각함으로써 빔 형태를 완성하였다(Fig. 1-a). 이어서 두께 400 μm 의 실리콘 wafer에 DRIE (Deep Reactive Ion Etching)공정을 이용해 비하 홀(Via hole)을 생성하였다(Fig. 1-b). Fig. 1-b와 같이 준비된 wafer에 솔더페이스트를 스크린프린팅 공정을 통하여 채운 후 Fig. 1-a 상태의 BeCu 빔을 부착했다. BeCu빔이 부착된 상태에서 RTP (Rapid Thermal Process)장비를 이용하여 3분간 열처리 공정을 진행하였다(Fig. 1-c). Fig. 2는 실험에 사용한 RTP장비의 온도 프로파일이다. 이 온도 프로파일은 RTP를 10분간 작동하고 10분 이후에는 자연냉각 시킨 그래프이다. 그리고 BeCu 박판을 구부린 상태에서 1 A의 전류를 일정 시간 동안 인가하고 응력을 제거하여 stress-free 형태의 빔을 형성했다(Fig. 1-d). 마지막으로 높은 전류를 인가하여 BeCu

박판을 용융 절단함으로써 빔 형태를 완성하였다. Fig. 3은 Fig. 1-a 과정을 거친 BeCu 박판의 현미경 사진과 최종적으로 완성된 프로브 빔을 주사전자현미경(scanning electron microscope)을 이용하여 촬영한 사진이다.

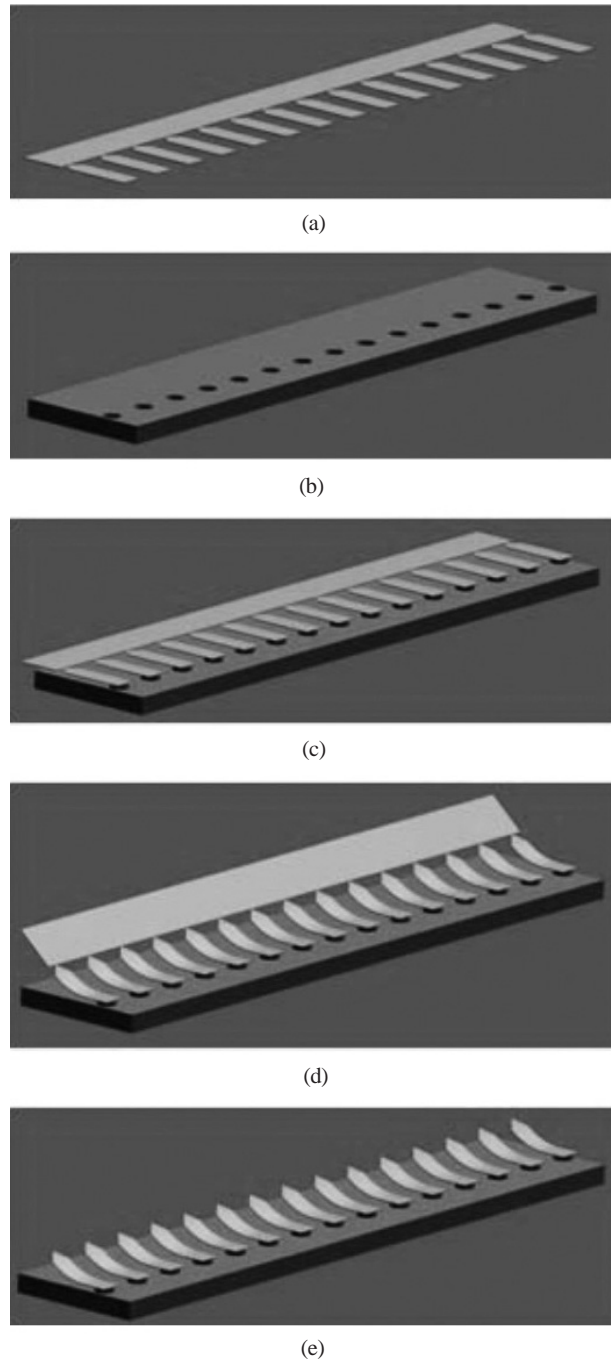


Fig.1. Process flow of probe beam; (a) BeCu beam, (b) Through silicon via process, (c) Bonding BeCu beam with silicon, (d) Stress free process, (e) Fusing of BeCu beam.

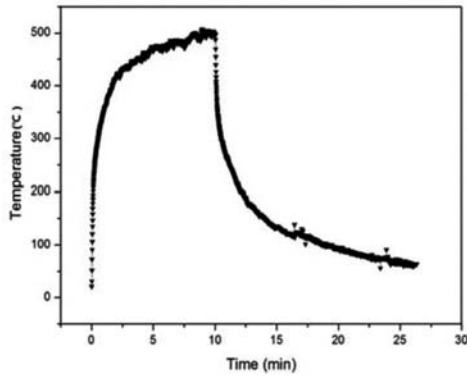


Fig. 2. Temperature profile of RTP.

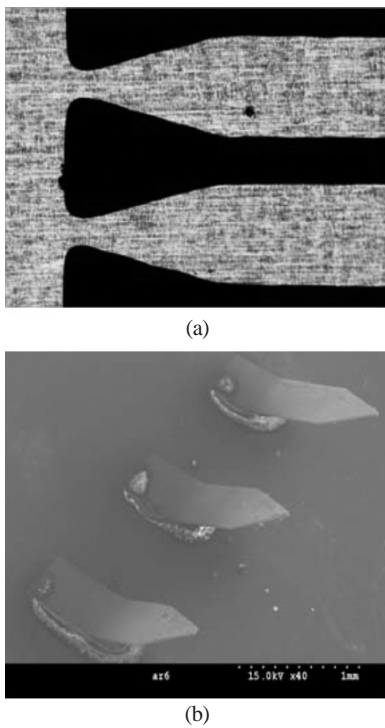


Fig. 3. Optical images of etched BeCu beam(a) and fabricated probe beam(b).

3. 결과 및 고찰

3.1 퓨즈의 용융 절단 평가

본 논문에서는 BeCu 박판의 용융절단 과정에 필요한 용융절단 전류(fusing current)와 절단부의 단면적에 따른 절단면의 변화를 관찰하기 위한 실험을 하였다. 실험에 앞서 용융절단전류의 특성을 예측하기 위해 우선적으로 퓨즈(5×20 mm fast-acting glass tube fuses GMA series Bussman)를 사용하여 용융절단전류의 특성을 예측했다. 퓨즈에 명시된 허용전류 크기에 따라 분류를 하

였으며, 실제 퓨즈의 단면적을 확인하기 위해 주사전자현미경(scanning electron microscope)을 사용하여 단면적을 확인했다. 퓨즈에 명시된 허용전류의 크기는 200 mA, 300 mA, 500 mA, 800 mA이고 측정된 단면의 지름은 각각 27.58 µm, 31.68 µm, 50.88 µm, 76.43 µm이었다. 허용전류의 값이 높아질수록 단면적의 크기가 커짐을 알 수 있다. 도선에 고전류가 흐르면 도선은 줄열이 발생하고 그로 인해 용융절단된다[6, 7]. Fig. 4는 퓨즈의 허용전류에 따른 단면의 지름의 변화에 대한 그래프이다. 허용전류 값이 증가 할수록 단면의 지름이 증가하는 것을 표시하였다. Fig. 5는 허용전류가 200 mA인 퓨즈에 인가한 전류를 점차적으로 증가 시켰을 때 시간에 따른 변화량을 측정한 그래프이다. 최대 전류값 즉, 용융절단전류값이 345 mA으로 측정되었다. 시간이 지남에 따라 퓨즈에 흐르는 전류도 선형적으로 증가하다가, 용융절단이 되면서 퓨즈에 흐르는 전류는 차단 된다. Fig. 6은 퓨즈에 명시된 허용전류 크기에 따라 저항값과 실제 용융절단전류를 측정한 값을 나타내는 그래프이다. 측정된 전류값은 전류가 차단되기 직전에 측정된 값(I_{max})이다.

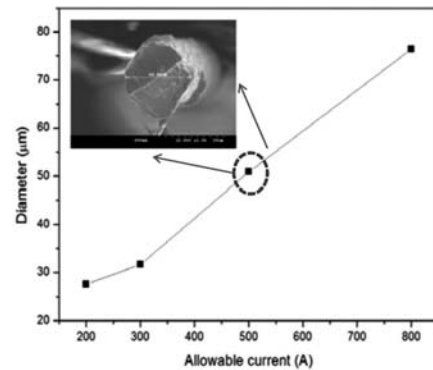


Fig. 4. Changes in diameter of fuse's cross-section under applied current to fuse.

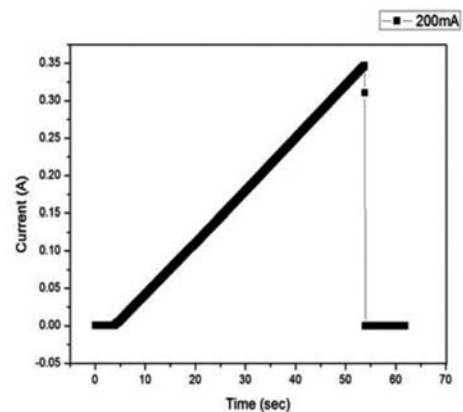


Fig. 5. Changes in applied current to fuse under time.

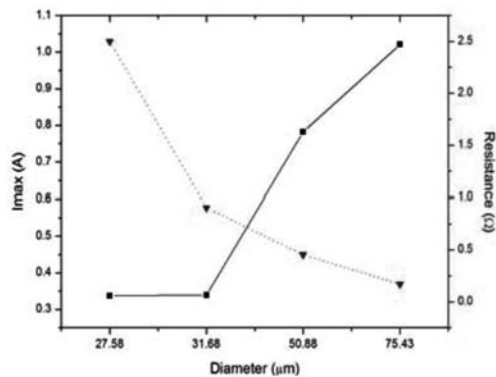


Fig. 6. Fusing current and resistance under diameter of cutting plate.

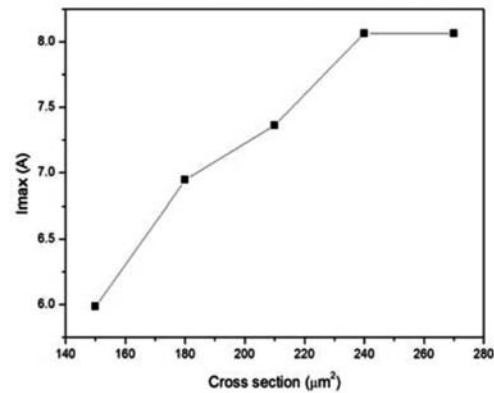


Fig. 7. Changes of fusing current under cross-sections.

도선의 전기저항과 용융 절단전류는 식(1)과 식(2)에 의해 결정된다. 식(1)은 도선의 전기저항을 결정하며, 식(2)는 도선을 용융절단 하는데 필요한 전류와 시간관계 식이다[8-9]. 퓨즈는 허용전류 값이 클수록 저항이 낮으며, 단면적이 크다. 식(1)에 의해 단면적이 클수록 도선의 저항은 낮아진다. 용융 절단 전류는 식(2)에 의해 결정이 되는데 마찬가지로 단면적의 증가로 인해 요구되는 전류값이 증가함을 확인 할 수 있다.

$$R = \frac{1}{\sigma_0 A} [1 + \alpha(T - T_0)] \tag{1}$$

$$I_f^2 t_f = A^2 \sigma \rho [c(T_m - T_0) + H_f] + \frac{8k}{l^2} A^2 \sigma (T_m - T_0) T_f \tag{2}$$

- R : resistance, σ_0 : electrical conductivity,
- α : temperature coefficient,
- T_0 : reference temperature, ρ : resistivity,
- l : length, A : cross-section,
- I_f : fusing current, T_f : fusing time,
- H_f : melting heat, T_m : melting point,
- k : thermal conductivity

3.2 BeCu 박판의 용융 절단 평가

본 논문에서 제안하는 BeCu 빔에 대한 설계는 두께 15 μm, 폭 0.5 mm, 길이 1.7 mm로 설계되었다. 퓨즈와 동일하게 단면적이 증가 할수록 용융절단 전류가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 단면적이 150 μm²일 때 5.98 A의 용융절단전류가 요구됨을 확인하였다. 단면적이 작을수록 낮은 용융절단전류를 얻을 수 있지만 handling 어렵고 over-etching의 문제점이 있다. Fig. 7은 BeCu 빔의 절단부의 단면적 증가에 따른 용융절단 전류의 변화 그래프이다.

단면적이 증가 함에 따라 도선에 흐르는 전류가 증가해야 용융절단이 됨을 확인 할 수 있다. Fig. 8은 단면적이 150 μm²인 BeCu 박판에 전류를 점차적으로 인가하여 시간에 따라 변화하는 전류값을 측정 한 그래프이다. 최대전류가 6.94 A일 때 BeCu 박판이 절단되어 전류가 차단되었다.

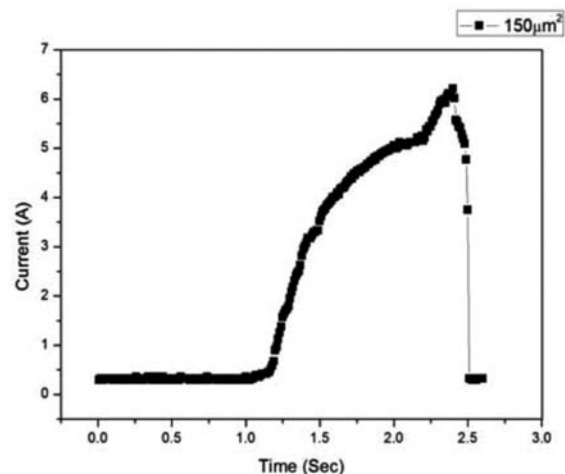


Fig. 8. Changes of fusing current under cross-sections.

Fig. 9는 절단부의 단면적에 따른 빔의 용융절단 후 사진이다. 절단부의 면적이 넓을수록 전류가 한곳에 집중되지 못하고 고루 분포되기 때문에 BeCu 박판이 더 많이 녹아 드는 것을 확인 할 수 있다. 결론적으로, 절단부의 단면적은 작게 설계하는 것이 바람직 하며, 본 논문에서는 단면적이 150 μm²인 절단부를 설계하였을 때 가장 우수한 빔을 제작할 수 있었다.

3.3 BeCu 빔의 기계적 특성

제작된 프로브 빔의 기계적인 특성은 간이 force 측정장비(윌텍)를 사용하여 변위(deflection)를 측정하였다. 프로브 빔의 변위는

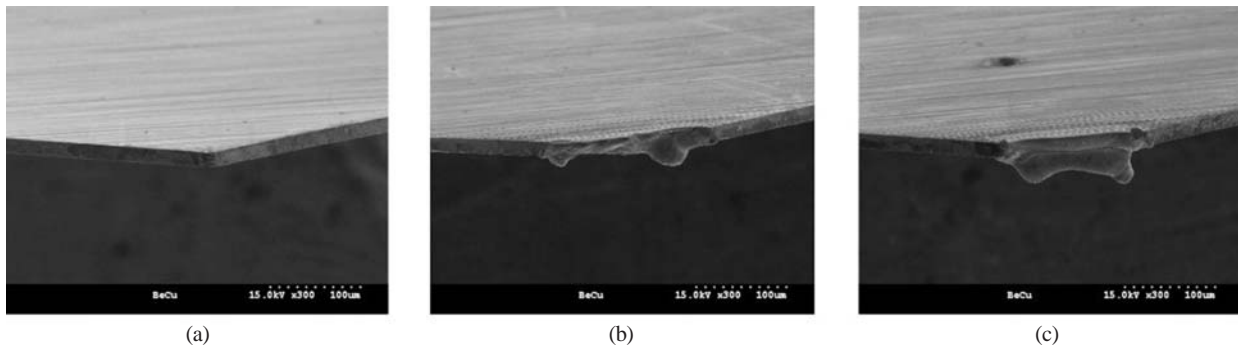


Fig. 9. Measured cutting planes of probe beam under diameters of cross-section. (a)150 μm^2 , (b)180 μm^2 , (c)210 μm^2

250 μm (약 2.5 gf) 이내의 탄성한계를 가지는 것을 확인 하였다. 그리고 반도체 매개변수 분석기(agilent 4156C semiconductor parameter analyzer, Agilent Technologies)를 사용하여 저항특성을 확인 하였다. Fig. 10은 프로브 빔의 끝 부분과 실리콘 비하 홀 사이의 측정된 신호경로 저항 수치를 나타낸다. 빔의 변위가 100 μm 이상에서부터 급격하게 감소함을 확인 할 수 있다. 변위가 100 μm 이하 구간에서는 표면의 산화막이 전기적 연결을 방해하여 전기적 연결이 불량한 상태이며, 변위가 100 μm 이상부터 산화막을 뚫고 전기적 연결이 되는 것으로 확인된다. 이로써 제작된 프로브 빔의 동작 범위는 100 ~ 250 μm 정도가 됨을 확인하였다.

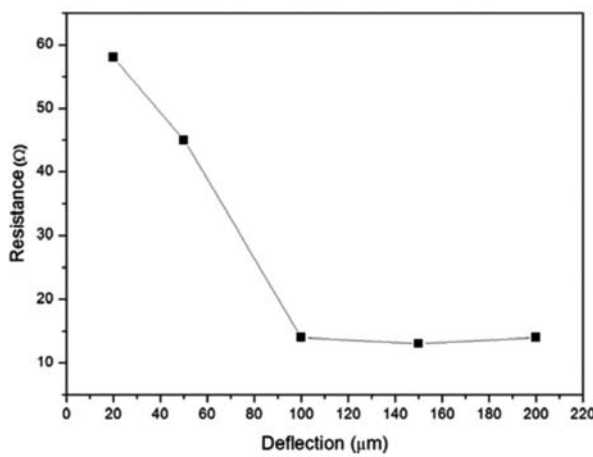


Fig. 10. Signal path resistance measurement results.

4. 결론

본 논문에서는 BeCu 박판을 이용하여 프로브 빔을 제작하였다. 제작공정은 TSV형성 공정과 Soldering공정을 이용하여 전극형성과 접합공정을 진행하고, 전류를 인가하여 구부러진 형태의 형상을 제작한 후, 용융절단을 하여 프로브 팁의 형태를 완성하였다. 절연절단공정을 분석 하기 위해 사전에 퓨즈를 이용한 실험을 진행하였

으며, BeCu 박판을 이용하여 우수한 설계 조건을 찾는 과정을 거쳤다. 제작된 프로브 빔의 길이는 1.7 mm, 폭은 0.5 mm 이다. 절단부의 단면적이 150 μm^2 일 때 최소 용융절단전류값 5.98 A가 측정되었다. 또한, 절단부의 면적이 150 μm^2 일 때 절단면의 상태가 가장 좋은 것으로 확인 되었다. 프로브 빔의 동작 범위는 100 ~ 250 μm 로 확인 되었다. 이로써, 절연절단방식의 제작공정을 이용하여 저비용, 고성능, 높은 생산성의 장점을 갖는 프로브 빔의 제작방법과 성능을 평가하였다. 완성된 프로브 빔은 적은 마스크 설계와 간단한 제작공정만으로 구현이 가능하다. 그리고 비하 홀에 전도성 물질을 채우는 도금공정을 솔더링 공정으로 대체함으로써 저비용과 단시간에 TSV 구조를 제작할 수 있으며, 절연절단방식을 사용하여 다량의 프로브 어레이를 한번에 제작 할 수 있다. 이러한 장점으로 MEMS 프로브 카드 분야에 적용할 경우에, 제작 기간의 단축과 저비용으로 프로브카드 제작이 가능할 것으로 기대 된다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- [1] T. Tada, R. Takagi, S. Nakao, M. Hyozo, T. Arakawa, K. Sawada, and M. Ueda, "A fine pitch probe technology for VLSI wafer testing", *IEEE ITC*, pp. 900-906, 1990.
- [2] S. Sasho and T. Sakata, "Four multi probing test for 16bit DAC with vertical contact probecard", *IEEE ITC*, pp. 86-91, 1996.
- [3] Y.-M. Kim, H.-C. Yoon, and J.-H. Lee, "Silicon micro-probe card using porous silicon micro

- machining technology”, *ETRI Journal*, Vol. 27, No. 4, pp. 433-438, 2005.
- [4] B. Leslie and F. Matta, “Membrane probe card technology”, *IEEE ITC*, New Frontiers in Testing, pp. 601-607, 1988.
- [5] C. H. Min, “Fabrication of vertical type probe card and MEMS probe card for wafer level chiptest”, Master's Degree Thesis, Catholic University of Korea, Aug. 2007.
- [6] Brush Wellman's “Connector Design Guide”, accessed from www.brushwellman.com, 2011.
- [7] E. Loh, “Physical analyses of data on fused-open bond wires”, *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, Vol. 6, No. 2, pp. 209-217, 1983.
- [8] E. Loh, “Heat transfer of fine-wire fuse”, *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, Vol. 7, No. 3, pp. 264-267, 1984.
- [9] A. Mertol, “Estimation of aluminum and gold bond wire fusing current and fusing time”, *IEEE trans. Components, packaging, Manuf. Technol. Part B.*, Vol. 18, pp. 210-214, 1995.