

미세 피치를 갖는 MEMS 프로브 팁의 설계 및 기계적 특성 평가

하석재¹, 김동우^{1*}, 신봉철¹, 조명우², 한청수³
¹인하대학교 기계공학과, ²인하대학교 기계공학부, ³(주) 세디콘

Assessment of Design and Mechanical Characteristics of MEMS Probe Tip with Fine Pitch

Seok-Jae Ha¹, Dong-Woo Kim^{1*}, Bong-Cheol Shin¹, Myeong-Woo Cho²
and Chung-Soo Han³

¹Department of Mechanical Engineering, Inha University

²Division of Mechanical Engineering, Inha University

³Sedicon Corporation

요 약 프로브 카드는 반도체 제조 공정 전에 반도체 소자 및 필름의 기능과 성능을 검사하기 위한 테스트 장비이다. 반도체 산업의 급속한 기술 발전과 반도체 소자의 고집적화로 인하여 반도체 소자의 패드 간격과 패드의 수가 증가하고 있다. 따라서 반도체 소자의 크기 및 배열의 형태가 계속 축소됨에 따라 미세 피치를 갖고 검사용 핀의 수가 많은 프로브 카드가 필요하다. 본 논문에서는 수직형 프로브 카드의 적용을 위하여 MEMS 기술을 이용한 프로브 팁을 개발하였다. 프로브 팁의 설계를 위해서 유한요소해석을 이용하여 프로브 팁의 구조 및 기계적 특성에 대한 구조설계를 수행하였다. 또한 구조 설계를 적용한 프로브 팁을 제작하여 유한요소해석의 결과와 실제 시험을 통한 접촉력의 평가를 수행하였다. 이에 따라 피치 간격이 약 50 μ m 이하의 프로브 카드를 제작하였다.

Abstract The probe card are test modules which are to classify the good semiconductor chips and thin film before the packaging process. In the rapid growth a technology of semiconductor, the number of pads per unit area is increasing and pad arrays are becoming irregular. Therefore, the technology of probe card needs narrow width and lots of probe tip. In this paper, the probe tip based on the MEMS(Micro Electro Mechanical System)technology was developed a new MEMS probe tip for vertical probe card applications. For the structural designs of probe tip were performed to mechanical characteristics and structural analysis using FEM(Finite Element Method). Also, the contact force of MEMS probe tip compared with FEM results and experimental results. Finally, the MEMS probe card was developed a fine pitch smaller than 50 μ m.

Key Words : Probe Card, Finite Element Analysis, MEMS(Micro Electro Mechanical System), Contact force

1. 서론

반도체 산업은 최근 IT산업의 발전으로 인한 컴퓨터, 휴대폰, 생활가전, 자동차 등 다양한 산업에서 큰 수요를 얻고 있다. 그 중 반도체 장치 산업은 반도체 칩 제조 산업에 있어 중요한 부분을 차지하고 있는데, 반도체가 제품에 장착되기 전에 본래의 기능을 제대로 수행할 것인지

에 대한 사전 평가를 하는 장비는 매우 중요한 부분이다. 반도체 검사 장치 중 프로브 카드(probe card)는 반도체 웨이퍼(wafer)의 완성 후, 절단 전 반도체의 기능과 성능을 검사하기 위하여 PCB(Printed Circuit Board)위에 미세 팁(tip)을 고정시키고, 웨이퍼 패드(pad)에 접촉시킨 후 프로브 스테이션(probe station)의 전기적 신호를 받아 반도체 칩으로 전해주는 검사 장치로 반도체 소자의 정상 유

본 논문은 산학협동재단 2008 학술연구비 지원사업 일환으로 수행되었음.

*교신저자 : 김동우(gemini25@lycos.co.kr)

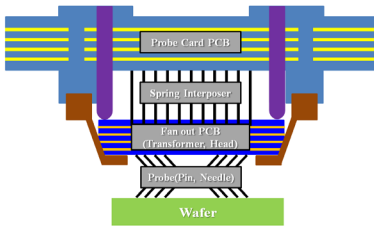
접수일 10년 03월 17일

수정일 (1차 10년 04월 02일, 2차 10년 04월 08일)

계재확정일 10년 04월 09일

무를 확인하는 테스트 장비 중의 하나이다. 최근 반도체 소자 및 디스플레이의 고집적화로 인하여 반도체 칩의 I/O 패드간격(pitch)은 계속 축소되고 있으며, 단일칩 시스템(System On Chip, SOC)의 개발진행에 따라 그 복잡성을 수용할 수 있는 프로빙(probing)기술 개발이 요구되고 있다. 이에 따라 Rucker와 Kolls가 1960년대 제안한 니들형(needle type) 또는 캔틸레버형(cantilever type) 프로브 팁에서 버티컬형(vertical type) 또는 MEMS 기술을 이용한 프로브 카드를 개발하는 연구들이 진행되고 있다[1-3].

일반적인 프로브 카드의 구조는 그림 1에서와 같이 전기적인 신호를 패널 및 반도체 소자패턴(pattern)상에 인가하여 주는 프로브 팁, 프로브 카드 PCB, 스페이스 트랜스포머(space transformer), 인터포저(interposer), 금속소자(connector)들로 이루어져 있다[4]. 프로브 카드의 구성 및 기능은 먼저, 프로브 카드 PCB는 신호 분배역할을 하고 그 아래 인터포저는 스프링 타입으로 프로브 카드 PCB와 스페이스 트랜스포머를 연결시켜 준다. 세라믹 재질로 된 스페이스 트랜스포머는 프로브 팁의 위치를 유지해주고 프로브 카드 PCB에서 분배된 전기적 신호를 다시 재분배하여 프로브 팁을 통해 웨이퍼 패드 및 디스플레이 패널과 전기적인 접촉(contact)역할을 한다.



[그림 1] 프로브 카드의 개략적 구성도

본 논문에서는 니켈-코발트 합금(nickel-cobalt alloy)을 사용하여 신속하게 제작이 가능하고 기존의 제품보다 작은 미세 피치(약 50 μm 이하)에 대응할 수 있는 초소형 MEMS 프로브 팁과 기존의 스페이스 트랜스포머와 인터포저의 기능을 개선한 프로브 팁을 지지하는 새로운 인터포저를 제안하고, 다양한 형상 및 설계 요소를 고려하여 몇 가지 모델의 MEMS 프로브 팁을 설계 및 제작하여 각 설계 모델에 따른 기계적 특성을 평가하였다.

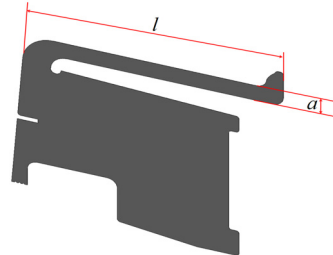
이러한 미세 피치를 갖는 프로브 팁을 사용하여 COF(Chip On Film)용 프로브 카드를 제작하였다. MEMS 프로브 팁의 설계 요소를 선정하기 위해 CAE(Computer Aided Engineering)기술을 활용하여 MEMS 프로브 팁 모델의 변형 및 응력해석을 통해 주요 설계 요소를 선정하였으며, 이를 바탕으로 MEMS 프로

브 팁의 형상 설계 및 제작/시험을 통하여 프로브 팁의 기계적 특성을 평가하였다.

2. MEMS Probe Tip의 설계 및 제작

2.1 MEMS Probe Tip의 구조 설계

반도체 소자 검사용 프로브 팁은 반도체 소자에 접촉하여 전기적 신호를 전달하기 위해 몇 가지 기계적 성능이 요구된다. 가장 중요한 특성은 반도체 소자 상단에 있는 자연 산화막을 침투하여 완벽히 접촉하기 위한 접촉력(contact force)과 프로브 팁의 전체가 동시에 반도체 소자와의 접촉이 가능하기 위한 접촉변위가 필요하다.



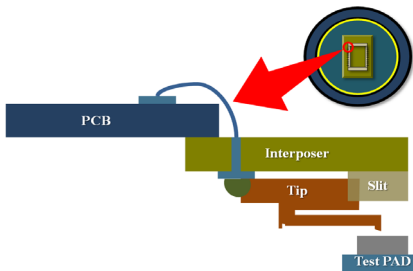
[그림 2] 수직형 프로브 팁의 설계

따라서 본 논문에서 제안한 MEMS 프로브 팁의 3차원 기본 모델은 그림 2와 같이 수직형 프로브 팁이다. MEMS 프로브 팁의 전체적인 형상은 현재 가장 많이 사용되고 있는 캔틸레버형의 구조를 가지고 있으며, 프로브 팁 길이의 하단부 및 안쪽 모서리부는 응력의 집중현상을 방지하기 위하여 라운드 형상을 유지하고 있다. 이러한 형상은 반도체 소자 및 디스플레이 패널과 접촉 시 팁 끝단에 가해지는 수직방향 하중에 대한 응력을 분산시켜 테스트 패드와 프로브 팁 간의 단차에 대응하기 위한 충분한 구동변위(Over Drive, O.D)를 얻기 위한 구조로 설계하였다. 또한 프로브 팁 하단에 있는 슬릿은 세라믹 소재로 되어 있는 인터포저를 이용하여 지지와 정렬을 시켜주기 위한 부분이며, 팁의 브릿지를 이용하여 팁과 인터포저 사이에 연결을 시켜주는 부분이다. 이러한 구조의 프로브 팁에서 기계적 특성에 크게 영향을 미칠 것으로 생각되는 프로브 팁의 두께(thickness, t), 팁의 길이(length, l), 프로브 팁의 폭(width, a)을 설계 요소로 선정하였다. 여기서 유한요소해석을 단순화하기 위해 프로브 팁의 두께(t)는 45 μm 로 고정하였고, 설계 요소에 대하여 다양한 구동변위를 인가하였을 때 프로브 팁의 변형과 접촉력에 대한 설계요소가 결과에 미치는 영향을 분석하

였다. 표 1은 설계 요소를 적용한 프로브 팁 모델의 설정치를 나타낸다.

[표 1] 프로브 팁의 설계 인자

Type No.	Length(mm)	Width(mm)	Over Drive(μm)
[1]	2.34	0.180	25
			50
			75
[2]	1.98	0.180	25
			50
			75
[3]	1.98	0.198	25
			50
			75



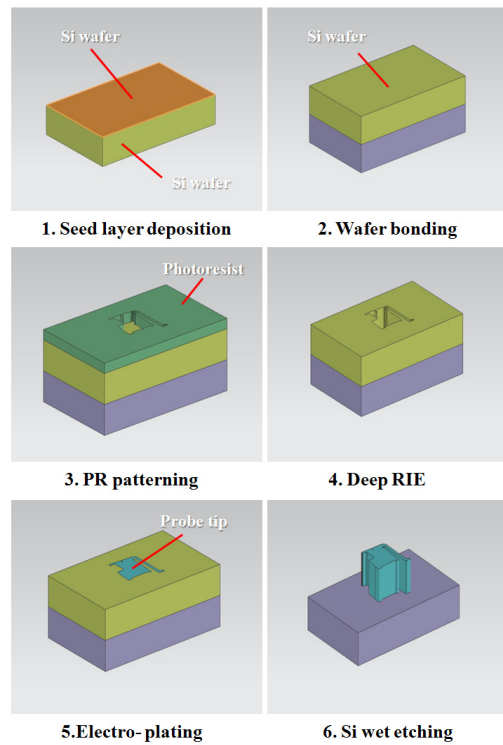
[그림 3] MEMS 프로브 카드의 개략적 구조도

그림 3은 기존의 스페이스 트랜스포머와 인터포저의 기능을 개선한 새로운 프로브 카드의 개략도를 나타낸다. 일반적인 프로브 카드의 구조에서는 프로브 카드 PCB와 스페이스 트랜스포머의 전기적 신호를 스프링 타입의 인터포저를 통하여 신호를 전달하였지만, 본 논문에서 제안한 MEMS 프로브 카드에서는 전기적 신호를 스페이스 트랜스포머를 제거하고 인터포저에서 PCB로 인가하는 구조를 설계 하였다. 이러한 구조는 전기적 신호를 전달하는 핀들의 길이가 감소되어, 핀들 간의 신호 전달 길이 편차가 감소하고 고속 테스트에 유리하다. 또한 프로브 팁의 교체 및 수리가 용이하고, 팁과 PCB사이를 연결해주는 배선의 수가 감소하게 되어 공정 및 검사 환경에 유리하다는 장점이 있다.

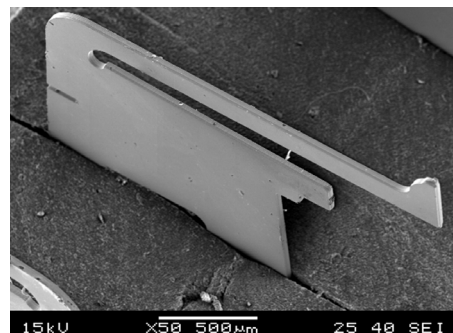
2.2 MEMS 공정을 통한 Probe Tip의 제작

프로브 팁의 재료인 니켈-코발트 합금은 주로 장식용 목적으로 전기도금하여 사용되고 있으며, 내마모성 및 내구성과 같은 높은 기계적 성질 및 전기 전도성 등과 같은 전기적 성질이 우수하여 반도체 소자 및 디스플레이 패널 검사용 프로브 팁으로 주로 사용되고 있다. 따라서 본

논문에서는 니켈-코발트 합금을 사용하여 MEMS 프로브 팁의 기계적, 전기적 특성을 분석하고 프로브 카드로서의 활용 가능성을 검증하기 위해 시제품 제작을 수행하였다. MEMS 공정을 이용하여 수직형 프로브 팁의 형상으로 45 μm 의 두께를 갖는 시편을 제작하였다. MEMS 프로브 팁의 주요 제작 공정은 반도체 웨이퍼 리소그래피 (lithography), 금속증착(metal deposition), 웨이퍼 본딩 (wafer bonding)과 전기도금(electro-plating)공정 등이다. 그림 4에서와 같이 MEMS 프로브 팁의 개략적인 제조 공정도를 나타낸다.



[그림 4] MEMS 프로브 팁의 제조 공정도



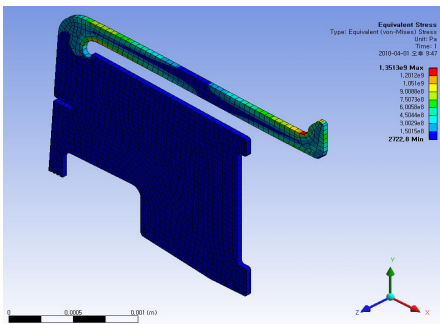
[그림 5] 제조된 MEMS 프로브 팁의 SEM 이미지

먼저 실리콘 기판위에 전기도금의 전극으로 사용될 seed-layer을 증착하고, 실리콘 웨이퍼를 본딩한다. 그 위에 감광제 등을 사용하여 프로브 팁의 형상을 리소그래피를 통해 몰드(mould)형태를 형성한다. 몰드의 제작이 끝난 후 염산(HCl)수용액을 이용하여 산화 방지층을 제거하고 제작된 몰드 형태의 패턴 속을 프로브 팁의 재료인 니켈-코발트 합금을 증착한다. MEMS 공정의 마지막 공정으로 적용된 실리콘 기판의 평탄도를 높이기 위하여 전기도금 후 CMP(Chemical Mechanical Polishing)공정을 수행한다. 마지막으로 암모니아수와 과산화수소의 혼합으로 제조된 수용액으로 습식 식각(wet etching)하여 MEMS 프로브 팁을 제작 하였다. 그림 5는 MEMS 공정으로 제작한 프로브 팁의 SEM 사진을 나타낸다.

3. MEMS Probe Tip의 시험 평가

3.1 유한요소해석(Finite Element Analysis)

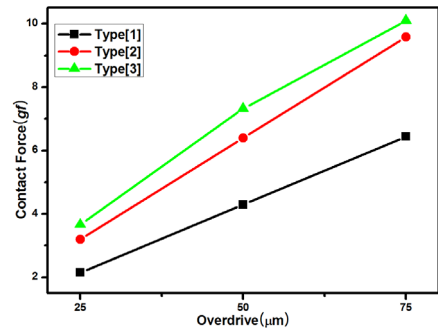
반도체 소자 및 디스플레이 패널의 고집적화가 됨에 따라 미세 피치를 갖는 MEMS 프로브 팁의 내구성 및 안정성의 기계적 성능을 검증하기 위한 방법으로 유한요소해석을 수행하였다. 본 논문에서는 프로브 팁의 응력분포와 접촉력을 계산하기 위하여 유한요소해석에서의 선형 구조해석에서 사용하는 상용 소프트웨어인 엔시스 워크벤치(Ansys Workbench V11.0)를 사용하였으며, 설계 요소에 따른 구조를 나타내기 위해 다양한 형상 및 치수에 대한 주요 설계 요소를 선정하여 각 모델에 대해 나타내었다. MEMS 프로브 팁의 해석을 위한 경계조건으로는 프로브 팁의 최하단부를 완전 구속하고 팁의 최상단부를 캔틸레버 빔으로 가정하여 테스트 패드를 접촉하였을 때 프로브 팁의 수직방향으로 힘을 가하여 계산을 수행하였다.



[그림 6] MEMS 프로브 팁의 선형 구조해석

프로브 팁 재료인 니켈-코발트 합금 재료의 탄성계수

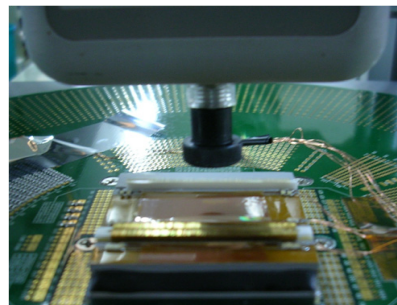
는 210GPa, 항복응력은 1GPa로 가정하였으며, 프로브 팁 부분에 수직방향으로 구동변위를 주었다. 구동변위는 표 1에서와 같이 25 μ m, 50 μ m, 75 μ m의 강제 변위를 가하였을 때, 프로브 팁에 발생하는 응력 분포와 팁의 접촉력을 계산하였다. 그림 6은 프로브 팁에 대한 선형 구조해석 결과를 나타낸다.



[그림 7] 구동변위에 따른 프로브 팁의 구조 해석결과

구조 해석 결과 프로브 팁의 최대 응력은 팁의 꺾인 부위 안쪽 모서리부에 집중이 된다는 것을 확인하였다. 따라서 프로브 팁의 형상 설계 시 모서리 부위의 라운딩 처리도 응력집중에 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 7은 설계 요소에 따른 프로브 팁 모델에 대한 접촉력을 나타낸다. 프로브 팁의 형상에서 프로브 팁의 길이(l)가 짧고, 폭(a)이 클 때 더욱 큰 강성을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 각 모델의 구조 해석 결과 탄성범위 내의 접촉력은 약 2~10gf인 것으로 계산 되었다.

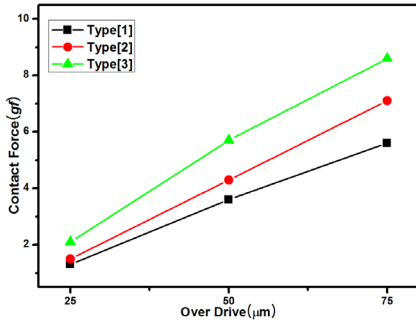
3.2 기계적 특성 평가



[그림 8] 프로브 팁의 접촉력 실험장치

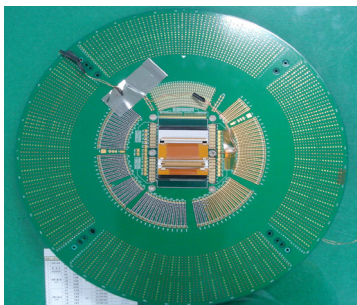
구조 해석을 통한 프로브 팁의 모델에 대한 실제 접촉력을 측정하기 위해 설계 요소를 적용한 프로브 팁을 제작하여 접촉력 시험을 수행하였다. 접촉력을 측정하기 위

해 시험기 하단에 프로브 팁을 설치하고, 상단에는 포스 게이지(force gauge)를 설치하여 구동변위에 따른 접촉력을 측정하였다. 그림 8은 MEMS 프로브 팁의 접촉력을 측정하기 위한 시험기를 나타낸다.



[그림 9] 구동변위에 따른 프로브 팁의 접촉력 실험결과

그림 9는 설계 요소가 적용된 프로브 팁 모델의 접촉력 시험 결과를 나타낸다. 각 모델의 구동변위에 따른 접촉력 변화는 최대 1~8gf을 가질 수 있는 것으로 확인되었다. 제작된 프로브 팁의 접촉력 시험 결과와 유한요소 해석을 통한 구조 해석 결과의 오차는 이상적인 경계조건(boundary condition)에서 선형 구조해석과는 달리 실제 시험에서는 팁과 테스트 패드와의 접촉에서 발생하는 좌굴(buckling) 및 비선형적 거동(non-linear behavior)이 발생했기 때문이고, 프로브 팁의 재질로 사용된 니켈-코발트 합금의 기계적 특성에서 전기도금으로 인해 형성이 될 때 재료 내부에 발생하는 응력 및 팁 제조 공정에 따른 공정 오차 등이 발생으로 인해 프로브 팁의 형상 및 치수 오차에 따른 것으로 판단된다.



[그림 10] MEMS 프로브 팁을 이용하여 제작한 COF용 프로브 카드

4. 결론

반도체 소자의 고집적화로 인해 반도체 검사 장비의 패드의 소형화와 기술 변화에 대응하기 위해 기존의 프레스 및 식각 공정이 아닌 반도체 제조 공정을 응용한 MEMS 프로브 팁에 대해 설계 및 제작을 하였다. 본 논문에서의 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 프로브 팁의 피치가 약 50μm 이하가 되는 수직형 프로브 카드에 장착할 수 있는 MEMS 프로브 팁을 설계 및 제작 하였다.

(2) 프로브 팁의 구조 설계에 있어서 다양한 설계 요소의 적용, 선형 구조 해석과 기계적 특성 시험을 통하여 초소형 프로브 팁에 대한 설계 방안을 모색하였다.

(3) MEMS 프로브 팁의 다양한 구동변위를 통하여 최대 1~10gf의 접촉력을 얻어 미세 피치를 갖는 초소형 수직형 프로브 카드로의 활용 가능성을 확인하였다.

(4) 검사 제품의 다양성을 고려한 프로브 카드에 대해서 여러 가지의 재질과 형상을 갖는 프로브 팁에 대한 구조 설계, 프로브 팁의 배열, 미세 팁의 피로 및 열적 해석, 기계적 및 전기적 특성에 대한 평가가 요구된다.

참고문헌

- [1] R. D. Bates, "The search for the universal probe card solution", International Test Conference, Nov, pp.533-538, 1997.
- [2] N. Sporck, "A New Probe Card Technology Using Compliant Microsprings", International Test Conference, Nov, pp.527-532, 1997.
- [3] D. Keezer, "Bare die testing and MCM probing techniques", Proc. IEEE MCM Conf, pp.20, 1992.
- [4] Lee, Y. H, "Probe Card", KR Patent : 10-1998-0044757.
- [5] 박종섭, 오정재, "순수 휨하중을 받는 일축대칭 양단 스템보의 황-비틀림 좌굴 강도", 산학기술학회논문지, Vol. 10, No. 5, pp.1020-1025, 2009.
- [6] 주영철, 신취철, 강명구, "웨이퍼 프로버 칩의 저온 온도균일도 향상에 관한 연구", 산학기술학회논문지, Vol. 10, No. 10, pp.2572-2576, 2009.
- [7] Liu, D. S, Shih, M. K, "Experimental method and FE simulation model for evaluation of wafer probing parameters", Microelectronics Journal, 37, pp.871~883, 2006.
- [8] ANSYS, "ANSYS User's Manual Version 10.0", ANSYS Inc, 2005.

하 석 재(Seok-Jae Ha)

[정회원]



- 2006년 2월 : 서울산업대학교 금형설계학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 대학원 박사과정

<관심분야>

마이크로 절삭 모니터링, 마이크로 생산 시스템

조 명 우(Myeong-Woo Cho)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 기계설계과 (공학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 기계설계과 대학원 (공학석사)
- 1985년 ~ 1989년 : 한국생산성본부 자동화 사업부 전문위원
- 1992년 2월 : University of Illinois (공학박사)
- 1993년 ~ 1997년 : 대우전자 시스템 사업부 부장
- 1997년 2월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM/CAI, 마이크로 생산 시스템, 머신 비전

김 동 우(Dong-Woo Kim)

[정회원]



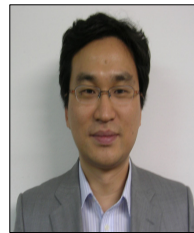
- 2000년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학석사)
- 2007년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학박사)
- 2010년 2월 : 인하대학교 기계공학과 박사 후 연구원

<관심분야>

마이크로 절삭 가공, 초정밀 연마

한 청 수(Chung-Soo Han)

[정회원]



- 2003년 2월 : 인하대학교 자동화공학과 (공학사)
- 2003년 3월 ~ 2005년 12월 : 인코닉스 Field Application Engineer
- 2006년 1월 ~ 2007년 7월 : Festo Sales Engineer
- 2007년 8월 ~ 현재 : (주) 세디콘 연구소장

<관심분야>

경영, 프로브 카드, 프로브 팁, 프로브 스테이션

신 봉 철(Bong-Cheol Shin)

[정회원]



- 2000년 2월 : 호서대학교 기계공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학석사)
- 2010년 2월 : 인하대학교 기계공학과 대학원 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사 후 연구원

<관심분야>

마이크로 절삭 모니터링, 마이크로 EDM, 미세 측정