분기된 구조를 갖는 수직형 MEMS 프로브의 설계

Design of Vertical Type MEMS Probe with Branch Springs

하정래 · 김종민 · 김병기 · 이준상 · 배현주 · 김정엽* · 이학주* · 나완수

Jungrae Ha · Jongmin Kim · Byung-Ki Kim · June-Sang Lee · Hyeonju Bae · Jung Yup Kim* · Hak Joo Lee* · Wansoo Nah

요 약

일반적으로 수직형 프로브는 가늘고 긴 S-자형 구조가 중복되기 때문에 신호 전달 특성이 저하되므로 이것에 대한 개선이 필요하다. 본 논문에서 제안된 프로브는 캔틸리버형보다 적은 면적을 차지하는 수직형으로 동시에 많은 메모리를 테스트하기에 적합하며, 특히 외부 압력이 가해졌을 때 분기된 스프링에 의해 폐 루프(closed loop)가 형성되어 기존의 S-자형 수직형 프로브보다 기계적 특성뿐만 아니라 전기적 신호 전달 특성이 개선된 새로운 형태의 수직형 프로브를 제안하였다. 제안된 프로브를 제작하여 측정 및 시뮬레이션을 통해 기존의 S-자형 수직형 프로브보다 오버드라이브(overdrive)는 1.2배, 컨택 포스(contact force)는 2.5배, 신호 전달 특성은 0~10 GHz에서 최대 1.4 dB 개선되는 것을 확인하였다. 또한 프로브 카드(probe card)의 신호 전달 특성을 예측할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 이를 위하여 프로브 카드를 구성하는 각 부품의 기하학적 특성에 맞도록 2.5D 또는 3D Full-wave 시뮬레이터를 사용하였으며, 계산된 결과는 측정 결과와 매우 잘 일치하였다.

Abstract

The conventional vertical probe has the thin and long signal path that makes transfer characteristic of probe worse because of the S-shaped structure. So we propose the new vertical probe structure that has branch springs in the S-shaped probe. It makes closed loop when the probe mechanically connects to the electrode on a wafer. We fabricated the proposed vertical probe and measured the transfer characteristic and mechanical properties. Compared to the conventional S-shaped vertical probe, the proposed probe has the overdrive that is 1.2 times larger and the contact force that is 2.5 times larger. And we got the improved transfer characteristic by 1.4 dB in 0~10 GHz. Also we developed the simulation model of the probe card by using full-wave simulator and the simulation result is correlated with measurement one. As a result of this simulation model, the cantilever probe and PCB have the worst transfer characteristic in the probe card.

Key words : Probe, Probe Card, MEMS(Micro-Electro Mechanical System), Signal Integrity

Ⅰ. 서 론

메모리의 고속화와 저전력화로 인해 반도체의 신뢰성을 검증하기 위한 테스트의 중요성이 부각되고 있다. 반도체 테스트는 패키징(packaging)을 기준으로 전공정 테스트와 후공정 테스트로 구분되며, 반

「본 연구는 교육과학기술부의 21C프론티어연구개발사업의 일환으로 수행하였음.」

성균관대학교 정보통신공학과(School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University)

*한국기계연구원(Korea Institute of Machinery & Materials)

· 논 문 번 호 : 20100503-056

· 교 신 저 자 : 나완수(e-mail : wsnah@skku.edu)

· 수정완료일자 : 2010년 7월 22일

도체의 원가 절감을 위하여 패키징 이전 단계의 테스트가 중요하다[1]. 특히 웨이퍼 상태의 반도체 칩을 테스트하기 위하여 웨이퍼 내의 칩의 수만큼 테스트 신호(test signal)를 전달하고 수신하여 반도체의 특성을 검증하지만, 공정의 발전에 의해 웨이퍼 크기는 커지고 칩의 크기는 작아짐에 따라 동시에 측정해야 하는 칩의 수가 급격하게 증가하였다. 또한 고속화에 따라 테스트 신호 또한 빠르게 증가하여, 기존에는 발생되지 않던 문제들이 발생되고 있다. 이는 저주파에서는 테스트 신호에 영향을 미치지 않던 테스트 시스템 내의 기생 성분(parasitic components)들이 고주파에서는 신호 전달에 영향을 끼치기 때문이다[2]. 전공정에서 프로브 카드를 이용하여 ATE(Auto Test Equipment)에서 발생하는 신호들을 웨이퍼 상태의 반도체에 전달하고 있으며, 프로브 카드는 ZIF (Zero Insertion Force) 커넥터, PCB(Printed Circuit Board), 인터포저(interposer), STF(Space Transformer), 그리고 칩의 패드에 직접 접촉을 하는 프로브로 구성되어 있다[3]. 프로브 카드의 신호 전달 특성 개선을 위해 각 부품들의 신호 전달 특성을 분석하여 신호 전달 특성에 가장 큰 영향을 주는 부분의 신호 전달 특성을 개선시키는 것이 필요하다.

프로브 카드를 구성하는 부품 중에서 MEMS 공정으로 제작된 프로브의 특성이 중요시 되고 있으며, 패드와 접촉 시 기계적인 힘을 견딜 수 있도록 완충 작용을 고려하여 설계되고 있다. 이를 위한 프로브의 종류로는 캔틸레버형과 수직형이 있다[4]. 이 중 공간적인 제약으로 인해 수직형 프로브가 주로 사용되지만, 기계적인 완충 작용을 위하여 수직형 프로브는 S자형 스프링 형태로 제작이 되기 때문에 긴 신호 전송 길이를 갖고 있으며, 이는 신호 전달 측면에서 악영향을 미치는 요인이 된다. 이러한 문제들로 인해 프로브의 형태에 대한 전자기적 필드 해석(electromagnetic filed analysis)과 고주파 전달 특성에 관한 연구가 필요하다[5]~[9]. 이러한 연구를 통해 본 논문에서는 기계적인 특성과 전기적인 특성이 향상된 수직형 프로브의 형태를 제안하였다. 제안된 수직형 프로브의 형태는 외부 압력에 의해 내부에 폐 루프가 형성된다. 제안된 수직형 프로브를 제작하였고, 측정과 시뮬레이션을 통해 폐 루프가 형성된 제안된 수직형 프로브의 기계적 / 신호 전달 특성이 개선되는 것을 확인하였다.

Ⅱ. MEMS 프로브 카드의 신호 전달 특성

2-1 프로브 카드의 구조

프로브 카드는 테스트 신호를 전달하는 매개체로 ATE에서 발생된 신호를 왜곡 없이 웨이퍼 상태의 칩에 전달해야만 한다. 웨이퍼 상태의 반도체 칩을 테스트하기 위한 프로브 카드의 구조를 그림 1에 나타내었다. 프로브 카드 내의 ZIF 커넥터는 ATE와 전기적으로 연결되어 있으며, 테스트에서 발생되는 물리적인 충격을 흡수하도록 되어 있다. 또한 ZIF 커넥터를 통해 인가된 신호는 PCB의 전송선을 통해 전달되며, 많은 웨이퍼 상의 칩들을 테스트하기 위해 수천 개의 신호선이 연결되어 있다. PCB는 인터포저를 사이에 두고 고집적 프로빙(probing)을 위한 STF와 연결되며, STF는 마지막으로 칩의 패드와 접촉하는 프로브와 연결된다. ATE에서 나온 신호는 프로브 카드 내의 모든 부품들을 거쳐 칩으로 전달되기 때문에 프로브 카드의 모든 부품들이 신호 전달에 영향을 미치게 된다. 따라서 프로브 카드의 신호 전달 특성을 분석하기 위해서 각 부분들의 특성을 분석하였고, 전체적인 신호 전달 특성은 각 부품들의 신호 전달 특성을 결합하여 추출하였다.

2-2 프로브 카드의 신호 전달 특성 시뮬레이션

웨이퍼 상태의 메모리 테스트를 위한 프로브 카드의 신호 전달 특성 추출을 위한 시뮬레이션을 진

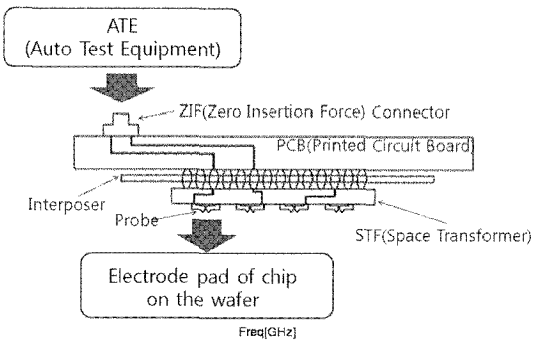


그림 1. 프로브 카드의 구조
Fig. 1. Structure of probe card.

행하였다. 각 부품들을 해석하기 위하여 구조적인 특성과 재질에 대해서 모의해야 하며, 해석하는 시뮬레이터도 모델의 특성에 맞게 2.5D나 3D 툴로 해석을 하여야 한다. 그림 2에 본 논문에서 사용된 프로브 카드를 구성하는 부분들의 시뮬레이션을 위한 모델링을 나타내었다. ZIF 커넥터는 그림 2(a)와 같이 구리로 된 전송선이 PEI(Polyetherimide)로 둘러싸인 구조로 신호선과 접지면의 간격이 300 μm이다. 테스트 환경과 동일한 3D 모델을 시뮬레이션하여, 주파수에 대한 신호 전달 특성을 추출하였다. 인터포저는 그림 2(b)와 같이 반지름이 200 μm인 원통형 도체들이 600 μm의 간격으로 배열된 형태를 가지고 있고, 유전율이 4.3인 PEI로 둘러싸여 있다. 프로브의 경우, 그림 2(c)에서 볼 수 있는 것과 같이 캔틸레버형 프로브를 사용하였으며, 프로브 간의 간격은 90 μm, 재질은 니켈-코발트(Ni-Co)이며, 표면에 금도금이 되어 있다.

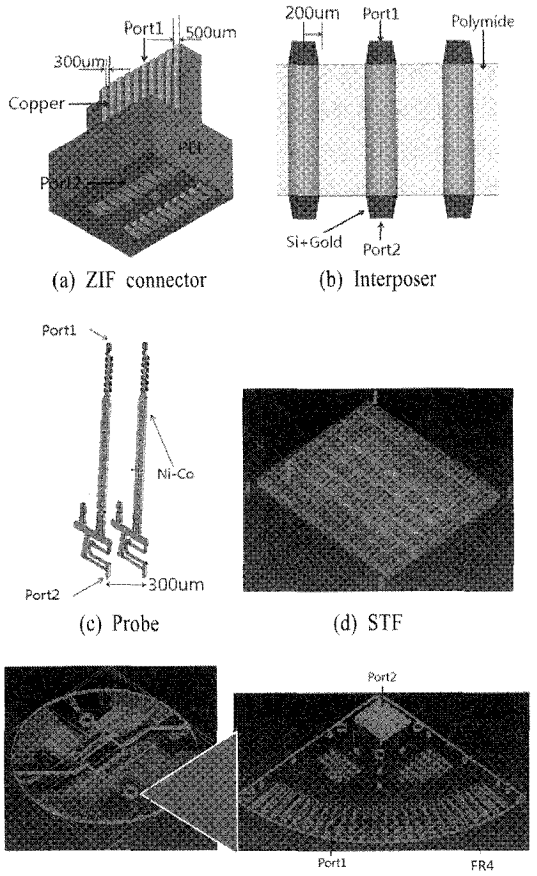


그림 2. 프로브 카드를 구성하는 부품들의 모델링
Fig. 2. Modeling of each part of a probe card.

그림 2의 (a)~(c)의 ZIF 커넥터, Interposer, Probe는 3D 툴을 이용해서 신호 전달 특성인 *S*-parameter를 추출하였고, PCB와 STF는 2.5D full-wave 시뮬레이터를 통해 신호 전달 특성을 추출하였다. 특히 PCB의 경우 수천 개 신호선들을 모두 포함한 시뮬레이션에서는 많은 시간이 필요하기 때문에 그림 2(e)와 같이 power/ground plane과 채널의 return path를 고려해서 1/4로 나누어진 부채꼴 모양으로 모델링하여 시뮬레이션을 진행하였다. 또, 그림 2(e)와 같이 포트를 정의하여 신호 전달 특성을 시뮬레이션할 때 나머지 모든 신호선들을 고려할 경우와 고려하지 않을 경우의 신호 전달 특성이 어떻게 다른가를 그림 3에 나타내었다. 모든 신호선들을 함께 시뮬레이션하였을 때와 필요한 하나의 신호선만 시뮬레이션하였을 때의 신호 전달 특성이 그림 3에서 보는 것과 같이 거의 동일한 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 본 논문에서 사용된 PCB의 선들은 해당 주파수 대역에서 상대적으로 독립적이라는 것을 확인할 수 있다. 각 부분에 대한 신호 전달 특성을 측정 주파수인 300 MHz와 2 GHz에 대해 표 1에 정리하였다. 또한 각 부분들의 신호 전달 특성을 프로브 카드의 신호 전달 특성 모델에 삽입하여 연결함으로써 프로브 카드의 신호 전달 특성을 추출할 수 있다. 그림 4에 프로브 카드의 시뮬레이션 구성도를

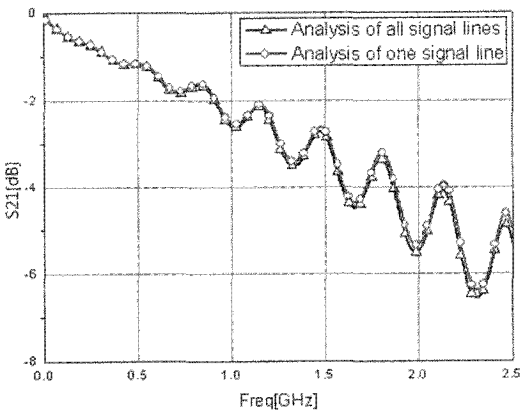


그림 3. 해석 방법에 따른 PCB의 신호 전달 특성
Fig. 3. Transfer characteristic of PCB by simulation method.

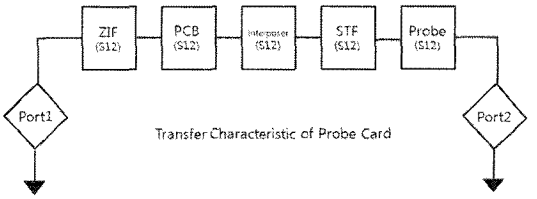


그림 4. 프로브 카드의 시뮬레이션 모델 구성도
Fig. 4. Block diagram of probe card simulation model.

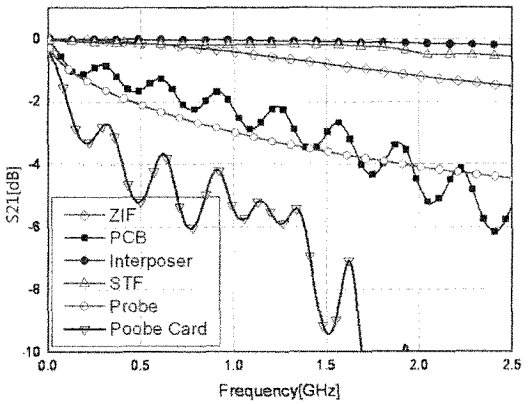


그림 5. 시뮬레이션을 모델을 통한 프로브 카드의 신호 전달 특성
Fig. 5. Transfer characteristic of probe card by simulation model.

표 1. 300 MHz, 2 GHz에서의 프로브 카드의 각 부분들의 삽입 손실
Table 1. Insertion loss of each part of probe card at 300 MHz and 2 GHz.

Tool	Part of probe card	LOSS at 300 MHz(dB)	LOSS at 2 GHz(dB)
HFSS	ZIF	−0.05	−1.1
	Interposer	−0.01	−0.14
	Probe	−1.638	−4.12
SIwave	STF	−0.1	−0.5
	PCB	−0.825	−4.3

나타내었으며, 이를 통해 추출된 프로브 카드 시뮬레이션 모델의 신호 전달 특성을 그림 5에 각 부품들의 신호 전달 특성과 함께 나타내었다. 시뮬레이션을 통해 프로브와 PCB의 삽입 손실이 다른 부품들의 삽입 손실보다 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 프로브 카드의 신호 전달 특성을 개선시키기 위해서는 프로브와 PCB의 신호 전달 특성을 개선시키는 것이 필요하다. 하지만 PCB는 신호선의 분기를 위해 각 층마다 접지면이 들어가는 구조로 설계가 매우 복잡하지만, 프로브의 경우 프로브의 형태 변경만으로 프로브의 신호 전달 특성을 향상시킬 수 있기 때문에 프로브의 형태 변경은 프로브 카드의 신호 전달 특성 개선을 위한 가장 효과적인 방법이다.

2-3 프로브 카드의 신호 전달 특성 측정

제안된 프로브 카드 시뮬레이션 모델의 신뢰성 확보를 위하여 VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 프로브 카드의 신호 전달 특성을 측정하였다. 프로브 카드의 신호 전달 특성을 측정하기 위해서는 ATE와 바로 연결되는 ZIF 커넥터와 신호가 웨이퍼로 들어가는 프로브의 끝단을 프로브 팁(probe tip)을 이용하여 프로빙(probing)해야 한다. 하지만 ZIF 커넥터의 측정을 위한 신호선과 접지면의 거리는 300 μm이고, 프로브는 90 μm로 서로 다르기 때문에 ZIF 커넥터의 측정을 위한 800 μm의 프로브 팁과 프로브의 측정을 위한 150 μm의 프로브 팁을 동시에 광역으로 교정이 가능한 ISS(Impedance Standard Substrate, CASCADE MICROTECH INC. Model No 108-011)를 이용하여 SOLT(Short-Open-Load-Through) 방법으로 calibration하였고, 이를 그림 6에 나타내었다. 또한 신호가 인가되는 ZIF 커넥터를 Port 1, 테스트 신호가 나오는 반대면의 프로브를 Port 2로 측정을 하기 위하여 그림 7(a)와 같이 프로브 카드 고정 장치를 제작하였다. 제작된 프로브 카드 고정 장치를 사용하여 프로브 카드를 수직으로 고정

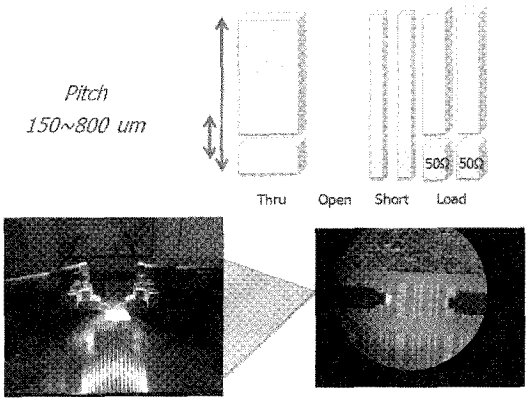
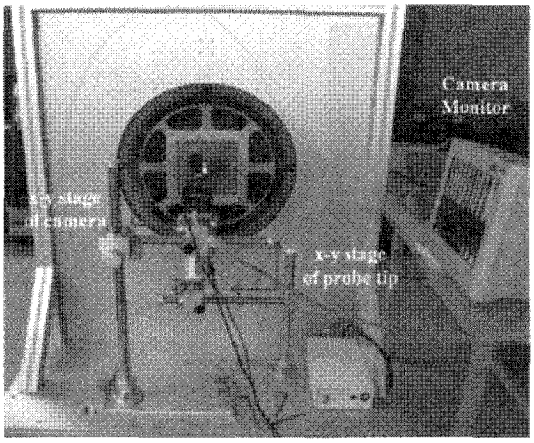
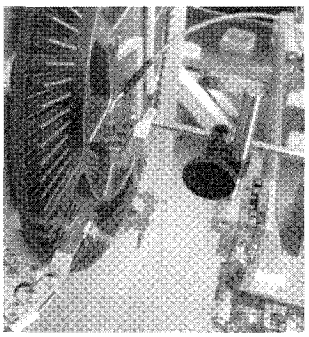


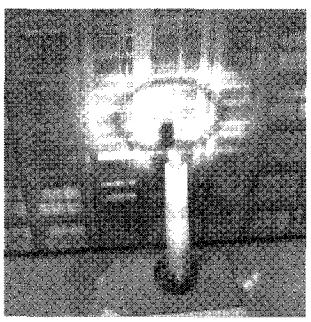
그림 6. 서로 다른 피치의 2-port calibration
Fig. 6. 2-port calibration of two different pitch.



(a) 프로브 카드 고정 장치
(a) Probe card fixture



(b) ZIF 커넥터 측정, Port 1
(b) Measurement of ZIF connector, Port 1



(c) 프로브의 측정, Port 2
(c) Measurement of probe, Port 2

그림 7. 프로브 카드의 측정
Fig. 7. Measurement of probe card.

하여 신호 전달 특성을 측정하였고, 그림 8에 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 0~2.5 GHz까지 매우 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 제안된 프로

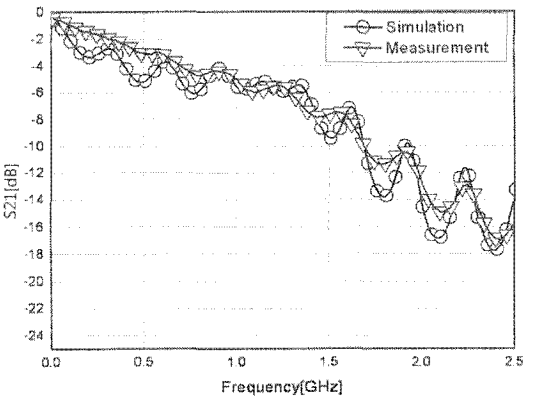


그림 8. 프로브 카드의 전달 특성
Fig. 8. Transfer characteristic of probe card.

카드 시뮬레이션 모델에 특정 부품의 신호 전달 특성이 변경되었을 때의 프로브 카드의 신호 전달 특성을 계산할 수 있다.

Ⅲ. 수직형 MEMS 프로브 구조 및 제작

3-1 수직형 MEMS 프로브의 구조

프로브 카드의 시뮬레이션을 통해 프로브 카드를 구성하는 부분 중 프로브와 PCB의 신호 전달 특성에 의한 신호의 왜곡이 가장 큰 것을 확인하였다. 이에 본 논문에서는 프로브의 신호 전달 특성 개선을 위한 수직형 프로브의 형태에 대해서 연구를 진행하였다.

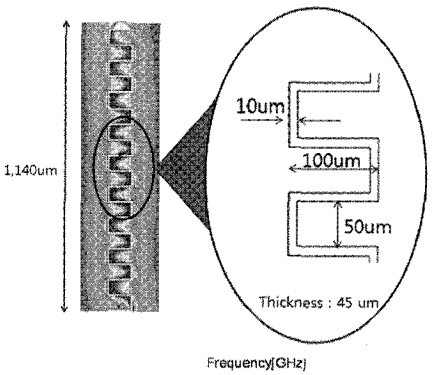
반도체 공정의 발달로 인해 전공정 테스트에서 동시에 많은 수의 메모리 칩 측정이 요구되고 있다. 본 논문에서 사용된 캔틸레버형 프로브는 프로브 카드에서 많은 면적을 차지하여 동시에 많은 수의 메모리 칩을 측정할 수 없게 만든다. 따라서 캔틸레버형 프로브보다 우수한 신호 전달 특성을 가지며, 작은 면적을 차지하는 수직형 프로브의 개발이 요구된다.

반도체 테스트에 사용되는 신호는 디지털 신호로 푸리에 변환을 통하여 주파수 영역으로 나타내면 수많은 고조파들의 합으로 나타난다. 프로브 카드 내의 기생 성분들에 의해 고조파 성분들은 저주파 성분들 보다 더 큰 영향을 받는다. 특히 고주파에서는 인덕턴스 성분에 의한 고조파 성분의 감쇄로 인해 신

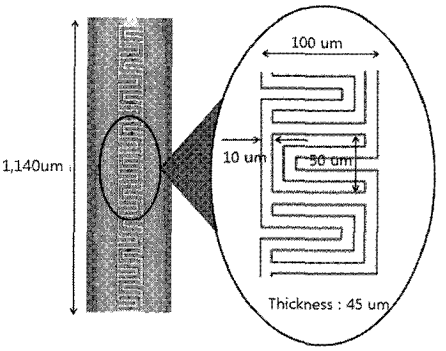
호의 왜곡이 발생한다. 수직형 프로브는 패드와의 접촉 시 프로브가 갑자가 휘어지는 버클링(buckling) 현상이 발생하지 않도록 기계적인 완충 작용을 위한 스프링 구조로 되어 있다. 이 스프링 구조는 큰 인덕턴스를 가지게 되며, 이로 인해 고주파에서 프로브에 의한 손실이 크게 발생한다. 따라서 수직형 프로브의 설계를 위해서는 프로브는 버클링 문제가 발생하지 않도록 기계적인 완충 작용을 수행할 수 있는 구조이면서, 동시에 고주파 성분의 감쇄를 줄이기 위해 작은 인덕턴스를 가지는 구조로 설계되어야 한다.

$$L=\frac{N_1}{I_1}\int_{S_1} B\cdot d\,a \tag{1}$$

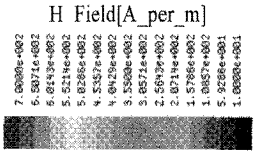
인덕턴스는 식 (1)과 같이 전류가 흐를 때 암페어의 법칙에 의해 도선 주위에 발생되는 자속의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 인덕턴스를 작게 하기 위해서는 전류가 인가되었을 때 자속 발생을 최소화시키는 구조로 설계되어야 한다. 하지만 기존의 S자형 수직형 프로브는 암페어의 법칙에 의해 스프링 내부에 자속이 집중적으로 발생되기 때문에 식 (1)에 따라 큰 인덕턴스를 갖는다. 이에 본 논문에서는 기존의 S자형 수직형 프로브 내부에서 평행하게 분기되어 프로브 내부에 폐 루프가 형성되는 새로운 형태의 수직형 프로브를 제안하였다. 제안된 수직형 프로브의 형태가 기존의 S자형 수직형 프로브보다 작은 자속이 발생시키는 것을 확인하기 위하여 길이가 1,140 μm, 넓이가 100 μm, 두께가 45 μm, 도체의 폭이 10 μm, 재질이 금인 수직형 프로브를 3D 모델링하였고, 3D full-wave 시뮬레이션을 통해 300 MHz의 신호가 인가되었을 때의 자속의 발생을 시뮬레이션을 통해 비교하였으며, 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 기존의 S자형 수직형 프로브는 내부 모서리에서 자속의 발생이 집중되는 것을 확인할 수 있다. 반면, 제안된 수직형 프로브의 경우 내부에 자속이 집중되는 현상이 발생되지 않는다. 이를 통해 프로브 내부에 폐 루프가 형성되는 것이 자속의 발생을 억제하는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 10에서와 같이 분기된 스프링에 S자형 스프링과 동일한 방향의 전류가 흘러 폐 루프 내부에서 자속을 상쇄시키기 때문이다. 자속의 발생량에 따른 인덕턴스 값을 비교하기 위하여 시뮬레이션을 통해 추출된 어



(a) 기존의 S자형 수직형 프로브
(a) Conventional S-shaped vertical probe



(b) 제안된 수직형 프로브
(b) Proposed vertical probe



(c) 자기장의 세기
(c) Magnetic flux intensity

그림 9. 구조에 따른 자기장의 발생
Fig. 9. Generation of magnetic flux by probe structure.

드미턴스(admittance) 값을 식 (2)에 대입하여 주파수에 따른 인덕턴스 값을 추출하였고, 그 결과를 그림 11에 나타내었다. 식 (2)는 추출된 어드미턴스 값을 통해 구조체를 pi 모델로 등가회로 모델링하였을 때의 인덕턴스를 계산하는 식이다[10]. 제안된 수직형 프로브의 인덕턴스는 기존 형태의 S자형 수직형 프로보다 0~30 GHz까지 작은 인덕턴스 값을 갖는다.

$$L=Im\left[\frac{-1}{\omega\times Y(2,1)}\right] \tag{2}$$

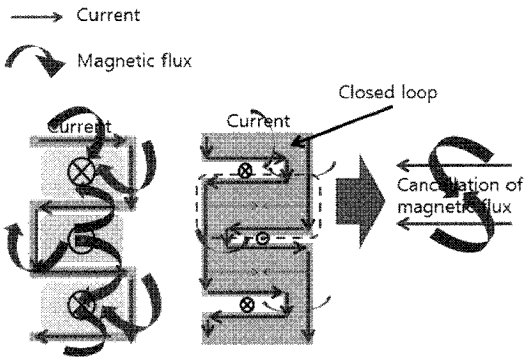


그림 10. 전류 흐름의 방향에 의한 자속의 상쇄
Fig. 10. Generation of magnetic flux by probe structure.

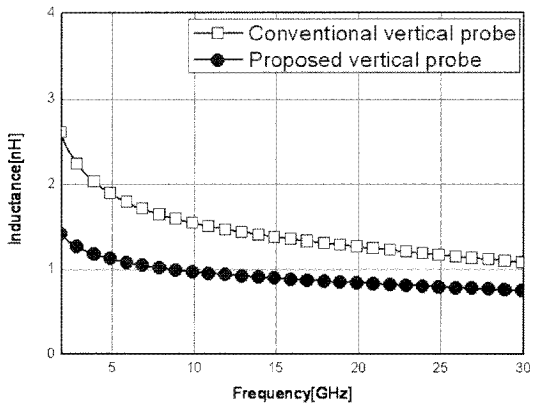


그림 11. 수직형 MEMS 프로브의 인덕턴스
Fig. 11. Inductance of vertical probe.

하지만 제안된 수직형 프로브는 외부 압력에 의한 기계적인 특성을 고려하지 않았기 때문에 실제 테스트에서는 적용할 수 없다. 따라서 그림 11과 같이 S자형 스프링과 분기된 스프링 사이에 갭(gap)을 만들어 수축이 원활하게 일어날 수 있도록 수직형 프로브의 형상을 수정하였다. 기존의 폐 루프만 형성된 구조에서 갭을 추가함으로써 제안된 수직형 프로브에 외부 압력이 가해졌을 때 원활한 수축이 발생되고 분기된 스프링에 의해 폐 루프가 형성된다. 실제 테스트에서 외부 압력에 의해 갭을 가지는 제안된 수직형 프로브에 폐 루프가 형성되는지 확인하기 위해 그림 8에서 모델링 된 수직형 프로브의 크기와 동일한 크기를 갖는 수직형 프로브를 nonlinear FEA code(MSC/MARC)로 시뮬레이션 하여 외부 압력에 따른 형상변화를 확인하였고, 이를 그림 12에 나타내었다.

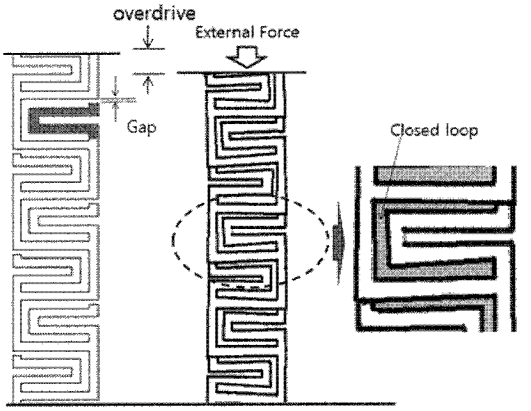
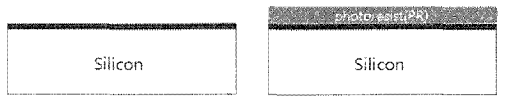


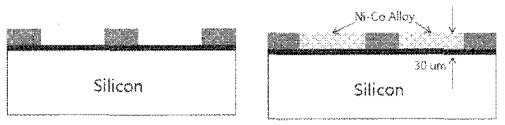
그림 12. 갭을 가지는 제안된 수직형 프로브
Fig. 12. Proposed vertical probe with gap.

3-2 수직형 MEMS 프로브의 제작

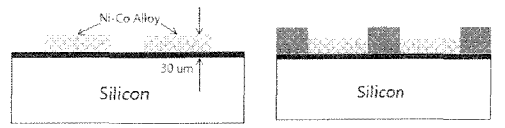
제안된 수직형 프로브의 기계적 특성과 전기적인 특성 향상을 증명하기 위하여 기존의 S자형 수직형 프로브와 제안된 구조의 수직형 프로브를 제작하였다. 제작된 프로브는 앞에서 시뮬레이션한 수직형 프로브와 동일하게 전체 길이가 1,140 μm, 폭이 100 μm, 높이가 45 μm, 프로브의 선폭은 10 μm, 갭은 5 μm로 설계되었다. 기계적인 수축을 위하여 탄성이 좋은 니켈-코발트가 수직형 프로브의 재료로 사용되었으며, 제작을 위한 공정은 크게 포토리소그라피(photolithography), 전기 도금(electroplating), CMP (Chemical Mechanical Planarization)으로 이루어진다. 프로브의 제작을 과정을 그림 13에 나타내었다. 6 inch 실리콘 웨이퍼 위에 Ti/Cu를 적층한 다음 포토레지스트(photoresist)를 도포하여 수직형 프로브의 패턴을 형성한다. 다음 전기 도금을 통하여 Ni-Co 합금을 적층하고 CMP를 거쳐 프로브의 두께를 30 μm로 만든다. 그 후 습식 에칭(wet etching)을 통해 남은 포토레지스트를 제거한다. 전체 45 μm의 두께를 갖는 수직형 프로브를 제작하기 위해 위의 공정을 반복하여 15 μm의 두께를 더하였으며, 그림 14에 제작된 수직형 프로브를 나타내었다. 그림 14에 제안된 수직형 프로브를 측면에서 보았을 때의 수직형 프로브의 형상을 나타내었다. 측면에서 보았을 때 2번의 공정을 통해 프로브가 제작되었다는 것을 확인할 수 있는 경계면을 확인할 수 있으며, 한 번의 패턴으로 프로브를 제작하는 것보다 프로브의 경계



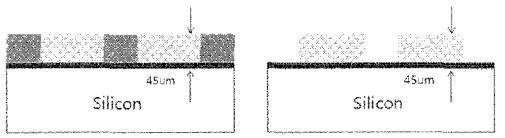
(a) 금속 시드층 증착(Cr/Au) (b) 포토레지스트
(a) Metal seed layer deposition(Cr/Au) (b) Photoresist



(c) 첫 번째 PR 몰드 형성 (d) 첫 번째 도금 및 CMP
(c) First PR mold patterning (d) First plating and CMP

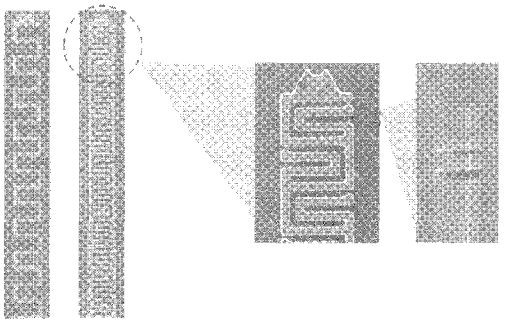


(e) 첫 번째 습식 식각 (f) 두 번째 PR 몰드 형성
(e) First wet etching (f) Second PR mold patterning



(g) 두 번째 도금 및 CMP (h) 두 번째 습식 식각
(g) Second plating and CMP (h) Second wet etching

그림 13. 수직형 MEMS 프로브의 제작
Fig. 13. Fabrication of vertical MEMS probe.



(a) 기존 S자형 수직형 프로브 (b) 갭을 가지는 제안된 수직형 프로브
(a) Conventional S-shaped vertical probe (b) Proposed vertical probe with gap

그림 14. 제작된 수직형 MEMS 프로브 사진
Fig. 14. Photos of fabricated vertical MEMS probes.

면에 경사가 심해지는 것을 방지할 수 있다. 마지막으로 제작된 프로브의 표면에 금(Au) 도금을 하였다.

3-3 수직형 MEMS 프로브의 기계적 / 전기적 특성

3-3-1 수직형 MEMS 프로브의 기계적인 특성

수직형 프로브의 전자기적 해석을 통해 외부의 압력에 의해 수직형 프로브의 형태에 변형이 생길 때 기존의 S자형 수직형 프로브보다 폐 루프가 형성되는 제안된 수직형 프로브의 신호 전달 특성이 좋을 것으로 예상할 수 있다. 하지만 폐 루프가 형성되기 위해서는 제안된 수직형 프로브에 원활한 수축이 일어날 수 있도록 기계적인 특성을 만족시켜야 한다. 따라서 제작된 기존의 S자형 수직형 프로브와 제안된 수직형 프로브의 버클링 현상이 발생하는 힘의 크기와 그때의 오버드라이브 되는 크기를 probe test equipment를 사용하여 측정하였다. 그림 15에 기계적인 특성을 측정하기 위한 probe test equipment의 도식도를 나타내었고, 그림 16에 측정 결과를 나타내었다. 이를 통해서 기존의 S자형 수직형 프로브는 컨택 포스가 최대 10 mN이고, 이 때 50 μm의 오버드라이브(overdrive)가 발생되는 것을 확인하였고, 제안된 수직형 프로브는 컨택 포스가 최대 25 mN으로 2.5배 향상되며, 오버드라이브도 60 μm로 1.2배 향상되는 것을 확인하였다. 이는 제안된 수직형 프로브의 경우 분기된 스프링 구조로 인해 외부 압력이 가해졌을 때 S자형 스프링과 분기된 스프링 접촉에 의해 기계적인 특성을 향상시키기 때문이다. 이를

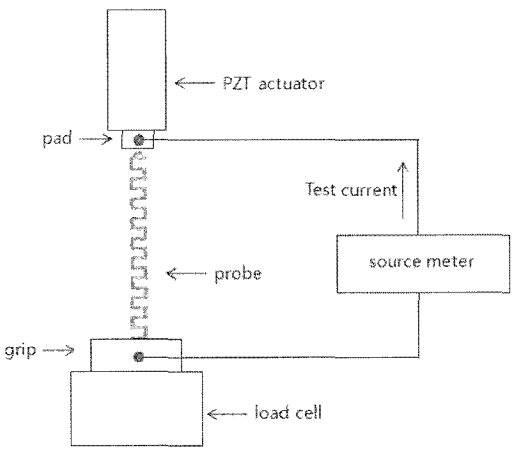


그림 15. 프로브의 기계적인 특성 측정 도식도
Fig. 15. The schematic diagram of mechanical properties measurement.

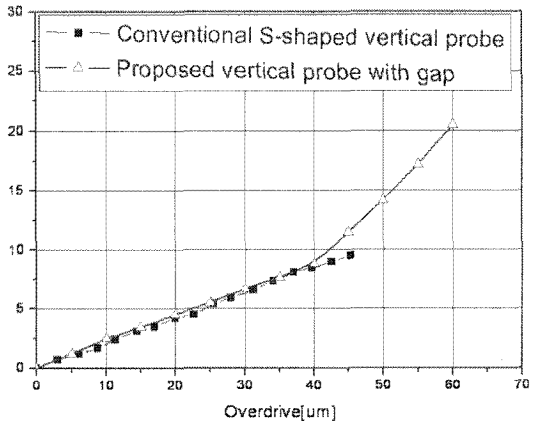


그림 16. 수직형 MEMS 프로브의 기계적 특성
Fig. 16. Mechanical properties of vertical MEMS probe.

통해 갭을 가지는 제안된 수직형 프로브는 실제 테스트 환경에서 기계적인 완충 특성이 향상되어 테스트의 신뢰성을 향상시킬 수 있으며, 제안된 수직형 프로브에 외부 압력이 가해졌을 때 원활하게 폐 루프를 형성시킬 것으로 판단된다.

3-3-2 수직형 MEMS 프로브의 전기적 특성

제작된 수직형 프로브의 신호 전달 특성을 그림 17과 같이 두 개의 수직형 프로브를 수평으로 놓은 다음 중심간 거리를 500 μm로 하여 VNA(Vector Network Analyzer)와 프로브 스테이션(probe station)을 이용하여 0~10 GHz까지 측정하여 그 결과를 그림 18에 나타내었다. 본 논문에서 사용된 수직형 프로브는 선폭이 10 μm, 선의 두께가 45 μm의 니켈-코발트 도선에 전체적으로 0~1 μm의 금도금이 되어 있는 복잡한 구조이며, 따라서 효과적으로 시뮬레이션을 수행하기 위해서 두 도선 부분을 한 도선으로 취급하면서 전기적인 파라메터(전기전도도: σ, 투자율: μ_r)를 등가의 파라메터(effective parameters)로 간략화할 필요가 있었다. 측정 주파수가 고주파인 것을 고려하여 전류가 프로브의 표면에 흐르는 표피 효과를 고려하여 3D 시뮬레이션에서 프로브의 전기 전도는 금과 동일한 4.1×10^7 siemens/m으로 설정하였다. 또한 측정 결과와 시뮬레이션 결과와의 최적화를 통해 프로브의 비투자율을 7로 설정하였다. 이와 같은 방법으로 시뮬레이션한 결과를 그림 18에 측정 결과와 함께 나타내었다. 측정과 시뮬레

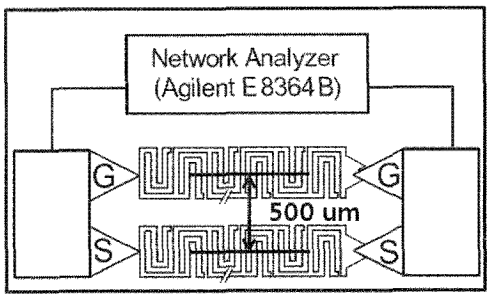


그림 17. 수직형 MEMS 프로브의 신호 전달 특성 측정
Fig. 17. Measurement of transfer characteristic for the vertical MEMS probe.

이션 결과, 기존의 S-자형 수직형 프로브와 외부의 압력이 없는 제안된 수직형 프로브는 0~10 GHz까지 거의 동일한 신호 전달 특성을 갖고 있으며, 측정 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 측정과 시뮬레이션 결과가 일치하는 것을 바탕으로 외부에서 압력이 가해진 실제 테스트 상황에서의 수직형 프로브의 전기적인 특성을 시뮬레이션을 통해 계산하였다. 외부 압력이 프로브에 가해졌을 때 프로브 자체의 길이 변화는 60 μm가 최대로 전체 길이인 1,140 μm에 비해 매우 미비하기 때문에 그림 9(b)와 같이 전체 길이의 변화를 고려하지 않고 갭 부분만을 도체로 채워서 폐 루프가 형성되도록 하여 시뮬레이션을 진행하였다. 또한 기존의 S자형 프로브에 외부 압력이 가해진 경우 프로브의 수축은 50 μm가 최대로 프로브 전체적으로 변형이 크지 않아

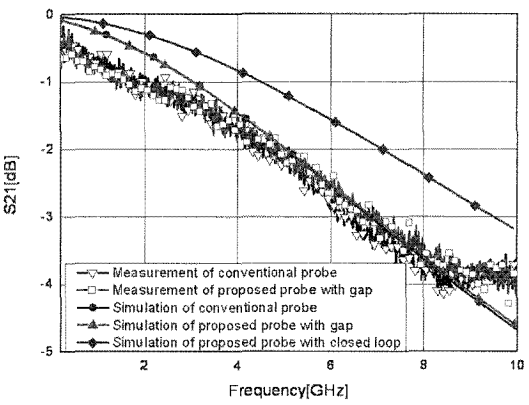


그림 18. 수직형 MEMS 프로브의 신호 전달 특성
Fig. 18. Transfer characteristic of vertical MEMS probe.

신호 전달 특성에 변화가 없을 것으로 판단되기 때문에 고려하지 않았다. 폐 루프가 형성된 제안된 수직형 프로브의 시뮬레이션 결과를 그림 18에 나타내었다. 이를 통해 제안된 수직형 프로브는 외부에서 힘이 가해지지 않았을 경우 기존의 S-자형 수직형 프로브와 동일한 신호 전달 특성을 갖지만 외부에서 힘이 가해졌을 경우 폐 루프의 형성을 통해 신호 전달 특성이 0~10 GHz 전주파수 대역에서 최대 1.4 dB 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 웨이퍼 상태의 칩 테스트를 위해 사용되는 프로브 카드의 신호 전달 특성을 예측할 수 있는 시뮬레이션 모델을 제안하였고, 모델의 신뢰성을 검증하기 위해 실제 프로브 카드의 신호 전달 특성을 측정하였으며, 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 0~2.5 GHz까지 일치하는 것을 확인하였다. 제안된 시뮬레이션 모델을 통해 PCB와 프로브가 프로브 카드의 신호 전달 특성에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 또한 기존의 S자형 수직형 프로브의 신호 전달 특성 향상을 위해 새로운 형태의 수직형 프로브를 제안하였다. 제안된 수직형 프로브의 형태는 기존의 S자형 스프링 구조에서 분기된 스프링이 더해진 구조로 전자기적 해석을 통해 신호 전달 특성이 향상됨을 확인하였다. 실제 테스트에서 사용되기 위해서는 전기적인 특성뿐만 아니라 기계적인 특성까지 고려되어야 하기 때문에 제안된 수직형 프로브에 갭을 추가하여 실제 테스트에서 신호 전달 특성 및 기계적인 특성이 모두 향상되도록 하였다. 제안된 수직형 프로브의 형태를 MEMS 공정을 통하여 제작하였으며, 기계적인 특성 및 전기적인 신호 전달 특성을 측정하였다. 이를 통해 제안된 수직형 프로브는 기존의 S자형 수직형 프로브보다 버클링 현상이 발생하는 컨택 포스가 2.5배 향상되고 오버드라이브는 1.2배 향상되는 것을 확인하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 실제 테스트 환경과 같이 외부의 압력에 의한 수직형 프로브의 수축에 의해 형성되는 폐 루프는 프로브의 전기적인 신호 전달 특성을 0~10 GHz에서 최대 1.4 dB 개선시키는 것을 확인하였다. 따라서 기계적인 특성 및 전기적인 특성이 개선된 갭을 가지는 제안된 형태의 수직형 프로브를 웨이퍼 단계의 반도체 테스트에 적용하면 프로브에 의한 프로브 카드의 기계적인 결함을 감소시키는 동시에 신호의 왜곡을 줄여 웨이퍼 상태의 반도체 테스트의 신뢰성 향상에 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] B. Leslie, F. Matta, "Wafer-level testing with a membrane probe", *IEEE Design & Test of Computers*, vol. 6, pp. 10-17, Feb. 1989.

[2] H. Johnson, M. Graham, *High-Speed Signalpropagation*, Prentice Hall, 2003.

[3] Hak-jun Kim, Jin-keon Yu, Jongmin Kim, Jung-bea Oh, Hyung-do Lim, and Wansoo Nah, "Prediction of signal transfer characteristics of probe card using electro-magnetic solvers", *The 8th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE), IEEE*, pp. 1229-1232, Nov. 2008.

[4] K. Kataoka, T. Itoh, T. Suga, and K. Inoue, "Contact properties of Ni micro-springs for MEMS probe card", *IEEE*, Sep. 2004.

[5] Rajiv Pandey, Dan Higgins, "P4 probe card-a solution for at-speed, high density wafer probing", *IEEE International Test Conference*, pp. 836-842, Oct. 1998.

[6] H. Iwai, A. Nakayama, and K. Omata, "Cantilever type probe card for at-speed memory test on wafer", *IEEE VLSI Test Symposium*, pp. 85-89, May 2005.

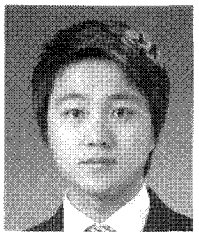
[7] W. R. Mann, F. L. Taber, P. W. Seitzer, and J. J. Broz, "The leading edge of production wafer probe test technology", *IEEE International Test Conference*, 2004.

[8] S. Choe, S. Tanaka, and M. Esashi, "A matched expanstion MEMS probe card with low CTE LTCC substate", *IEEE International Test Conference*, 2007.

[9] Jung Yup Kim, Hak Joo Lee, and Young-Ho Cho, "Anti-buckling vertical microprobes with branch springs", *Microelectronic Engineering*, in press, 2009.

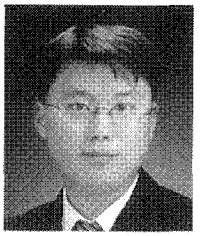
[10] Ansoft, *HFSS 100 Tips*.

하 정 래



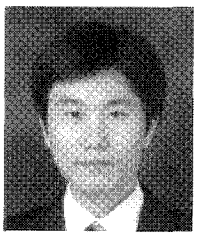
2007년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
[주 관심분야] Low Impedance PDN 설계, Signal Integrity

김 종 민



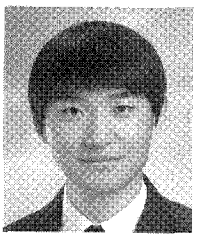
2006년 2월: 동의대학교 정보통신공학부 (공학사)
2008년 2월: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학석사)
2008년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정
[주 관심분야] Channel Modeling and Co-simulation, Analysis of PI, SI and EMI

김 병 기



2008년 2월: 인제대학교 전자공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
[주 관심분야] EBG, SI/EMC

이 준 상

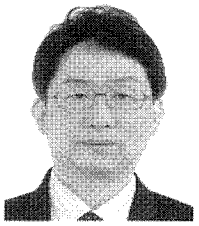


2010년 2월: 명지대학교 전자공학과 (공학사)
2010년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
[주 관심분야] Signal Integrity, EMC in Package

배 현 주

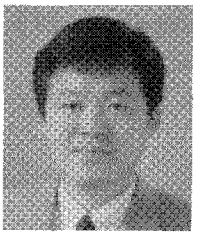
2010년 2월: 인제대학교 전자지능로봇공학과 (공학사)
2010년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC, SI, PI

김 정 엽



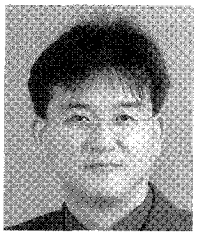
1995년 2월: 경희대학교 기계공학과 (공학사)
1997년 2월: 경희대학교 기계공학과 (공학석사)
2010년 2월: 한국과학기술원 바이오 및 뇌공학과 (공학박사)
1997년 3월~현재: 한국기계연구원 나노역학연구실 선임연구원
[주 관심분야] MEMS, 구조역학

이 학 주



1983년 2월: 성균관대학교 기계공학과 (공학사)
1985년 2월: 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
2003년 2월: 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과 (공학박사)
1985년 3월~현재: 한국기계연구원 나노역학연구실 책임연구원
2007년~현재: 과학기술연합대학원 교수
[주 관심분야] 나노스케일 물성 측정 및 평가

나 완 수



1984년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1986년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)
1991년~1993년: SSCL Guest Collaborator
1993년~1995년: 한국전기연구원 선임연구원
1995년~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 교수
[주 관심분야] SI, PI, EMI/EMC