

반도체 CMP 공정용 리테이너 링 재생을 위한 본딩 디스펜서 및 프레스 머신 개발

박형근*

Development of Bonding Dispenser and Press Machine to Regenerate Retainer Ring
for Semiconductor CMP Process

Hyoung-Keun Park*

요 약

반도체 제조 라인에서는 생산 제품의 원가절감을 위해 지속적인 노력을 기울이고 있고, 화학적 기계적 연마(CMP) 공정에서도 이에 대한 요구가 점점 가속화되고 있으며, 이러한 원가 절감 항목 중 대표적인 것이 5-Zone 링이다. CMP 공정에서 약 150시간을 사용하면 링의 두께가 1mm 미만으로 감소되어 새제품으로 교체해야 한다. 반도체 제조 라인에서는 생산 제품의 원가절감을 위해 지속적인 노력을 기울이고 있고, 화학적 기계적 연마(CMP) 공정에서도 이에 대한 요구가 점점 가속화되고 있으며, 이러한 원가 절감 항목 중 대표적인 것이 5-Zone 링이다. CMP 공정에서 약 150시간을 사용하면 링의 두께가 1mm 미만으로 감소되어 새제품으로 교체해야 한다. 따라서 본 연구에서는 리테이너 링의 마모된 부분을 반복 재생하여 반도체 제조 원가를 낮추며, 산업용 폐기물 처리에 따른 환경 오염을 최소화하기 위해 10g±0.8% 이하의 토출량 오차와 ±1.8% 이하의 압력 균일도를 갖는 본딩 디스펜서 및 프레스 머신을 개발하였다.

ABSTRACT

In the semiconductor manufacturing line, continuous efforts are being made to reduce the cost of products produced, and the demand for this is accelerating in the chemical mechanical polishing(CMP) process, and a representative example of these cost reduction items is the 5-Zone Ring. After about 150 hours of use in the CMP process, the thickness of the ring decreases to less than 1 mm and must be replaced with a new product. Therefore, in this study, bonding dispensers and press machines with a dispensing amount error of 10g±0.8% or less and a pressure uniformity of ±1.8% or less were developed to reduce semiconductor manufacturing costs by repeatedly regenerating worn parts of the retainer ring, and to minimize environmental pollution caused by industrial waste treatment.

키워드

Bonding Dispenser, Chemical Mechanical Polishing, Press Machine, Retainer Ring, Semiconductor Process
본딩 디스펜서, 화학적 기계적 연마, 프레스 머신, 리테이너 링, 반도체 공정

* 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과
• 접수일 : 2024. 01. 10
• 수정완료일 : 2024. 03. 27
• 게재확정일 : 2024. 06. 12

• Received : Jan. 10, 2024, Revised : Mar. 27, 2024, Accepted : Jun. 12, 2024
• Corresponding Author : Hyoung Keun Park
Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,
Email : phk315@nsu.ac.kr

I. 서 론

반도체 생산공정의 CMP 기술은 반도체 소자가 진공관 시대에서 VLSI, ULSI로 고집적화 됨에 따라 lithography 기술이 허용하는 초점 심도가 단차 이상으로 감소하는 문제를 CMP 기술의 광역 평탄화(planarization) 특성을 이용하여 해결하는 기술이다[1-3]. 1980년 미국 IBM사에서 최초로 도입한 후 1990년대 초 미국 Intel사에서 CPU chip 생산에 적용하였고 국내에서는 1995년부터 연구개발을 시작하여 1997년 180nm 64M DRAM 생산에 처음 사용되었다. 이후 메모리 소자배선 선폭이 100nm 이하로 감소함에 따라 회로배선 절연막의 평탄화 목적뿐만 아니라 회로배선 분리 및 배선 표면개선 응용으로 확대됨으로써 수요가 급격히 증가하고 있다.

반도체 제조를 위한 화학적 기계적 평탄화 또는 연마(Chemical Mechanical Planarization or Polishing) 기술은 웨이퍼를 폴리-우레탄으로 제조된 연마 패드(polishing pad)에 밀착시킨 상태에서 수백 nm 크기의 연마제(abrasive)가 함유된 슬러리(slurry)를 연마패드 표면에 분산시켜 박막의 화학적 반응을 유도하면서 웨이퍼를 지지하는 Polishing carrier와 연마패드가 부착된 Polishing platen을 고속 회전시켜 개질된 박막 표면을 기계적으로 제거함으로써 소자 배선으로 인한 절연막의 단차를 평탄화하거나, 소자배선을 분리하는 반도체 전공정 기술이다[4-5].

반도체 제조 라인에서는 생산 제품의 원가절감을 위해 지속적인 노력을 기울이고 있고, CMP 공정에서도 이에 대한 요구가 점점 가속화되고 있으며, 이러한 원가 절감 항목 중 대표적인 것이 5-Zone 링이다. CMP 공정에서 약 150시간을 사용하면 링의 두께가 1mm 미만으로 감소되어 새로 교체하여야 하며, 외국의 경우 5-Zone 링을 재사용하지 않고 있다.

따라서 본 연구개발에서는 5-Zone 링의 PEEK, PPS 재질부분만을 교체하여 생산공정에 적용함으로써 반영구적인 재생을 통해 반도체 공정비용의 절감은 물론 기존의 5-Zone 링을 대체가 가능하다. 2장에서는 5-Zone 리테이너 링의 사용환경과 요구사항, 3장에서는 제안된 장비의 설계 및 성능시험에 대해 기술 제시하였다.

II. CMP 공정용 5-Zone 리테이너 링

2.1 5-Zone 리테이너 링

그림 1과 같이 CMP 공정에서 웨이퍼를 연마하기 위하여 헤드(head)라는 기구를 사용하는데 이 헤드는 여러 기계적 조건을 갖추어야 한다.



그림 1. CMP 공정장비
Fig. 1 CMP process equipment

그림 2와 같이 5-Zone 리테이너 링은 헤드가 회전과 스weep 동작을 하는 연마 중 웨이퍼가 헤드 내부에서 이탈을 방지하는 역할과 웨이퍼 엣지 연마(edge polishing) 성능을 결정하는 주요한 요소이다.



그림 2. 5-Zone 리테이너 링
Fig. 2 5-Zone Retainer Ring

CMP공정의 3대 소모품(slurry, pad, retainer ring)에서 리테이너 링은 최대 150시간 사용 후 폐기되며, 이에 따른 원가상승과 폐기 과정에서 발생하는 산업용 폐기물의 증가로 환경오염이 가속화되고 있다.

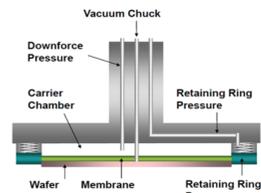


그림 3. 연마부 구조
Fig. 3 Polishing unit structure

2.2 5-Zone 리테이너 링 요구사항

CMP 5-Zone 링은 Polishing 중 Pad, 웨이퍼와 마찰이 이루어지며 이러한 환경에서 마찰로 인한 파티클(particle) 발생을 최소화 시키는 것이 중요하다. 반도체의 고집적화가 가속화되고 있는 상황에서 제조공정에 사용되는 소재의 극한의 클린 성능이 보장되어야 하며 내화학성 또한 필수적이다[6-7]. 이로 인해 5-Zone 링의 본체 특히, 패드와 웨이퍼가 직접 닿는 부분의 재질은 엔지니어링 플라스틱 PEEK, PPS 계열을 사용해야 하며 선택이 매우 제한적이다. 또한, 다양한 약액(chemical)을 사용하므로 강한 내화학성이 요구되며, 연마 중 고압으로 인해 패드와의 마찰이 커지고 더불어 고온의 마찰열이 발생하기 때문에 열적 팽창이 적어야 한다. 5-Zone 링의 연마 개념도는 그림 4와 같으며, 현재 기존의 5-Zone 링을 채용한 연마 헤드는 그림 5와 같다.

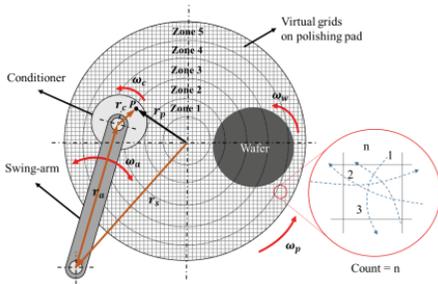


그림 4. 연마 개념도
Fig. 4 Polishing concept



그림 5. 기존의 연마 헤드
Fig. 5 Existing polishing head

III. 리테이너 링 재생장비

3.1 리테이너 링 재생방법

반도체 CMP 리테이너 링을 재생하기 위해 수작업으로 접착제를 도포하고 합착 압력을 가하기 위해 간이 Plate Pressure를 이용하여 작업함으로써 생산성과 정밀한 작업이 불가능하였다. 또한, 도포 접착제의 불균일한 투입으로 인해 본딩 후 오버플로우(overflow)되는 잔량을 추가로 제거해야 하는 문제로 작업성과 생산성이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 리테이너 링 재생 작업 효율성과 품질향상을 위해 정밀한 작업이 요구되는 본딩 투입량 정밀 제어 및 균일한 압력으로 합착시켜줄 수 있는 장치를 개발하였다.

그림 6, 5-Zone 링을 재생하기 위해서는 사용된 링의 PEEK, PPS 재질부분을 제거한 후 본딩 디스펜서를 사용하여 접착제의 양과 도포 범위를 정밀하게 제어하고 최적의 압력제어가 가능한 프레스 머신을 적용하였다.

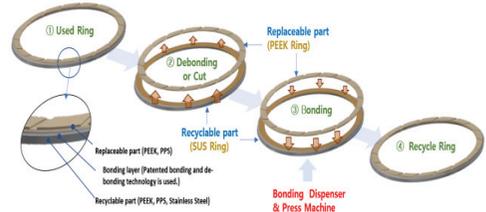


그림 6. 5-Zone 링 재생 개념도
Fig. 6 5-Zone recycling concept

3.2 물질별 습윤성 분석

습윤성(Wettability)은 어떤 고체면에 대한 어떤 액체의 젖기 쉬운 정도. 청정한 유리에 대해 증류수의 습윤성은 높고, 연꽃 잎에 대한 물의 습윤성은 대단히 낮다. 습윤성을 평가하는 데는 접촉각, 습윤열 등이 사용된다. 접촉각이 작을수록 습윤성이 좋다.

5-Zone 링 재생은 사용된 5-Zone 링을 1차 가공한 후 가공된 추가 링을 접착제를 이용하여 본딩(bonding) 해주는 디스펜서와 접착제 도포 후 일정 강도 이상으로 눌러주는 프레스 머신이 필요하다. 프레스 머신은 반도체 CMP 5-Zone 링 재생시 결합되는 모재와 모재, 모재와 접착제 사이의 밀착력을 높여 접착면과 강도를 만들어주는 역할을 한다. 5-Zone 링

접합은 PEEK와 PEEK를 접착해야 하는데 PEEK의 특성상 소수성을 가지며, 금속에 비해서 접착 강도가 떨어진다.

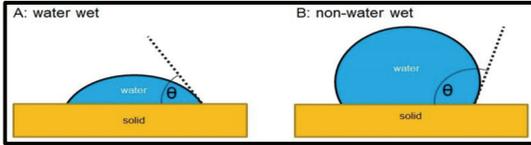


그림 7. 접착 대상 물질에 따른 습윤성

Fig. 7 Wettability depending on the bonded material

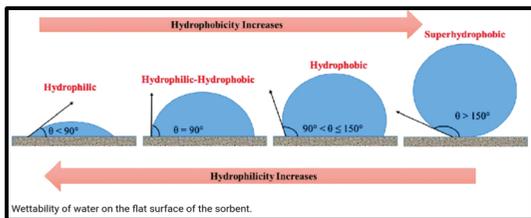


그림 8. 접착 대상 물질에 따른 습윤성

Fig. 8 Wettability depending on hydrophobic and hydrophilic substances

그림 7, 소수성을 띠는 두 물체를 접합하는 방법에서 접착제를 사용하는 것은 일반적으로 권장되지 않으나 작업의 편리성으로 가능하다면 쉬운 방법에 속한다. 표 1에서와 같이현재 접착제의 성능이 많이 좋아지고 있으므로 힘을 많이 받는 부분의 적절한 형상 설계와 우수한 접착 성능을 갖는 접착제를 선정한다면 충분한 강도의 접착이 가능하다.

표 1. 접착제 및 PEEK, PPS 습윤성

Table 1. Bond and PEEK, PPS wettability

Wettability 24 h / 96 h (23 °C) %		
Bond	PEEK	PPS
0.001/0.001	0.01/0.02	0.02/0.03

3.3 리테이너 링 접착을 위한 고려요소 분석

그림 8, 5-Zone 링에 가해지는 회전(rotational), 스위프(sweep) 및 아래(down) 방향의 힘을 고려해야 한다. 회전력은 웨이퍼를 가공시 리테이너 링 작업면이 패드와 슬러리가 공급된 환경에서 마찰 회전 운동을

의미하며, 스위프는 스위프 마찰 운동, 아랫방향 힘은 공압에 의해 아래쪽으로 가하는 힘을 의미한다. 5-Zone 링은 패드 위에서 회전과 함께 일정 거리를 스위프함으로써 화살표와 같은 힘이 작용한다.

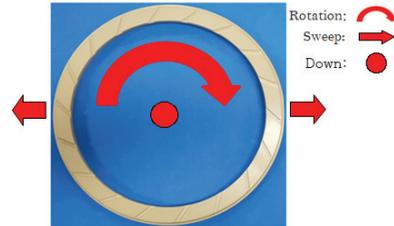


그림 9. 5-Zone 리테이너 링에 작용하는 힘

Fig. 9 Force acting on 5-Zone retainer ring

3.4 5-Zone 리테이너 링 접착 방법

재생 5-Zone 리테이너 링 사용 시 받는 힘을 고려한 형상 설계가 필요하며, 접착제를 도포 표면 중앙에 분사하지 않는 이유는 중앙을 기준으로 안쪽은 단면적이 작아지고, 바깥으로 갈수록 넓어지므로 안쪽으로 균일하게 접착제를 분산하기 위해서는 스플릿(split)을 통해서 조건을 결정해야 한다. 이는 오버플로우가 최소화되면서 균일한 접착제 분산이 가능한 조건이 된다. 노즐 위치 결정을 위한 스플릿시 노즐의 이동을 미세하게 조절해야 하므로 초정밀 거리 센서를 이용하여 실시간으로 측정하면서 조정하며, PEEK & PEEK의 접착 강도를 올리는 방법은 특수한 Binder treatment를 접합부 양면에 얇고 고르게 문질러 바른 후 접착제를 도포해야 한다. Binder는 무색무취에 물과 같은 점성을 가지므로 깨끗하고 마른 천에 묻혀 바르며, 접착제 도포 시 소수성 재질로 인해 형성되는 도포 형상 및 Press시 접착제 흐름을 고려하였다.

IV. 재생장비 설계 및 성능시험

4.1 본딩 디스펜서 설계

접착제(bond) 토출시 정밀한 압력을 유지하기 펌프 내압을 모니터링할 수 있는 고분해능 압력센서 적용하였고 5상 스텝모터 제어를 통해 정밀한 토출 압력을 유지하였다[8-10]. 개발된 디스펜싱 펌프는 최대

체적(max volume) 20cc, 실린더 지름 \varnothing 30mm, 모터 리더스크류(motor leader screw) 4mm 사양으로 내부 구조는 그림 9, 본딩 디스펜서 시스템의 구성도는 그림 10과 같다.

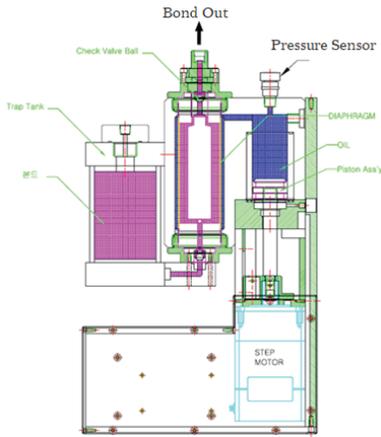


그림 10. 디스펜싱 펌프 내부 구조
Fig. 10 Internal structure of dispensing pump

접착제가 직접적으로 맞는 모든 부분의 재질은 PFA, TFM, PCTFE와 같은 오염이 쉽게되지 않는 재질로 제작하였으며, 접착제는 공기와 접촉 시 빠르게 고화되므로 각 연결부위에 대한 기밀성과 접착제를 저장하는 Trap-Tank의 기밀성을 견고히 하기 위한 설계를 적용하였다. 또한, 접착제를 최종적으로 토출하는 Nozzle의 경우 변형이 적고 소수성이 강한 PCTFE 재질을 적용하고, 접착제가 공급되는 배관은 PFA를 사용하여 제작하였다.

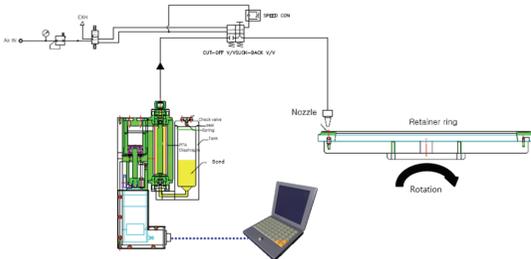


그림 11. 본딩 디스펜서 시스템 구성도
Fig. 11 Structure of bonding dispenser system

4.2 프레스 머신 설계

프레스 머신에 사용된 압력 액츄에이터(press actuate)는 공압 실린더를 적용하였으며, 실린더의 직경이 \varnothing 200일 때 5bar에서 1,257kgf/cm²의 압력 특성을 갖는다. 링 합착 시 사용되는 접착제 점도에 따라 압력은 가변적으로 적용이 가능하고, 최대 1톤 이상 하중을 가할수 있도록 큰 실린더 직경을 선택하였다.

흡착 및 프레스는 추가되는 링(add ring)을 진공 흡착하여 합착 시 눌러주는 역할을 하며, 베이스(base) 링 중앙에 정확히 일치시켜 가이드(guide)에 의해 상하 Up/Down 동작을 수행한다.

리테이너 링 세팅 후 접착제 도포 시 회전하고 합착 시 받쳐주는 베이스 링 및 구조체는 평탄도 ± 0.02 mm 수준이 요구되며, 베이스 링 Up 후 회전 시 ± 0.1 mm 수준의 정밀한 평탄도를 유지해야 한다. 베이스 링 및 구조체는 그림 11, 프레스 머신의 구조는 그림 12와 같다.

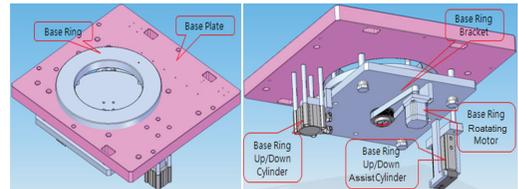


그림 12. 베이스 링 및 구조체
Fig. 12 Base ring and structure body

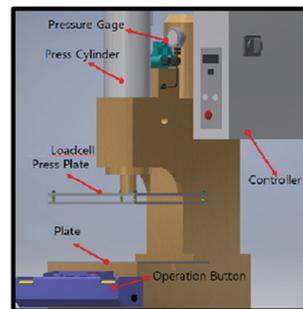


그림 13. 프레스 머신 시스템 구조
Fig. 13 Structure of press machine system

4.3 본딩 디스펜서 및 프레스 머신 개발개발

본딩 디스펜서와 프레스 머신을 채용한 리테이너 링 재생장비는 그림 13과 같다. 재생장비는 먼저 베이

스 링에 재생용 리테이너 링을 세팅하고, 노즐을 베이스 링 중앙으로 이동한 후 베이스 링을 Up한다. 베이스 링을 일정 속도로 정속 회전하면서 노즐을 통해 접착제를 분사한다. 접착제를 360°회전하면서 도포 후 노즐을 Home으로 위치시킨다. 베이스 링을 Down후 추가 링이 흡착된 프레스 척(press chuck)을 Down시켜 링을 합착한다. 접착제 분사용 노즐은 조절부(adjust unit)에서 10 μ m 수준의 정밀도로 접착제 Drop Point를 조정하는 순서로 동작한다.



그림 14. 리테이너 링 재생장비
Fig. 14 Retainer ring recycling equipment

4.4 성능시험

본딩 디스펜서의 토출 압력오차는 일반 상온 및 대기 조건에서 n pa을 주어 10cc/5회 토출 시 측정되는 펌프 압력이며, 토출량 오차는 10g/5회 토출 시 유량 측정 값 오차이다. 표 2에서와 같이 압력 균일도는 시제품에 압력을 가하여 장비에 장착된 로드셀 압력 센서로 측정하였으며, 측정된 상, 하, 좌, 우 4포인트 간의 압력값의 편차를 제시하였다.

표 2. 리테이너 링 재생장비 성능 시험

Table 2. Performance test of Retainer ring recycling equipment

Performance Specification		Test Result
Bonding Dispenser	Dispensing pressure error	$\leq n \pm 2.9\%$
	Dispensing amount error	$\leq 10g \pm 0.8\%$
Press Machine	Press Uniformity	$\leq \pm 1.8\%$
	Plate flatness	$\leq \pm 6\mu m$

V. 결론 및 향후개선 방향

반도체 제조 라인에서는 생산 제품의 원가절감을 위해 지속적인 노력을 기울이고 있고, CMP 공정에서도 이에 대한 요구가 점점 가속화되고 있다. 따라서 본 연구에서는 CMP 공정에서 필수적인 소모품인 5-Zone 리테이너 링을 재활용 할 수 있는 장비를 개발하였으며, 반영구적인 재생을 통해 반도체 공정비용의 절감은 물론 기존의 5-Zone 리테이너 링을 대체할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 재생 장비의 활용을 통해 고부가가치 CMP 공정 소모재의 국산화, 국내 반도체 생산기업의 가격 경쟁력 확보를 통한 세계 시장 점유율 확대 및 링의 재활용을 통한 에너지 절감과 공정 폐기물 처리로 인한 환경오염의 저감에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 재생된 리테이너 링을 반도체 생산 공정에 적용한 필드 테스트를 통해 신뢰성을 확보할 예정이며, 다양한 약액 및 압력의 정밀한 제어에 응용한 제품 개발에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이 논문은 2023년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

References

- [1] S. Han, S. Yun, B. Yun, C. Hong, H. Cho, and J. Moon, "Study on optimization of CMP Conditioning," In *Proc. Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers Annual Summer Conf.*, Mooju, Korea, June 2006, pp. 51-54.
- [2] O. Kwon, T. Choi, and J. Lee, "Molecular Dynamics Study on Property Change of CMP Process by Pad Hardness," *J. of The Korea Society of Semiconductor & Display Technology*, vol. 12, no. 1, 2013, pp. 61-65.
- [3] J. Seo, T. Kim, J. Son, and H. Lee, "A Study on CMP Process Result According to Lap-Grinding Pressure," In *Proc. Korea Society for Precision Engineering Annual Spring Conf.*, Jeju, Korea, May 2019, pp. 214.
- [4] S. Lee, H. Kim, and J. Park, "Slurry Particle Cleaning in CMP Process," *J. of The Korea Society for Precision Engineering*, vol. 17, no. 3,

- 2000, pp. 184-191.
- [5] C. Lee, J. Park, and H. Jeong, "Monitoring system for pressure of chemical mechanical polishing," In *Proc. Korea Society of Mechanical Engineers Annual Spring & Autumn Conf.*, Changwon, Korea, Nov. 2012, pp. 2429-2430.
- [6] B. Lee, "Electrical Characteristic of PMMA Thin Film by Plasma Polymerization Method with Process Pressure and RF Substrate Bias Power," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 5, 2011, pp. 697-702.
- [7] Y. Jeong and S. Kang, "STI Top Profile Improvement and Gap-Fill HLD Thickness Evaluation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 6, 2022, pp. 1175-1180.
- [8] H. Yoon, J. Kang, S. Jo, J. Kim, and Y. Han, "Development of Arduino-Based Beverage Mixing System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 19, no. 1, 2024, pp. 157-164.
- [9] H. Park, "Study on the Photoresist Quantitative Emission Pump for Semiconductor Manufacturing Process," *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation society*, vol. 23, no. 9, 2022, pp. 254-259.
- [10] H. Park, "A Study on the High Viscosity Photosensitive Polyimide Degassing and Pumping System," *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation society*, vol. 16, no. 2, 2015, pp. 1364-1369.

저자 소개



박형근(Hyung-Keun Park)

1995년 원광대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1995년 원광대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2005년~ 현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 반도체 회로설계 및 공정장비, 마이크로프로세서 응용설계

