

Cu 배선의 평탄화를 위한 ECMD에 관한 연구

Electro-chemical Mechanical Deposition for Planarization of Cu Interconnect

정석훈¹, 서헌덕¹, 박범영¹, 박재홍¹, 박성민¹, 정문기², 정해도^{3,a}, 김형재⁴

(Sukhoon Jeong¹, Heondeok Seo¹, Boumyoung Park¹, Jaehong Park¹, Seungmin Park¹, Moonki Jeong², Haedo Jeong^{3,a}, and Hyoungjae Kim⁴)

Abstract

This study introduces Electro-chemical Mechanical Deposition(ECMD) for making Cu interconnect. ECMD is a novel technique that has ability to deposit planar conductive films on non-planar substrate surfaces. Technique involves electrochemical deposition(ECD) and mechanical sweeping of the substrate surface. Preferential deposition into the cavities on the substrate surface may be achieved through two difference mechanisms. The first mechanism is more chemical and essential. It involves enhancing deposition into the cavities where mechanical sweeping does not reach. The second mechanism involves reducing deposition onto surface that is swept. In this study, we demonstrate ECMD process and characteristic. We proceeded this experiment by changing of distribution of current density on divided wafer area zones and use different pad types.

Key Words : ECMD(electro-chemical mechanical deposition), Cu, Mechanism

1. 서 론

CPU(central processing unit), ASIC(application specific integrated circuit)와 같은 반도체 디바이스 제조에서 구리를 도금하는 공정인 ECP(electrochemical plating) 공정은 하부의 패턴 형상에 따라 conformal하게 증착되는 것이 일반적인 특징이다. 뿐만 아니라 ECP의 경우 도금 후 밀집된 배선의 패턴(pattern) 부분이 주변부와 비교하여 더 높은 단차를 형성하게 되며, 이러한 상대 단차가 클수록 Cu CMP(Chemical Mechanical Polishing)에서의 연마 제거량은 증가하게 된다. 따라서 Cu CMP 시 불균일한 패턴밀도로 인하여 과소 연마부

및 과다 연마부가 발생하게 되어 연마종점 이후에 구리 잔류막(residue), 디싱(dishing), 에로전(erosion)과 같은 결함(defect)들이 발생하게 된다. 이는 WIDNU(within die non-uniformity)와 DTDNU(die to die non-uniformity)를 악화시킴으로써 반도체 디바이스의 수율 감소와 후속 공정에서의 공정마진을 감소시키게 한다[1].

또한 소자의 동작속도 향상을 위해 구리 배선을 절연시키는 재료로 저유전체(low-k)를 적용하여 Cu CMP에서 높은 연마압력으로 공정을 시행하고 있다. 이러한 높은 압력의 Cu CMP 공정으로 인하여 구리 층의 delamination 현상 및 저유전체 물질이 깨어지는 현상이 발생하며, 이를 해결하기 위한 방안으로 저압·고속 조건을 이용한 구리층의 평탄화가 연구되어지고 있다. 이와 더불어 Cu CMP에 대한 처리량(throughput) 향상 및 관련 소모품 비용의 절감에 대한 문제도 해결 과제로 직면하게 되었다[2].

전기·화학·기계적·도금(ECMD:electro-chemical mechanical deposition) 공정은 황산(H₂SO₄) 도금액 분위기에 다양한 첨가제(additives)들이

1. 부산대학교 정밀기계공학과
(부산시 금정구 잠전동 산 30)
2. 부산대학교 미세기계전자시스템 협동과정
3. 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소
4. UC Berkeley
a. Corresponding Author : hdjeong@pusan.ac.kr
접수일자 : 2005. 6. 27
1차 심사 : 2005. 7. 27
심사완료 : 2005. 8. 16

금 촉진제(accelerator), 도금 억제제(suppressor), 평탄화제(leveler)등을 첨가한다. 그리고 웨이퍼 및 양극에 전류를 가하여 배선 재료인 구리를 트렌치(trench)에 gap-filling하면서 동시에 최종 도금표면의 평탄화를 달성하는 공정이다[2]. 즉, ECMD 공정은 낮은 압력 및 고속의 회전 조건에서 전기·화학적으로 트렌치에 gap-filling을 하면서 동시에 화학·기계적으로 도금이 불필요한 트렌치의 상부에 구리층 형성을 억제하는 공정이다.

본 논문에서는 위에서 언급한 Cu CMP에서 발생하는 문제점들을 해결하기 위한 ECMD 장치를 제작하여 기본적인 ECMD 장비의 특성 및 웨이퍼 내의 전류밀도 분포와 패드의 조건들을 변화시켜 균일한 구리층 형성 조건에 대하여 연구하였다.

2. ECMD process 및 장비

2.1 ECMD process

ECMD 공정은 전기·화학·기계적 작용을 통해 구리를 트렌치 내부에 gap-filling 하는 동시에 평탄한 도금층을 만들어주는 공정이다. 즉 전기·화학적으로 구리를 트렌치 내부에 도금하는 ECP 공정. 원리와 웨이퍼 표면의 청결 및 트렌치 상부에서 전기·화학적 요소의 역할의 감소를 위한 패드(pad)의 기계적인 공정이 포함된 것이다[3].

ECMD 공정에서의 gap-filling 및 평탄화(planarization)는 다양한 메커니즘에 의해서 달성되어진다. 첫 번째 메커니즘은 높은 압력을 적용하여 웨이퍼 표면과 트렌치 내에 구리를 도금하는 동안 패드에 의해 웨이퍼 표면의 구리를 연마하는 것을 포함한다[3]. 이 때 트렌치 내에서의 도금량은 패드에 의해 구리가 연마되는 트렌치 상부 표면의 도금량보다 크다[3]. 두 번째 메커니즘은 낮은 압력을 적용하여 전기·화학적으로 패드가 닿지 않는 부분인 트렌치 내에서 구리를 도금시키는 것을 포함한다[3]. 이때 패드는 낮은 압력상태이기 때문에 웨이퍼 표면의 도금되어지는 구리를 제거하지 못한다[3].

ECMD 공정은 위에서 언급한 두 가지의 메커니즘을 이용하며, 그림 1과 같이 낮은 압력, 높은 상대속도 및 전기·화학적 작용을 이용하여 구리를 트렌치 구조 내에 gap-filling 하는 동시에 화학·기계적으로 도금층의 평탄화를 이루어내는 것이다.

2.2 ECMD 장비

2.2.1 ECMD 장비

ECMD 장비의 구성은 우선 웨이퍼를 부착시켜

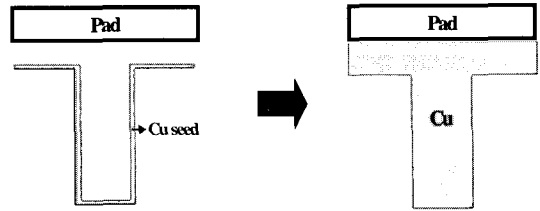


그림 1. ECMD 공정 원리.

Fig. 1. Principle of ECMD process.

압력을 가하면서 웨이퍼를 도금욕조(electrolyte bath)로 회전하며 진행시키는 헤드부, 기계적으로 도금층의 평탄화 역할을 위한 패드, 패드가 붙어지는 정반(platen)과 도금액을 도금욕조로 공급해주는 펌프(pump)의 기계적인 부분으로 구성되어 있다. 특히 ECMD 장비에서 헤드는 구리가 트렌치 내에 도금이 될 수 있도록 음극(cathode)과 연결되며 또한 구리 씨앗층(Cu seed)을 포함한 웨이퍼를 고정하는 역할을 하며, 정반은 홀(hole)을 통하여 도금액이 패드 및 웨이퍼에 공급하는 통로 역할을 한다[4]. 또한 전기적 구성부는 일정한 전류와 전압을 웨이퍼 및 도금욕조 내의 구리 양극(anode)에 공급해 주는 전원공급기(power supply)로 이루어져 있다.

2.2.2 도금액(Electrolyte)

도금액은 ECMD 공정에서 구리 이온(Cu^{2+})의 공급원이며 화학적으로 도금의 증착 속도 및 특성을 결정시켜 주는 역할을 한다.

도금액은 황산구리($CuSO_4$), 황산(H_2SO_4)과 염화이온(Cl^-) 및 3가지의 첨가제들로 구성되어진다. 황산구리는 구리 이온의 공급원이며 황산은 도금액의 산성을 높여 전기전도도의 향상 역할을 한다[3]. 그리고 염화이온은 첨가제의 효과를 향상시키며 매끄럽고 탄력있는 구리의 도금 특성을 결정시켜주는 역할을 한다[3]. 첨가제로는 국부적으로 전류를 증가시켜 도금을 촉진시켜주는 도금 촉진제, 웨이퍼 전면에 걸쳐, 특히 염소 이온이 존재하는 가운데 전류를 억제하는 막을 형성시키는 역할을 하는 도금 억제제 및 낮은 농도로 첨가되어 확산이나 영동에 의한 물질전달이 돌출된 표면과 모서리에 더 효과적으로 전류를 억제시켜주는 역할을 하는 평탄화제로 구성이 되어있다[3,5-7].

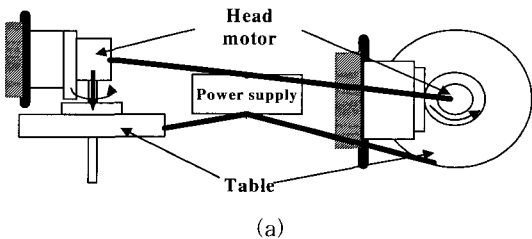
본 실험에서 사용한 도금액 및 첨가제는 Rohm & Haas사 제품을 사용하였다.

3. ECMD 장비 특성 및 공정 특성

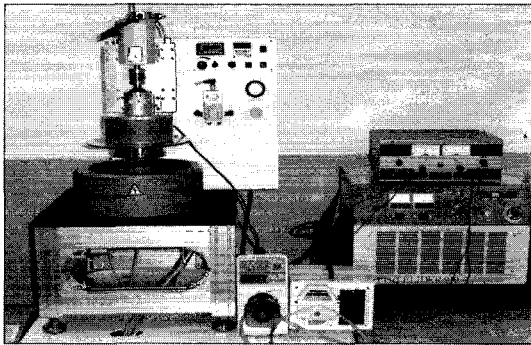
3.1 ECMD 장비 특성

본 실험에서 사용한 ECMD 장비의 개념도와 이를 바탕으로 설계한 장비를 그림 2에 나타내었다.

제작한 ECMD 장비는 4 인치 웨이퍼 기준 최소 압력 70 g/cm² 이상 가압할 수 있으며 압력 정밀도는 ±3 g/cm²이다. 헤드의 회전속도는 최대 200



(a)



(b)

그림 2. (a) ECMD 개념도 (b) ECMD 실험 장비.

Fig. 2. (a) Schematic of ECMD (b) Equipment for ECMD experiment.

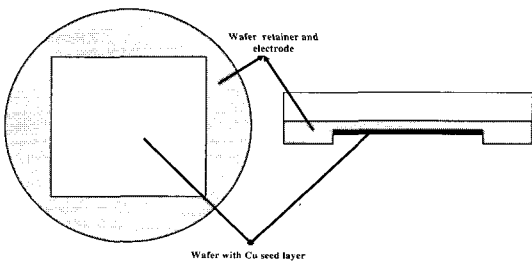


그림 3. ECMD 장치의 헤드.

Fig. 3. Schematic of ECMD head.

rpm으로 회전할 수 있으며 구리 박막 웨이퍼에 전류를 공급해주는 헤드는 그림 3에 나타내었다. 헤드는 전류 접촉점에서 발생하는 접촉 저항(contact resistance)의 영향을 최소화하기 위하여 웨이퍼의 가장자리(edge)부에 전류를 무한대의 접촉점으로 공급한다[8]. 그리고 쿠펜(coupon) 웨이퍼를 사용하기 위하여 사각형으로 홀을 뚫어 제작하였다.

3.2 ECMD 공정 특성

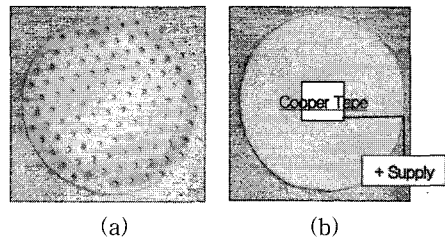
3.2.1 ECMD 실험 조건

실험은 표 1에 나타낸 것과 같이 70 g/cm²의 압력, 20 rpm의 헤드 회전속도와 1100 cc/min의 유량(flow rate)으로 각각의 전압, 전류 조건으로 실시하였다. 웨이퍼는 4 인치 구리 씨앗층 웨이퍼를 사용하였다. 그리고, 그림 4와 같이 실험 I에서는 독립 발포된 폴리우레탄(polyurethan) 재질의 IC1400TM 패드를 사용하였고 실험 II에서는 부직포 재질의 Suba600TM 패드 밑면에 양면 구리 필름을 중앙 부근에 부착한 패드를 사용하였으며 10분 동안 실험을 진행하였다.

표 1. ECMD 실험조건.

Table 1. Experiment conditions for ECMD process.

	Experiment I	Experiment II	
Voltage	6 V	6 V	
Current	2 A	Center	2.5 A
		Edge	2 A
Pressure	70 g/cm ²	70 g/cm ²	
Head Velocity	20 rpm	20 rpm	
Pad	IC1400 TM	Suba600 TM	
Flow rate	1100 cc/min	1100 cc/min	
Time	10 min	10 min	



(a)

(b)

그림 4. (a) 실험 I 및 (b) 실험 II에 사용되어진 패드.

Fig. 4. Pads for (a) experiment I and (b) Experiment II.

3.2.2 ECMD 실험 결과

각 실험 방법으로 구리 씨앗층 웨이퍼를 사용하여 ECMD 공정을 실시하였다. 평가 기준은 면저항(sheet resistance)을 측정 한 뒤 두께로 환산하여 평가하였다.

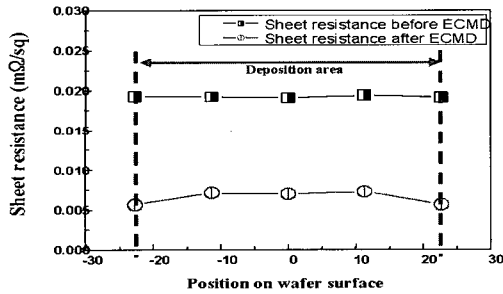
그림 5는 실험 I의 ECMD 공정 전·후 면저항 및 ECMD 공정 후의 분당 구리 박막 증착두께를 나타낸 것이다.

그림 5에서 ECMD 공정 후 구리 박막의 면저항 측정하여 두께를 환산한 결과 웨이퍼에 전체적으로 구리 도금이 이루어졌다는 것을 알 수 있다. 그러나 WIWNU(within wafer non-uniformity)는 12%로 좋지 않은 것을 알 수 있다. 이것은 전기 접촉을 하는 웨이퍼의 가장자리부가 중심부보다 높은 도금량을 보이고 있기 때문이다. 즉, 웨이퍼 가장자리에 전기적 접촉점으로 인하여 중심부보다 전류 밀도가 높기 때문에 도금이 많이 되어진 것이다[8]. 또한 IC1400TM 패드에 도금액 및 전기장의 동로 역할을 하는 홀을 뚫은 결과 웨이퍼 표

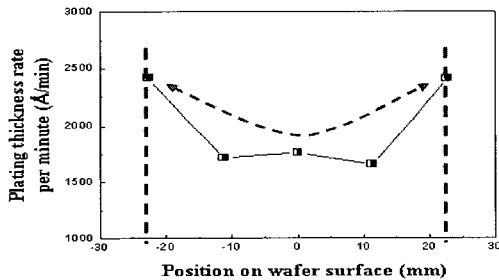
면에 동심원의 띠들이 발생하였다. 이는 IC1400TM 패드가 부도체의 물질이기 때문에 도금 공급 및 전기장의 영향이 웨이퍼 전체적으로 균일하게 영향을 미치지 못하고 홀을 중심으로 이루어졌기 때문이라고 보여진다.

실험 II는 실험 I에서 웨이퍼 중심부 전류 밀도가 낮은 특성을 보였기 때문에 중심부에 양면 구리테이프를 사용하여 중심부의 전류 밀도를 높이고, 또한 전기장 및 도금액의 균일한 분포를 위하여 열린 구조(open-cell)의 패드인 Suba600TM 패드를 사용하여 진행하였다.

그림 6에서 웨이퍼 중심부의 전류 밀도를 상승시킨 결과 웨이퍼의 가장자리보다 중심부의 면저항이 낮으며 분당 도금량이 크다는 것을 볼 수 있다. 이것은 상대적으로 전류 밀도가 높은 중심부의 구리 도금량이 상대적으로 전류 밀도가 낮은 가장자리부의 도금량보다 많다는 것을 알 수 있다. 또한 실험 I 결과에서 볼 수 있었던 원형의 띠가 열린 구조의 패드를 사용함으로써 크게 감소



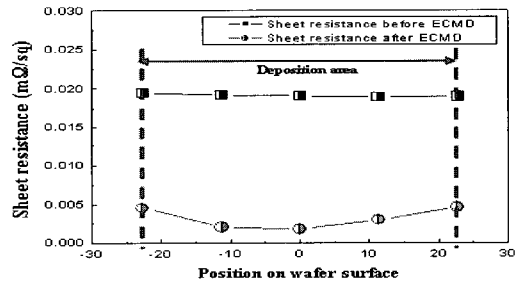
(a)



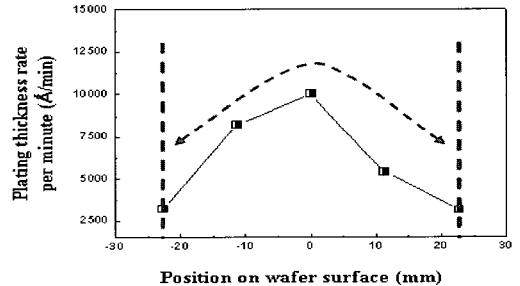
(b)

그림 5. 실험 I (a) ECMD 전·후의 면저항 (b) ECMD 후 분당 박막 증착두께율.

Fig. 5. (a) Sheet resistance before and after ECMD process (b) Cu plating thickness rate per minute after experiment I.



(a)



(b)

그림 6. 실험 II (a) ECMD 전·후의 면저항 (b) ECMD 후 분당 박막 증착두께율.

Fig. 6. (a) Sheet resistance before and after ECMD process (b) Cu plating thickness rate per minute after experiment II.

한 것을 볼 수가 있었다. 이것은 열린 구조를 가진 패드가 전체적으로 도금액을 흡수하여 웨이퍼 전면에 고르게 도금액과 전기장을 균일하게 분포하기 때문이라 생각되어 진다.

4. 결 과

본 연구는 ECMD 장비를 제작하여 4 인치 구리 씨앗층 웨이퍼를 사용한 ECMD 공정 특성을 알아 보았다.

ECMD 장비의 조건으로는 낮은 압력과 고속의 회전이 필요하다. 이의 조건으로 제작되어진 ECMD 장비는 4 인치 웨이퍼 기준 최소압력 70 g/cm² 까지 가압할 수 있으며, ± 3 g/cm²의 압력 정밀도를 가진다. 또한 회전속도는 200 rpm 까지 가능하다.

4 인치 구리 씨앗층 웨이퍼에 대한 ECMD 공정으로 구리 도금이 이루어진 것을 확인할 수 있었으나, 웨이퍼 전체적으로 전류 밀도가 균일하지 않아 불균일한 도금이 이루어졌다. 하지만 웨이퍼 중심부에 전류 밀도를 상승한 결과 웨이퍼 중심부의 도금량이 상대적으로 전류 밀도가 낮은 가장자리 부보다 많다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 웨이퍼 중심부의 전류 밀도를 높여 가장자리부의 전류 밀도와 같게 만들어준다면 고른 도금이 될 것이라 생각되어진다. 뿐만 아니라 웨이퍼 상의 원형 피의 발생을 억제하기 위하여 패드는 닫힌 구조(closed-cell)가 아니라 부직포 형식의 열린 구조를 가짐으로 인해 웨이퍼 전체적으로 고르게 도금액 및 전기장이 공급되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Kim H. Y., Hong J. H., Moon S. T., Han J. w., and Kim K. H. "Cu CMP characteristics and electrochemical plating effect", Proc. 2004 Summer Conf. KIEEME, p. 252, 2004.
- [2] B. Basol, C. Uzoh, H. Talieh, T. Wang, G. Guo, S. Erdemli, D. Mai, P. Lindquist, J. Bogart, M. Cornejo, M. Cornejo, and E. Basol, "Planar copper electrodeposition and electropolishing technique", The national AIChE Meeting, san Francisco, CA., Symposium on Metallization in semiconductor device fabrication, p. 192, 2003.
- [3] B. M. Basol, C. E. Uzoh, H. Talieh, D. Young, P. Lindequist, T. Wang, and M. Cornejo, "Electrochemical mechanical deposition technique for semiconductor interconnect applications", Microelectronic Engineering, Vol. 64, Iss. 1-4, p. 42, 2002.
- [4] C. E. Uzoh, H. Talieh, and B. M. Basol, "Anode designs for planar metal deposits with enhanced electrolyte solution blending and process of supplying electrolyte solution using such designs", U. S. Patent 6,695,962 B2, 2004.
- [5] C. E. Uzoh, T. Wang, J. Ashjace, H. Talieh, and B. M. Basol, "Planarized copper layers for interconnect fabrication", NIKKEI MICRO-DEVICES 2004, p. 103, 2004.
- [6] Y. Dordi and P. Hey, "Automated Chemical Management for Production Copper Electroplating", Semiconductor Fabtech-11th Edition p. 273, 1999.
- [7] 손상기, 이유용, 조병원, 이재봉, 이태희, "전기 구리도금에 미치는 Mercapto화합물의 전기화학적 특성", 한국전기화학회지, 4권, 4호, p. 160, 2001.
- [8] L. A. Gochberg, "Modeling of uniformity and scale-up in a 300 mm copper electroplating tool", The 1999 Joint International Meeting, Vol. 99-2, Abstract No. 900, p. 900, 1999.