

Cu 배선의 평탄화를 위한 ECMD에 관한 연구

정석훈, 서헌덕, 박범영, 이현섭, 정재우, 박재홍, 정해도*
 부산대학교 정밀기계공학과, 부산대학교 기계공학부*

Electro-chemical Mechanical deposition for the planarization of Cu film

Sukhoon Jeong, Heonduk Seo, Boumyoung Park, Hyunseop Lee, Jaewoo Jung, Jaehong Park and Haedo Jeong*

Department of Mechanical & Precision Engineering in PNU, School of Mechanical Engineering in PNU*

Abstract : 반도체는 고집적화, 고속도화, 저전력화를 목적으로 발전하고 있다. 이를 위하여 design rule의 감소, 새로운 물질과 프로세스의 적용 등 많은 연구가 이루어지고 있으며, RC delay time을 줄이기 위한 Cu와 저유전율 재료의 적용이 그 대표적인 예라 할 수 있다. Cu 배선은 기존의 Al 배선에 비하여 높은 전자이동(electro-migration)과 응력 이동(stress-migration) 저항을 가짐으로써 전기적인 성능(electrical performance)에서 이점을 가지고 있다. 반도체에서의 Cu 배선 구조는 평탄화된 표면 및 배선들 사이에서의 좋은 전기적인 절연성을 가져야 하며, 이는 디싱(dishing)과 에로전(erosion)의 중요한 인자가 된다. 기존의 평탄화 공정인 Cu CMP(Chemical Mechanical Polishing)에 있어서 이러한 디싱, 에로전과 같은 결함은 선결되어야 할 문제로 인식되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 결함들을 감소시키기 위한 새로운 평탄화 방법으로 Cu gap-filling을 하는 동시에 평탄화된 표면을 이루는 ECMD(Electro-Chemical Mechanical Deposition) 공정의 전기적·기계적 특성을 파악하였다.

Key Words : ECMD, Cu, 평탄화, Cu gap-filling

1. 서론

반도체는 고집적화, 고속도화, 저전력화를 목적으로 발전하고 있다. 이를 위하여 최소 선폭의 감소, 새로운 물질과 프로세스의 적용 등 많은 연구가 이루어지고 있으며, RC delay time을 줄이기 위한 Cu와 저유전율 물질(low-k material) 적용은 그 대표적인 예라 할 수 있다. Cu filling을 위한 ECMD(electrochemical mechanical deposition) 공정은 기존의 ECP(electro-chemical plating) 공정과는 다른 특징을 가지고 있다. 기존의 ECP 공정은 도금 후 배선 pattern 부분이 주변부 비하여 더 높은 단차를 형성하게 되며, 이러한 상대 단차가 클수록 Cu CMP(Chemical Mechanical Polishing)에서의 연마 제거량은 증가하게 된다. 이는 웨이퍼 내 연마불균일도(within wafer non-uniformity) 문제로 인한 디싱(dishing), 에로전(erosion)과 같은 결함이 증가하게 되며, 이는 CMP에 있어서 디싱, 에로전과 같은 결함의 감소를 선결해야 할 문제로 대두되게 되었다.

Cu 층이 평탄화 되어진다면 높은 화학적, 낮은 응력의 Cu CMP 공정 또는 무응력(stress-free) 전해연마 공정에 적용되어져 위에서 언급한 디싱과 에로전의 문제들을 해결하게 될 것이다.

최근의 ECMD 기술은 다양한 형상 크기를 가지는 웨이퍼에서 평탄화된 Cu 층을 실현 가능하게 해준다. 본 논문에서는 기본적인 ECMD 장비의 특성과 다른 종횡비(aspect-ratio)를 가지는 마이크로 패턴 형상에 따른 Cu gap-filling 특성에 대하여 살펴보았다.

실험 1은 ECMD의 기본적인 특성을 이해하기 위하여 Cu blanket wafer에 그림 1과 같은 장비와 표 1의 조건으로 진행하였다. 우선 H₂SO₄, CuSO₄, HCl의 기본적인 도금액(electrolyte)에 첨가제인 촉진제(accelerator), 억제제(suppressor), 평탄화제(leveler)를 혼합한 도금액을 제조하였다. ECMD 장비에 전압과 전류를 가한 뒤 일정 간격으로 구멍을 뚫은 IC 1400 패드에 일정 조건의 압력, 헤드 회전 속도와 flow rate로 실험을 진행하였다.

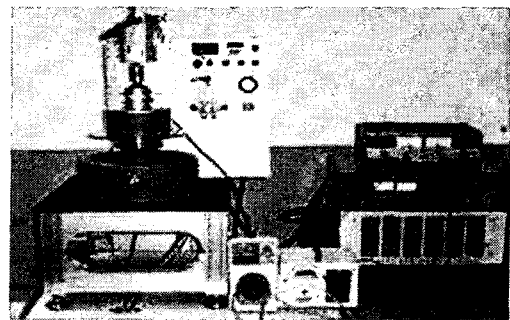


그림 1. ECMD 장비

표 1. ECMD 실험 조건

| | |
|-----------------------|----------|
| Voltage | 2V |
| Current | 0.6A |
| Electrolyte Flow Rate | 1.1L/min |
| Pressure | 1.1psi |
| Head Rotation | 20rpm |
| Time | 10min |

2. 실험

실험 2에서는 Cu patterned wafer를 이용하여 표 1의 조건으로 하드디스크 연마용 패드로 실험을 진행하였다.

3. 결과 및 검토

그림 2는 ECMD 후의 Cu blanket wafer의 사진 및 프로파일이다. Cu의 도금 두께가 웨이퍼의 center와 edge 부분에서 차이가 나는 것을 확인할 수가 있다. 이것은 웨이퍼내의 전류 밀도 분포가 center와 edge 부근에서 다르다는 것으로 판단된다. 즉, 웨이퍼의 edge 부근이 center 부근보다 전류 밀도가 높다는 것이다.

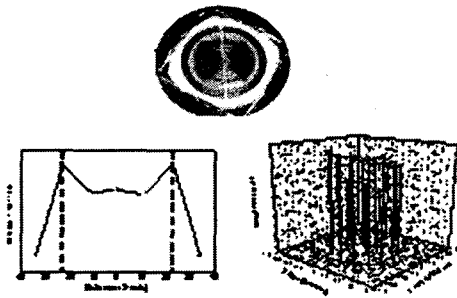
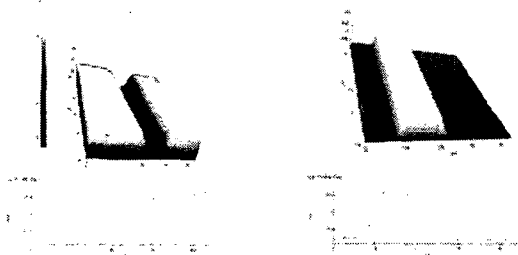


그림 2. ECMD 후의 Cu blanket wafer 형상

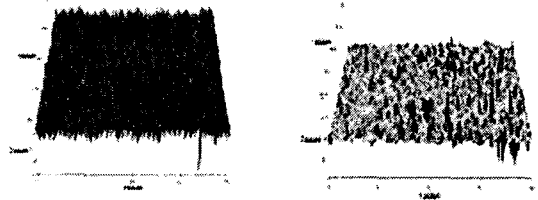
그림 3은 ECMD 공정 후의 Cu patterned wafer를 AFM 분석 결과를 나타낸다. AFM 측정 결과에서 종횡비 0.06인 트렌치 구조가 Cu gap-filling이 이루어진 것을 볼 수가 있다. Cu gap-filling이 평탄하게 되지는 않았지만 상대단차가 줄어드는 것을 알 수가 있다. 이것은 공정 시간이 짧아 평탄한 층을 이루지 못한 것으로 예상되며, 공정 시간을 늘린다면 평탄하게 Cu filling이 이루어질 것이라 보여진다.



(a) ECMD 전 (b) ECMD 후
그림 3. ECMD 전·후의 AFM image

그림 4는 ECMD 공정 후의 비접촉식 형상측정기(Nano view : Nano system corp)의 측정 결과이다. 종횡비 0.034인 트렌치 구조가 Cu gap-filling이 이루어진 것을 볼 수가 있다. 이는 종횡비 0.06보다는 평탄하게 Cu gap-filling이 이루어진 것을 알 수가 있다. 하지만 부분적으로 도금 두께가 두꺼운 부분이 발견이 되었다. 이것은 패드 전체적으로 균일한 도금액 통로를 제공하지 못하여 그 부분이 상대적으

로 도금액이 많이 흘러 도금두께가 두꺼운 것으로 보여진다.



(a) ECMD 전 (b) ECMD 후
그림 4. ECMD 전·후의 비접촉식 형상측정기 Nano view image

4. 결론

본 연구에서는 ECMD 장비의 특성과 서로 다른 종횡비를 가지는 Cu patterned wafer에서 Cu gap-filling 특성을 평가하였다. 헤드에 웨이퍼를 부착하여 웨이퍼 edge 부근에 전류를 가한 결과 전기적 특성으로 인해 center 부근보다 edge 부근의 전류 밀도가 높은 것을 알 수가 있었다. 평탄화된 Cu 층을 형성하기 위해서는 wafer center 부근의 전류 밀도를 높여 웨이퍼 전면에서의 균일한 전류 밀도를 확보해야 한다.

ECMD 공정에서 Cu 도금층은 pattern 내에서 전기 화학적으로 도금이 되는 반면 국부적으로 과다하게 도금이 된 부분을 패드의 기계적인 방법으로 연마하는 것을 알 수 있었다. AFM 및 비접촉식 형상측정기 Nano view 측정 결과 경도가 높으며 균일한 다공성 구조를 가지는 패드가 연질인 하드디스크 연마용 패드보다 더 좋은 평탄화 특성을 보일 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] Kim H.Y., Hong J.H., Moon S.T., Han J.w., Kim K.H. "Cu CMP Characteristics and Electrochemical plating Effect", Proceeding of the KIEEME Annual Summer Conference, pp 252-255, 2004
- [2] Bülent Basol, Cyprian Uzoh, Homayoun Talieh, Tony Wang, George Guo, Serkan Erdemli, David Mai, Paul Lindquist, Jeff Bogart, Mario Cornejo, Manuel Cornejo and Erol Basol, "Planar Copper Electrodeposition and Electropolishing Technique", The national AIChE Meeting, san Francisco, CA., Nov. 17-18, 2003, Symposium on "Metallization in Semiconductor Device Fabrication"
- [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"