

전력 소자용 후막 구리 구조물의 평탄화

주석배*, 정석훈*, 이현섭*, 김형재**, 정해도*

부산대학교 대학원 기계공학부 정밀가공시스템전공*, 한국생산기술연구원 부산지역본부**

Planarization technology of thick copper film structure for power supply

Sukbae Joo*, Sukhoon Jeong*, Hyunseop Lee*, Hyoungjae Kim** and Haedo Jeong*

*Precision Manufacturing System Div., Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan National Univ.

**Korea Institute of Industrial Technology

Abstract : This paper discusses the planarization process of thick copper film structure used for power supply device. Chemical mechanical polishing(CMP) has been used to remove a metal film and obtain a surface planarization which is essential for the semiconductor devices. For the thick metal removal, however, the long process time and other problems such as dishing, delamination and metal layer peeling are being issued. Compared to the traditional CMP process, Electro-chemical mechanical planarization (ECMP) is suggested to solve these problems. The two-step process composed of the ECMP and the conventional CMP is used for this experiment. The first step is the removal of several tens μm of bulk copper on patterned wafer with ECMP process. The second step is the removal of residual copper layer aimed at a surface planarization. For more objective comparison, the traditional CMP was also performed. As an experimental result, total process time and process defects are extremely reduced by the two-step process.

Key Words : Two-step process, ECMP, CMP, Thick copper film structure

1. 서 론

구리(Cu)는 전기 전도도와 높은 electro-migration resistance 특성이 우수하여, 반도체 소자의 배선 재료로 널리 이용되고 있다[1]. 이러한 구리(Cu) 배선은 전기도금과 dual damascene 공정으로 진행되고, 구리배선의 평탄화를 위해 화학 기계적 연마 (CMP; Chemical Mechanical Planarization)가 널리 사용되고 있다. 그러나 전력 소자용 Cu는 두께 자체가 수십 μm 에 달하고 기존의 CMP를 통해 얻어지는 제거속도 (MRR; Material Removal Rate)로는 시간이 너무 오래 걸린다는 문제점이 있다. 또한 오랜 공정 뒤에 발생하는 패드의 변형으로 인해 발생하는 웨이퍼 내 연마 불균일도(WIWNU: Within Wafer Non-Uniformity)는, 디싱(dishing)과 에로전(erosion) 같은 결함을 증가시키고 있다[2]. 또한 패드나 슬러리 같은 소모재의 사용량이 연마 시간이 길수록 많아진다는 것도 문제점으로 대두되고 있는 실정이다. 높은 압력과 오랜 공정 시간으로 인해 발생하는 많은 결함들을 해결하기 위해, 낮은 압력에서 고능률 연마가 이루어지는 전기화학 기계적 연마(ECMP: Electro-Chemical Mechanical Polishing) 공정이 등장하게 되었다. ECMP의 원리는 웨이퍼와 패드에 전극을 걸어주고 그 사이에 전해액을 흘려주었을 때 둘 사이에 생기는 전기화학적 반응을 통해 생긴 반응층을 낮은 압력에 의한 마찰력으로 연마해 나가는 것이다[3]. 따라서 이번 연구에서는 Cu 후막을 효과적으로 연마하기

위해 ECMP와 CMP를 병행한 두 단계 공정 (two-step process)를 시도하였다.

2. 실험 및 장치

먼저 실험에 사용된 Cu pattern wafer의 구조와 SEM 사진이 그림 1에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 웨이퍼는 Si 기판위에 $5\mu\text{m}$ 의 Oxide 박막이 증착되었고 그 위에 $0.03\mu\text{m}$ 의 크롬(Cr)과 $0.2\mu\text{m}$ 의 구리(Cu)가 seed layer로 증착되었으며 그 위에 copper bulk layer가 $40\mu\text{m}$ 이상 올라가 있는 구조로 되어있다.

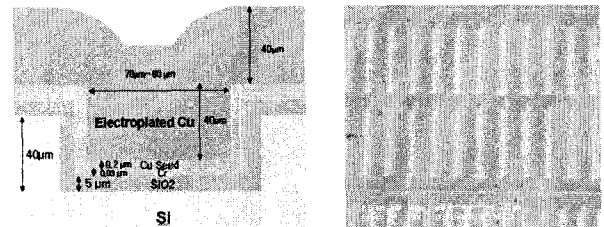


그림 1. Cu patterned wafer의 구조와 SEM 표면사진

첫 번째 실험 즉, ECMP와 CMP를 병행한 two-step process는 아래 표 1의 조건대로 행해졌으며, 비교를 위한 두 번째 실험은 표 1의 두 번째 단계의 조건 중에서 3psi의 압력, 그리고 헤드와 테이블의 속도를 160/160 rpm으로 하여 실험을 진행하였다. ECMP에 사용된 수용성 전해액은 Applied Material사의 미국 특허를 참조하여 만든 것을 사

용하였다.[4]

표 1. Two-step process의 공정조건

	1st Step(ECMP)	2nd Step(CMP)
Pressure	1 [psi]	3, 4.5, 5.8 [psi]
Velocity(Head/ Table)	58/62[rpm]	80/80, 120/120, 160/160 [rpm]
Polishing Pad	Closed cell pad with diameter 15 [mm] (IC 1400 K-groove™)	Closed cell pad (IC 1400 K-groove™)
Flow rate / Recycle	700 [ml/min] / Recycle	120 [ml/min] /Non-recycle
Current density	5.7 [mA/cm ²]	Non-current density
Composition electrolyte / Slurry	DIW, H ₃ PO ₄ , Benzotriazole, Ethylene diamine, Citric ammonium, KOH	EPL 2361™ (Rohm & Haas)
Process time	30 [min]	40 [min]

3. 결과 및 고찰

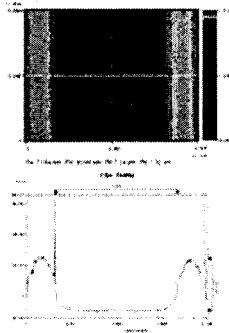
30분 동안의 ECMP공정을 통해 수 μm 를 남기고 Cu bulk의 대부분이 제거 되었고 남은 Cu layer는 일반적인 CMP를 통해 제거되었다. 표 2.를 통해 알 수 있듯이 two-step CMP를 적용 한 경우, 전통적인 CMP를 사용 했을 때 보다 총 연마 시간이 단축되었음을 알 수 있다. 이는 전기적인 에너지와 화학적인 에너지가 웨이퍼 표면에 작용하여 빠른 속도로 complex layer와 passivation layer를 만들어 줌으로서 작은 압력조건에서도 패드와 반응층 사이의 마찰에 의한 제거를 극대화 시켜주었기 때문이다[3]. 또한 pattern중 pad와 직접적으로 접촉하지 않는 부분은 보호 되어 pattern의 step heights를 효과적으로 줄여주었음을 알 수 있다.

표 2. 총 연마 시간과 연마 후의 dishing 양

	Two-step CMP	Traditional CMP
Process Time	70 min	80min
Dishing Amount	201 (nm)	340 (nm)

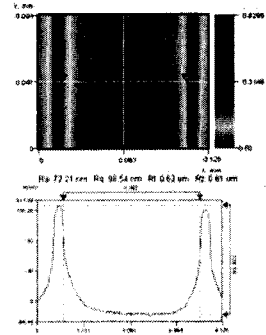
그림 2.은 Nano systems사의 Nano-view system장비를 사용해 Cu Pattern의 trench 부분의 dishing amount를 측정한 50 배 배율 그림이다. Two-step CMP를 사용했을 때의 dishing amount가 201nm로 일반적인 CMP를 사용했을 때의 340nm 보다 훨씬 적음을 알 수 있다. Dishing과 erosion과 같은 defect이 발생하는 것은 물질을 제거하기 위한 높은 압력과 과도한 연마가 주된 원인이다. 본 실험에서 기존 CMP에 비해 적은 dishing 양을 얻을 수 있었던 원인은 첫 번째 단계인 ECMP 과정에 있다. 이 과정에서 전해액과 Cu layer사이에서 발생하는 전기적, 화학적 에너지가 metal 표면으로부터 Cu 이온을 발생시켜 표면을 연질층으로 변화 시켰기 때문에, 그 다음 단계인 CMP 공정을 한 후 적은 dishing amount를 얻을 수 있다. 또한 소모재의

Two-step CMP



Dishing: 201nm

Traditional CMP



Dishing: 340nm

그림 2. Two-step CMP를 한 뒤와 Traditional CMP를 한 후의 Dishing Amount

사용량을 볼 때, two-step process에서의 CMP 공정 시간이 general CMP에서의 공정 시간보다 40분이나 작아 slurry 사용량의 절감 효과와 pad life time 향상의 효과를 얻게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 Cu 후막 패턴의 효과적인 연마 방법으로 ECMP와 CMP를 혼합한 two-step process를 실험 하였다. 첫 단계에서는 ECMP로 Cu bulk layer를 제거 하였고 두 번째 단계에서 남은 layer를 제거하여 평탄화 공정을 이행하였다. 이 실험을 통하여 pattern의 dishing amount를 줄일 수 있고 연마 시간을 단축할 수 있다. 또한 슬러리의 소모량을 줄이고 패드의 life time을 증가시킴으로써 공정의 경제성을 향상 시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-01003-0) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] C.-K. Hu, B. Luther, F. B. Kaufman, J. Hummel, C. Uzoh and D. J. Pearson, "Copper Interconnection Integration and Reliability", Thin Solid Films, Vol. 262, Issues. 1-2, pp. 84-92, 1995.
- [2] Economiks. L, Wang. X, Sakamoto. X, Ong. P, Naujok. M, Knarr. R, Chen. L, Moon. Y, Neo. S, Salfelder. J, Duboust. A, Manens. A, Lu. W, Shruti. S, Liu. F, Tsai. S and Swart. W: Proc. International Technology Conference 2004 (2004), p. 233
- [3] Feng Q Liu, Tianbao Du, Alain Duboustm Stan Tsai and Wei-Yung Hsu: Electrochem. Soc. C377 (2006), p. 153
- [4] Bunyan Micael H, U.S. Patent 20,040,248,412. (2004)