

금속 CMP 공정시 경질 다공성 패드의 적용

Application of Hard Porous Pad in Metal CMP Process

김상용*, 김남훈**, 김인표**, 장의구**

(Sang-Yong Kim*, Nam-Hoon Kim**, In-Pyo Kim**, and Eui-Goo Chang**)

Abstract

There are four main components of the CMP process: polishing pad, slurry, elastic supporter, and pad conditioner. The polishing pad is an essential component to the reproducibility of polishing uniformity in CMP process. However, the polishing pad in recently using metal CMP raised the several points of high cost caused by the increase of cycle time and the many usage of slurry. It is necessary to develop the novel polishing pad which would lead the cost reduction by the higher pad life-cycle, minimized cycle time and lower slurry usage. The characteristics of polishing pad were studied on the effects of different sets of the polishing pad, which can be applied to metal chemical mechanical polishing process for global planarization of multilevel interconnection structure. The main purpose of this experiment is cost reduction by the increase of pad life-time, the decrease of cycle time and the lower usage of slurry through the specific hard porous structured pad design. It is confirmed that the novel polishing pad made the slurry usage decrease to 60% as well as the pad life-time increase twice with the 25% improvement of removal rate. The polishing time could be decreased and it also helped the cycle time to diminish. It can be expected that this results will help both the process throughput and the device yield to be improved.

Key Words : Polishing Pad, Metal CMP, Pad Life Time, Cost Reduction, Slurry Usage, Cycle Time

1. 서 론

최근 CMP(chemical mechanical polishing) 공정은 deep 서브마이크론 집적회로의 다층배선구조를 실현하기 위해 IMD(inter-metal dielectric)층, PMD(pre-metal dielectric)층, ILD(inter-layer dielectric)층을 평탄화 하는데 효과적으로 사용되고 있을 뿐만 아니라, 다양한 물질들 및 소자 제작 등에도 광범위하게 응용되고 있다[1-3].

특히 내부 연결 박막을 형성함에 있어 텅스텐(W)

플러그 제조 방법으로 CMP 공정을 수행하는데, 집적 회로 제조 공정에 적용을 위해서는 해결해야 할 문제점들이 남아 있다[4]. 그 중에서 CMP용 연마재의 4요소(연마패드, 슬러리, 탄성지지대, 패드컨디셔너)중의 하나인 연마패드는 연마 재현성을 확보하는데 중요한 요소이며, 연마 패드 구조 및 재료의 성질은 연마 속도 및 CMP 공정의 평탄화에 중요한 역할을 한다[5]. 현재 텅스텐 CMP에서 사용중인 연마패드는 짧은 수명(lifetime)과 높은 슬러리 사용량으로 인해 잦은 예방정비(PM)로 인한 사이클 타임 증가와 높은 슬러리 비용을 부담하고 있다[6].

본 실험은 새로운 연마패드의 적용을 통해 연마패드 수명의 증가와 슬러리 사용량의 감소를 통한 사이클 타임의 최소화 및 슬러리 사용량의 감소를 통한 원가절감을 목적으로 하고 있다. 특히, CMP 공정 중 소모성재료(consumable)인 연마패드의 적

* : (주)아남반도체

** : 중앙대학교 전자전기 공학부
(서울특별시 동작구 흑석동 221,
Fax : 02-825-8752

Corresponding Author : pinfl@wm.cau.ac.kr)

2003년 1월 7일 접수, 2003년 1월 29일 1차 심사완료,
2003년 2월 25일 최종 심사완료

용 실험을 통하여, CMP 공정에 연마패드가 미치는 영향을 연구하였다. 이상의 결과를 통하여 최적의 연마패드를 선택할 수 있어 공정 처리량 향상 및 소자 수율(yield)의 개선을 기대할 수 있다.

2. 실험

본 실험에 사용된 웨이퍼는 일정한 구조를 가진 텅스텐 패턴과 8000Å 텅스텐 증착된 블랑켓 웨이퍼를 사용하여 결과를 얻었다. CMP 연마 장비로는 FSI 776 W Polisher를 사용하였고 CMP 후 세정을 위해 SC-1 Chemical + DHF(2min) + Rinse + Spin Rinse Dry 순서로 세정하였다. 새로운 패드는 스택(stack) 구조의 연마패드로 제작하였으며, 그 이유는 비교적 경질(硬質)의 상부 연마패드로 인한 평탄화 효과와 비교적 연질(軟質)의 하부 연마패드로 인한 flexibility의 동시 효과로 인해 WIW (Within-Wafer) Nu (Non-Uniformity)%를 향상 시켜 줄뿐 아니라 연마율 변화량을 최소화 시켜주는 역할을 하여 주기 때문이다. 가장 이상적인 연마패드는 평탄화 측면에서 충분한 경성 재질이면서 웨이퍼-연마패드 접촉면으로의 슬러리 수송능력이 우수한 다공성(porous) 셀 구조, 그리고 연마율의 Nu %를 위해 충분한 flexibility를 가지는 재질이어야 한다. 즉, 차세대 연마패드는 우수한 flexibility는 물론 연성-다공성 연마패드의 장점과 경성 연마패드의 장점을 접목시킨 경질 다공성 연마패드 구조로 하였다.

본 연구에 적용된 연마패드와 기존에 사용 중인 연마패드의 물리적 특성값을 비교한 표를 Table 1에 도식하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 새로운 연마패드는 상부 연마패드 자체의 두께는 기존 연마패드와 유사하나 홈(groove) 폭이 3배 이상 넓어 슬러리 수송능력이 우수하며 홈의 깊이가 약 2배가량 깊어 슬러리 수송능력을 도와주면서 스크래치 등의 CMP 결함을 감소시켜주는 역할이 기대된다. CMP가 진행되는 중에 연마율을 결정하는 모든 화학적, 기계적 반응은 웨이퍼-슬러리-연마패드의 접촉면에서 발생하며, 이 때 연마패드 자체의 표면 마이크로 구조의 차이에 따라 연마율, 연마패드 수명, 슬러리 사용량 등에 많은 차이가 날 수 있다. 그림 2의 기존 연마패드와 새로운 연마패드간의 SEM 사진의 비교/분석을 통해 그 차이로 인한 실제 CMP 시 공정 퍼포먼스에 어떤 영향을 미칠 것인지에 대해서 고찰하고자 한다.

그림 2와 같이 새로운 연마패드는 기존의 경성 연

마패드의 평탄화 능력 및 연성 연마패드의 flexibility의 장점을 접목시킨 경질 다공성 구조로 형성되도록 제조했다. 이러한 경질 다공성 구조가 실제로 공정 퍼포먼스에 어떤 영향을 미칠 것인가에 대해서는 인라인 테스트를 통해 평가하고자 한다.

표 1. 연마패드의 물리적 특성값 비교.

Table 1. Physical properties of classical/new pads.

Physical Property	Rit (XY,K)	New Pad (xy)
Thickness (Inch)	0.05+/-0.0004	0.049+/-0.024
Hardness (Shore D)	52~62	52+/-1.5
Compressibility	0.5~4.0	1.8+/-1.5
Pitch (Inch)	0.06	0.25+/-0.01
Depth of Groove(Inch)	0.015	0.03+/-0.01
Width of Groove(Inch)	0.01	0.032+/-0.002

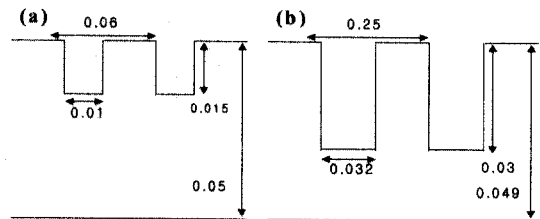


그림 1. 새로이 제조된 패드 구조.

Fig. 1. The groove structure of (a) classical pad and (b) new pad.

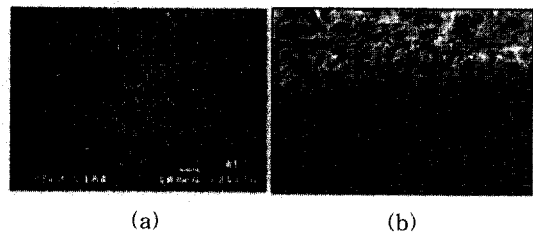


그림 2. 연마패드 구조 SEM 사진 : (a) 기존 연마패드 (b) 새로운 경질 다공성 구조 연마패드

Fig. 2. SEM photographs of the surface in : (a) classical pad and (b) new pad.

3. 결과 및 고찰

기존의 슬러리 량은 125ml/min으로 사용되고 있으며, 새로이 제조된 패드의 경질 다공성 구조의 영향을 확인해보기 위해 2차에 걸친 슬러리 유량 스플릿을 실시하였고, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 보듯이, 슬러리 유량에 의한 연마율의 변동은 50ml/min부터 연마율의 수렴 현상을 보이며 50ml/min 이상부터는 유량 증가에 따른 연마율의 증가는 미미하다. 이는 평가한 연마패드와 고속 RPM(340)의 적용으로 인한 복합효과로 추정된다.

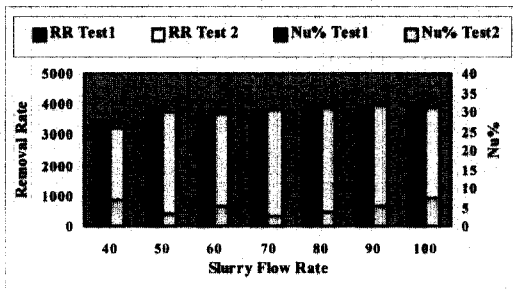


그림 3. 슬러리 유량에 대한 공정 결과.
Fig. 3. Process performance with the variations of slurry flow rate.

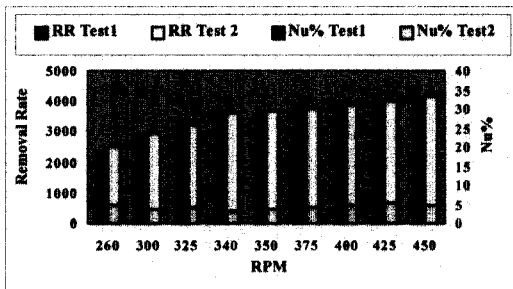


그림 4. 공정 RPM에 대한 공정 결과.
Fig. 4. Process performance with the variations of process RPM.

현재는 저속 RPM(Max:350) 장비와 고속 RPM (Max:600) 장비가 혼재 되어있기 때문에 공정 제어 측면에서 모든 장비에 적용 가능한 통합 RPM의 recipe 선정이 필요하다. 그림 4에서 보듯이 340 RPM부터 3500Å 이상의 연마율을 나타내고 있는

며, 이는 기존 연마율 대비 약 35%의 증가 효과가 있고 340~400 RPM 사이 조건에서의 연마율 증가 양상은 340 RPM과 비슷한 수준이다. 400 RPM 이상부터는 높은 연마율을 보여주고 있으나, 연마율 증가와 함께 Nu% 또한 증가하는 경향성을 보여 주고 있다. 새로운 패드 적용시 연마율, Nu% 관점에서 우수한 경향성을 보이는 적합한 RPM 조건은 340 RPM이라고 판단되어 진다.

그림 5는 연마압력에 대한 스플릿 평가 결과를 나타낸 그림이다. 그림 5에서 보듯이 연마압력에 의한 연마율의 변화량은 무시할 만한 수준을 보이고 있으며, 연마율 및 Nu% 측면에서는 높은 압력이 적용 될수록 증가하는 추세를 보이고 있다. 따라서 적합한 연마압력은 4.25psi 로 판단된다.

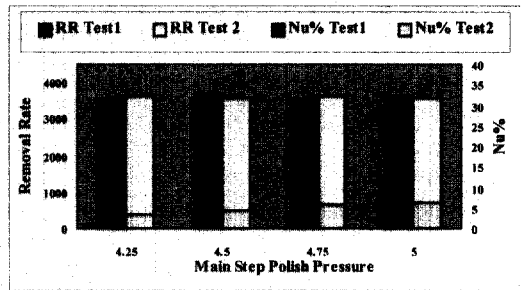


그림 5. 연마압력에 대한 공정 결과.
Fig. 5. Process performance with the variations of polishing pressure.

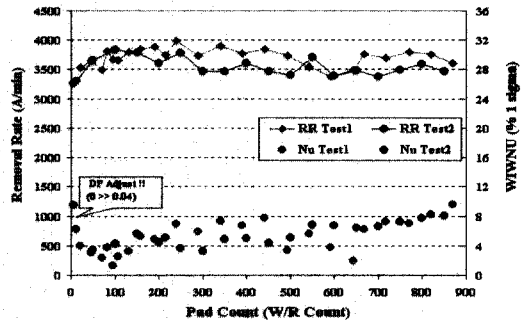


그림 6. 새로운 공정 조건으로 평가한 공정 결과.
Fig. 6. Process performance by new process conditions.

연마율의 주효과는 '연마 RPM'이며, 연마율 및 Nu% 측면에서 적절한 연마 RPM은 340으로 평가

되었다. Nu% 측면에서는 3가지 평가 항목 모두에서 각각의 조건에 따라 유의차를 보이고 있다. 즉, 슬러리 유량이 낮을수록, RPM이 높을수록 그리고 연마압력이 높을수록 Nu%가 증가하는 경향을 보임을 알 수 있었다.

그림 6은 지금까지 평가한 결과를 통하여 새로운 연마패드에 적용될 공정조건을 조합하여 2차에 걸쳐 진행 한 Marathon 평가 결과이다. 기존 연마패드에 비해 약 25%의 연마율 증가 효과가 있다. 특히, 기존 연마패드의 경우 350장까지만 진행하여도 연마율 감쇠 경향성을 보이고 있으나, 새로운 연마패드의 경우 850장까지 연마하였으나 연마율 감쇠 경향은 보이지 않고 있다. 또한 연마패드 카운트 350장까지는 기존 연마패드와 새로이 평가한 연마패드 모두 비슷한 경향성을 보이지만, 기존 연마패드의 경우 350장 이상부터는 연마패드 홈의 마모가 심하여 더 이상의 평가는 불가능하였다. 한편, 새로이 적용된 연마패드의 경우 850장까지 완벽한 홈 형태를 유지하고 있었다. 결국 새로이 적용된 연마패드 경우 연마패드 수명의 2배 이상 증가가 가능하다. 700장이 넘어가면서 Nu%가 나빠지는 것은 연마패드외에 또 다른 소모성 재료인 Wear-ring의 마모로 인한 것으로 추정된다. 그리고 기존 연마패드의 슬러리 사용량이 125ml/min인데 비하여 새로이 평가된 연마패드의 경우 50ml/min을 사용하여 평가하였으나, 실제 Marathon 평가 결과는 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 새로이 제조된 연마패드가 훨씬 우수한 결과를 보여 주고 있다. 즉, 새로이 제조된 연마패드 적용시 슬러리 사용량을 약 60% 정도 감소시키면서도 Base-line 이상의 공정 퍼포먼스를 나타낼 수 있다. W CMP에의 새로운 패드를 적용시, W:TEOS / W:BPSG의 선택비를 조사하여 실제로 패턴 웨이퍼 진행시의 공정 마진을 확인하여 본 결과 W:TEOS 선택비는 최대 96:1, 최소 81:1를 확보할 수 있었고, W:BPSG 선택비는 최대 29:1, 최소 27:1로 우수한 선택비를 확인할 수 있었다.

웨이퍼내 center/edge 영역의 SRAM 지역을 AFM (atomic force microscopy)의 스캔을 통하여 vial 플러그에서의 recess를 확인하여 Base-line 대비 유의차를 확인하여 보았다. 그림 7에서 보는 바와 같이 새로이 제조된 연마패드 적용시 기존 연마패드 대비 center/edge 영역 모두 10~20Å 정도 낮은 양호한 플러그 recess를 보여 주고 있다. (플러그 recess spec < 500 Å)

새로이 적용된 공정 조건으로 웨이퍼내에서 각각

center/middle/edge 영역에서 via 홀의 고집적 영역인 SRAM과 via 홀의 저집적 영역인 scribe 라인간을 스캔을 통해 칩내 dishing을 조사하여, 광역 평탄화의 정도를 확인 해 본 결과 center/middle/edge 영역에서 약 260~300 Å의 dishing을 보이고 있으며, spec < 1000 Å 대비 매우 양호한 결과를 확보할 수 있었다.



그림 7. 패턴 웨이퍼에서 플러그 recess.
Fig. 7. Plug recess in patterned wafers.

4. 결론

W CMP에서의 새로이 제조된 연마패드 평가에서 슬러리 사용량의 약 60% 감소, 연마패드 수명의 2배 이상 증가 효과를 기대할 수 있으며, 연마패드 컨디셔너 수명 증가, 사이클타임의 감소 효과 또한 기대된다. 이는 연마패드의 독특한 pore 구조(경질 다공성 구조)로 인해 CMP 진행시 연마패드에 슬러리의 함유가 가능하여 낮은 슬러리 유량으로 동등 이상의 공정 퍼포먼스를 낼 수 있기 때문이다. 한편, 적은 컨디셔닝 횟수(7=>2회)와 낮은 다운포스를 통해 연마패드 수명을 증가시킬 수 있었다. 주 연마과정에서의 고속 RPM 적용으로 인해 연마율을 약 25%정도 증가시켜, 실제 연마시간을 감소시킴으로써 연마패드 수명의 증가 현상과 맞물려 사이클 타임 감소의 역할을 도와주고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00375-0) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] J. Hui, P. Van de Voord, and J. Moll, "Scaling limitation of submicron local oxidation technology," IEDM Tech. Digest, p. 392, 1985.
- [2] 김상용, 김남훈, 김창일, 장의구, "연마 시간 관계식을 이용한 STI CMP의 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 제12권, 제9호, p. 751, 1999.
- [3] 장의구, "Chemical mechanical polishing 공정기술의 이해", 전기전자재료학회논문지, 제12권, 제10호, p. 1, 1999.
- [4] S. Nag and A. Chatterjee, "Shallow trench isolation for sub-0.25- μ m IC technologies, Solid State Technology," p. 129, 1997.
- [5] K. Smekalin, "CMP dishing effects in shallow trench isolation," Solid State Technology, p. 187, 1997.
- [6] 김상용, "CMP 평탄화 기술 동향과 전망", 한국전기전자재료학회 2002 추계학술대회논문집, p. 15, 2002.