

패드 특성이 W CMP 공정에 미치는 영향

김상용, 서용진*, 정현상**, 김창일***, 장의구***
아남반도체, 대불대학교*, 조선대학교**, 중앙대학교***

Effects of W CMP Process on PAD Characterization

Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo*, Hun-Sang Chung**, Chang-il Kim***, Eui-Goo Chang***
ANAM Semiconductor, Deabul University*, Chosun University**, Chungang University***

Abstract

We studied the characteristics of polishing pad, which can apply W CMP process for global planarization of multilevel interconnection structure. Also we investigated the effects of different sets of polishing pad. The purpose of this experiment is the cost reduction by the increase of pad life time and decrease of cycle time and slurry usage with new pad. Especially we studied the effect of polishing pad for CMP process by this experiment of polishing pad that is consumables material during CMP process. We expecting the increase of process throughput and improvement of device manufacturing yield because we can choose optimum polishing pad through this result.

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

1. 서론

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 소자 제작 및 물질 등에도 광범위하게 응용되고 있다.[1] 특히 내부 연결 박막을 형성하는데 텅스텐 플러그(PLUG) 제조 방법으로 CMP 공정을 수행하는데, 집적 회로 제조 공정에 적용하는데 해결해야 할 문제점들이 남아 있다.[2] 그 중에서 CMP용 연마제의 4요소(연마패드, 슬러리, 탄성지시대, 패드 컨디션너)중의 하나인 연마패드는 연마 재현성을 확보하는데 중요한 요소이다. 연마패드 구조 및 재료 성질은 연마 속도 및 CMP 공정의 평탄화에 중요한 역할을 한다.[3] 현재 W CMP에서 사용중인 Pad는 짧은 life-time과 높은 Slurry usage로 인해 잦은 PM으로 인한 Cycle time 증가와 높은 Slurry 비용을 부담하고 있는 실정이다.[4]

본 실험은 새로운 pad의 적용을 통해 Pad life-time의 증가와 Slurry usage의 감소를 통한 Cycle time의 최소화 & Slurry usage의 감소를 통한 원가절감을 목적으로 하고 있다. 특히 CMP 공정 중 소모성 재료(Consumable)인 연마 패드의 적용 실험을 통하여, CMP 공정에 연마패드가 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 연구하였다. 이상의 결과를 통하여 최적의 연마패드를 선택할 수 있어 공정 throughput 향상 및 소자수율(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 Stacked Structure Pad로 제조되었으며, 이유는,

Harder top pad로 인한 Planarization 효과와 Softer bottom pad로 인한 flexibility의 동시 효과로 인해 WIW Removal Rate Nu%를 향상 시켜 줄뿐 아니라 Removal Rate Variation을 최소화 시켜주는 역할을 하여 주기 때문이다. 가장 이상적인 Pad는 Planarization 측면에서 충분한 Hard성 재질이면서 Wafer-Pad interface로의 slurry transport ability가 우수한 Porous cell structure, 그리고 Removal rate의 Nu%를 위해 충분한 Flexibility를 가지는 재질일 것이어야 한다. 즉, New generation pad는 우수한 Flexibility와 더불어, Soft porous pad의 장점과 Hard pad의 장점을 접목시킨 Hard porous structure로 하였다.

표 1. Pad의 Physical property를 비교

Physical Property	Rodel (XY,K)	New Pad (xy)
Thk (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

본 연구에 적용된 패드와 기존에 사용 중인 Pad의 Physical property를 비교한 표를 Table 1에 도식했다.

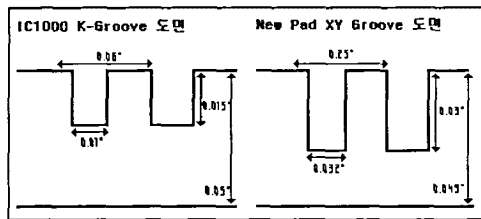


그림 1. 새로이 제조된 패드 구조

그림 1에서 보는 바와 같이, 새로운 pad는 Top pad 자체의 Thickness는 기존 Pad와 유사하나 Groove Width가 3배 이상 넓어 Slurry transport ability가 우수하며 Groove의 Depth가 약 2배 가량 깊어 Slurry transport ability를 도와주면서 Scratch 등의 CMP defectivity를 감소시켜주는 역할이 기대된다. Chemical Mechanical Polishing이 진행되는 중에, Removal rate를 결정하는 모든 화학적, 기계

적 반응은 Wafer-Slurry-Pad의 Interface에서 발생하며, 이 때 Pad 자체의 Surface Micro-structure의 차이에 따라 Removal rate, Pad life time, Slurry usage 등에 많이 차이가 날 수 있다. 그림2의 기존 pad와 새로운 pad간의 SEM 사진의 비교 / 분석을 통해 그 차이로 인한 실제 CMP시 Process performance에 어떻게 영향을 미칠 것인가를 고찰하여 보고자 한다.

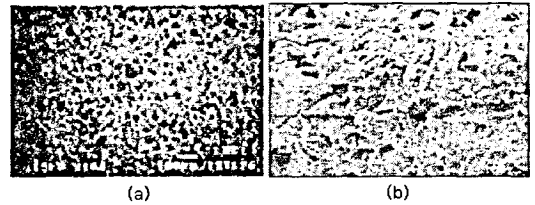


그림 2. Pad Surface SEM Structure

(a) Classical Polyurethane impregnated

(b) New pad with Hardpolyseter pad porous structure

그림 2와 같이 새로운 패드는 기존의 Hard pad의 Planarization ability와 Softpad의 Flexibility의 장점을 접목시킨 Hard-Porous Structure로 형성 되도록 제조했다. 이러한 Hard-Porous Structure가 실제로 Process performance에 어떤 영향을 미칠 것인가에 대해서는 In-line test를 통해 평가하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Slurry Flow-Rate Split (No_Dilute)

기존의 슬러리 량은 125ml/min으로 사용되고 있으며, 새로이 제조된 패드의 Hard Porous 구조의 영향을 확인해보기 위해 2차에 걸친 Slurry flow rate split을 실시하였고, 그 결과는 아래 그림 3에 나타내었다.

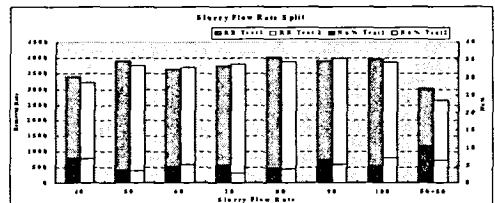


그림 3. 슬러리 Flow rate에 대한 공정 결과

그림 3에서 보듯이, Slurry Flow rate에 의한 Removal rate의 변동은 50ml/min부터 Removal Rate의 Saturation 현상을 보이며 50ml/min 이상부터는 Flow rate 증가에 따른 Removal Rate의 증가는 미미하다. 이는 평가한 패드와 High RPM(340)의 적용으로 인한 복합효과로 추정된다.

3.2. Main Polish RPM Split

현재의 Low RPM (Max:350) 장비와, High RPM (Max:600)가 혼재 되어있어, Process Control 측면에서 모든 장비에 적용 가능한 통합 RPM의 Recipe 선정이 필요하다.

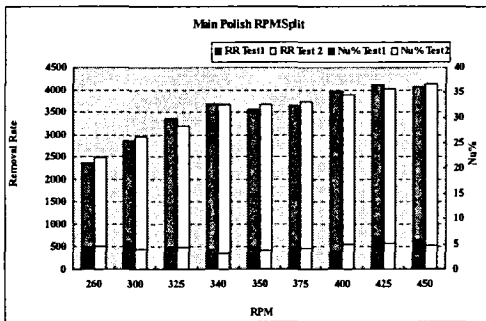


그림 4. 공정 RPM에 따른 공정 변수 평가

그림 4에서 보듯이, 340 RPM부터 3500A 이상의 Removal Rate를 나타내고 있으며 이는 기존 대비 약 35% Removal Rate의 증가 효과가 있고 340~400 RPM 사이 조건에서의 Removal rate 증가 양상은 340 RPM과 동등한 수준이다. 400 RPM 이상부터는 높은 Removal Rate를 보여주고 있으나, Removal rate 증가와 함께 Nu% 또한 증가 Trend를 보여 주고 있다. 새로운 패드 적용시, Removal rate, Nu% 관점에서 우수한 Trend를 보이는 Reasonable RPM Condition은 340 RPM이라고 판단되어 진다.

3.3. Polish Pressure Split

그림 5는 Polish pressure에 대한 Split test 결과를 나타낸 그림이다. 그림 5에서 보듯이, Polish Pressure에 의한 Removal rate의 Variation은 무시할 만한 수준을 보이고 있으며, Removal rate Nu% 측면에서는 높은 Pressure가 적용 될수록 증가하는 추세를 보이고 있다. Removal rate의 Main Effect는 'Polish RPM' 이며, Removal rate & Nu% 측면에

서 가장 적절한 Polish RPM은 340으로 평가되었다. Non-Uniformity 측면에서는 3가지 Test 항목 모두에서 각각의 Condition에 따라 유의차를 보이고 있으며, Slurry Flow rate가 낮을수록 & RPM이 높을수록 & Polish pressure가 높을수록 Nu%가 증가하는 경향을 보임을 알 수 있었다.

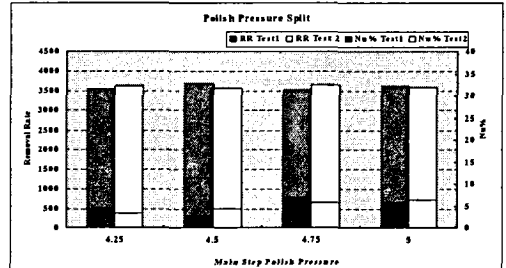


그림 5. Polish pressure에 대한 공정 결과

3.4. Removal Rate, Non-Uniformity, slurry usage, pad lifetime Test

그림 6은 지금까지 평가한 결과를 가지고 새로운 패드에 적용될 공정조건을 조합하여 2차에 걸쳐 진행한 Marathon Test 결과이다.

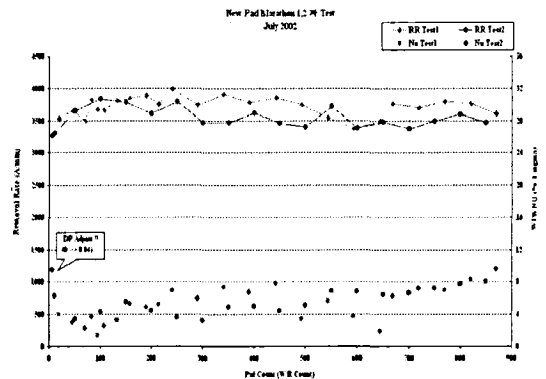


그림 6. 새로운 공정 조건으로 평가한 공정 결과

기존 패드에 비해 Removal Rate가 약 25% 증가 효과가 있다. 특히 기존 패드의 경우 350장까지만 진행하였으나 이미 Removal rate decline trend가 보이고 있으나, 새로운 Pad의 경우 850장까지 polish 하였으나 Removal rate decline 경향은 보이지 않고 있다. 또한 Pad count 350장까지는 기존 패드와 새로이 평가한 패드 모두 비슷한 Trend를 보이고 있으나, 기존패드의 경우 350장 이상부터는

pad의 groove 마모가 심하여 더 이상의 Test가 불가하였으나, 새로이 적용된 패드의 경우 850장까지 완벽한 Groove 형태를 유지하고 있었다. 700장이 넘어가면서 Nu%가 나빠지는 것은 Pad외에 또 다른 Consumable인 Wear-ring의 마모로 인한 것으로 추정되며, 새로이 적용된 패드 경우 Pad lifetime의 2배 이상 증가가 가능하다. 그리고 기존 패드의 Slurry usage가 125ml/min인데 비하여 새로이 평가된 패드의 경우 50ml/min을 사용하여 Test 하였으나, 실제 Marathon test 결과는 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 새로이 제조된 패드가 훨씬 우수한 결과를 보여 주고 있다. 즉, 새로이 제조된 패드 적용시 Slurry usage를 약 60% 정도 감소시키면서도 Base-line 이상의 Process performance를 나타낼 수 있다. W CMP에의 새로운 패드를 적용시, W to Teos / W to BPSG의 Selectivity check하여 실제로 Pattern wafer 진행시의 '공정 Margin'을 확인하여 본 결과 W:TEOS Selectivity는 최대 96:1, 최소 81:1, W:BPSG Selectivity는 최대 29:1, 최소 27:1로 우수한 Selectivity를 확인 할 수 있었다.

3.5. Plug Recess Check

Wafer내 Center / Edge Area의 S-RAM 지역을 AFM(atomic force microscopy)으로 Scan하여 Vial Plug에서의 Recess를 확인하여 Base-line 대비 유의차를 확인하여 보았다. 그림 7 에서 보는 바와 같이 새로이 제조된 패드 적용시 기존 패드 대비 Center / Edge Area 모두 10~20Å 정도 낮은 양호한 Plug Recess를 보여 주고 있다. (Plug recess spec < 500 Å)

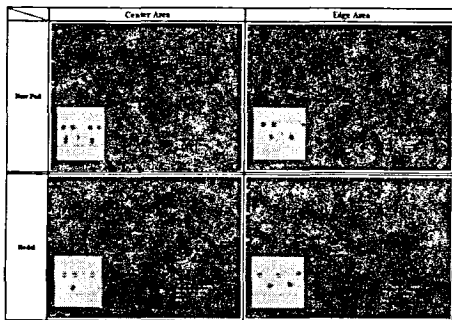


그림 7. pattern wafer에서 Plug Recess 결과

3.6. Dishing

새로이 적용된 공정 조건으로 wafer내에서 각각 Center / Middle / Edge Area에서 Via hole의 High density area인 SRAM과 Low via density area인 Scribe line간을 Scan하여 Chip내 Dishing을 확인하여 Global planarization의 정도를 확인 해 본 결과 Center / Middle / Edge area에서 약 260~300 Å의 Dishing을 보이고 있으며 Spec < 1000 Å 대비 매우 양호한 결과를 보여 주었다.

4. 결론

W CMP에서의 새로이 제조된 패드 평가에서 Slurry Usage의 약 60% 감소, Pad life-time 2배 이상의 증가 효과를 기대 할 수 있으며, Pad Conditioner life time 증가, Cycle Time 의 감소 효과 또한 기대된다. 이는 Pad의 독특한 Pore 구조 (Hard Porous Structure)로 인해 CMP 진행시 Pad 에 Slurry를 함유가 가능하여 낮은 Slurry Flow Rate로 동등 이상의 Process Performance를 낼 수 있으며, 적은 Conditioning 횟수(7=>2회)와 Low Down Force를 통해 Pad life-time을 증가시킬 수 있다. 또한, Main Polish Step에서의 High RPM 적용으로 인해 Removal Rate를 약 25%정도 증가시켜 실제 Polishing Time을 감소 시켜줌으로써, Pad life-time의 증가 현상과 맞물려 Cycle Time 감소의 역할을 도와 주고 있다.

참고 문헌

- [1] J. Jui, et al., "Scaling limitation of submicron LOCOS technology," Tech. Dig. IEDM, p.392, 1985.
- [2] S. Nag and a. Chatterjee, "Shallow trench isolation for sub-0.25-μm IC technologies," Solid State Technology," pp.129-136, 1997.
- [3] K. Smekalin, "CMP dishing effects in shallow trench isolation," Solid State Technology, pp.187-194, 1997.
- [4] S. Y. Kim, Y. J. Seo, T. H. Kim, W. S. Lee, C. I. Kim, E. G. Chang, "An optimized nitride residue phenomena of shallow trench isolation (STI) process by chemical mechanical polishing (CMP)," IUMRS-ICEM-98, Aug. 24, p.468, 1998.