

다이아몬드 컨디셔너를 이용한 ILD CMP에 관한 연구

서현덕*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김형재(부산대 대학원 정밀기계공학과),
김호윤(U.C.Berkeley), 정해도(부산대 기계공학부)

A Study on Interlayer Dielectric CMP Using Diamond Conditioner

H. D. Seo(Precision Mech. Eng. Dept., PNU), H. J. Kim(Precision Mech. Eng. Dept., PNU)
H. Y. Kim(U.C. Berkeley), H. D. Jeong(Mech. Dept. PNU)

ABSTRACT

Chemical Mechanical Planarization(CMP) has been accepted as the most effective processes for ultra large scale integrated (ULSI) chip manufacturing. However, as the polishing process continues, pad pores get to be glazed by polishing residues, which hinder the supply of new slurry. And pad surface is ununiformly deformed as real contact distance. These defects make material removal rate(MRR) decrease with a number of polished wafer. Also the desired within-chip planarity, within wafer non-uniformity(WIWN) and wafer to wafer non-uniformity(WTWN) are unable to be achieved. So, pad conditioning in CMP Process is essential to overcome these defects. The electroplated or brazed diamond conditioner is used as the conventional conditioning. And, alumina long fiber, the jet power of high pressure deionized water, vacuum compression, ultrasonic conditioner aided by cavitation effect and ceramic plate conditioner are once used or under investigation. But, these methods are not sufficient for ununiformly deformed pad surface and the limits of conditioning effect. So this paper focuses on the characteristics of diamond conditioner which reopens glazed pores and removes ununiformly deformed pad away.

Key Words : CMP(화학기계적연마), Pad(연마포), Pore(미공), Conditioner(컨디셔너), Conditioning(컨디셔닝), Interlayer Dielectric(ILD, 층간절연막)

1. 서론

최근의 반도체 산업은 Device의 용량이 두 배씩 급속하게 발전하여 칩의 소형화와 고속화에 대한 기대 실현을 위해 1차원적으로 최소 선폭이 64M DRAM의 0.35 μ m에서 1G DRAM의 0.18 μ m으로 축소되었으며, 2차원적으로 웨이퍼의 직경이 200mm에서 현재 300mm를 거쳐 400mm으로 점점 대규격화 되어가고 있으며, 3차원의 다층 배선공정이 필요하게 되었다.[1],[2] 이러한 공정의 변화로 인하여 웨이퍼 전면에 대해서 글로벌 평탄화에 대한 요구가 증대하고 있다. 이에 대한 필수적인 기술로 화학기계적연마(Chemical Mechanical Polishing : CMP)방법이 64M DRAM이후부터는 유일한 해결책으로 주목 받고 있다. CMP는 연마포(Pad)와 웨이퍼 사이에 연

마액(Slurry)을 공급한 상태로, 압력을 가하여 서로 상대운동 시키 인마하는 가공구조이다. 이때 연마 패드의 표면에 있는 수많은 미공(Pore)속에 항상 새로운 연마액(Slurry)을 담아주는 역할을 하여 일정한 연마 제거율(MRR : Material Removal Rate)과 웨이퍼 면내의 연마균일성을 얻을 수 있게 된다. 그러나, 연마 중에 높은 압력과 상대속도가 부가되므로 가공이 진행됨에 따라 연마 잔류물들에 의해 연마패드 표면상의 미공은 막히게 되고, 패드의 표면 또한 반경방향에 따른 웨이퍼와의 선접촉 거리의 차이로 불균일 변형을 하게 된다. 이러한 미공의 눈막힘 현상과 패드 표면의 불균일 변형은 패드의 미공들이 새로운 슬러리를 담아두지 못하게 하여 연마 제거율(MRR)을 급속하게 저하시키는 문제를 발생시키고, 웨이퍼 전면에서의 광역 평탄화

(WIWNU)와 웨이퍼간의 연마 균일성(WTWNU)등을 달성할 수 없게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 패드 표면을 항상 최적의 상태로 일정하게 유지시켜 안정된 연마 결과를 확보할 수 있는 공정이 CMP에서 필수적이며, 이를 패드 컨디셔닝(Conditioning)이라 한다. 현재까지 알려진 컨디셔닝 방법으로는 알루미나 장섬유를 사용한 컨디셔너, 고압의 탈이온수 분사력을 이용한 컨디셔너, 진공압축을 사용한 산유물 제거 방식, 초음파를 이용한 컨디셔너, 세라믹 플레이트 컨디셔너 등이 연구되고 있다. 그러나 위의 방식들은 컨디셔닝 효과의 한계에 의해 사용이 제한되고 있다. 문헌문에서는 패드 컨디셔닝의 필요성과 목적을 규명하고, 다이아몬드 컨디셔너를 이용한 ILD CMP의 특성을 확인하였다.

2. 컨디셔닝(Conditioning)

2.1 CMP에서 연마 패드의 역할

패드 표면에 형성되어 있는 미공 비율(Pore ratio)과 Grooving Structure는 연마 제거율과 연마 균일도에 지배적인 영향을 미친다. 미공(Pore)은 슬러리의 원활한 공급과 배출에 영향을 미치고, 미공벽(Side Wall)은 웨이퍼와의 마찰로 기계적인 제거작용을 하게 된다. 미공 비율이 적정 범위를 넘게되면 연마 제거율은 낮게 나타나며, Grooving Structure 또한 웨이퍼 내에 슬러리의 공급을 원활히 할과 동시에 웨이퍼 전 면적에 대한 균일한 가공을 가능하게 한다.

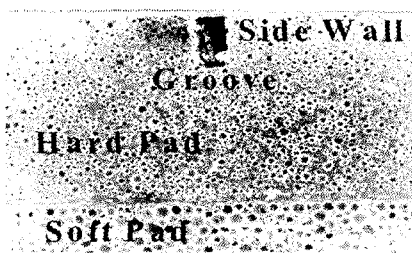


Fig. 1 The SEM of double layer pad

패드 물성이 지배적으로 영향을 미치는 인자는 Uniformity와 Planarity이다. ILD CMP에 사용되는 패드는 Fig. 1처럼 2중 구조로서 Uniformity와 Planarity를 동시에 구현하기 위하여 상부층은 길진 구조를, 하부층은 연질 구조를 사용한다.

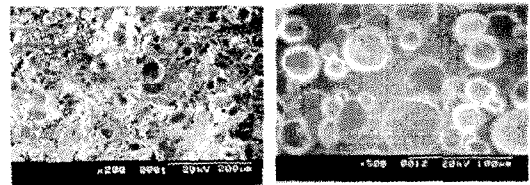
2.2 컨디셔닝의 목적

CMP 공정에서 직접적으로 가공결과에 영향을

미치는 연마 패드의 역할에 초점을 두어, 컨디셔닝의 목적을 다음의 네 가지로 분류하였다.

2.2.1 미공(Pore)과 표면 세정의 관점

CMP가 진행됨에 따라 연마 산유물결에 의해 패드 표면의 미공들이 막히게 되어 패드에는 글레이징 현상(Glazing)이 발생하게 되어, 웨이퍼 전면에 대한 슬러리의 원활한 공급을 방해하게 된다. 컨디셔닝을 하지 않고 계속 공정을 진행하게 되면, CMP 가공의 여러 효율성중에서 특히 연마제거율의 급격한 감소와 웨이퍼간의 연마불균일도(WTWNU)를 증가시키게 된다. 이것이 CMP 공정에서 패드 컨디셔닝의 가장 근본적인 첫 번째 목적이며, 피적되는 산유물결들은 응집된 슬러리 입자의 썩꺼기와 웨이퍼와의 마찰로 마모된 패드 폴리머로 분류할 수가 있다.



(A) Glazed pad surface (B) New pad surface
Fig. 2 The SEM of pad surface

2.2.2 패드 평탄화의 관점

패드는 웨이퍼와 상대접촉을 하는 부분에서 연마 압력에 의하여 고분자 고유의 선형인 집탄성 변형을 하게 되며, Fig. 3과 같이 반경방향에 따라 서로 다른 접촉시간을 가지는 패드의 연마길로에 따라 반복적으로 누적되어 패드 표면은 반경방향에 따른 불균일한 변형이 발생하게 된다. 그 결과 패드는 CMP 가공시간이 증가할수록 반경방향으로 불균일한 두께분포를 나타내다시, 이러한 결과는 CMP 공정동안 연마 균일성(WIWNU)에 특히 좋지 않은 영향을 미치게 되므로 컨디셔닝을 통한 패드 표면의 미소제거로 패드의 평탄도를 확보할 필요가 있다.

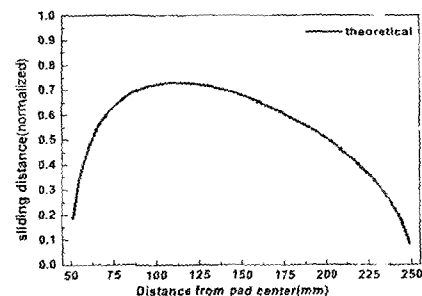


Fig. 3 Sliding distance of pad

2.2.3. 패드 미공벽(Side Wall)의 관점

CMP에서 인마제거율에 직접적인 영향을 주는 요소는 패드 표면에서의 웨이퍼 가공면과의 실제 접촉압력이 된다. 이는 웨이퍼를 통해서 패드로 부여되는 힘이 일정하다고 한다면, 실제 가공압력은 패드와 웨이퍼 가공면사이의 접촉면적에 의해서 결정되게 된다. 따라서, 실제 웨이퍼와 패드사이의 압력을 높이기 위해서는 매끄러운 미공벽(Side Wall)에 미소 스크래치(Micro Scratch)를 발생시켜 실제 접촉이 일어나는 부분(Texture)의 면적을 줄여야만 한다. 패드 교체후 디미 웨이퍼(Dummy Wafer)를 이용하여 일정한 시간동안 초기 안정화 작업을 하는 결정적인 이유도 위에서 설명한 Texture의 개념에 있다. 최초의 패드 표면은 아주 깨끗한 형상을 하고 있는데, 다이아몬드 컨디셔닝을 통해서 패드 표면에는 미소 스크래치를 발생시켜 Texturing을 하여야 한다. 이렇게 하여 안정적으로 생성되기 시작한 미소 스크래치는 CMP를 하는 전 과정동안 인마속도와 인마균일성의 안정적인 재현성을 위해 일정하게 발생되어야 하는데, 컨디셔닝을 통하여 이러한 미소 스크래치를 연속적이고 최적의 안정된 상태로 생성시킬 수 있다.

또한, 패드 미공 벽(Side Wall)의 미소 스크래치는 슬러리의 임시 운반 장소가 되어서 보다 많은 슬러리를 웨이퍼 가공에 참여시킴으로 인해서 인마속도를 향상시켜 더욱더 효과적인 공정이 되게 된다[4].

Fig. 4에서 컨디셔닝을 하지 않았을 때 인마 제거율이 급격하게 감소하다가 컨디셔닝 후의 인마 제거율이 초기의 값보다 높은 것을 볼 수가 있다. 이것은 초기에 없던 패드 표면의 미소 스크래치가 컨디셔닝에 의하여 발생한 결과로 미소 스크래치가 실제 인마압력의 상승과 보다 원활한 슬러리의 공급에 영향을 미치고 있다는 것을 알 수가 있다.

그러나, 과도한 Texturing은 패드의 강도와 접촉면적면에서 광역평탄화에 좋지 않은 영향을 미치게 되므로, 컨디셔닝 시에 적당한 미소 스크래치의 크기와 깊이, 비율에 대한 고려가 반드시 필요하다.

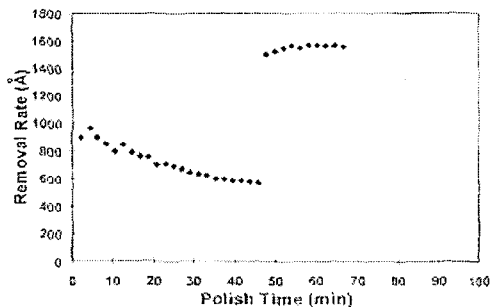


Fig. 4 The effect of pad conditioning

2.2.4 패드 표면의 물성 변화의 관점

패드의 표면에서 일어나는 클레이징 현상과 마모 현상은 넓은 관점에서 보게 되면, 패드 물성에 대해 오염과 열적, 화학적, 기계적으로 손상을 입히는 복합적 작용이다. 앞의 컨디셔닝 이유들은 패드의 기계적인 현상에 초점이 맞추어져 있다. 그러나, 패드 표면에서는, 가공시의 마찰력에 의한 열적 손상과 슬러리의 화학적 성분의 오염으로 인한 물성 변화가 반드시 존재하게 된다. 이러한 패드의 물성 변화는 초기의 패드와는 분명히 다른 현상을 유발하게 되며, 특히 패드 웨이퍼의 가공 시에 웨이퍼에 악영향을 끼치게 되므로 컨디셔닝을 통하여 오염된 패드 표면을 회복시켜 해결해 주어야 한다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험 방법

다이아몬드 컨디셔닝의 특성 평가를 실제 현장처럼 모두 실시하는 것은 불가능하여, 연속공정 도중에 CMP를 생략하고 패드의 마모에 가장 큰 영향을 주게 되는 컨디셔닝만을 일정시간 계속하여 패드수명과 컨디셔닝 특성을 확인하였다. 구체적으로 사용된 실험조건은 Table 1과 같으며, 측정기는 Auto-EL-III (Rudolph)를 이용하여 하나의 웨이퍼에 대하여 52개의 측정값을 원주 상으로 돌아가며 측정하였고, 이를 이용하여 결과를 분석하였다.

3.2 실험 결과

다이아몬드 컨디셔닝을 이용한 결과에서 인마제거율(MRR)과 인마균일성(WIWN)의 감소경향은 Fig. 5와 Fig. 6에서 거의 나타나지 않고 있음을 확인할 수 있다. 이는 컨디셔너의 다이아몬드 입자에 의해 패드 표면이 계속하여 미세제거되면서 항상 초기와 같은 표면 형상과 평탄도를 유지시켰다는 사실을 확인할 수가 있다.

그러나, Fig. 7에서 패드 표면에 완전히 제거되지 못한 슬러리 응집 잔류물과 제거된 패드 잔류물이 패드 표면에 다소 존재하여 웨이퍼의 마이크로 스크래치의 발생 원인이 될 수도 있다. 이는 패드 표면의 세정능력이 뛰어난 다른 컨디셔닝 기법을 추가한 복합적인 컨디셔닝 기법을 적용시켜 그 문제점을 해결할 수 있다고 생각한다. Fig. 8에서 패드의 표면을 제거하는 공정으로 인해 패드의 수명을 단축시키는 문제점이 있으며, IC1400의 경우 groove의 30%정도가 남았을 때를 패드의 한계수명으로 판단할 수 있었다.

Table 5.1 The condition of experiment

CMP Machine	GNP POLI400
Wafer	PETEOS Wafer 6 inch
Pad	IC-1400 K-Grv (Rodel)
Slurry	ILD-1300 (Rodel)
Pressure (Wafer/Condi.)	(300/50) g/cm ²
Velocity (Wafer/Table/Condi.)	60/60/60 rpm
Wafer Carrier	30 rpm

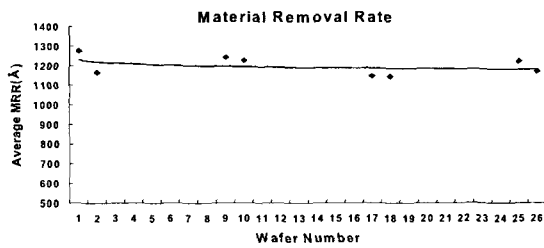


Fig. 5 MRR with diamond conditioning

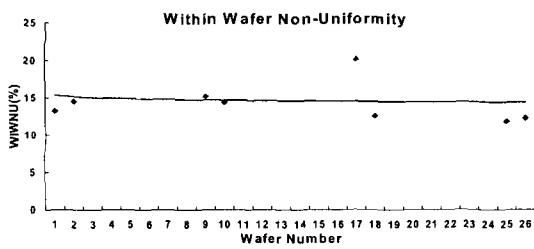


Fig. 6 WIWNU with diamond conditioning

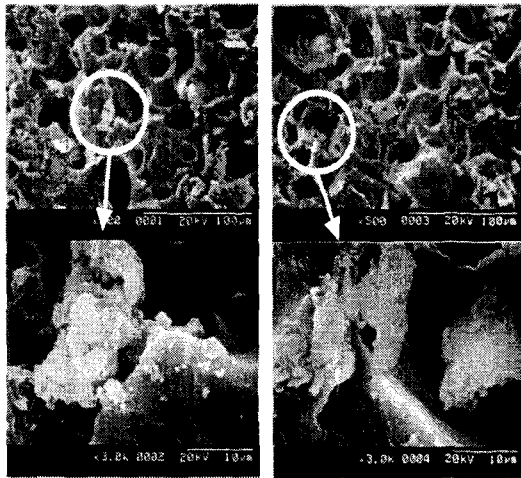
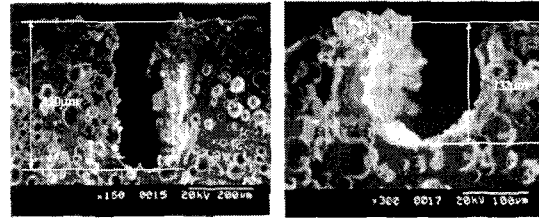


Fig. 7 Pad surface after diamond conditioning



(a) New pad (b) Used pad

Fig. 8 The cross section of pad

4. 결론

본 논문에서는 CMP에서 결정적인 영향을 주는 컨디셔닝의 목적을 인마공구의 역할을 하는 패드의 역할에 초점을 두고, 크게 다음과 같이 네가지로 분류하였다.

- I. 패드 미공과 표면 세정의 관점
- II. 불균일 변형된 패드의 평탄화 관점
- III. 패드 표면의 Texturing 관점
- IV. 패드 표면의 물성 변화의 관점

현실적으로는 이러한 목적을 모두 완벽하게 만족시키는 컨디셔닝 기법은 진부한 실정이며, 차선의 대안으로 사용되는 다이아몬드 컨디셔닝의 특성을 실험을 통하여 확인하여 보았으며 다음과 같이 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 인마 제거율과 인마균일성을 유지하는 길에 서는 우수한 성능을 나타낸다.
- (2) 표면의 미소 제거 공정으로 인한 패드 수명을 단축시키는 한계와 불완전한 패드 표면 세정 능력이 해결되어야 할 문제점으로 남아있다.

참고문헌

1. 정해도, CMP특집 제 1 장 서문, 월간반도체, 11월호, 1997
2. V. C. Venkatesh, I. Inasaki, H. K. Tjenshof, T. Nakagawa, and I. D. Marinescu, "Observations on Polishing and Ultraprecision Machining of Semiconductor Substrate Materials", Annals of the CIRP Vol. 44, pp.611-618, Feb, 1995.
3. 김형재외, CMP공정에서 인마길과에 영향을 미치는 패드 물성치에 관한 연구, 한국정밀공학회지, 제17권, 제3호, pp.184~191, 3월호, 2000
4. SHIN HWA LI, ROBERT O. MILLE, "Chemical Mechanical Polishing in Silicon Processing", ACADEMIC PRESS, pp.25-30, 2000