

층간절연막 CMP의 초음파 컨디셔닝 특성에 관한 연구

서헌덕*(부산대 정밀기계공학과 대학원), 정해도(부산대 기계공학부)
김형재(부산대 정밀기계공학과 대학원), 김호윤(부산대 정밀기계공학과 대학원)
이재석(한국공작기계), 황정연(한국공작기계), 안대균(한국공작기계)

A Study on the Ultrasonic Conditioning for Interlayer Dielectric CMP

H. D. Seo(Precision Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(Mech. Eng. Dept., PNU)
H. J. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU), H. Y. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU)
J. S. Lee(K.M.T.Co.Ltd), J. Y. Hwang(K.M.T.Co.Ltd), D. G. Ahn(K.M.T.Co.Ltd)

ABSTRACT

Chemical Mechanical Polishing(CMP) has been accepted as one of the essential processes for VLSI fabrication. However, as the polishing process continues, pad pores get to be glazed by polishing residues, which hinder the supply of new slurry. This defect makes removal rate decrease with a number of polished wafer and the desired within-chip planarity, within wafer and wafer-to-wafer nonuniformity are unable to be achieved. So, pad conditioning is essential to overcome this defect. The electroplated diamond grit disk is used as the conventional conditioner. And alumina long fiber, the jet power of high pressure deionized water and vacuum compression are under investigation. But, these methods have the defects like scratches on wafer surface by out of diamond grits, subsidences of pad pores by over-conditioning, and the limits of conditioning effect. To improve these conditioning methods, this paper presents the Characteristics of Ultrasonic conditioning aided by cavitation.

Key Words : CMP(화학기계적연마), Pad(연마포), Pore(미공), Conditioner(컨디셔너), Ultrasonic Vibration(초음파 진동), Cavitation(공동 현상).

1. 서론

최근 반도체 산업은 웨이퍼의 대구경화와 다층화로 웨이퍼의 글로벌 평탄화에 대한 요구의 증대로 화학기계적연마(Chemical Mechanical Polishing: CMP) 방법이 주목받고 있다. CMP는 연마포(Pad)와 웨이퍼 사이에 연마액(Slurry)을 공급한 상태로, 압력을 가하여 서로 상대운동 시켜 연마하는 가공구조이다. 이때 패드 표면에 있는 수많은 발포 미공(Pore)은 항상 새로운 연마액(Slurry)을 담아두는 역할을 하여 일정한 연마효율과 웨이퍼 면내의 연마균일성을 얻을 수 있게 한다. 그러나, 연마 중에 패드 위에는 높은 압력과 상대속도가 부가되어 연마가 진행됨에 따라 연마 잔류물들에 의해 패드 표면의 미공은 막히게 된다. 미공의 눈막힘 현상은 연마량, 웨이퍼 전면에서의 광역 평탄화와 웨이퍼간의 연마 균일성등을 악화

시킨다. 이러한 미공의 눈막힘 현상을 해결하여 패드 표면을 회복시키는 공정을 컨디셔닝(Conditioning)이라 하며 이는 필수적이다. 현재 상용의 컨디셔너인 다이아몬드 입자를 전착시킨 플레이트를 사용하여 표면을 패드 표면의 미소 절삭으로 새로운 미공층을 생성시키는 방법은 컨디셔닝 중에 플레이트에서 탈락된 다이아몬드 입자나 결합제가 웨이퍼의 표면에 스크래치를 일으키기도 하며, 또한 과도한 압력으로 인해 오히려 미공들의 함몰을 가져와 공정의 불안정성을 야기한다. 상용 컨디셔닝 방법의 이러한 한계를 개선하기 위해 본 논문은 이미 제안된 초음파 컨디셔너를 개선시켜 우수한 컨디셔닝 효과를 확인하고 동시에 응집된 슬러리 입자들을 분산시키는 효과를 확인하였다.

2. 컨디셔닝 이론

초음파 컨디셔닝은 초음파의 조사로 슬러리 중에 서 발생하는 케비테이션(Cavitation)의 폭발력을 이용하여 패드를 초기와 같이 회복시키는 방법이다.

초음파 진동자의 끝단에서 슬러리에 전해지는 압력의 변동으로 슬러리에 압력의 주기적인 증감이 빠르게 반복된다. Fig. 1과 같이 등온과정에서 압력이 상승하게 되면, 기체가 액체로 되기도 하고(A), 압력이 하강하면 액체가 기체로 되기도 한다(B). Fig. 2에서처럼 1기압을 중심으로 기압의 변화가 일어나게 되면, 슬러리 속에 녹아 있던 공기의 미세한 기포나 연마 잔류물등의 미세한 입자가 핵(Cavity)이 되고, 이 핵이 계속되는 압력의 증감 과정에서 압력의 증가로 수축하면서 기체를 용해시키거나 증기를 응축(액화)시키거나 한다. 반대로 다음 압력의 감소시 기에는 주위의 액체 층에 들어간 기체를 모으거나 액체를 증발시키거나 한다. 초음파의 강도를 점차 높여서 압력 진폭을 1기압으로 하면 그림의 A곡선처럼 압력의 최소값인 0기압이 될 때, 슬러리는 거의 진공 상태가 된다. 여기에다가 다시 초음파의 강도를 높이게 되면 그림의 B처럼 음의 압력이라는 것이 발생하는 데, 실제로는 압력이 음의 값을 가진다고 하기보다는 기포는 진공 상태 그대로이고 이밖에 액체를 잡아 찢는 것과 같은 힘이 작용하게 된다.

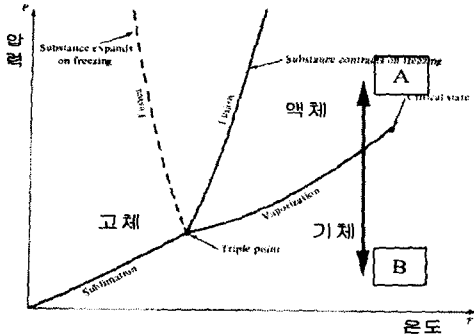


Fig. 1 The P-T diagrams for substances

이런 원리를 통해서 슬러리 안의 많은 기포 핵 (Cavity)이 성장하기도 하고 소멸하기도 하는데, 이것은 전적으로 기포의 표면장력과 초음파의 압력과의 관계에서 결정된다. 기포는 표면장력이 초음파의 압력을 견디는 한계까지 성장하다가 결국 표면장력보다 초음파의 압력이 더 커지는 순간, 다음의 압축에 의해서 찢어지면서 폭발하게 된다. 이때 기포의 폭발에 의해 큰 충격력이 발생하고, 동시에 액체의 빠른 분출과 극단적인 온도의 변화로 강력한 컨디셔닝 작용이 일어난다. 이러한 케비테이션의 충격력이 미공들을 막고있던 잔류물들을 제거하고 밖으로 밀어내어 새로운 슬러리가 그 미공들 속에 담기어 가공에 참여할 수 있게 해준다. 또한 초음파의 케비테이션에 의해 발생하는 강한 충격력과 순간적인 높은 압력은 슬러리의 응집된 입자를 분산시킨다. Fig. 4는 초음파 분산의 원리를 나타낸다.

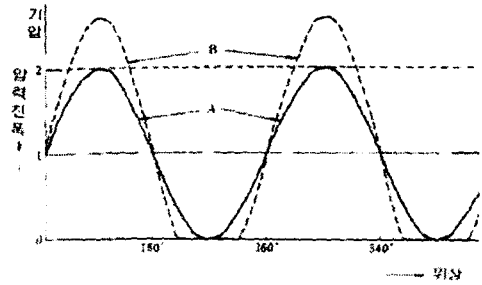


Fig. 2 The Pressure graph of Cavitation

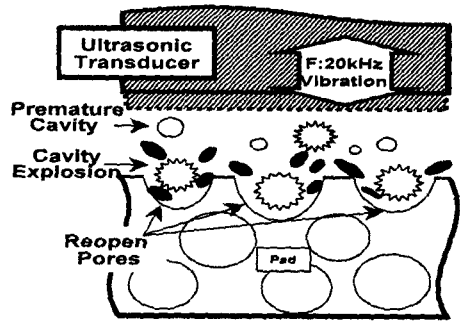


Fig. 3 Concept of Ultrasonic Conditioning

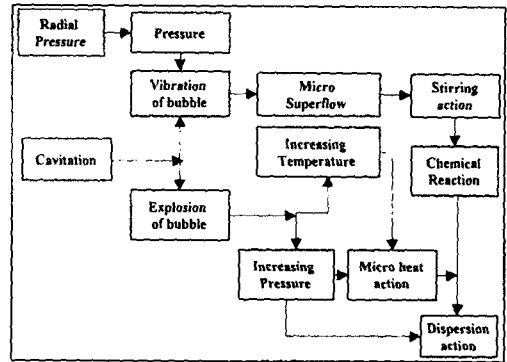


Fig. 4 The Flow Chart of Dispersion

3. 중간절연막 CMP에서의 컨디셔닝 실험

3.1 실험 장치의 구성

새롭게 제작된 초음파 컨디셔너는 20kHz의 주파수와 1200W의 강도를 가지는 초음파를 사용하였다. 구체적인 장비의 형태는 Fig.5와 같다. 이번 컨디셔너는 혼의 형태를 사각기둥형으로 하고 그 각도를 그림처럼 임의로 조정하도록 하여 슬러리의 유동을 조절할 수 있는 장점을 가졌다. 또한 장비의 소형화로 진공 흡착판을 이용해 연마장비에 고정시켜 위치 조절이 쉽고, In-Process Conditioning이 가능하게 하여 그 실용성을 강화하였다.

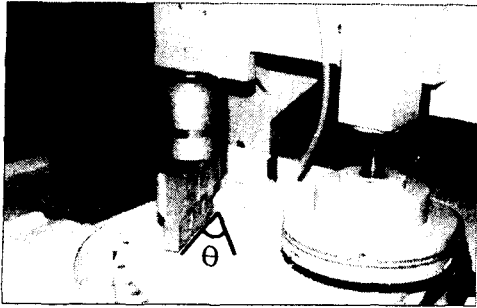


Fig. 5 New Ultrasonic Conditioner (CONDY-II)

3.2 실험 방법

본 실험은 층간절연막(Interlayer Dielectric) CMP에서 연마량의 유지와 패드 미공의 컨디셔닝 정도를 평가의 기준으로 잡았으며 구체적인 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 The Condition of Experiment

CMP Machine	LAPMASTER LGP-381
Wafer (6 inch)	Blanket Wafer (Oxide 10,000 Å) Dummy Wafer (Si Wafer)
Pad	IC-1400
Slurry	ILD-1300
Slurry Flow Rate	100 ml/min
Polishing Pressure	300 g/cm ²
Pad Plate(400mm)	30 rpm
Wafer Carrier	30 rpm
Measurement	Auto EL III

먼저 층간절연막 CMP에서 컨디셔닝 없이 실험을 하였다. 3분간의 블랭킷 웨이퍼 가공과 패드 마멸을 유발시키기 위해 27분간 Si 더미 웨이퍼로 가공을 하여 총 30분간의 가공을 한 사이클로 하였다. 다음으로 실제 공정에서 사용하는 다이아몬드 컨디셔너를 사용해 3분 가공에 대해 30초씩, 압력은 30g/cm²로 컨디셔닝하여 앞의 실험과 같은 조건으로 600분간 총 20 사이클 실험하였다.

마지막으로 새롭게 제작한 초음파 컨디셔너를 사용하여 In-Process Conditioning으로 실험을 하였다. 진동자와 패드는 약 500 μ m의 간격을 유지하도록 하여 공급되는 슬러리가 진동의 매개체가 되도록 하였다. 다이아몬드 컨디셔닝과 마찬가지로 총 600분간 20 사이클을 실험하였다.

그리고 초음파에 의한 입자의 분산효과를 확인하기 위하여 슬러리에 대하여 초음파를 In-Process로 조사하여 그 결과를 분석하였다.

3.3 실험 결과 및 고찰

아래의 그래프처럼 일반적으로 CMP공정에서 컨디셔닝이 없으면 패드 미공들의 눈막힘 현상이 일어나 연마량은 어느 정도의 가공 후부터 급속하게 감소한다. 13번째 사이클 부터는 웨이퍼가 패드 미공의 눈막힘과의 마찰로 더 이상 실험을 할 수가 없었다. 이 실험에서 CMP공정에서 컨디셔닝은 필수적인 공정임을 알 수가 있다.(Fig. 6)

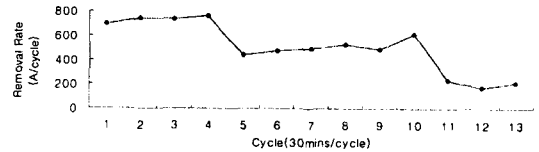


Fig. 6 Without Conditioning

다이아몬드 컨디셔닝은 그래프에 나타나듯이 연마량이 전체의 20사이클에 대해서 계속 일정하게 유지되고 있다. 초기의 세 번째 사이클의 튀는 값은 측정값의 오차로 생각된다.(Fig. 7)

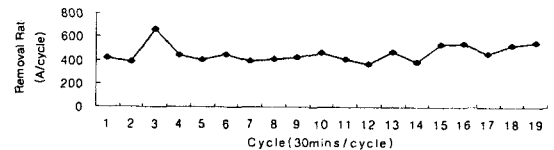


Fig. 7 With Electroplated Diamond Conditioning

새로 제작한 초음파 컨디셔너를 이용한 실험에서도 그래프에 나타나듯이 연마량이 초기부터 끝까지 계속 일정하게 유지하고 있다. 연마량의 측면에서는 기존의 다이아몬드 컨디셔너와 거의 유사한 특징을 보인다.(Fig. 8)

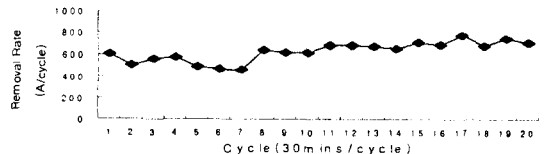


Fig. 8 With Ultrasonic Conditioning

Fig. 9는 단위체적에 대한 슬러리 입자의 체적비 (Vol%)를 나타낸 것으로 실제 가공 시에 스크래치 (Scratch)의 발생 가능성이 있는 입자의 분포(1 μ m 이상)가 초음파를 조사한 후에는 줄어들었음을 볼 수 있다. 이것은 초음파의 분산효과에 기인한 연마 입자의 거대 입자가 1차 또는 2차 입자로 줄어든 것으로 보여지며, 가공입자영역(0.1-1 μ m)도 변화되었음을 볼 수 있다.

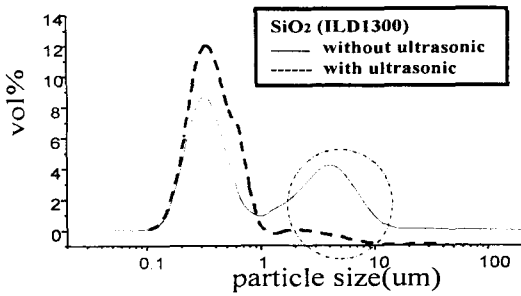


Fig. 9 The vol(%) of slurry Particle Size

SEM사진을 이용하여 패드 미공의 눈막힘 현상에 대한 관찰을 하였다. 컨디셔닝을 하지 않은 경우는 패드 표면이 전부 연마 잔류물들로 가득 차 있음을 볼 수 있다. 다이아몬드 컨디셔너를 이용한 실험에서 패드 미공이 다이아몬드 입자들에 의해서 어느 정도 열려졌다는 것은 알 수 있지만, 미공의 안쪽부분까지 처음의 미공처럼 깨끗하게 컨디셔닝이 되지 못했다는 것을 사진에서 알 수가 있다. 완전히 제거되지 못하고 미공의 안쪽에 누적되어 있는 연마 찌꺼기가 연마가 오랫동안 지속된 후에는 패드를 교체시키는 이유중의 하나라고 생각한다.

다음으로 초음파의 cavitation효과에 의한 컨디셔닝을 실시한 패드의 미공은 사진에서 나타나듯이 아주 깨끗하게 열려있다. 그리고 패드의 벽(wall)부분에서도 연마 잔류물들이 거의 없음을 알 수가 있다. 이것은 cavitation에 의한 폭발력이 미공이라는 한정된 공간에서 발생해 그 효과가 아주 극대화가 되어 미공속의 아주 작은 잔류물에 대해서도 완벽하게 컨디셔닝이 되었기 때문이라고 생각한다. 패드의 미공속뿐만 아니라 벽(wall)부분에서도 cavitation의 폭발력이 또한 각각 작용하여 처음의 패드처럼 깨끗하게 컨디셔닝이 된 것으로 사료된다.

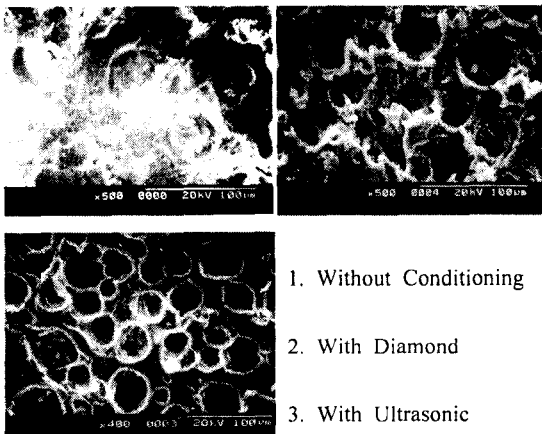


Fig. 10 The SEM Photograph of Pad

4. 결론

이 논문에서는 차세대 반도체 제조공정에서 큰 관심을 나타내는 화학기계적연마(CMP)에서 문제로 떠오르고 있는 컨디셔닝에 대하여 실험하고 고찰하였다. 현재 상용으로 사용하고 있는 다이아몬드 컨디셔너와 새롭게 개발된 초음파 컨디셔너를 실험하고 분석하여 비교하였다.

1. 다이아몬드 컨디셔닝은 패드 표면을 미소 절삭하는 방법이기 때문에 패드 두께의 감소가 일어나고 패드에 직접적으로 물리적인 충격을 주게 되어 사용시간의 한계가 반드시 존재한다.

2. 초음파 컨디셔닝은 그 효과가 뛰어난 뿐만 아니라, 패드와 비접촉식이기 때문에 패드에 직접적인 물리적 충격을 주지 않게 된다. 따라서 패드 두께의 감소도 없으며 사용시간의 한계는 더 길어져서 패드의 CoC(Cost of Consumable)가 줄어든 것이다.

3. 초음파에 의한 슬러리 입자의 분산 효과를 통해 응집된 입자를 In-Process 초음파 컨디셔닝으로 동시에 제거하고 분산할 수 있다.

4. 특히 초음파 컨디셔닝은 In-Process공정이기 때문에 In-Situation Process보다 컨디셔닝 시간을 절약할 수 있는 장점이 있다.

후기

엔지니어링 공통기반 사업인 “차세대 반도체의 광역평탄화를 위한 CMP 기술 개발”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Hae-Do Jeong, A Global Planarization of Interlayer Dielectric Using Chemical Mechanical Polishing for ULSI Chip Fabrication, Vol.14, No.7, Korean Society of Precision Engineering
2. Peter W. Freeman, Lucia Markert, Characterization of Pad Conditioning Profiles in Oxide Polishing, CMP-MIC Conference, February 1996.
3. Sung Hoon Lee, Hae Do Jeong, “The New Concept of Conditioner for CMP”, CMP-MIC Conference, pp.209-215, February 1998.
4. 이성훈, 김형재, 안대균, 정해도 “화학기계적연마(CMP) 컨디셔닝에 관한 연구
5. 월간반도체 1998. 3월호 pp.54~69
6. 이종락, “초음파와 그 사용법”, 세화출판사, 1997.
7. 초음파연구회, “쉬운 초음파의 활용”, 기전연구사, 1992