

Blanket Wafer의 CMP특성에 Slurry가 미치는 영향 (Effect of slurry on CMP characteristics of Blanket Wafer)

김 경 준*, 정 해 도†

*부산대학교 대학원, †부산대학교 공과대학 기계공학과

Kyoung-Jun Kim*, Hae-do Jeong†

Abstract

The rapid structural change of ULSI chip includes minimum features, multilevel interconnection and large diameter wafers. Demands for the advanced chip structure necessitates the development of enhanced deposition, etching and planarization techniques. Planarization refers to a process that make rugged surfaces flat and uniform. One of the emerging technologies for planarization is chemical mechanical polishing(CMP). Chemical and mechanical removal actions occur during CMP, and both appear to be closely interrelated. The purpose of this study is the optimal application of the slurry to the various types of device materials during CMP. We investigate the effect of slurry on CMP characteristics for thermal oxide and sputtered Al blanket wafers. Results from the polishing rate and the uniformity of residual film include mechanical and chemical reactions between several set of slurry and work material.

Keyword : Blanket Wafer, CMP Characteristics, Thin film, Slurry, Polishing rate, Uniformity

1. 서론

1980년대말 미국 IBM은 기계적 제거가공과 화학적인 제거가공을 하나의 가공 방법으로 혼합한 CMP라는 새로운 연마공정을 개발하였다. 실리콘 웨이퍼(wafer)로부터 ULSI(Ultra Large-Scale Integration) chip에 이르는 전 공정에서 웨이퍼 표면을 평탄화하기 위한 CMP 프로세스는, 차세대 반도체를 제조하기 위한 공정에 반드시 필요한 기술이 되었다. CMP의 기본 원리는 슬러리(slurry) 중의 가공물과 반응성이 좋은 화학액이 가공물을 화학적으로 제거가공함과 동시에 초미립의 연마재가 표면을 기계적으로 제거가공하는 것이다^[1]. 따라서 기계적인 작용과 화학적인 작용이 서로 분리된 역할을 하는 것이 아니고 서로 상호작용을 해주어 상승효과를 나타낸다. 이와 같은 CMP 프로세스에 영향을 주는 요소들은 연마시간(polishing time), 정반(table)의 회전속도, 웨이퍼를 지지하고 있는 캐리어(Carrier)의 회전속도, 연마정반과 캐리어의 상대속도, 요동(Oscillation) 속도와 폭, 슬러리 공급률과 희석비(dilution rate), 웨이퍼에 인가되는 압력, CMP 프로세스 중의 외부 및 웨이퍼 표면의 온도 및 슬러리의 구성요소(pH, 미립자의 농도), 패드의 구조(경도와 돌기 등의 미세형상) 등이 있다. 하지

만 이러한 많은 요소들이 미치는 영향은 서로 다르다. 예를 들면, 인가압력, 정반 및 캐리어의 상대속도는 연마속도(polishing rate)에 영향을 주지만 슬러리의 입자크기는 무관한 것으로 알려져 있다. 하지만, 입자크기는 인가압력과 함께 연마면의 거칠기에 큰 영향을 미친다^[1].

본 연구에서는 CMP의 모델링을 위한 기초연구로서 슬러리가 blanket wafer의 CMP특성에 어떠한 영향을 주는지를 알아보기 위하여 대표적인 몇 가지의 슬러리를 이용하여 Si기판 위에 SiO₂ 열산화막과 Al 증착막을 갖는 두 종류의 blanket wafer에 대하여 연마속도와 uniformity의 관점에서 분석하였을 때에 가장 적절한 슬러리는 무엇이며 왜 이러한 결과가 나타나는가를 화학액 조성과 미립자 측면에서 영향력을 분석하였다.

2. 슬러리

CMP에 있어서 슬러리는 연마 패드와 웨이퍼 사이에 존재하게 되며, 웨이퍼의 가압으로 젤 상태의 콜로이달 실리카로 된 후 수평방향의 상대운동에 의해 가공물의 표면과 슬러리내의 미립자의 응착, 박리작용으로 원자·분자규모의 화학적 기계적 미소 제거 작용

이 진행된다^[2].

슬러리라고 하는 것은 간단하게 말하자면 기계적인 제거 작용을 하는 수~수십nm의 미립자(SiO₂, Al₂O₃ 등)를 NaOH, NH₄OH 등의 화학액에 현탁시킨 것이다. 일반적인 절삭가공 등의 경우 재료의 성질 및 원하는 정밀도 등 원하는 결과를 얻기 위해 공구를 달리하여 준다. CMP도 마찬가지로 기계적이고 화학적인 영향을 고려하여서 각각의 재료에 대하여 서로 다른 슬러리를 사용하고 있다. 이러한 슬러리의 화학 성분, 농도, 미립자의 종류, 미립자의 크기 및 함유량 그리고 pH 등에 의하여 CMP의 효과가 바뀔 수 있으므로^[3] 다른 재료에 비해 높은 선택성을 지니면서 연마속도와 표면품질(surface integrity)을 향상시킬 수 있는 슬러리를 CMP에 적용시킨다는 것은 매우 중요한 사항이다.

CMP에 있어서 슬러리의 역할은 매우 크다. 물론 다른 많은 요소들에 의해서도 CMP특성이 변화하지만, 슬러리가 CMP특성에 미치는 영향은 매우 크므로 슬러리는 우선적으로 최적의 상태로 갖추어져야 한다.

슬러리에 있어서 기계적인 제거가공을 수행하는 요소는 슬러리 내부에 들어가는 미립자들이다. 상용화되어 있는 각종 슬러리를 보면 미립자로서 SiO₂, Al₂O₃ 등이 사용이 되고 있다. 이들 미립자의 종류에 따라서 연마대상의 재료가 결정이 되어지고, 크기와 함유량에 따라서 기계적인 제거 효과가 달라진다. 이러한 슬러리의 종류들에 대하여 간단하게 분류해 보면 표1과 같다.

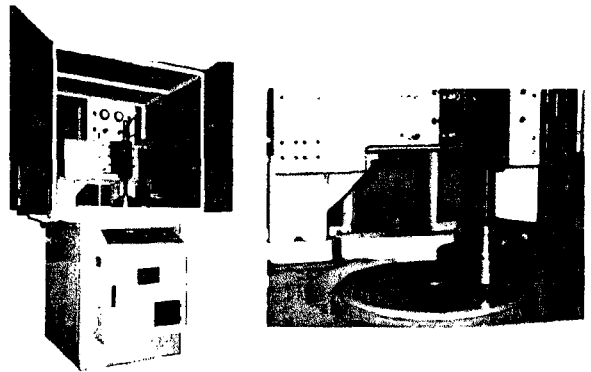
표1. 연마 슬러리의 주용제와 문제점^[4]

주성분 입자	제조법	원재료	호칭	문제점
Slurry (SiO ₂)	침하, 분쇄	NaSiO ₃	Silica	오염, Na잔류
	화염산화	SiO ₄	Fumed Silica	응집입자경, 침하안전성
	ION	NaSiO ₃	Colloidal Silica	Na잔류, 건조하에서 표면부착, Filtering거의 불가능
	용액산화반응	TEOS etc.	합성 Silica	Cost, Alcoh/ H ₂ O치환의 필요성
Slurry (Al ₂ O ₃)	분쇄, 분급	Al ₂ O ₃	단독 사용	침하성, 기계적 연마
			산화제 혼합	침하성, 입자지름 큼, (산화제혼합에 의한)

슬러리의 화학적인 역할은 역시 표면에 화학적인 반응을 일으켜 에칭과 유사한 효과를 나타내게 하는 것이다. 단순히 에칭의 역할만을 행하는 것이 아니라 앞의 기계적인 제거작용과 상호작용을 일으킨다^[4]. 이러한 이유들을 규명해 보기 위하여 본 연구에서는 열산화(Thermal Oxide)막과 Al막에 SiO₂, Al₂O₃ base의 슬러리들을 적용시켜서 각각의 슬러리가 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고자 한다. 또한 이들 슬러리 내에 현탁되어진 화학액의 영향에 대해서도 함께 살펴 보았다.

3. 실험방법

본 연구에서는 Lapmaster사의 CMP장치인 LGP-381을 사용을 하였다. 이 장치에 대한 사진 및 사양은 그림1에 나타낸다.



a) LGP-381 외관사진 b) LGP-381 연마부 사진

Diameter of Table	φ381mm
Revolution of Table	200rpm VARIABLE
Diameter of carrier	correspond to 6"
Number of carrier	6"-1 Axis
Maximum pressure	200kg
Oscillation stroke	±40mm
Motor for table	1.5kW, 3PHASE, 200/220V

c) Specification of LGP-381
그림1. LGP-381의 외관 및 사양

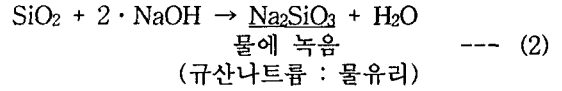
실험에 사용한 시편은, 6인치 blanket wafer이다. 다른 많은 parameter들도 CMP에 있어서 중요한 변수로 작용하지만 슬러리가 CMP특성에 미치는 영향만을 알아보기 위하여 슬러리의 다른 모든 parameter들은 고정하여 두고 슬러리의 종류를 변화시켜서 실험하였다. 이미 고정된 가공조건들에 대해서는 표2에, 슬러리들은 표3에 각각 나타낸다.

표2. 가공조건

Table speed	30 rpm
Work speed	30 rpm
Oscillation width	8 cm
Oscillation stroke	11 strokes/min
Polishing pressure	3 kg/cm ²
Pad	IC 1000 / Suba 400 (단, Al은 Suba 400)
Polishing time	3 min (단, Al은 30 min)

표3. 실험에 사용되었던 슬러리

Slurry #1	SiO ₂ Type A, size 140nm, 13 vol%, pH 10.7
Slurry #2	SiO ₂ Type B, size 70~90nm, 28 vol%, pH 11.0~11.5
Slurry #3	Al ₂ O ₃ Type A, size 210nm, 7 vol%, pH 3.8
Slurry #4	Al ₂ O ₃ Type B, size 210nm, 3.4 vol%, pH 3.8



식(1)은 슬러리#1과 #2에 적용이 되는 화학식이고, 식(2)는 슬러리#3에, 식(3)은 슬러리#4에 각각 관련된 화학식이다. 그림2와 표4를 보면 알 수 있듯이 열산화막의 연마에서는 pH값이 높은 알칼리성일수록 연마 속도가 높음을 알 수 있다. 슬러리의 pH가 낮아져서 문제가 된다면 슬러리 내에 pH값을 조절하기 위하여 HCl, CH₃COOH 등의 화학액을 공급하여서 pH값을 조절하여 준다^[5].

표4. 각 화학액의 pH값과 적용

pH	Chemical	Application
low pH	diluted HF	oxide
	H ₂ O ₂	metal
	H ₂ O (ice, hot water)	universal
high pH	NH ₄ OH (NH ₄ OH/H ₂ O ₂)	oxide
	KOH	oxide

4. 실험결과 및 고찰

4.1 열산화막의 경우

먼저, 슬러리의 종류에 따른 열산화막(SiO₂)의 연마제거속도를 살펴보았다. 이때 잔류박막의 두께는 Nano-spec을 이용하여 측정하였다.

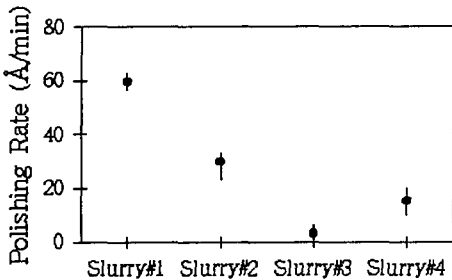


그림2. 슬러리의 종류에 따른 연마속도

연마속도에 영향을 미칠 수 있는 요소로서는 입자 및 화학액과 웨이퍼간의 화학반응, 그리고 웨이퍼 표면에 직접적으로 접촉하고 있는 슬러리 내부의 미립자수 등이 있다.

실험에 사용된 슬러리와 열산화막(SiO₂)과의 화학반응식을 살펴보면 식(1)~식(3)과 같다.

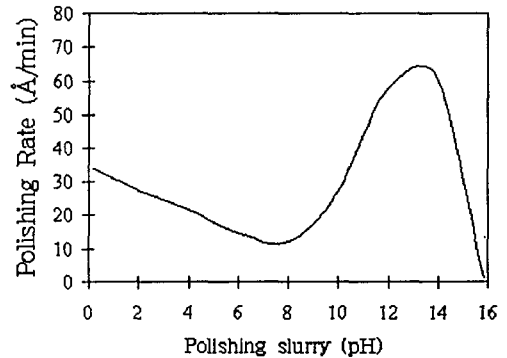
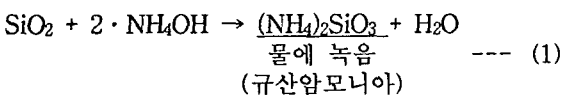


그림3. pH값에 따른 연마속도의 변화^[5]

슬러리#1과 #2의 경우 화학적인 안정화를 위하여 혼제되어 있는 수용액은 NH₄OH로 같다. 미립자의 함유량이 슬러리#2가 #1에 비하여 많지만 슬러리#2의 연마속도가 느리다. 이것은 미립자의 함유량이 많다고 해서 반드시 좋은 결과를 나타내지는 않음을 보여주고 있다. 연삭숫돌의 경우 입자의 분포가 너무 촘촘하면 기공률이 떨어져 가공량이 오히려 감소하고 가공면의 상태도 좋지 않게 된다. 마찬가지로 슬러리도 적정의 함유량을 벗어나면 오히려 연마속도가 감소하는 경향을 가지므로 적절한 미립자 함유량을 갖는 슬러리를 선택하여야 한다.

다음으로 CMP후 웨이퍼 표면에 잔류하는 박막의 uniformity 정도에 대하여 살펴보았다.

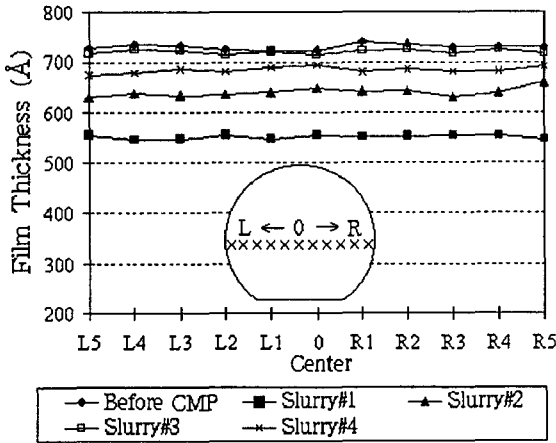


그림4. 각각의 슬러리에 대한 uniformity

CMP후의 웨이퍼표면에 잔류하는 박막의 uniformity에 영향을 줄 수 있는 요소로서는 패드의 탄성변형 및 거칠기, 미립자의 크기, 슬러리에 의한 화학부식 등이 있다.

열산화막의 CMP에 대해서는 경·연질 2층구조의 패드를 사용하여 실험하였다. 경질패드나 연질패드만을 이용할 경우에 비하여 이 경우가 가장 uniformity가 높으며, 실제 패드의 기계적요소 및 거칠기에 의한 영향력이 가장 크다고 볼 수 있다. 그림4로 부터 박막의 uniformity에 가장 적절한 미립자의 크기는 약 140 nm임을 알 수 있다. 그리고, 패드에 의한 미립자의 수송이 원활할수록 연마속도는 높아지므로 슬러리의 점성이 낮게하여 수송에 도움을 주어야 한다^[6]. 이러한 관점에서 볼 때, 슬러리#2가 #1보다 점성이 높으므로 연마속도에 악영향을 미쳤다고도 볼 수 있다. 그리고, 패드에 의한 미립자의 수송이 원활할수록 uniformity는 높아진다. 따라서 슬러리의 점성을 낮추어 일종의 칩이라 볼 수 있는 반응물들이 섞인 폐슬러리의 수송에 도움을 주어야 한다^[6]. 이러한 관점에서 볼 때, 슬러리#2가 #1보다 점도가 높으므로 아주 미세하지만 uniformity에 악영향을 미쳤다고도 볼 수 있다.

4.2 알루미늄 박막의 경우

Al blanket wafer의 경우에는 Al박막의 표면을 만들고, 미리 에칭하여서 Si 기판과 Al 박막과의 단차를 Tencor사의 alpha-step200을 이용하여서 잔류박막의 두께를 측정을 하였다.

먼저, 슬러리의 종류에 따른 Al박막의 연마속도의

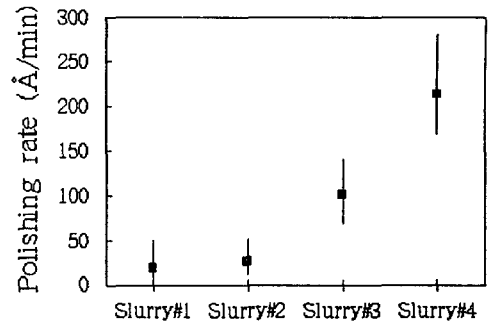
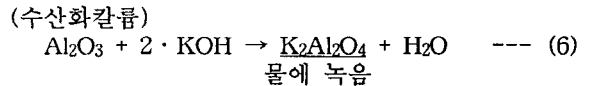
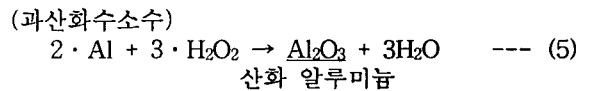
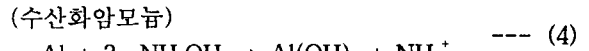
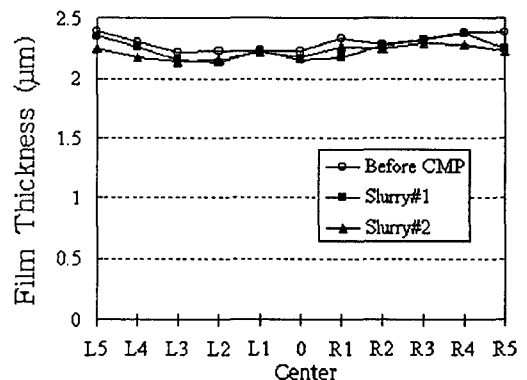


그림5. 슬러리의 종류에 따른 연마속도

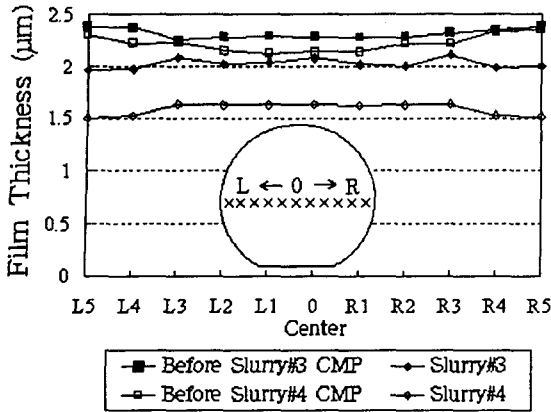
각각의 슬러리와 Al 박막과의 화학반응식을 살펴보면 식(4)~식(6)과 같다.



식(4)는 슬러리#1과 #2에 대한 반응식이며, 슬러리 #3은 식(5)의 반응을, 슬러리#4는 식(5)와 (6)의 반응을 동시에 한다. 즉 슬러리#4의 경우 Al과 H₂O₂가 반응하여 생긴 생성물인 Al₂O₃와 다시 KOH가 반응을하여 기계적인 작용을 하는 미립자의 수를 안정화시켜 주어 연마속도를 안정시켜준다. 또한, Al(금속)의 경우 산성의 슬러리에 쉽게 반응함을 알 수 있다. (그림 5). 다음으로 CMP후 슬러리의 종류에 따른 잔류박막의 uniformity에 대하여 관점에서 살펴보았다.



a) 슬러리#1과 #2에 대한 uniformity



b) 슬러리#3과 #4에 대한 uniformity

그림6. 슬러리 종류에 따른 잔류 Al박막의 uniformity

알루미늄의 경우 스크래치가 많이 발생하므로 스크래치를 줄이기 위하여 단일층의 연질패드를 사용하였다. 연질패드의 가장 큰 단점인 uniformity의 저하를 그림6에서도 확인할 수 있다. 즉, 슬러리의 공급이 원활하지 못하여 중심부가 높고 외각부가 낮은 profile을 나타낸다. 이러한 영향은 패턴이 있는 디바이스 웨이퍼의 경우, 금속의 패턴이 패이는 dishing, 돌출부의 모서리에서의 rounding 등의 문제를 일으킨다. 그림6으로부터 박막의 uniformity에 가장 적절한 미립자의 크기는 약 210nm임을 알 수 있다. 그리고 점성의 관점에서 볼 때, 슬러리#3은 #4에 비해 점성이 높아서 uniformity가 낮음을 그림6에서 볼 수 있다. 또한, 슬러리#1과 #2의 경우를 보면, 미립자들에 의한 기계적인 제거작용이 적고 화학액들에 의한 화학적인 제거작용이 크기 때문에 연마량의 제어가 불가능하게 되어 uniformity에 악영향을 미친다^[7]. 하지만 슬러리#3과 #4를 보면 기계적 제거가공과 화학적 제거가공에 대한 작용이 잘 혼합되어서 높은 uniformity를 얻을 수 있음을 그림6에서 볼 수 있다.

5. 결론

열산화막 및 Al 금속막을 갖는 2종류의 blanket wafer에 대하여 슬러리가 CMP특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 연마속도, 잔류박막의 uniformity를 향상시킬 수 있는 최적의 슬러리 조건을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 연마속도의 관점에서 보면 입자 및 화학액과 웨이퍼간의 화학반응이 원활하게 일어나도록 각각의 박막에 가장 적절한 반응을 일으키는 화학액 및 미립자를 가지는 슬러리를 사용하여야 한다. 그리고 웨이

퍼의 표면과 접촉하는 미립자의 수가 많을수록 연마속도는 향상한다. 하지만 너무 많으면 오히려 연마속도는 감소한다. 또한 화학반응과 조화를 이루어 미립자수를 안정시켜 주어야 한다. 그리고 열산화막(SiO₂)은 pH가 높은 알칼리성 용액에서, 그리고 Al(금속)은 pH가 낮은 산성의 용액에서 각각 반응성이 좋아서 연마속도가 높다.

두번째, uniformity의 관점에서 보면 패드의 형상이 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 그림4와 그림6에서도 나타나 있듯이 경·연질 2층 구조의 패드가 연질의 패드에 비하여 uniformity가 높음을 알 수 있다. 그리고, 슬러리의 점성이 낮은 것을 사용하면 페슬러리의 수송을 원활하게 해주어 패드의 눈막힘 등을 방지할 수 있기 때문에 uniformity를 향상시킬 수 있다. 또한, 화학적인 제거작용과 기계적인 제거작용에 의한 비를 서로 상승효과를 지닐 수 있게 조절하여 연마량의 제어를 용이하게 해주어야 uniformity는 높아진다.

마지막으로, 열산화막(SiO₂)에는 슬러리#1이, Al박막에는 슬러리#4가 각각 가장 우수한 CMP특성을 가지고 있다. 그리고, 그림2와 그림5에서 알 수 있듯이 서로에 대한 선택비(열산화막 : Al박막)를 구하여 보면 슬러리#1의 경우 약 40 : 1이고, 슬러리#4의 경우 약 1 : 25이다.

후기

이번 논문을 위해 아낌없는 도움을 주신 RIST의 재료표면연구팀, Rodel-Nitta Co. 그리고 동국대의 관계자 여러분께 감사드립니다.

6. 참고문헌

- [1] 砥粒加工によるデバイスウェハのプラナリゼーションに関する研究, 丁海島, 博士學位論文, 1994
- [2] 차세대 반도체 제조를 위한 초정밀 가공기술, 정해도, 대한기계학회지, 36(3), 1996
- [3] Theoretical and Practical Aspects of Dielectric and Metal CMP, L.M.Cook, Semiconductor International, 1995
- [4] CMP用研磨資材の現状, 久保直人, RODEL CMP Seminar, 1996
- [5] CMP Process for the Fabrication of Dielectrically Isolated SOI structure, 이병훈, RODEL CMP Seminar, 1996
- [6] Tribology Analysis of Chemical-Mechanical Polishing, Scott R. Runnels et.al. J. Electrochem. Soc., 141(6), 1994
- [7] Chemical Mechanical Polishing of CVD W and sputtered Al thin films for microelectronics, C. Yu and A. Laulusa, VMIC conference, 1992
- [8] 機能性材料の超精密ポリシング技術と部品製作への應用, Toshiroh Karaki et.al., 設計・製圖, 27(4), 1992