한국정밀공학회지 제19권 제5호 (2002년 5월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 19, No. 5, May 2002.

DHF를 적용한 웨이퍼의 층간 절연막 평탄화에 관한 연구

김도윤*, 김형재*, 정해도**, 이은상***

A Study on ILD(Interlayer Dielectric) Planarization of Wafer by DHF

Do Youne Kim*, Hyoung Jae Kim*, Hae Do Jeong** and Eun Sang Lee***

ABSTRACT

Recently, the minimum line width shows a tendency to decrease and the multi-level increases in semiconductor. Therefore, a planarization technique is needed and chemical mechanical polishing(CMP) is considered as one of the most suitable process. CMP accomplishes a high polishing performance and a global planarization of high quality. However there are several defects in CMP, such as micro-scratches, abrasive contaminations and non-uniformity of polished wafer edges. Wet etching process including spin-etching can eliminate the defects of CMP. It uses abrasive-free chemical solution instead of slurry.

On this study, ILD(Interlayer-Dielectric) was removed by CMP and wet etching process using DHF(Diluted HF) in order to investigate the possibility of planrization by wet etching mechanism. In the thin film wafer, the results were evaluated from the viewpoint of material removal rate(MRR) and within wafer non-uniformity(WIWNU). And the pattern step heights were also compared for the purpose of planarity characterization of the patterned wafer. Moreover, Chemical polishing process which is the wet etching process with mechanical energy was introduced and evaluated for examining the characteristics of planarization.

Key Words : Chemical mechanical polishing (화학기계적연마), Wet-etching process (습식에칭공정), Material removal rate (박막제거율), Withing wafer non-uniformity (웨이퍼내불균일도), Pattern step height (패턴의상대단차)

1. 서론

최근의 반도체 산업은 메모리와 비메모리로 크게 양분되어 무어((Moore)의 법칙에 의해 18개월마다 디바이스의 용량이 두 배씩 빠른 속도로 진보하고 있으며 현재는 그 진행속도가 점차 빨라지고 있다. 특히 칩의 소형화와 고속화에 대한 기대 심리는 기술 수준을 한층 더 고도화시키고 있다.

이를 실현하기 위하여 1차원적으로 최소 선폭이 64M DRAM의 0.35 μm에서 1G DRAM의 0.13 μm를 거쳐 0.10 μm의 공정 기술을 도입하여 세

2001년 12월 3일 접수
* 부산대학교 정밀기계공학과
** 부산대학교 기계공학부
*** 인하대학교 기계공학부

계 최초로 4G DRAM의 시제품을 개발하여 상용화 시대 개막을 예고하고 있다. 2차원적으로는 칩의 수율을 향상시키기 위하여 웨이퍼의 직경이 200mm를 거쳐 300mm로 대구경화 되고 있다. 또 3차원적으로는 배선을 다층으로 집적시키는 구조적 변화가 적용되고 있다. 또한 패턴의 고밀도화에 따른 저항 및 기생용량을 줄이기 위하여 배선 및 절연막 재료가 기존의 텅스텐 컨택홀(Contact Hole)과 알루미늄 배선 및 실리콘 산화막에서 구리의 듀얼 다마신(Dual Damascene)법에 의한 컨택홀과 배선의 동시 생성 및 저유전율(Low-k) 절연막의 개발 등으로의 전환이 시도되고 있다[1].

이러한 초미세 배선형성기술에 의해 기존의 공정으로 한정된 면적에 집적 용량을 극대화하기 위해서 다층 배선으로 갈 경우, 디바이스를 집적하는 중간단계에서 각 층마다 소자 표면을 평탄화할 필요가 있으며, 반도체 공정 중에 사용되는 평탄화 공정 기술은 소자의 집적도를 향상시키고 생산된 칩의 구조적, 전기적 신뢰를 도모하여 다층화와 고집적화를 실현하는 중요한 기술이 되고 있다.

이러한 평탄화 공정 기술의 대표적이라 할 수 있는 CMP는 연마 패드와 웨이퍼 사이에 연마 입자가 분산되어 있는 연마액(Slurry)을 공급하여, 압력을 가한 상태에서 서로 상대운동을 시켜 연마하는 가공 기술로 가공 능률이나 고품질화의 광역 평탄화를 이룬다. 그러나 연마액 속의 연마입자에 의한 웨이퍼 표면의 입자 오염 및 마이크로스크래치(Micro-scratches) 그리고 연마 패드와 웨이퍼와의 상대 가압력 차이에 의해 발생되는 웨이퍼 끝단부(Edge) 가공 형상의 불균일성 등의 단점이 있다[3].

본 연구에서는 박막 웨이퍼(Thin Film Wafer)와 패턴 웨이퍼(Patterned Wafer)의 층간 절연막 가공에 CMP와 DHF(Diluted HF)를 적용한 습식 에칭 공정을 사용하였고, 습식 에칭에서의 결과를 CMP의 가공 결과와 비교하여 습식 에칭에 의한 층간 절연막의 평탄화를 알아보았다. 또한, 기존의 습식 에칭 공정에 기계적 에너지를 가하여 박막 제거율을 증가시킬 수 있는 화학적 연마 공정을 도입하여 가공 특성을 평가해 보았다.

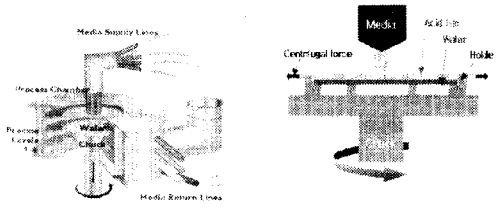
2. 스핀 에칭

2.1 스핀 에칭 가공 원리

본 연구에서 사용된 습식 에칭 공정은 스핀 에칭 공정을 사용하였다.

스핀 에칭의 원리는 Fig. 1에서 도시한 바와 같이, 웨이퍼를 척에 고정하고 회전을 시키면서, 적절한 화학액(Etchant)을 그 위로 공급한다. 공급된 화학액은 회전에 의해 발생되는 원심력에 의해 웨이퍼 전면에 고르게 분배되고, 웨이퍼와 화학액 간의 화학반응이 발생하여 에칭이 이루어진다. 층간절연막을 제거하는 화학액은 일반적으로 전 방향에 걸쳐 동일한 속도로 에칭이 이루어지는 등방성 에칭(Isotropic Etching)성을 지니게 되고, 이를 회전에 의한 원심력에 의해 웨이퍼 수평 방향으로의 에칭을 유도하여 등방성 에칭성이 줄어들도록 하는 원리가 적용된 공정이다. 또한 연마 입자가 없는 순수 화학액을 사용하므로 연마 입자에 의한 오염이나 마이크로 스크래치의 근본 원인을 제거할 수 있으며, 에칭 공정 후 즉각 탈이온수(DI-Water)를 공급하여 세정하므로 잔류 화학액에 의한 오버에칭(Over-etching)과 표면의 오염을 줄일 수 있다(Fig. 2)[2].

특히 가압 기구를 사용하지 않으므로 가공 후 웨이퍼 끝단부의 형상의 불균일도는 CMP에 비해 낮다.



(a)Spin Etcher[TM](SEZ) (b) Spin etching mechanism

Fig. 1 The mechanism of spin etcher

2.2 에칭 메커니즘

박막 웨이퍼와 패턴 웨이퍼의 층간 절연막(TEOS)을 제거하기 위한 화학액은 49%wt HF와 탈이온수(H_2O)를 일정 비율로 섞은 DHF(Diluted HF)를 사용한다.

HF에 의한 층간 절연막의 에칭 메커니즘은 다음과 같다.

$$4HF + SiO_2 \xrightarrow{H_2O} SiF_4 + 2H_2O \quad (1)$$

$$6HF + SiO_2 \xrightarrow{H_2O} H_2SiF_6 + 2H_2O \quad (2)$$

SiO_2는 본질적으로 실리콘 원자가 산소 원자들에 의하여 사면체 형태로 둘러 싸여 있는 구조를 하고 있으며 결정과 비정질 상태가 공존할 수 있다. 불소(F)는 산소(O)보다 더 작은 이온 반경을 가지므로 Si-O(1.62Å)보다 작은 Si-F(1.40Å)결합을 이룰 뿐만 아니라, 결합 에너지도 Si-O의 절반에 해당하기 때문에 불소(F)가 쉽게 SiO_2에 침투하면서 반응이 일어난다[4),5),6)].

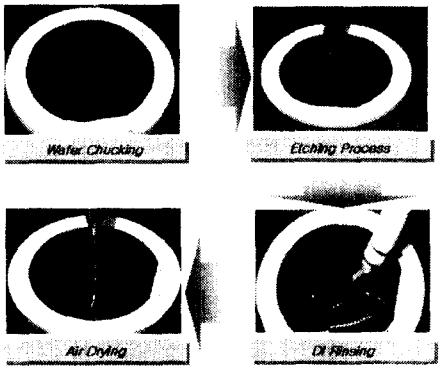


Fig. 2 Spin etching process

3. 박막 웨이퍼의 층간 절연막 가공 평가

3.1 가공 조건 및 평가 항목

층간 절연막 가공에 대한 CMP와 스핀 에칭의 가공 조건은 Table 1에 나타내었다.

CMP의 경우, 더미 웨이퍼(Dummy Wafer)를 사용하여, 연마 패드를 안정화시킨 다음 박막 웨이퍼를 3분간 연마하였다. 스핀 에칭의 경우는 Fig. 3과 같은 실험 장비를 자체 제작하였고, HF의 농도를 증가시켜가면서 탈이온수와 혼합한 DHF를 사용하여 각 혼합비에서 3분과 6분으로 2장씩을 가공하였다.

박막 측정기인 루돌프 사의 Auto EL-Ⅲ^{TM}를 사용하여 6인치 웨이퍼 기준으로 웨이퍼 전면을 52포인트(Cartesian map)로 설정하여 가공 전과 후의 층간 절연막을 측정하였다. 또한 웨이퍼 중심을 기준으로 하여 반경 방향으로 총 20포인트를 설정하여 반경 방향의 박막 두께를 측정하였다.

Table 1 The conditions of experiment

	CMP	Spin Etching
Machine	LGP-381^{TM} (LAPMASTER.Co)	·
Wafer(6inch)	Blanket Wafer(TEOS)	
Pad	IC1400^{TM}	Not used
Solution	Slurry (ILD1300^{TM})	DHF
Time	3min	3min, 6min
Flow Rate	200ml/min	370ml/min
Polishing Pressure	300g/㎠	Not used
Rotating Speed	30rpm	0~2500rpm
Wafer Carrier	30rpm	Not used
Measurement	Auto EL-Ⅲ^{TM}(Roudolph.Co.)	

Fig. 3 The feature of experimental setup

CMP와 스핀 에칭에서의 박막 웨이퍼 가공 특성 평가는 가공 전후의 박막의 두께 차를 구하여 3mm의 웨이퍼 끝단부 제외(Edge Exclusion, EE)를 한 52포인트에서의 박막 제거율(MRR)을 구하였다. 또, CMP와 스핀 에칭에 의한 박막 제거율을 서로 비교하기 위하여 HF 농도에 따른 스핀에칭에서의 평균 박막 제거율(MRR)을 구하였다. 또한 웨이퍼에서의 광역 평탄화 정도를 알아내기 위하여 식 (3)으로 웨이퍼내의 불균일도(WIWNU)를 구하여 비교하였다.

반경 방향에서의 박막 제거율을 도시하여 CMP와 스핀에칭에서의 프로파일을 비교하였으며, 스핀에칭에 있어서 스핀의 영향을 WIWNU를 구하여 알아보았다.

$$WIWNU(\%) = \frac{Standard\ deviation(\sigma)}{MRR_{average}} \times 100 \quad (3)$$

3.2 가공 결과 비교

3.2.1 박막 제거율 비교

웨이퍼의 층간 절연막을 제거하기 위한 화학액은 앞서 언급한데로 HF와 탈이온수를 희석한 DHF를 사용하였다.

본 실험에서는 Table 1에서 제시한 가공 조건으로 탈이온수의 양을 고정하고 HF의 양을 정수배의 부피비로 증가시켜가면서 실험을 실시하였다.

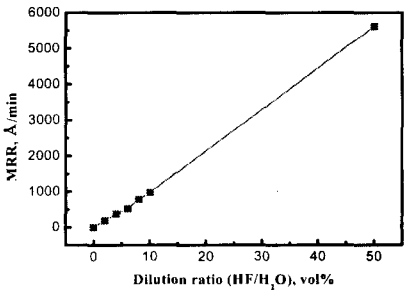


Fig. 4 MRR with chemical component

Fig. 4는 화학액 혼합비에 따른 박막 제거율을 도시한 것이다. 여기서 탈이온수에 대한 HF의 희석비를 정수배로 증가하였을 때, 박막 제거율은 약 200Å/min 씩 선형적으로 증가하였다. 또한 희석비가 10vol%일 때 박막 제거율이 977Å/min으로 목표치 1000Å/min에 근접하였다.

이는 화학액의 희석비, 즉 HF의 농도를 조절하므로 기타 다른 가공 조건 변화없이 박막 제거율을 제어할 수 있음을 보여준다.

3.2.2 WIWNU 비교

EE 3mm를 제외한 웨이퍼 전면의 52포인트의 박막 제거율을 기반으로 하여 표준 편차와 평균 박막 제거율을 구하였다. 이를 식 (3)을 이용하여 각각의 화학액 조성비에서 WIWNU를 구하였고, 그 중 희석비 10vol%의 화학액을 사용한 습식 에칭의 결과를 CMP 가공 후 결과와 비교하여 도시하였다.

Fig. 5에 도시된 바와 같이 스핀 에칭의 경우는 각각의 화학액 조성비에서 WIWNU가 약 2.8%이고, 침지식 에칭(Immersion etching)의 경우는 약 3.4%로 균일한 결과를 나타내고 있다. 이는 스핀에칭의 경우, 웨이퍼를 회전시키면서 그 위로 화학액이 분배되므로 회전에 의한 원심력으로 웨이퍼 전면에 걸쳐 화학액에 의한 박막 제거 반응이 일어난다. 하지만 CMP의 경우 연마 패드의 압력 전사 방식이므로 웨이퍼와 연마 패드간의 접촉 회전시 접촉부분의 불균일성으로 WIWNU가 스핀 에칭의 경우보다 높게 나타난다고 볼 수 있다.

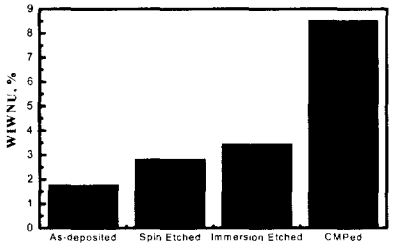


Fig. 5 WIWNU of CMP and spin etching

3.2.3 반경 방향 프로 파일 비교

가공 전 박막 웨이퍼의 층간 절연막 두께를 측정하고, CMP와 스핀 에칭을 각각 3분간 가공한 후의 잔류막 두께와 박막 제거율을 계산하였다. 여기서 측정은 웨이퍼 중심에서 0°방향으로 5mm씩 10개 포인트와 3mm씩 6포인트 그리고 2mm씩 4개 포인트로 설정하여 EE 3mm를 제외하여 설정하였다.

Fig. 6은 반경 방향에 대한 박막 제거율을 계산하여 도시한 것으로, 웨이퍼의 외주 부로 갈수록 제거율이 늘었다 줄어드는 것을 볼 수 있는데, 이는 웨이퍼와 연마 패드의 상대 가압력의 차이로 인해 발생되는 CMP의 특징이라고 할 수 있다. 하지만 스핀에칭에서는 보여지지 않는다.

식 (3)을 이용하여 박막 제거율에 대한 WIWNU

를 구해 비교하면, CMP의 경우 4.3%이고 스핀 에칭에서는 2.1%로 더 균일함을 나타내었다.

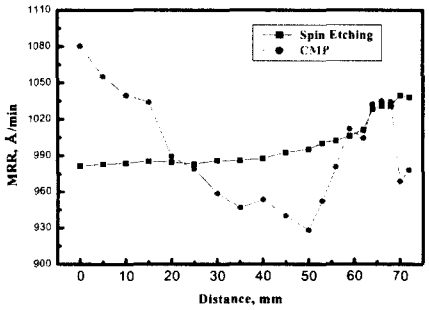


Fig. 6 Radial MRR of CMP and spin etching

3.2.4 스핀 에칭에서 스핀의 영향

박막 웨이퍼에 대한 층간 절연막 가공 결과는 스핀 에칭에서 WIWNU가 더 우수함을 알 수 있었다.

또한, 스핀 에칭 가공에서 스핀에 의한 영향을 알아보기 위해 회전속도를 0rpm에서 2500rpm으로 변화시켰다. 여기서 0rpm에 대한 실험은 침지식 에칭(Immersed Etching) 방법을 이용하였다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이, 박막 웨이퍼의 반경방향에서의 WIWNU는 각각 1.4%~2.07%로 스핀에 대한 경향은 뚜렷하지 않았다. 이는 Fig. 8에 도시된바와 같이, 박막 웨이퍼의 층간 절연막은 단순히 실리콘 웨이퍼 위에 TEOS막을 약10000Å(1㎛) 증착(Deposition)한 것으로 습식 에칭에 의한 박막 제거의 균일도는 초기 증착된 층간 절연막의 균일도에 따라 결정되어지는 것으로 보여진다.

또한 박막 제거율이 약 1000 Å/min인 낮은 반응률을 보이는 화학액을 사용하면, 층간 절연막과의 화학 반응에 의한 박막 제거가 미소하게 된다. 이러한 경우 웨이퍼를 회전 시 발생하는 반경방향에 따른 원주 속도에 의한 영향보다는 웨이퍼 전면에 걸친 화학액 분배 상태에 따라 박막 제거율이나 전체적인 박막 균일도가 영향을 받기 때문에 웨이퍼의 회전 속도가 박막 웨이퍼에 대한 균일도에 지배적인 요인이 아닌 것으로 생각된다.

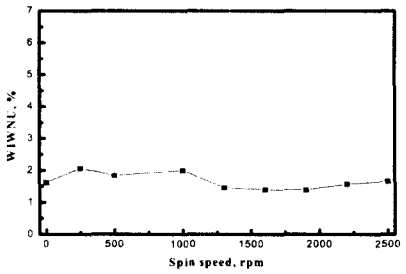


Fig. 7 WIWNU according to rotating speed

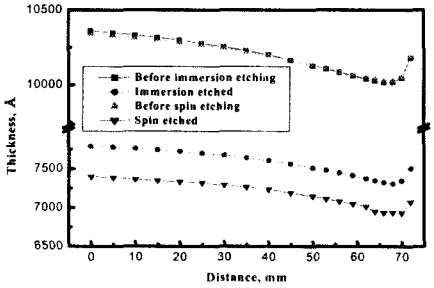


Fig. 8 Radial profiles

4. 패턴 웨이퍼의 층간 절연막 가공 평가

4.1 가공 조건 및 평가 항목

본 실험에 사용된 패턴 웨이퍼는 SKW1-1 Dielectric Oxide CMP Characterization wafer로 Fig. 9 (b)와 같은 다이 형상(Die layout)을 가지고 있다. 각 다이의 크기는 10㎜×10㎜의 정사각형 형태이고, 다이 내에 2㎜×2㎜ 크기의 블록(Block)이 25개로 존재한다. 25개의 블록에는 0%~96%의 패턴 밀도(Pattern density)로 패턴이 이루어져 있다(Fig. 9).

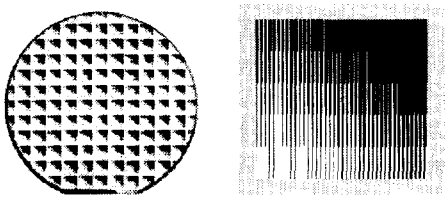
먼저 가공 전 층간절연막 패턴의 상대 단차(Step height)를 Taylor-Hobson사의 Form Talysurf Series 2™을 사용하여 측정하였다. 여기서 상대 단차란 디바이스의 배선(Al, Cu)을 절연시켜주기 위해 층간절연막을 CVD를 이용하여 증착하게 되는데, 이때 표면 추종성이 뛰어난 CVD 특성에 의해 전면에 걸쳐 동일한 두께로 증착된다. 따라서 패턴에 의해 발생되는 요철의 상부에 생기는 층간 절연막의 높이를 말한다.

Table 2 Condition of experiments

	CMP	Spin Etching
Machine	LGP-381™ (LAPMASTER.Co)	·
Wafer (6 inch)	Patterned wafer(SKW1-1™)	
Pad	IC1400™	Not applied
Solution	ILD1300™ (Slurry)	DHF
Time	3 min	3 min, 9 min
Flow Rate	200 mℓ/min	370 mℓ/min
Polishing Pressure	300 g/㎠	Not applied
Plate Rotating Speed	30 rpm	500 rpm (Immersion : 0 rpm)
Wafer Carrier	30 rpm	Not applied
Measurement	Form Talysurf Series 2™ (Taylor-Hobson.Co)	

실험에서는 Table 2와 같은 조건으로 CMP, 스핀 에칭, 그리고 침지식 에칭 공정을 수행하였다. 또한 가공 후의 상대 단차를 측정하였고, 가공 후 측정된 상대 단차를 식(4)에 적용하여 각 공정에서의 잔류 패턴 높이의 불균일도를 산출하여 각 공정간의 층간 절연막 가공 특성을 조사하여 보았다.

$$(NU,\ \%) = \frac{Standard\ deviation(\sigma)}{Step\ height_{\ average}} \times 100 \quad (4)$$



(a) Wafer layout (b) Die layout

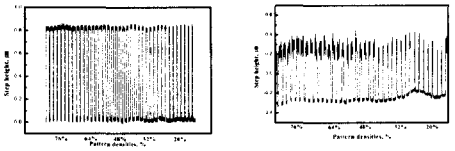
Fig. 9 Pattern density wafer

4.2 실험 결과 및 고찰

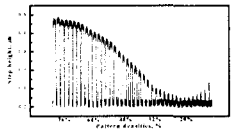
먼저 Table 2와 같은 조건으로 CMP와 스핀 에칭과 침지식 에칭 공정을 포함하는 습식 에칭 공정을 적용하였다.

앞선 박막 웨이퍼 실험에서 희석비 10%의 DHF는 약 1000Å/min의 박막 제거율을 가진다. 따라서 습식 에칭 공정에서 3분 가공시 약 3000Å/min의 층간 절연막이 제거되어 잔류하는 층간 절연막의 상대 단차가 약 5000Å/min으로 예상하였고, Fig. 9 (b)과 같이 어느 정도 예상치를 추정함을 알 수 있었다.

따라서, 초기의 상대 단차인 0.8㎛(8000Å)을 완전 평탄화하기 위해 습식 에칭 공정에서의 에칭 시간을 9분으로 증가 시켜 CMP와 비교해 보았다.



(a) Raw step height (about 0.8㎛) (b) Wet etching (about 0.6㎛)



(c) CMP

Fig. 10 Step height profiles

그러나 Fig. 11에 도시된 바와 같이 습식 에칭 공정을 적용한 후의 상대 단차가 약 0.45㎛ ~ 0.53㎛ 정도 잔류하는 것으로 나타났다. 이는 습식 에칭 공정에서 사용된 화학액이 지니고 있는 등방성 에칭성에 기인하는 것으로, 패턴 웨이퍼의 층간 절연막에 화학액이 분배되게 되면, 화학 반응이 즉각 일어나게 되고, 화학액과 접하는 층간 절연막 상층에서 전 방향으로 동시에 제거반응이 일어나므로 횡 방향뿐 아니라 패턴부의 골 방향으로도 제거가 일어나는 것으로 사료된다. 또한 0% ~ 12%까지의 낮은 패턴 밀도에서의 기울기 역시 등방성 에칭성에 기인한 것으로 보인다. 또한, CMP의 경우 패턴 밀도가 낮은 부분은 높은 부분에 비해 실접촉 면적이 작으므로, 압력이 증가하게 되어 박막 제거율이 증가하게 된다. 따라서 패턴 밀도가 증가할수록 상대 단차는 커지지만, 습식 에칭의 경우, 12% 이상

의 패턴 밀도에서는 상대 단차가 균일하게 나타난다.

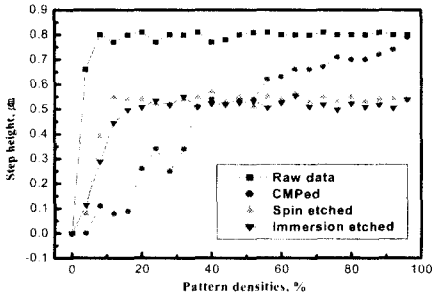


Fig. 11 Step height according to pattern densities

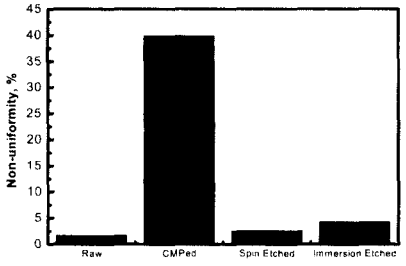


Fig. 12 Non-uniformity with processing method

식 (4)를 이용하여 패턴 밀도 12% 이상에서의 상대 단차 불균일도를 구해 본 결과, Fig. 12와 같이 습식 에칭에서 2.6%~4.3%로 아주 균일함을 알 수 있다. 이는 습식 에칭 공정의 경우, 연마 패드나 연마 헤드에 의한 가압 기구를 사용하지 않고, 연마 입자가 없는 순수 화학액을 사용하므로, 어느 정도 이상(여기서는 12%이상)의 패턴 밀도를 지니는 층간 절연막에서의 형상에 대한 선택비가 아주 우수함을 알 수 있다.

하지만, 실제 반도체 공장에서 CMP를 적용한 평탄화 공정 시간(세정 및 건조 포함)이 2분~3분인 것을 감안하면, 희석비 10%의 DHF를 사용한 습식 에칭 공정은 시간적인 측면이 문제로 대두된다. 따라서, 습식 에칭 공정에 기계적 에너지를 가하여 박막 제거율(연마율)의 향상을 기대할 수 있는 방식인 화학적 연마(Chemical polishing)의 개념을 도입하여 보았다.

5. 화학적 연마에 의한 층간 절연막 가공 평가

5.1 가공 조건 및 평가 항목

본 실험에서는 기존의 CMP 장비를 사용하여, 연마 입자가 포함된 연마액 대신, 10%의 희석비를 가지는 DHF를 사용하는 화학적 연마 가공을 적용하였다. 또한, 연마패드는 화학액의 함입량을 높이기 위해 연속 발포체 계열인 SUBA 400™을 사용하였다.

가공 조건은 Table 3과 같이 박막 웨이퍼와 패턴 웨이퍼에 대하여 적용하였다.

Table 3 Condition of experiments

	Chemical Polishing	
Machine	LGP-381™ (LAPMASTER.Co)	
Wafer (6 inch)	Thin Film wafer(TEOS) Patterned wafer(SKW1-1™)	
Pad	SUBA 400™	
Solution	DHF	
Time	3 min	
Flow rate	370 ㎖/min	
Polishing pressure	200 g/㎠, 300 g/㎠	
rotating speed	30 rpm, 60 rpm	
Measurement	Thin film wafer	Auto EL-Ⅲ™
	Patterned wafer	Form Talysurf Series 2™

먼저 기계적 에너지에 의한 박막 제거율의 변화를 알아보기 위하여 박막 웨이퍼에 적용을 하였다. 가공 조건은 식 (5)과 같은 프레스톤 방정식(Preston's equation)을 참고하여 박막 제거율에 영향을 주는 압력(P)과 연마 속도(V)를 조절하여 각 조건에서 연마 결과를 분석하였다[7].

$$\delta = K \cdot P \cdot V \cdot T \quad (5)$$

where as;

δ = Material removal rate, P = Pressure, V =

Velocity, T = Time, K = Preston's coefficient

그리고 패턴 웨이퍼에서는 0%~96%의 전 패턴 밀도에 대한 상대 단차의 변화에 대하여 CMP의 결과와 비교하여 보았다. 또한, 습식 에칭 공정시 12%이하의 낮은 패턴 밀도에서 발생되는 상대 단차의 기울기에 대한 가공 조건 변화 따른 영향성을 평가하였다.

5.2 화학적 연마에서의 평탄화 평가

Table 3과 같은 조건으로 화학적 연마 공정을 박막 웨이퍼에 적용하였다. 식 (5)의 프레스톤 방정식을 참고로 하여 박막 제거율의 변화에 밀접한 관계가 있는 압력과 속도 성분을 변화시켜 적용하였다.

습식 에칭 공정에 기계적 에너지를 가하는 화학적 연마를 적용하였을 때, 박막 제거율은 압력이 200g/㎠에서 약 1100Å/min이고, 압력 50% 증가시킨 300g/㎠에서는 약 1200Å/min으로 습식 에칭 공정에 비해 약 100Å/min~200Å/min 정도 증가하였다. 또한, 압력 성분을 고정하고 속도 성분을 100% 증가시킨 결과 역시 약 20Å/min~30Å/min으로 아주 미세하게 증가하였다(Fig. 13).

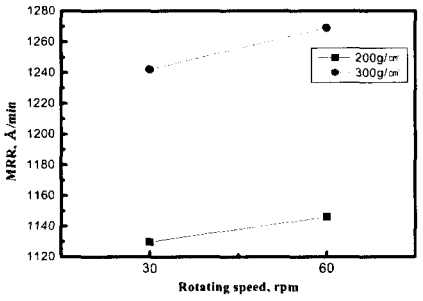


Fig. 13 MRR according to changes of conditions

이는 속도 성분보다 압력 성분의 변화가 박막 제거율 측면에서 더 지배적인 요인으로 작용하며, 압력을 가하였을 때 발생되는 기계적 마찰열에 의해 화학 반응이 원활히 이루어지는 환경이 조성되고, 화학 반응으로 생성되는 반응 생성물이 마찰에 의해 빠르게 제거되는 것으로 사료된다.

또한, 반경 방향 20포인트에서 가공 전후의 박막 두께를 측정하고, 그에 따른 박막 제거율을 기반으로 식 (3)을 이용하여, WIWNU를 계산해 본 결과, 1.8%~2.0%로 습식 에칭 공정에서와 유사하게 우수하였다(Fig. 14).

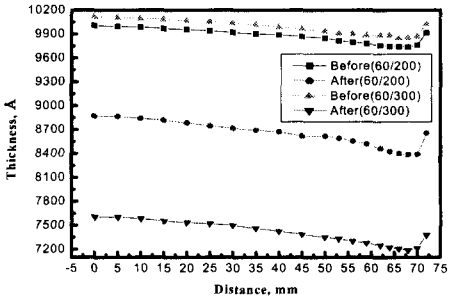


Fig. 14 Radial profiles with chemical polishing

박막 웨이퍼에서 10% 희석비의 DHF를 사용하여 화학적 연마 공정을 적용하였을 때, 박막 제거율은 약 1100Å/min~1200Å/min이었다. 이를 바탕으로 초기 상대 단차가 8000Å의 패턴 밀도 웨이퍼를 Table 4의 가공 조건으로 가공하였을 때, 박막 제거량이 약 3300Å~3600Å이고, 잔류 상대 단차가 약 4000Å(0.4㎛)~4500Å(0.45㎛)정도일 것으로 예상하였다.

Fig. 15에 도시한 바와 같이 각 가공 조건에서 잔류 상대 단차는 0.35㎛~0.4㎛ 내에 수렴을 하고 있다. 또한, 습식 에칭 공정을 9분간 적용한 결과와 비교하여도 약 0.2㎛정도의 상대 단차의 차이가 발생한다. 이는 습식 에칭의 경우, 화학액의 등방성 에칭성으로 인해 패턴의 횡 방향 뿐 아니라, 골 방향으로도 확산된 화학액이 반응하여 제거가 이루어지나, 기계적 마찰이 가해지는 화학적 연마의 경우는 패턴의 밀도가 0%~96%로 다양하고 골 간격 역시 좁으므로, 새로운 화학액이 상층부로 확산하는 양이 골 부분으로 확산하는 양보다 많고, 연마 패드에 의한 기계적 마찰에 의해 발생되는 마찰열에 의해 패턴 상층부에서의 화학 반응이 활발하게 된다. 따라서 활발한 제거 반응으로 인해 패턴의 상대 단차가 습식 에칭 공정보다 더 낮아지는 것으로

사료된다.

또한, Fig. 16에 도시된 바와 같이 가압기구인 CMP와 화학적 연마 공정을 각각 적용하였을 때, 패턴 밀도에 따른 상대 단차의 형상이 상이함을 알 수 있다. 이는 연마 입자의 유무에 의한 요인으로 생각된다. CMP의 경우, 연마액 속에 함유된 화학액에 의해 가공 층을 변질시키고, 상대적으로 기계적 강도가 약해진 변질 층을 연마 입자에 의해 제거되는 메커니즘으로, 순수 화학액을 사용하는 화학적 연마 공정과 차이가 있다. 화학적 연마는 기본적으로 화학액에 의한 화학 반응으로 박막의 제거가 이루어지고, 가해지는 기계적 마찰에 의해 박막 제거를 촉진하게 하는 만큼, 화학액의 분배 상태가 큰 요인으로 작용한다. 따라서, 연마 패드가 함입하고 있는 화학액이 가공물과 반응하게 되고, 계속해서 새로운 화학액이 원활히 공급이 되어야하나, 가압력이 증가하게 되면 연마 패드와 가공물사이에 화학액의 원활한 공급이 이루어지지 않으므로, 속도 성분과 압력 성분을 변화시켰을 때, 상대 단차의 변화는 습식 에칭 공정 결과와 유사하게 균일하였다.

이것은 Fig. 17와 같이 12%이하의 저밀도 패턴 영역에서의 가공 조건 변화에 따른 뚜렷한 상대 단차의 변화가 보이지 않는 것으로 확인 할 수 있는데, 이 결과 역시 화학액 분배에 관한 원인으로 생각되며, 저밀도 영역의 단차 변화율도 습식 에칭 공정의 결과와 같이 초기 상대 단차가 다른 고밀도 영역에 비해 0㎛~0.7㎛정도로 낮고, 사용되는 화학액의 등방성 에칭성에 기인한 것으로 사료된다.

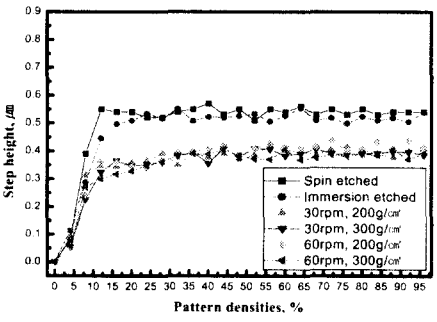


Fig. 15 Step height according to pattern densities

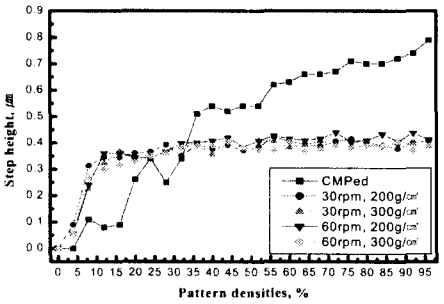
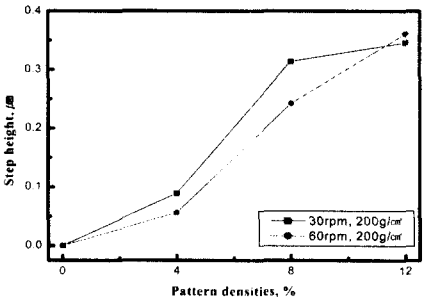
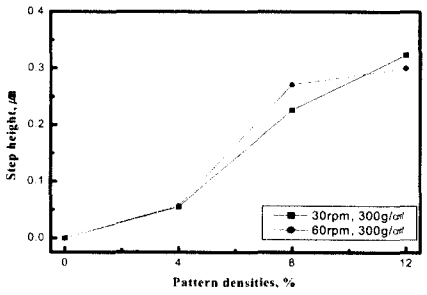


Fig. 16 Step height of CMP and Chemical polishing



(a) Pressure : 200g/㎠



(b) Pressure : 300 g/㎠

Fig. 17 Step height at low pattern densities

6. 결론

DHF를 적용한 웨이퍼의 층간 절연막 평탄화 공정 특성을 파악하기 위하여, 모니터 웨이퍼로 쓰이는 TEOS 박막 웨이퍼와 디바이스 웨이퍼 가공 특성을 파악하기 위한 패턴 밀도 웨이퍼를 사용하였다. 그리고, 평탄화 정도를 파악하기 위해, 실험을 통하여 대표적 평탄화 공정인 CMP의 결과와 비교하여 정립하였다. 또한 습식 에칭 공정에 기계적 에너지를 더한 화학적 연마 공정을 적용하여, 그에 따른 특성을 분석하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

(1) DHF에서 HF의 농도를 부피비로 증가시키면, 박막 제거율도 선형적으로 증가하였다.

(2) 박막 웨이퍼에서 웨이퍼 전면에 걸친 박막 제거 균일도는 습식 에칭 공정이 우수한 특성을 나타내었다.

(3) 스핀 에칭과 침지식 에칭 공정의 결과는 유사하였다.

(4) 습식 에칭 공정을 적용한 박막 웨이퍼의 층간 절연막 평탄화는 초기에 증착된 박막의 균일도, 즉 평탄화 정도에 따라 결정되어지는 것으로 사료된다.

(5) 패턴 웨이퍼에 대한 평탄화 정도의 척도가 되는 패턴 형상 선택비 면에서, 습식 에칭 공정의 경우는 저밀도 패턴 영역(12%이하)을 제외한 전 패턴 밀도에서 CMP의 결과 보다 아주 우수하였다.

(6) 패턴 웨이퍼에 대한 습식 에칭 공정 적용 결과, 화학액의 등방성 에칭성으로 인하여 패턴의 상대 단차를 낮추는데 공정 시간이 증가된다.

(7) 습식 에칭 공정에 기계적 에너지를 가하는 화학적 연마 공정을 박막 웨이퍼에 적용한 결과, 박막 웨이퍼에서의 박막 제거율이 증가하였다.

(8) 프레스톤 방정식에 의거하여 속도 성분과 압력 성분을 변화시켜 본 결과, 박막 제거율 면에서 압력 성분 변화가 지배적인 요인이다.

(9) 패턴 웨이퍼에 연마 입자가 없는 화학적 연마 공정을 적용하였을 때, 상대 단차의 형상 선택비는 습식 에칭 공정의 결과와 유사하게 우수하였고, 습식 에칭 공정에 비해 빠른 시간에 낮은 상대 단차를 나타내었다.

참고문헌

1. 정해도, "CMP특집 제 1장 서론," 월간반도체, 11월호, 1997.
2. Levert,J., Mukherjee, S., DeBear, D., "SPIN-ETCH PLANARIZATION PROCESS FOR COPPER DAMASCENE INTERCONNECTS," Semicon Japan, December 1999.
3. 김형재, 김호윤, 정해도, "CMP공정에서 연마 결과에 영향을 미치는 패트 물성치에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제3호, pp. 184～191, 2000.
4. Werner Kern, "Handbook of semiconductor wafer cleaning technology," pp. 17~18, pp. 288~303, NOYES PUBLICATIONS, 1993.
5. 황호정, "반도체 공정기술," 생능출판사, pp. 332~333, 1999.
6. 김도윤, 김형재, 정해도, 이은상, "습식 에칭에 의한 웨이퍼의 층간 절연막 가공 특성에 관한 연구," 한국정밀공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp. 935～938, 2001.
7. F. Preston, "The Theory and Dessing of Plate Glass Polishing Mechanism," J. Soc. Glass Tech. Vol. 11, p. 125, 1927.