

습식 에칭에 의한 웨이퍼의 층간 절연막 가공 특성에 관한 연구

김도윤*(부산대원 정밀기계공학과), 김형재(부산대원 정밀기계공학과), 정해도(부산대 기계공학부), 이은상(인하대 기계공학부)

A Study on a Wet etching of ILD(Interlayer Dielectric) Film Wafer

D. Y. Kim(Precision Mech. Eng. Dept., PNU), H. J. Kim(Precision Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(Mech. Eng. Dept., PNU), E. S. Lee(Mech. Eng. Dept., IHU)

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. But there are several defects in CMP such as micro-scratches, abrasive contaminations, and non-uniformity of polished wafer edges. Wet etching include of Spin-etching can improve 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 methods in order to investigate the superiority of wet etching mechanism. In the thin film wafer, the results were evaluated at a viewpoint of material removal rate(MRR) and within wafer non-uniformity(WIWNNU). And pattern step height was also compared for planrization characteristics of the patterned wafer.

Key Words : Chemical Mechanical Polishing (화학기계적연마), Wet-etching (습식에칭), Material removal rate (박막제거율), Within wafer non-uniformity (웨이퍼내불균일도), Pattern step height (패턴높이)

1. 서론

반도체 공정에서 다층, 고집적 반도체의 배선 공정에서 웨이퍼 평탄화 공정 기술은 필수적이다. 이러한 평탄화 공정에 대표적이라 할 수 있는 화학기계연마(CMP)는 연마 패드와 웨이퍼 사이에 연마 입자가 분산되어 있는 연마액(Slurry)을 공급하여, 가압한 상태에서 서로 상대 운동을 시켜 연마하는 가공 기술로 웨이퍼 전면의 광역 평탄화를 이룰수 있다. 그러나 연마액 속의 연마 입자에 의한 입자 오염이나 마이크로스크래치(Micro-scratch) 그리고 연마 패드와 웨이퍼간의 상대 압력 차이에 의한 웨이퍼 에지(Edge)의 가공 형상이 불균일한 단점을 지닌다^{[1][2]}.

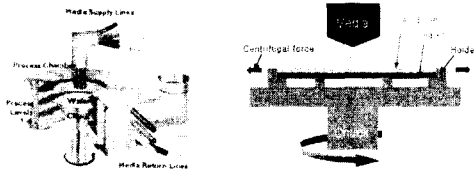
본 연구의 목적은 연마 입자를 사용하지 않는 순수 화학액을 사용하여 박막 웨이퍼(Thin film wafer)와 패턴 웨이퍼(Patterned wafer)의 층간 절연막을 습식 에칭의 기법을 사용하여 나타나는 특성을 파악하는 데 있다.

2. 에칭 방법

2.1 스피ن 에칭

본 연구에서 사용된 습식 에칭 공정은 스피ن 에칭 방식을 사용하였다. 스피ن 에칭의 원리는 Fig. 1에서 도시한 바와 같이, 웨이퍼를 척에 고정하고 회전을 시키면서, 적절한 화학액(Etchant)을 그 위로 공급한다. 공급된 화학액은 회전에 의해 발생하는 원심력에 의해 웨이퍼 전면에 고르게 분배되고, 웨이퍼와 화학액 간의 화학반응이 발생하여 에칭이 이루어진다. 습식 에칭에 있어서 절연막이 제거되는 화학 반응은 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

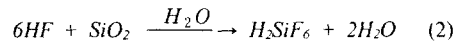
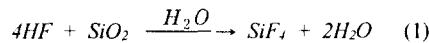
입자에 의한 오염이나 마이크로 스크래치의 근본 원인을 제거할 수 있으며, 공정시 계속해서 새로운 화학액이 공급된다. 그리고 에칭 공정 후 탈이온수(DI-Water)를 공급하여 세정하므로 잔류 화학액에 의한 오버에칭(Over-etching)과 표면의 오염을 줄일 수 있다^[2].



(a) Spin Etcher™ (SEZ) (b) Spin etching mechanism
Fig. 1 Mechanism of Spin etching

2.2 에칭 메커니즘

박막 웨이퍼와 패턴 웨이퍼의 층간 절연막(TEOS)을 제거하기 위한 화학액은 HF와 완충제로 탈이온수를 일정 비율로 희석하여 사용한다. HF에 의한 일반적인 절연막의 에칭 메커니즘은 다음과 같다.



SiO₂는 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(1.62 Å)보다 작은 Si-F(1.40 Å)결합을 이룰 뿐만 아니라, 결합 에너지도 Si-O의 절반에 해당하기 때문에 불소(F)가 쉽게 SiO₂에 침투하면서 반응이 일어난다^[2].

3. 박막 웨이퍼에서의 가공 특성

3.1 가공 조건 및 평가 항목

층간 절연막 가공에 대한 화학기계연마와 스펀 에칭의 가공 조건은 Table 1에 나타내었다.

화학기계연마의 경우, 더미 웨이퍼(Dummy Wafer)를 사용하여, 연마 패드를 안정화시킨 다음 박막 웨이퍼를 3분간 연마하였다. 스펀 에칭의 경우는 Fig. 2와 같은 실험 장비를 제작하였고, HF의 희석비를 증가시켜, 각 희석비에서 3분과 6분으로 2장씩을 가공하였다.

Table 1. The condition of experiments

	CMP	Spin Etching
Machine	LAPMASTER LGP-381	.
Wafer(6inch)	Thin Film wafer (TEOS)	
Pad	IC1400™	Not used
Solution	Slurry (ILD1300™)	Diluted HF
Time	3min	3min, 6min
Flow Rate	200ml/min	370ml/min
Polishing Pressure	300g/cm ²	Not applied
Rotating Speed	30rpm	0~1000rpm
Wafer Carrier	30rpm	Not applied
Measurement	Auto EL-III(Roudolph)	

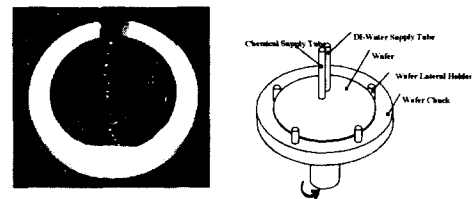


Fig. 2 The feature of experimental setup

박막 측정기인 루돌프사의 Auto EL-III™를 사용하여 6인치 웨이퍼 기준으로 웨이퍼 전면을 52포인트(Cartesian map)로 설정하여 가공 전과 후의 층간 절연막을 측정하였다. 측정된 결과를 바탕으로 박막 제거율을 구하였고, 웨이퍼에서의 가공 균일도를 알아내기 위하여 식(3)으로 웨이퍼내의 불균일도(WIWN)를 구하여 가공 특성을 조사하였다.

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

3.2 가공 결과

웨이퍼의 층간 절연막을 제거하기 위한 화학액은 앞서 언급한대로 HF와 탈이온수를 희석하여 사용하였다. SiO₂막의 제거율은 HF의 희석비에 의존한다. 따라서 본 실험에서는 Table 1에서 제시한 가공 조건으로 탈이온수의 양을 고정하고 HF의 양을 정수배의 부피비로 증가시켜가면서 실험을 실시하였다.

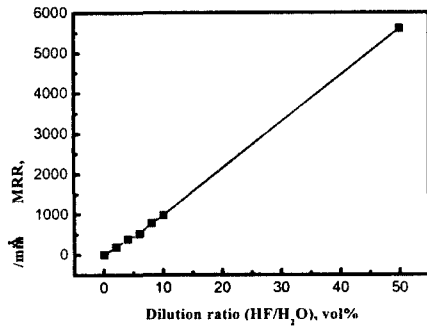


Fig. 3 MRR as chemical component

Fig. 3은 화학액 혼합비에 따른 박막 제거율을 도시한 것이다. 여기서 탈이온수에 대한 HF의 희석비를 정수배로 증가하였을 때, 박막 제거율은 약 196 Å/min 씩 선형적으로 증가하였다. 또한 희석비가 10vol%일 때 박막 제거율이 977 Å/min으로 목표치 1000 Å/min에 근접하였다. 이는 화학액의 희석비를 조절함으로써 기타 다른 가공 조건 변화없이 박막 제거율을 제어할 수 있음을 보여준다. EE(Edge exclusion) 3mm를 제외한 웨이퍼 전면의 52포인트의 박막 제거율을 기반으로 하여 표준 편차와 평균 박막 제거율을 구하였다. 이를 식 (3)을 이용하여 각각의 화학액 희석비에서 WIWNU를 구하였고, 그 중 10vol%의 화학액을 사용한 결과를 화학기계연마 가공 후 결과와 비교하여 나타내었다.

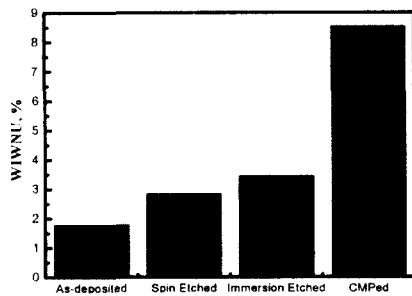


Fig. 4 Comparison of WIWNU CMP with wet Etching

Fig. 4와 같이 스핀 에칭의 경우에는 각각의 화학액 희석비에서 WIWNU가 약 2.8%이고, 침지식 에칭(Immersion etching)의 경우는 약 3.4%로 균일한 결과를 나타내고 있다. 이는 웨이퍼를 회전시키면서 그 위로 계속해서 새로운 화학액이 분배되므로 회전에 의한 원심력으로 웨이퍼 전면에 걸쳐 화학액에 의한 박막 제거 반응이 일어난다. 하지만 화학기계연마의 경우, 연마 패드의 압력 전사 방식이므로 웨이퍼와 연마 패드간의 접촉 회전시 접촉부분의 불균일성으로 WIWNU가 스핀 에칭의 경우보다 높게 나타난다

고 볼 수 있다. 또 Fig. 5은 회전수에 따른 52 포인트 웨이퍼 전면에서의 WIWNU와 반경 방향 20 포인트에서의 WIWNU를 도시한 것이다. 웨이퍼 전면과 반경 방향에서의 WIWNU는 각각 2.5%~3.5%와 1.6%~2.5%로 스핀에 대한 경향은 뚜렷하게 나타나지 않았다.

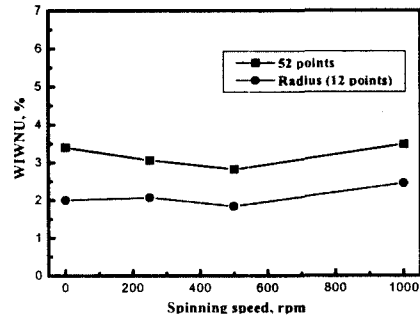


Fig. 5 WIWNU according as rotating speed

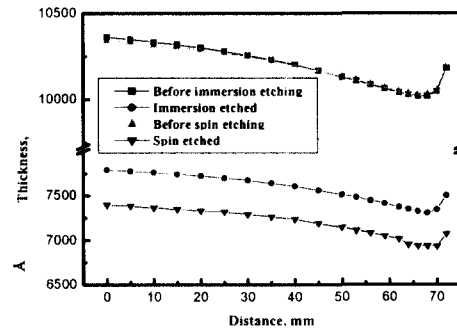


Fig. 6 Radius profiles

Fig. 6에 나타난 바와 같이 박막 웨이퍼의 층간 절연막은 단순히 실리콘 웨이퍼 위에 TEOS막을 10000 Å 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, TEOS막과의 화학 반응에 의한 박막 제거가 미소하게 된다. 이러한 경우 웨이퍼를 회전시 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. 또한, 새로운 화학액 계속해서 공급되는 스핀에칭에서 박막 제거율이 침지식 에칭에서보다 높은 것으로 생각된다.

4. 패턴 웨이퍼의 층간 절연막 가공 평가

4.1 가공 조건 및 평가 항목

패턴 웨이퍼에서의 층간 절연막 가공에 관한 조건은 Table 1과 같다. 실험에 사용된 패턴 웨이퍼는 패턴 밀도 웨이퍼(Pattern density wafer)로 Fig. 7와 같은 형상을 가지고 있고, 각 다이마다 0%~96%의 패턴 밀도를 가지고 있다. 실험은 박막 웨이퍼 가공에서와 같이 화학기계연마, 스피ن 에칭, 그리고 침지식 에칭법을 적용하였다. 그리고 가공 후, Taylor-Hobson사의 Form Talysurf Series 2™를 사용하여 패턴 밀도에 대한 패턴의 높이(Pattern step height)를 측정하였다. 또한, 가공 후 측정된 패턴의 높이값을 식(3)에 적용하여 각 가공법에서의 불균일도를 구하여 보았다.

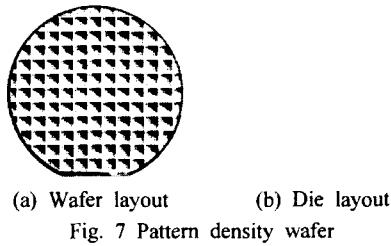


Fig. 7 Pattern density wafer

4.2 가공 결과

Fig. 8은 각 가공방법을 적용한 후의 패턴 밀도에 대한 패턴 높이를 도시한 것이다.

화학기계연마의 경우, 패턴 밀도가 낮은 부분은 높은 부분에 비해 실접촉 면적이 작으므로 압력이 증가하게 되고, 박막 제거율이 증가하게 된다. 하지만 스피ن에칭이나 침지식 에칭의 경우, 등방성 에칭성에 의해 패턴의 측면으로도 에칭이 일어나게 되어, 패턴 밀도가 낮은 부분의 에칭율이 증가하나 패턴 밀도 12% 이상에서는 균일한 결과를 나타내고 있다.

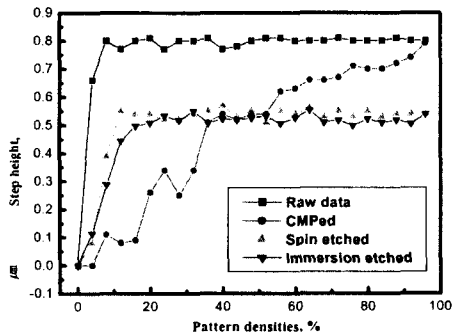


Fig. 8 Step height according to pattern densities

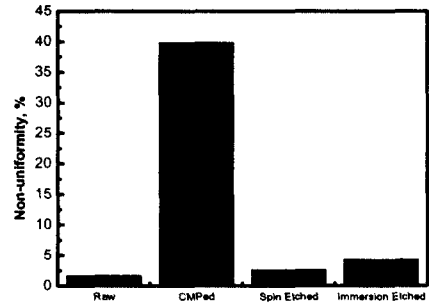


Fig. 9 Non-uniformity at etch method

패턴 밀도 12% 이상에서의 패턴 높이 균일도를 구해본 결과 Fig. 9에서 도시된 바와 같이 습식 에칭에서 2.6~4.3%로 아주 균일함을 알 수 있다.

5. 결론

박막 웨이퍼와 패턴 웨이퍼에서의 층간 절연막을 습식 에칭법과 화학기계연마를 통해 가공하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) HF의 회석비를 부피비로 증가시키면, 박막 제거율도 선형적으로 증가하였다.
- (2) 박막 웨이퍼에서 웨이퍼 전면에 걸친 박막 균일도는 습식 에칭에서 우수한 특성을 나타내었다.
- (3) 원심력을 이용하여 화학액의 등방성 에칭성을 줄이기 위한 스피ن 에칭과 침지식 에칭의 결과는 유사하였다.
- (4) 패턴 웨이퍼에 대한 연마 결과, 연마 입자가 분산된 슬러리를 사용하는 화학기계연마보다 습식 에칭을 적용한 결과 다양한 패턴 밀도에 대한 선택비가 우수하였다.

참고문헌

1. 정해도, "차세대 반도체 제조를 위한 초정밀 가공 기술", 대한기계학회지, Vol.36.3, p221, 1996.
2. 김도윤, 정해도, 이은상, "CMP와 Spin Etching에 의한 Blanket Wafer (TEOS) 가공 특성 비교에 관한 연구", 한국정밀공학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, pp1068-1071, 2001.
3. 황호정, 반도체 공정기술, pp.332-333, 생능출판사, 1999.