

패턴에 따른 층간절연막 CMP의 모델링에 관한 연구

홍기식*(부산대 정밀기계공학과), 정해도(부산대 기계공학부)

The Study on Pattern Dependent Modeling of ILD CMP

G. S. Hong(Precision Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(Mech. Eng. school, PNU)

ABSTRACT

In this study, we verify the effects of pattern density on interlayer dielectric chemical mechanical polishing process based on the analysis of Preston's equation and confirm this analysis by several experiments. Appropriate modeling equation, transformed from Preston's equations used in glass polishing, will be suggested and described the effects of this modeling during pattern wafer ILD CMP. Results indicate that the modeling is well agreed to middle density structure of the die in pattern wafer, but has some error in low and high density structure of the die. Actually, the die used in Fab was designed to have a appropriate density, therefore this modeling will be suitable for estimating the results of ILD CMP.

Key Words · CMP(Chemical Mechanical Polishing), ILD(Inter Layer Dielectric) CMP, Pattern Density Die, Structure

1. 서론

화학 기계적 연마법(Chemical Mechanical Polishing: CMP)은 다층, 고집적 반도체의 배선공정에 필수적으로 적용되는 평탄화 공정기술이다¹⁾. 이 연구에서 대상으로 하는 화학 기계적 연마법은 Fig 1과 같이 웨이퍼를 헤드에 부착하여 페드표면에 눌러 압력을 가하고, 페드와 웨이퍼가 동시에 동일 방향으로 회전하면서, 페드와 웨이퍼 사이에 연마입자가 현탁되어 있는 연마액인 슬러리를 공급하여 가공을 진행하는 일반적인 연마형태이다.

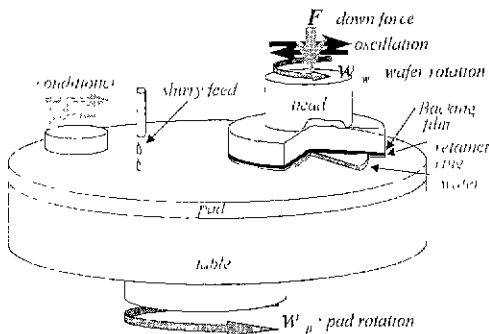


Fig 1 Concept of conventional CMP

일반적인 blanket wafer의 연마율은 식(1-1)과 같이 유리연마에 사용되는 프레스턴 방정식(Preston's equation)을 따르는 것으로 알려져 있으며²⁾ 웨이퍼와 페드사이의 상대속도와 가해진 압력, 슬러리의 화학적 조성 및 사용하는 페드 등에 영향을 받는다³⁾.

$$\frac{dh}{dt} = k_t P \frac{ds}{dt} \quad (1-1)$$

Pattern wafer 연마에서는 blanket wafer에 영향을 미치는 인자 외에도 각 die 또는 structure 내의 pattern density에 영향을 받아 blanket wafer에서의 결과와는 다르게 나타나게 된다.

실제의 mask design시 연마품위를 향상시키기 위해 적당한 dummy pattern을 사용하기도 하는데 modeling을 통해 적당한 density pattern을 결정해주는 것은 배선 및 dummy의 형태를 설계하고 mask를 제작해서 실험한 data를 피드백 하여 다시 mask를 제작하는 시행착오를 줄여 mask 설계 효율 상승 및 공정 단축의 장점을 갖는다.

2. 모델링 이론

일반적으로 blanket wafer의 연마율은 식(1-1)과

같은 프레스톤 방정식을 따르는 것으로 알려져 있다

프레스톤 상수 k_p 와 압력 P 및 속도 $\frac{ds}{dt}$ 의 인자를 blanket wafer 연마율 K_b 와 유효밀도(effective pattern density) $\rho(x, y)$ 를 사용하여 식(2-2)와 같이 pattern wafer의 연마율을 예측하는 식으로 변형하였다.⁴⁾⁵⁾⁶⁾

$$RR_{pattern} = k_p P \frac{ds}{dt} = \frac{K_b}{\rho(x, y)} \quad (2-2)$$

유효밀도(effective pattern density) $\rho(x, y)$ 는 특정 영역(검사영역) 내의 pattern density의 평균을 나타낸다

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험의 개요

실험에 사용된 연마장치는 Lapmaster사의 화학기계적 연마장치인 LGP-381장비를 사용하였다. 사용된 패드는 상업용의 적층패드인 IC-1400™(k-groove type)으로 매 실험마다 동일한 패드 상태를 유지하기 위해 연마공정 전 30초간 전착 다이아몬드 휠(#400)로 표면을 컨디셔닝하고 이물질의 제거를 위하여 나일론 브리시와 초순수를 사용하여 표면 세정 후 사용하였다.

실험의 변수는 일반적인 실험 조건에 대해 모델링 결과를 알아보기 위해 압력과 head 및 table의 속도로 나누어서 고려한다. 압력은 150g/cm², 300g/cm²의 두 가지로, head/table의 속도는 30/30rpm, 60/60rpm의 두 가지로 고려하여 선정하였다. 각 실험조건은 아래 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental conditions

Experimental conditions	
Condition 1	Pressure: 150g/cm ²
	Head/Table speed : 30/30rpm Polishing Time : 3min
Condition 2	Pressure: 150g/cm ²
	Head/Table speed : 60/60rpm Polishing Time : 3min
Condition 3	Pressure 300g/cm ²
	Head/Table speed : 30/30rpm Polishing Time : 3min
Condition 4	Pressure 300g/cm ²
	Head/Table speed : 60/60rpm Polishing Time : 3min

각 조건에 대하여 5장의 pattern wafer와 pattern wafer의 modeling에 이용하여 위해서 2장의 blanket wafer를 사용하였다. 각 wafer의 사용순서는 Table 2와 같다.

Table 2 Experimental proceeding

Blanket and pattern wafer conditions
Blanket 1ea → Pattern 2ea → Blanket 1ea → Pattern 3ea (total: Blanket 5ea, Pattern 20ea)

Blanket wafer는 일반적인 측정방법에 따라 52point를 측정하였으며, pattern wafer의 modeling에 이용하기 위해 pattern wafer의 측정 위치와 동일한 지점에서 5point를 추가로 측정하였다. 측정장비는 Rudolph사의 ellipsometer인 AutoEL-III™를 사용하였다.

실험에 사용된 pattern wafer는 SKW1-1 Dielectric Oxide CMP Characterization Wafer로 Fig. 2와 같은 die layout을 가지고 있다. 또한 pattern wafer의 thickness 측정방법 및 위치는 Fig 2처럼 wafer level에서 5die를 측정하고, 각 die에 대해 4structure (pattern density는 각각 96%, 80%, 48%, 16%)씩, 모두 5die 20point에 대해 측정하였다. 측정장비는 KLA-Tencor사의 UV1050™를 사용하여 thickness를, Taylor-Hobson사의 Form Talysurf Series 2™를 사용하여 thickness profile을 측정하였다.

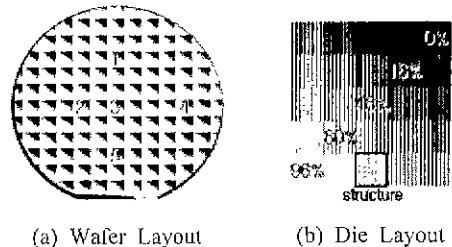


Fig 2 Wafer & die layout and measuring points

3.2 모델링 방법

각 조건에 대해 Table 2의 wafer 사용순서에 따라 실험을 행하고, blanket wafer의 측정결과와 pattern wafer의 측정결과를 비교하였다.

적절한 유효밀도 $\rho(x, y)$ 를 구하기 위해, 검사영역의 크기를 변화시켜가며 유효밀도를 구하였고, 구해진 유효밀도와 blanket wafer의 연마율을 식(2-2)에 대입시켜 pattern wafer와 blanket wafer의 연마율 오차값이 최소로 되는 유효밀도를 구하였다. 이 유효밀도를 기준으로 같은 조건의 다른 pattern wafer에

식(2-2)를 사용하여 pattern wafer의 연마율을 모델링하였다

또한, 모델링한 연마율과 실제의 연마율 사이의 오차값을 구해 모델링의 정확성을 RMSE(Root Mean Square Error)값으로 평가하였다

4. 실험결과 및 고찰

4.1 Blanket wafer의 연마율

일반적으로 blanket wafer에 영향을 미치는 인자로 압력과 head 및 table의 속도를 들 수 있다.

Removal rate는 압력에 민감하게 반응하며, 속도에 대해서는 압력만큼 큰 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 실험에서는 Fig. 3과 같이 blanket wafer 2장에 대해 같은 조건으로 실험하였으나 압력에 대한 연마율의 영향 뿐 아니라 속도에 대해서도 영향을 받는 것으로 측정되었다

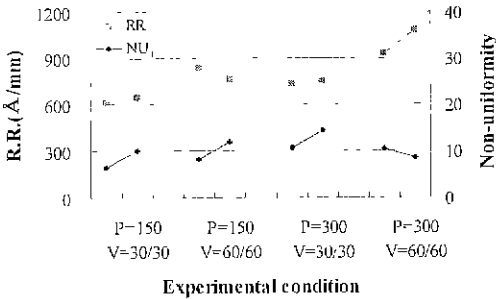


Fig 3 Remove rate and WIWNU of blanket wafer (52point)

Pattern wafer의 측정위치와 동일한 지점인 5point에 대한 blanket wafer의 연마율은 Fig 4와 같다. 52point에서의 측정과 비슷한 연마율을 가지는 것을 알 수 있다. 그러나 wafer내의 5point 측정값이 서로 조금씩 다른 것을 알 수 있는데, 이것은 Fig. 3과 같이 wafer연마 후 non-uniformity의 영향 때문인 것으로 생각된다

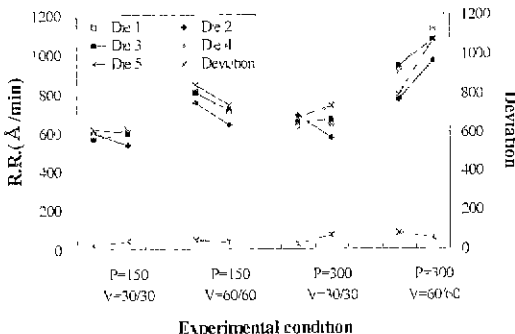


Fig. 4 Removal rate of blanket wafer (5point)

Pattern wafer의 연마결과도 blanket wafer에서의 연마와 같이 non-uniformity의 영향을 받아 각 die에 대한 측정결과 값에 편차가 있었다.

식(2-2)와 같이 모델링에서 blanket wafer의 연마율을 이용할 때 52point에 대한 측정결과 연마율은 평균값이기 때문에 각 die에 대한 non-uniformity영향을 고려하기 어렵다. 그래서 52point의 연마율을 이용하기보다는 실제 pattern wafer의 연마 후의 non-uniformity영향을 반영할 수 있는 blanket wafer의 5point 측정결과 연마율을 사용하여, pattern wafer의 연마율을 예측할 때 발생할 수 있는 계통오차를 줄일 수 있었다.

4.2 Pattern wafer의 연마율

pattern wafer의 연마결과와 pattern density에 대해 큰 영향을 받는다. Fig 5와 6은 각각 pattern wafer의 연마공정 전과 후의 thickness profile이다

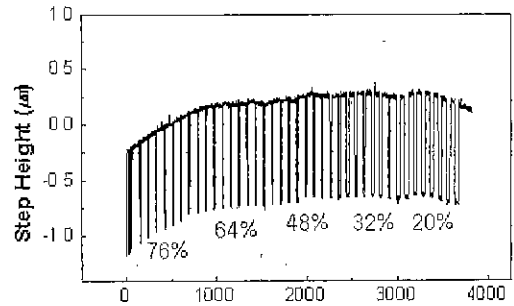


Fig 5 Thickness profile of pattern wafer before CMP

Fig. 5에서 연마공정 전 pattern wafer의 절연막층은 동일한 step height를 가지고 있으나 Fig 6처럼 연마공정 후 pattern wafer의 절연막층은 pattern density에 따라 step height가 다르게 나타난다.

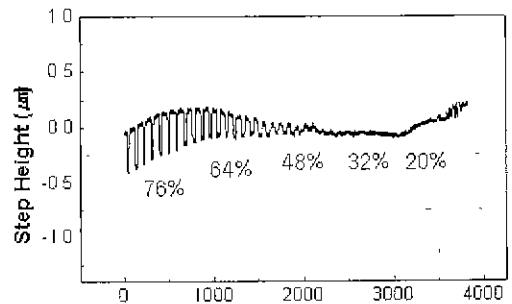


Fig. 6 Thickness profile of pattern wafer after CMP

이는 low density(20%)영역이 high density(76%)영역에 비해 실질측면적이 낮아 높은 압력을 받아

pattern density가 다른 각 structure별로 서로 다른 연마율을 보이기 때문이다

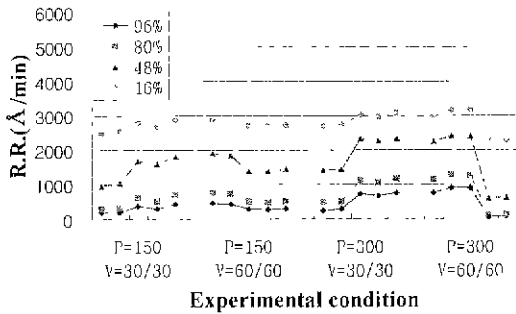


Fig. 7 Removal rate of pattern wafer (results of density in die #3)

Thickness 측정에서도 Fig. 7과 같이 pattern density에 따라 다른 연마율을 보이는 것을 알 수 있다. 다만, pattern wafer #19, #20에서는 Fig 4의 blanket wafer의 연마율과 비교해 볼 때 낮은 연마율을 가지는데, 이는 측정상의 오차라고 생각되어진다.

4.3 모델링 결과

각각의 blanket wafer의 측정결과와 pattern wafer의 측정결과를 비교해 최소한의 오차를 갖는 유효밀도를 사용하여 같은 조건에서의 다른 pattern wafer의 연마결과를 예상하고, 실제 연마결과와 비교한 값을 Fig. 7에 나타내었다.

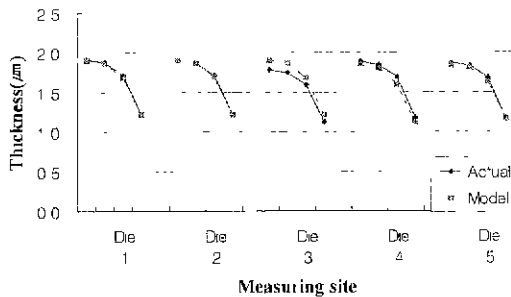


Fig. 7 Comparison of modeling results with actual results

총 20point에 대한 모델링 결과는 실제의 연마결과와 거의 일치하는 것을 볼 수 있다 다만, pattern wafer의 연마 후 non-uniformity의 영향을 받아 특정 die내의 값에서 오차를 가지는 것을 볼 수 있다 실제 pattern wafer의 연마율과 모델링의 연마율의 오차값으로 RMSE(Root Mean Square Error)=194.4 Å/min를 얻을 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 화학기계적 연마공정에 대하여 pattern wafer의 연마결과를 예측할 수 있는 모델링을 가정하고 실제 연마결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

(1) 일반적인 유리연마에 사용되는 프레스톤 방정식을 유효밀도 $\rho(x, y)$ 와 blanket wafer의 연마율 K_b 인자를 사용하여 식을 변형하여 pattern wafer의 연마율을 예측하는 이론적 관계식으로 만들어, 일반적으로 연마율에 영향을 미치는 압력과 속도 인자에 대해 blanket wafer와 pattern wafer의 연마결과를 비교하여 각 조건에 대한 적절한 모델링을 수행하였다.

(2) 각각의 실험조건에 대해 Pattern wafer에 대한 연마결과를 예측하고 실제 결과와 비교하여 모델링의 일치여부를 확인, RMSE=194.4 Å/mm의 오차값을 얻을 수 있었다

(3) 적절한 pattern density를 사용하여 인마 품위가 높은 mask design을 설계하는데 적용될 수 있다

참고문헌

1. 정혜도, "차세대 반도체 제조를 위한 조정밀 가공 기술." 대한기계학회지, Vol 36 3, p221, 1996
2. F Preston, "The Theory and Design of Plate Glass Polishing Mechanism," J Soc Glass Tech. Vol 11, p125, 1927
3. L. M. Cook, "Chemical Process in Glass Polishing," Journal of Non-Crystalline Solids, Vol 120, p153 1990
4. D. Boning, "Pattern Dependent Modeling for CMP Optimization and Control", p2-6, 1999
5. Shin Hwa Li, "Chemical Mechanical Polishing in Silicon Processing", ACADEMIC PRESS, New York, p89-137, 2000
6. Taber Smith, "Device Independent Process Control of Dielectric Chemical Mechanical Polishing", MIT, p127-130, 1999