

# 산화막 CMP에서 리테이닝 링의 인서트 재질이 연마정밀도에 미치는 영향

박기원\*, 박동삼\*\*,#

\*인천대학교 대학원 기계공학과, \*\*인천대학교 기계공학과

## Effects of Insert Materials of Retaining Ring on Polishing Finish in Oxide CMP

Ki-Won Park\*, Dong-Sam Park\*\*,#

\*Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Incheon National University,

\*\*Department of Mechanical Engineering, Incheon National University

(Received 15 May 2019; received in revised form 2 June 2019; accepted 18 June 2019)

### ABSTRACT

CMP is the most critical process in the manufacture of silicon wafers, and the use of retaining rings, which are consumable parts used in CMP equipment, is increasingly important. Since the retaining ring is made of plastic, it is not only weak in strength but also has the problem of taking a long time for the flattening operation of the ring itself performed before the CMP process, and of the imbalance of force due to bolt tightening causing uneven wear. In order to solve this problem, the retaining ring and the insert ring are integrally used, and the flatness of the retaining ring may be affected depending on the material of the insert ring. Also, the residual stress generated in the manufacturing process of the insert ring may cause distortion of the ring, which may adversely affect the precision polishing. In this study, when the insert ring is made of Zn or STS304, the thickness variation and the flatness of the retaining ring are compared and, finally, the material removal rate is analyzed by polishing the wafer by the oxide CMP process. Through these experiments, the effects of the insert ring material on the polishing accuracy of the wafers were investigated.

**Key Words** : Oxide CMP(산화막 CMP), Retaining Ring(리테이닝 링), Insert Ring(인서트 링), Flatness(평탄도)

### 1. 서 론

20세기에 본격적으로 도입되기 시작한 반도체 산업은 앞으로 21세기 인공지능의 등장과 함께 과학기술 분야의 핵심적인 최첨단 산업으로 성장하

게 될 것이다. 이러한 반도체 산업은 기술집약적, 고부가가치 산업으로 그 핵심기술의 확보는 무엇보다 중요하다.

실리콘 웨이퍼의 제조 과정에서 CMP(chemical mechanical polishing)는 가장 핵심적인 공정으로, Oxide CMP, Metal CMP, Poly CMP로 구분되며, Oxide CMP는 CVD 공정으로 형성된 절연막의 단차를 낮추거나 평탄화하는 공정이다. 최근에는 전

# Corresponding Author : [dspark@inu.ac.kr](mailto:dspark@inu.ac.kr)

Tel: +82-32-835-8901, Fax: +82-32-835-0793

소재품의 소형화로 인해 더 큰 웨이퍼에서 더 좁은 선폭 및 피처 사이즈가 작은 칩을 선호하는 경향을 보이고 있어 반도체 제조 공정에 대한 요구 사항도 까다로워지고 있는 상황이다. 특히, CMP 장비에 사용되는 소모성 부품인 리테이닝 링(retaining ring)의 중요성이 더욱 커지고 있다. 리테이닝 링은 평탄도 허용오차를 최소화하여 균일한 표면처리를 가능하게 하기 때문에 적절한 소재 선택과 설계가 중요하며 이를 통하여 소재의 안정성을 높이고 진동 특성을 개선하여 웨이퍼 수율을 높일 수 있다.

또한, 리테이닝 링은 연마되는 웨이퍼를 고정하는 기능도 하므로 화학물질인 다양한 슬러리(slurry)와 접촉하게 되고, 기계적 하중을 받기 때문에 우수한 탄성, 인성 및 강도를 가져야 한다. 보통 리테이닝 링의 소재로는 일반 PPS 소재가 사용되며, PEEK 소재도 인성과 연성이 크고 치수 안정성이 우수할 뿐만 아니라, 내마모성과 내마찰성도 우수하여 수명이 연장될 수 있기 때문에 최근 널리 사용되고 있다.

한편, CMP 리테이닝 링의 수요와 그 중요성이 꾸준히 증가함에 따라 관련 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 리테이닝 링의 슬롯(slot) 설계 등이 슬러리 웨이브 폭에 미치는 영향에 관한 연구<sup>[1]</sup>, 슬러리 필름 두께 등을 고려한 리테이닝 링의 최적형상에 관한 Park 등의 연구<sup>[2]</sup>, 폴리싱 압력분포에 대한 SuZuki 등<sup>[3]</sup>의 연구, Cu CMP에서 슬러리 온도가 재료제거율에 미치는 연구<sup>[4]</sup>, 링-슬러리-패드 사이의 윤활기구에 관한 연구<sup>[5]</sup>, 리테이닝 링과 폴리싱 패드 사이의 접촉각도가 소재제거의 균일성에 미치는 연구<sup>[6]</sup>, 최적조건 선정을 위한 PAD 특성과 웨이퍼 폴리싱의 가공표면에 관한 연구<sup>[7]</sup>, CMP 공정의 안정성과 최적화를 리테이닝 링의 설계에 관한 연구<sup>[8]</sup> 등이 비교적 최근에 발표되었다. 특히, 산화막(Oxide) CMP에 대한 연구로는 패드 두께가 연마율과 연마 불균일도에 미치는 영향<sup>[9]</sup>, Pad Debris 발생과 스크래치 형성에서의 그 역할<sup>[10]</sup>, 혼합 연마제 슬러리를 이용한 산화막 CMP에서의 소재 제거기구 해석<sup>[11]</sup> 등에 대한 많은 연구가 발표되었지만 인서트 링 소재의 영향에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

한편, 보통의 리테이닝 링은 수지류인 플라스틱으로만 제조되고 있어 강도가 약할 뿐만 아니라 CMP 공정 전에 행해지는 링 자체의 평탄화 작업 소요시간이 많아지고 커버 볼트 조임에 의한 힘의 불균형으로 인해 편마모가 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 리테이닝 링과 인서트 링(insert ring)을 일체화하여 사용하고 있는데 두 링을 일체로 성형하는 몰딩형과 접착제로 접합한 본딩형이 있다.

지금까지 이러한 인서트 링의 구조나 효과에 대한 학술적 연구는 전무한 실정이며, 형상이나 소재에 대한 소수의 국내외 특허<sup>[12-13]</sup>만 발표된 실정으로 이들 인서트 링의 여러 특성에 대한 연구가 절실히 요청되고 있다.

인서트 링의 소재에 따라 리테이닝 링의 평탄도가 영향을 받을 수 있으며, 특히 인서트 링의 제조 과정에서 발생하는 잔류응력 때문에 링의 뒤틀림 변형이 나타날 경우 링의 회전시 뒤틀림 정도에 따라 진동을 유발하여 정밀연마에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 이의 규명이 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 PEEK로 제작된 리테이닝 링 내부에 인서트 링을 몰딩하여 제작한 제품을 대상으로, 인서트 링의 소재를 Zn 또는 STS304으로 할 때 리테이닝 링의 두께 편차나 표면의 평탄도를 비교 분석하였다. 또한, 실제 산화막 CMP 공정 시 소재제거율을 분석하여 인서트 링의 소재가 결과적으로 웨이퍼의 연마 평탄도에 미치는 영향을 규명하였다.

## 2. 리테이닝 링과 인서트 링의 구조

실리콘 웨이퍼 제작 시 핵심 공정인 CMP 공정의 개요도를 Fig. 1에 나타내었는데, CMP 장치는 회전축에 연결되어 회전하는 본체, 웨이퍼가 이탈되는 것을 방지하는 리테이닝 링, 진공 홀에 의한 유체압력으로 웨이퍼를 연마면에 가압하는 멤브레인(membrane) 등으로 구성되어 있다.

Fig. 2는 리테이닝 링의 일반적인 형상을 보인 것으로, 패드 접촉면은 소재를 폴리싱하는 면이다. 홈(groove)의 방향 및 각도는 슬러리(slurry)의 유입과 배출에 깊이와 폭은 슬러리 유입량을 조정하는

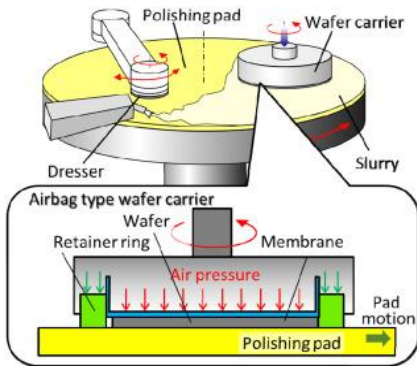


Fig. 1 Schematic configuration of CMP process<sup>[3]</sup>

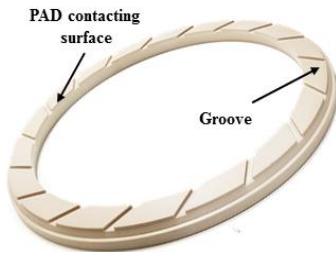
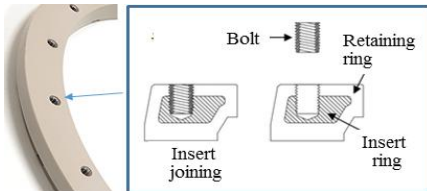
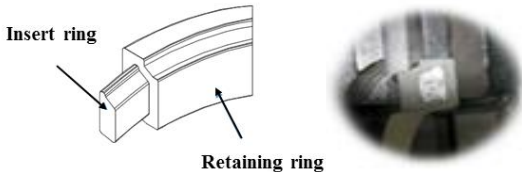


Fig. 2 Common shape of retaining ring



(a) Basic shape of retaining ring with an insert ring



(b) A joining method of two rings

Fig. 3 A retaining ring with an insert ring

역할을 한다. Fig. 3은 인서트 링을 사용하는 몰딩형 리테이닝 링의 형상을 보인 것으로, Fig. 3(a)는 형상 개요를, Fig. 3(b)는 볼트를 이용하여 인서트 링을 리테이닝 링에 결합하는 형태를 보인 것이다. 인서트 링의 소재는 현재까지는 주로 금속 재

인 Zn과 STS304가 사용되고 있다.

### 3. 실험 및 결과 고찰

#### 3.1 볼트 체결 전의 리테이닝 링 평탄도

리테이닝 링의 규격은 다양하나 본 연구에서는 시판 중인 리테이닝 링을 대상으로 평탄도를 측정하기 위하여 리테이닝 링과 인서트 링을 볼트로 체결 전에 리테이닝 링을 정반 위에 설치하고, 3차원 측정기를 사용하였다. 측정 위치는 링의 1/4만 나타낸 Fig. 4와 같이 고정된 위치를 기준으로 내경측으로는 8.74 mm, 외경측으로는 8.71 mm 만큼 이동된 직경 상의 각 36개 점에서 편차를 측정하였다. Fig. 5는 측정된 평탄도 편차 그래프이며, Table 2는 측정결과를 정리한 것으로 STS304 인서트 링을 갖는 리테이닝 링의 36개 측정점에서의 최대 평탄도 편차 (Dev.)는 외경측에서 7 μm, 내경측에서 5μm로 나타났으며, Zn 재질의 경우는 내외경측 모두 9 μm로 STS 재질을 사용할 때 평탄도 편차가 더 줄어든다는 것을 알 수 있다.

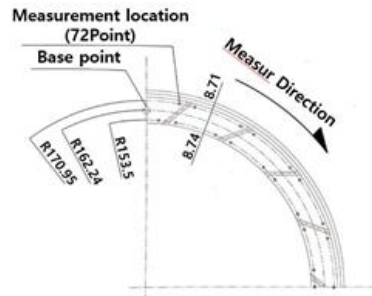


Fig. 4 Measuring points for retaining ring flatness

Table 2 Flatness deviations (Dev.) of retaining ring (unit : mm)

	Zn		STS304	
	Outer side	Inner side	Outer side	Inner side
Max.	19.174	19.174	19.179	19.178
Min.	19.165	19.165	19.172	19.173
Dev.	0.009	0.009	0.007	0.005
Ave.	19.170	19.170	19.176	19.176

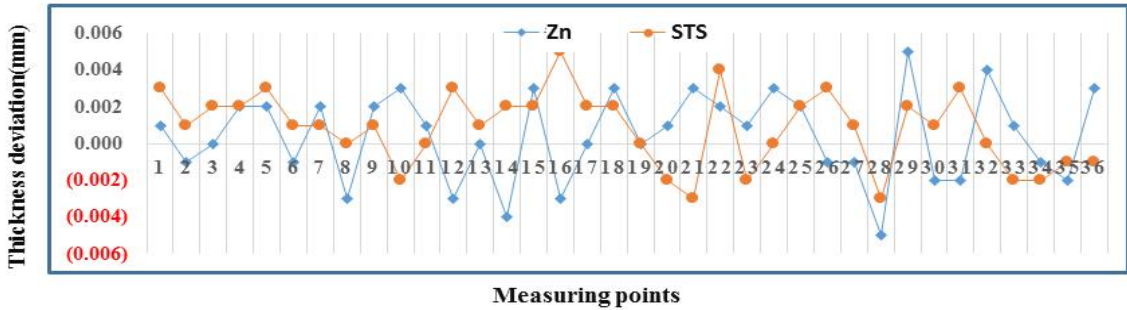


Fig. 5 Flatness deviation of retaining ring in 36 measuring points

### 3.2 볼트 체결 후의 리테이닝 링 평탄도

리테이닝 링과 인서트 링의 체결 후 리테이닝 링의 표면 평탄도를 측정하기 위하여 Fig. 6과 같이 측정용 지그가 장착된 CNC 선반에 18개의 볼트로 리테이닝 링을 체결 후 내경과 외경측 각 4 곳을 0.001 mm의 정밀도를 갖는 디지털 다이얼 게이지로 거리변화를 측정하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

리테이닝 링의 평탄도는 내외경측 각 4곳을 비교 측정한 후 최대값에서 최소값을 뺀 치수로 정의하였으며, STS304로 제작한 리테이닝 링의 평탄도 편차는 내외경측에서 각각 2  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$ 로 나타났으나 Zn으로 제작된 리테이닝 링의 경우 내외경측에서 각각 8  $\mu\text{m}$ , 11  $\mu\text{m}$ 로 나타나 4배 및 11배의 높은 편차를 보였다.

이 실험에서도 STS304 소재가 치수 정밀도에서 보다 높은 안정성을 보인다는 것을 알 수 있는데 이는 STS 소재의 높은 강성과 잔류응력 등에 의한 뒤틀림 변형이 적음에 기인한다고 판단된다.

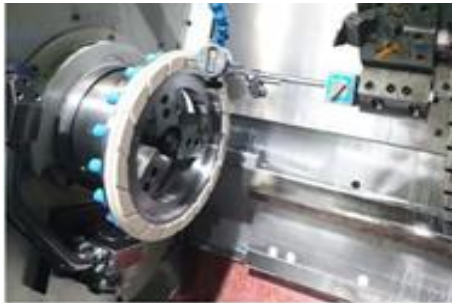


Fig. 6 Jig setting for flatness measurement

Table 3 Flatness of a retainer ring

(a) Points in inner side (unit :  $\mu\text{m}$ )

Materials	Measuring points				Deviation
	P1	P2	P3	P4	
STS304	0	0	-2	-2	2
Zn	0	0	8	0	8

(b) Points in outer side (unit :  $\mu\text{m}$ )

Materials	Measuring points				Deviation
	P1	P2	P3	P4	
STS304	0	0	-2	-1	1
Zn	0	1	7	-4	11

체결 볼트 전후의 평탄도 차이를 보면 Zn 인서트 링이 상대적으로 큰데 이는 Zn이 고온의 사출 과정에서 열변형이 더 크게 나타났음은 물론 리테이닝 링의 소재인 PEEK가 사출 후 냉각과정에서 수축률이 아주 큰데 Zn은 강도가 낮아 뒤틀림 변형도 유발되었기 때문이라 판단 된다.

또한, 볼트 체결 전후의 평탄도 변화 정도를 보면 Zn의 경우 볼트 체결 전후로 평탄도 변화가 거의 없으나 STS의 경우 체결 전 외경측 및 내경측 편차가 각각 7 $\mu\text{m}$ , 5 $\mu\text{m}$ 이나 체결 후에는 1 $\mu\text{m}$ , 2 $\mu\text{m}$ 로 크게 개선되는 것으로 나타났다. 이는 인서트 링과 리테이닝 링을 볼트로 체결 하는 과정에서 Zn 링은 초기 뒤틀림 변형이 커 개선의 여지가 별로 없으나 STS 링의 경우는 사출 후 발생되었던 변형이 볼트 체결력에 의해 어느 정도 변형이 회복되었기 때문이라 판단된다.

### 3.3 절삭가공 후 리테이닝 링의 평탄도

앞에서 측정된 평탄도는 단순히 리테이닝 링 표면의 평탄도이므로 인서트 링의 몰딩 단계에서의 전체적인 뒤틀림 변형 형태를 고찰하기 위하여 리테이닝 링의 절삭가공을 수행하였다. Fig. 7(a)는 CNC 선반으로 리테이닝 링을 고정하고 표면으로부터 0.05 mm씩 단면가공을 계속하여 인서트 링이 최초로 노출되는 시점부터 링 전체로 노출되는 시점까지의 총 절삭깊이를 측정하는 기본 원리를 나타낸 것이다. Fig. 7(b)는 측정 결과를 보인 것으로 STS304 소재의 경우 인서트 링이 최초로 노출된 후 전체적으로 노출될 때까지의 가공깊이가 0.55 mm이며, Zn 소재의 경우 0.85 mm로 나타나 STS304 소재가 더욱 우수한 평탄도를 보임을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 CMP 공정에서 인서트 링의 재질의 중요성을 알 수 있으며 STS304이 전반적으로 평탄도가 우수하여 연마 정밀도도 높아질 것으로 판단된다.

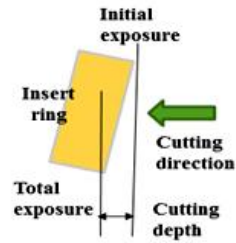
### 3.4 웨이퍼의 연마 특성

인서트 링의 소재가 STS304와 Zn일 때 Dummy wafer와 Monitoring wafer의 연마특성을 관찰하였다. 실험에 사용된 CMP 장비는 Creative Technology Solution의 AP300\_Single Polisher이며, K-MAC의 ST5030-SL 박막두께 측정기를 이용하여 연마량을 측정하였다. 사용된 Pad는 미국 다우에서 제작된 Urethane Pad IC1010이다.

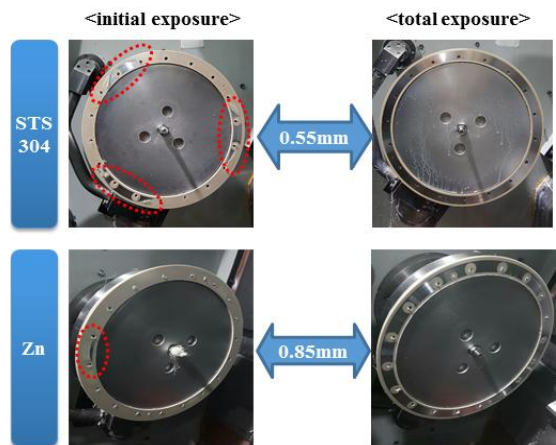
연마조건으로 Pad conditioning은 6 인치의 다이아몬드 디스크 휠로 Di water를 분사하며 300 sec 동안 실시하였으며 이 때 조건은 Platen rpm은 93, Head rpm은 87, 압력은 3 psi이다. 이후 Dummy Wafer 20장을 이용하여 장당 60 sec씩 예비연마를 실시하였으며 이때 압력조건은 R-ring 7.5 psi, Platen rpm은 93, Head rpm은 87이다.

최종적으로 Monitoring Wafer를 사용하여 산화막(oxide) 막질을 3000 ~ 3100 Å/min 까지 연마작업을 실시하였다.

연마조건은 압력조건만 12 psi으로 하였으며 Head와 Platen의 rpm은 같게 하였고 연마는 각각 2시간, 5시간 동안 진행하였다. 사용된 슬러리는 Ceria이며 300 ml/min로 공급하였다.



(a) Schematics of flatness measurement



(b) Experimental results

Fig. 7 Measurement of flatness of insert ring

Table 4 CMP conditions for monitoring wafer

Polisher	AP300_Single Polisher
Pressure	12 psi
Head velocity	87 rpm
Platen velocity	93 rpm
Slurry	Ceria Slurry
Pad	Urethane pad IC1010
Polishing time	2 Hours, 5 Hours
Slurry flow rate	300 ml/min

산화막 CMP 실험조건을 Table 4에 나타내었다. Fig. 8은 CMP 공정 후 웨이퍼에 대한 재료제거율을 측정된 결과로 웨이퍼의 중심부를 기준으로 (-) 73 mm에서 (+) 73 mm까지의 리테이닝 링의 재료제거율이 Zn을 삽입한 리테이닝 링보다는 STS304를 삽입한 리테이닝 링의 재료 제거율이 균일하게 나타나고 있는데 따라서 평탄도도 우수

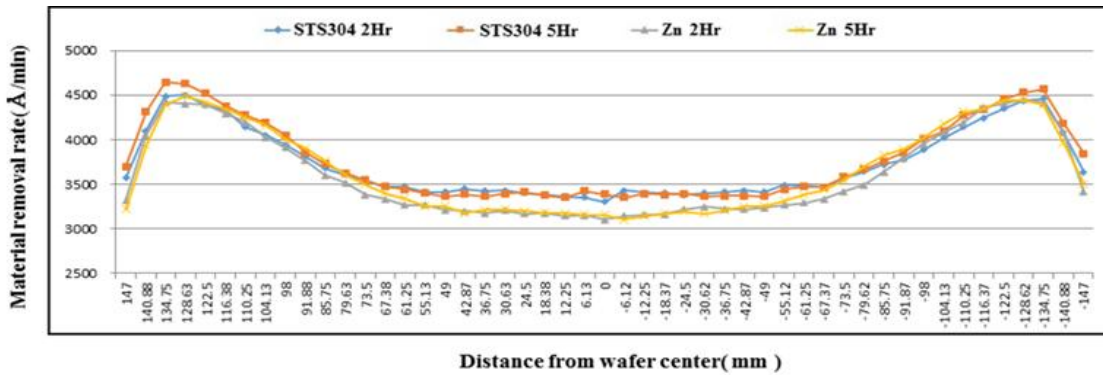


Fig. 8 Surface profile of a wafer after CMP

Table 5 Comparison of material removal rate (unit : Å/min)

Material	STS304		Zn	
	2 Hr	5 Hr	2 Hr	5 Hr
AVER	3,729	3,772	3,611	3,652
STDEV	380	438	471	479
NU(%)	10	12	13	13
MAX	4,499	4,648	4,453	4,495
MIN	3,306	3,350	3,103	3,106
RANGE	1,193	1,297	1,349	1,388

하게 나타날 수 있음을 알 수 있다.

웨이퍼를 2시간 및 5시간으로 연마했을 때의 재료제거율을 정리하여 Table 5에 나타내었다. 웨이퍼의 평균 재료제거율을 보면 2시간 연마 시 STS304의 경우 3,729 Å/min, Zn은 3,611 Å/min로 나타났으며, 5시간 연마 시 STS304의 경우 3,772 Å/min, Zn은 3,652 Å/min로 나타났다. STS304의 경우 재료제거율이 각각 3.16 %, 3.18 % 더 높게 나타남을 알 수 있다. 또한, 표준편차(STDEV)도 STS304 경우가 더 낮게 나타나며 불균일도(NU-1)도 연마 시간이 각각 2시간과 5시간 일 때 STS304 경우가 10% 및 12%, Zn의 경우 모두 13%로 나타나 STS304 경우가 보다 우수하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 산화막 CMP 공정에 사용되는 리테이닝 링의 강성을 유지해 주기 위해 사용되는

인서트 링 재료의 변화가 리테이닝 링의 기하학적 치수오차와 연마 균일성에 미치는 영향을 고찰하였다. 인서트 링의 소재로 Zn 또는 STS304를 사용할 때 리테이닝 링의 두께 편차나 표면의 평탄도를 비교 분석하였다. 또한, 웨이퍼를 CMP 공정으로 연마 시 소재제거율을 분석하여 인서트 링의 소재가 결과적으로 웨이퍼의 연마 평탄도에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다.

실험을 통하여 두 링의 볼트 체결 전후의 평탄도나 절삭실험을 통한 평탄도 분석 결과 모든 경우에 STS304 소재가 더욱 우수함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 우선 재료의 특성상 STS304가 Zn 보다 강도가 커 열 및 기계적 하중에 대한 변형이 작을 뿐만 아니라 가공특성 등 기계적 성질이 우수하다는 점과, 제조 공정상으로도 Zn이 고온의 사출과정에서 열변형이 더 크게 나타남은 물론 리테이닝 링의 소재인 PEEK가 사출 후 냉각과정에서 수축률이 아주 크므로 강도가 낮은 Zn은 압축력을 받아 뒤틀림 변형도 유발된다는 점 때문이라 판단된다.

CMP 공정 후 재료 제거율을 측정한 결과 Zn 보다는 STS304 소재를 사용한 리테이닝 링의 재료제거율이 균일하게 나타났으며 따라서 웨이퍼의 연마 평탄도도 우수한 것으로 판단되었다.

#### REFERENCES

1.Sudargho, F., Han, R. and Philipossian, A., "Effect



- of Retaining Ring Slot Designs, Conditioning Discs and Conditioning Schemes on the Slurry Bow Wave Width during Chemical Mechanical Planarization,” ECS Journal of Solid State Science and Technology, Vol. 7, pp. 253-259, 2018.
2. Park, J. W., Shin, C. M., Kim, T. S. and Qin, H. Y., “Optimal shape of retainer ring considering edge exclusion and slurry film thickness,” Planarization/CMP Technology, 2015 International Conference, pp. 1-2, Sept. 2015.
  3. Suzuki, N., Hashimoto, Y., H. Yasuda, Yamaki, S. and Mochizuki, Y., “Prediction of polishing pressure distribution in CMP process with airbag type wafer carrier,” CIRP Annals–Manufacturing Technology, Vol. 66, pp. 329-332, 2017.
  4. Park, I. H., Lee, D. S., Jeong, S. H. and Jeong, H. D., “Effects of Temperature on Removal Rate in Cu CMP,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 91-97, 2018.
  5. Diaz, G., Sampurno, Y. and Philipossian, A., “Insights into the Tribological and Kinetic Attributes of Retaining Rings in Chemical Mechanical Planarization,” ECS journal of solid state science and technology, Vol. 7, No. 9, pp. P447-451, 2018.
  6. Park, Y. B., Lee, H. S., Lee, Y. K., Park, S. J. and Jeong, H. D., “Effect of Contact Angle between Retaining Ring and Polishing Pad on Material Removal Uniformity in CMP Process,” International journal of precision engineering and manufacturing, Vol. 14, No. 9, pp. 1513-1518, 2013.
  7. Won, J. K., Lee, E. S. and Lee, S. G., “The Study on the Wafer Surface and Pad Characteristic for Optimal Condition in Wafer Final Polishing,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 26-32, 2012.
  8. Khannaz, A. J., Kakireddy, R., Jawali, P., Chockalingam, A., Redfield, D., Bajaj, R., Fung, J., Cornejo, M., Yamamura, M., Yuan, Z., Orillall, C., Fu, B., Ganapathi, G., Redeker, F. C. and Patibandla., N. B., “Impact of Pad Material Properties on CMP Performance for Sub-10nm Technologies,” ECS Journal of Solid State Science and Technology, Vol. 8, pp. 3063-3068, 2019.
  9. Bae, J. H., Lee, H. S., Park, J. H., Nishizawa, H., Kinoshita, M. and Jeong, H. D., “Effect of Pad Thickness on Removal Rate and Within Wafer Non-Uniformity in Oxide,” Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 23, No. 5, pp. 358-363, 2010.
  10. Yerriboina, N. P., Kwon, T. Y., Kim, I. K., Kim, I. G. and Park, J. G., “Generation of Pad Debris during Oxide CMP Process and Its Role in Scratch Formation,” Journal of The Electrochemical Society, Vol. 158, No. 4, H394-H400, 2011.
  11. Lee, H. J. and Jeong, H. D., “Analysis of Removal Mechanism on Oxide CMP using Mixed Abrasive Slurry,” International journal of precision engineering and manufacturing, Vol. 16, No. 3, pp. 603-607, 2015.
  12. CNUS Co., LTD., Insert ring for retainer ring structure in chemical-mechanical polishing apparatus, PCT/KR2013/006119, 2013.
  13. STRASBAUGH, CMP retaining ring with soft retaining ring insert, US-0295013, 2014.