한국기계가공학회지, 제19권, 제3호, pp.22～28(2020.03) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 3, pp.22~28(2020.03) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2020.19.03.022

CMP용 리테이닝 링의 재질이 웨이퍼의 연마성능에 미치는 영향

박기원*, 김은영*, 박동삼**,#
*인천대학교 대학원 기계공학과 , **인천대학교 기계공학과

Effects of CMP Retaining Ring Material on the Performance of Wafer Polishing

Ki-Won Park*, Eun-young Kim*, Dong-Sam Park**,#
*Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Incheon National University,
**Department of Mechanical Engineering, Incheon National University

(Received 3 December 2019; received in revised form 14 December 2019; accepted 18 December 2019)

ABSTRACT

This paper investigates the effects of retaining ring materials, particularly PPS and PEEK, used in the CMP process, on wafer polishing and ring wear. CMP can be performed using bonded type retaining rings made with PPS or injection molding type retaining rings made with PEEK. In this study, after polishing a wafer with a PPS retaining ring, the average profile height of the wafer was 0.098 μm less than that of the wafer polished with a PEEK retaining ring, implying that PPS retaining rings achieve a higher polishing rate. In addition, the center area of the wafer profile had less deviation and improved flatness after polishing with the PPS ring. These results indicate that a higher polishing rate and smaller profile height deviation can be achieved using retaining rings made with PPS compared to retaining rings made with PEEK. Therefore, with semiconductor circuit patterns becoming finer and wafer sizes becoming larger, the use of PPS in CMP retaining rings can obtain more stable wafer polishing results compared to that of PEEK.

Key Words : CMP(화학기계적 연마), Retaining Ring(리테이닝 링), Wafer Profile(웨이퍼 프로파일), PPS, PEEK, Wear(마멸)

1. 서 론

반도체 산업은 기술집약적 고부가가치 산업으로서 여전히 21세기를 지배할 최첨단 산업으로 인식되고 있으며 소재나 부품 등을 효율적으로 개발하기 위해서는 기초과학이 튼튼히 뒷받침되어야 한다. 우리나라 반도체 산업은 국가 기간산업이자 경제발전의 성장 엔진으로서 세계적 경쟁력을 갖추고 있다. 하지만 최근 전자제품의 소형화로 인해 반도체 제조공정에 대한 요구사항이 날로 까다로워지고 있다. 특히, 실리콘 웨이퍼의 제조과정에서 CMP(chemical mechanical polishing)는 가장 핵심적인 공정으로 슬러리를 이용한 화학적 작용과 패드를 이용한 물리적인 방법으로 웨이퍼 표면을 정밀 연마하는 가공 공정이다. CMP는 Oxide

Corresponding Author : dspark@inu.ac.kr
Tel: +82-32-835-8410, Fax: +82-32-835-0793

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

CMP, Metal CMP, Poly CMP로 분류되며, Oxide CMP는 CVD 공정으로 형성된 절연막의 단차를 낮추거나 평탄화하는 공정이다.

CMP 공정의 개요도를 Fig. 1에 나타내었는데, CMP 장치는 회전축에 연결되어 회전하는 본체, 웨이퍼의 이탈을 방지하는 리테이닝 링, 진공 홀에 의한 유체압력으로 웨이퍼를 연마면에 가압하는 멤브레인(membrane) 등으로 구성되어 있다.

CMP 공정 중 웨이퍼의 정밀한 평탄화 작업을 위해서 웨이퍼의 가이드 역할과 가공 시 고정밀도와 치수 안정성을 위한 리테이닝 링의 중요성은 매우 크다. 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 소재로 PPS(Polyphenesuifide)가 사용되며, PEEK(Polyetheretherketone) 소재도 인성과 연성이 크고 치수 안정성이 우수하여 최근 널리 사용되고 있다.

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 발생되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 리테이닝 링과 인서트 링(insert ring)을 사용하고 있는데 두 링을 일체로 성형하는 몰딩형과 접착제로 접합한 본딩형이 있다. 현재 CMP 공정에 사용되고 있는 리테이닝 링은 주로 PPS 소재는 본딩형으로, PEEK 소재는 인서트 사출형태로 제조하고 있다.

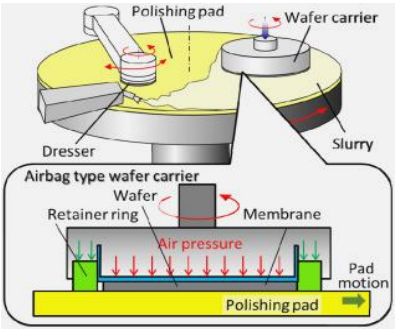


Fig. 1 Schematic configuration of CMP process[1]

CMP 리테이닝 링은 연마율을 낮추고, 편평도 허용오차를 최소화하여 균일한 표면처리를 가능케 하기 때문에 CMP 리테이닝 링에 대한 적절한 소재 선택과 제조공정이 무엇보다 중요하다. 즉 리테이닝 링은 저마멸, 진동특성, 강도, 허용오차 최소화 등의 성능조건이 까다로워짐에 따라 내마멸성이 우수한 CMP 리테이닝 링 개발이 무엇보다 중요하다.

이에따라 CMP 리테이닝 링에 대한 지속적인 연구가 이루어지고 있는데 리테이닝 링과 폴리싱 패드의 접촉각이 소재제거 균일성에 미치는 영향[2], CMP 최적조건 결정을 위한 Pad 특성과 웨이퍼 폴리싱의 가공표면[3], CMP 공정의 안정성과 최적화를 리테이닝 링의 설계[4], 산화막 CMP에서 리테이닝 링의 인서트 재질이 연마정밀도에 미치는 영향[5] 등의 연구가 최근 발표된 바 있다.

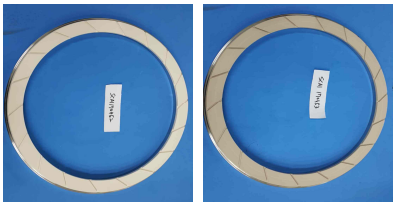
또한, 리테이닝 링의 슬롯(slot) 설계 등이 슬러리 웨이브 폭에 미치는 영향[6], 슬러리 필름 두께 등을 고려한 리테이닝 링의 최적형상[7] 등에 관한 연구가 이루어졌으며, 리테이닝 링의 형상이나 소재에 대한 소수의 국내외 특허[8~9]도 발표되었다.

산화막(Oxide) CMP에 대한 연구로는 패드 두께가 연마율과 연마 불균일도에 미치는 영향[10], Pad Debris 발생과 스크래치 형성에서의 역할[11] 등에 대한 연구들이 이루어졌다.

그러나, 리테이닝 링의 소재나 제조방법에 따른 웨이퍼의 연마특성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 실험 시편으로 압출성형된 PPS 소재를 기계가공하여 STS304 링에 접착한 본딩형 리테이닝 링과, PEEK 소재와 STS304으로 가공한 인서트 링을 이용하여 인서트 사출된 리테이닝 링을 각각 제조하였으며, 이들 링을 이용하여 웨이퍼의 CMP 시 연마특성 및 연마 후 마멸된 링의 두께 편차를 규명하고자 하였다. 이러한 비교 분석연구를 통하여 리테이닝 링의 적절한 소재를 제안하고자 한다.

2. 실험방법

실험에 사용된 시편은 압출성형한 PPS 소재를 기계가공하여 STS304 링에 접착한 본딩형 리테이



(a) PPS (b) PEEK

Fig. 2 Retaining ring made by PPS and PEEK

Fig. 3 CMP equipment(AP300_Single Polisher)

Table 1 CMP conditions for monitoring wafer

Polisher	AP300_Single Polisher
Pressure	7.5 [psi]
Head Velocity	87 [rpm]
Platen Velocity	93 [rpm]
Slurry	Solbrene silica n4
Pad	Urethane Pad IC1070
Polishing time	4 [hour]
Slurry flow rate	300 [㎖/min]

닝 링과, PEEK 소재와 STS304 소재의 인서트 링을 이용하여 인서트 사출된 리테이닝 링이며 이를 Fig. 2에 나타내었다. 시편은 각각 4개씩 제작되었다.

CMP 장비는 Fig. 3에 보인 Creative Technology Solution의 AP300_Single Polisher이며, 연마 후 웨이퍼의 프로파일은 지름을 따라 균일 간격으로 49개 위치에서 박막 두께 측정기(K-MAC의 ST5030-SL^{TM})로 측정하였다. 최초 제조된 리테이닝 링은 탈이온수(DI water)를 이용하여 5분간 예비연마 후 Table 1의 조건으로 웨이퍼 연마실험을

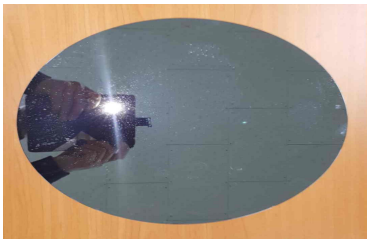


Fig. 4 Monitor wafer used in CMP

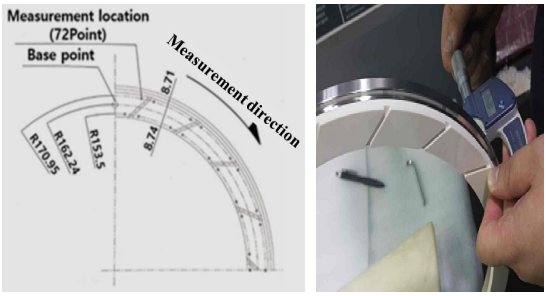


Fig. 5 Measuring thickness at 72 points of a retaining ring

진행하였다. 연마시편은 Fig. 4에 나타낸 직경 300 mm의 모니터 웨이퍼(Monitor wafer)이다.

연마 후 리테이닝 링의 마멸에 따른 두께 편차량 측정은 링의 1/4만 나타낸 Fig. 5와 같이 고정핀 위치를 기준으로 내경측으로는 8.74 mm, 외경측으로는 8.71 mm 만큼 이동된 직경 상의 각 36개 점(10도 간격), 총 72개 점에서 마이크로미터를 이용하여 측정하였다.

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 리테이닝 링의 연마특성

Fig. 6은 PPS와 PEEK 소재로 만든 첫 번째 시편인 리테이닝 링으로 직경 300 mm의 산화막 웨이퍼를 4시간 동안 CMP 가공했을 때 웨이퍼의 지름을 따라 총 49개 측정점에서 측정된 프로파일을 도시한 그림이다. 실험결과 웨이퍼의 중심을 기준으로 -119 mm에서 119 mm의 범위를 벗어난 가장자리부에서는 PPS, PEEK 모두 불안정한 연마 프로파일이 나타났다. 또한, 전체적으로 PPS

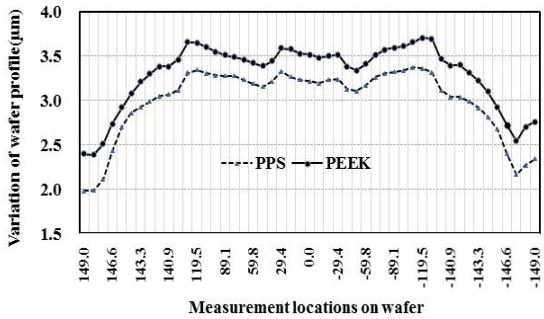
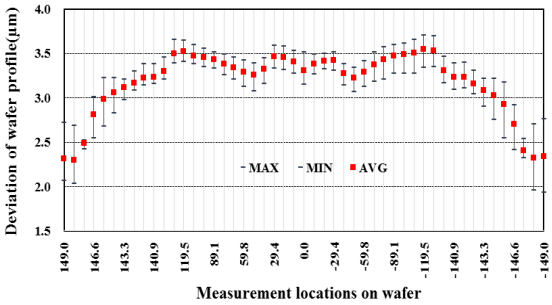
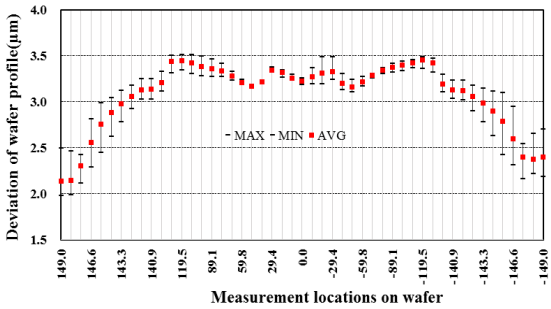


Fig. 6 Wafer profiles polished with PPS & PEEK rings



(a) PPS ring



(b) PEEK ring

Fig. 7 Profile deviations in wafers polished with 4 samples

보다 PEEK 리테이닝 링을 사용했을 때 미소하나마 연마량이 작게 나타났는데 프로파일의 높이가 평균 0.3 ㎛ 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이로부터 PEEK 링의 마멸이 더 크게 일어나 패드의 거동에 영향을 미쳐 연마량이 전반적으로 줄어든 것에 기인한다고 판단된다. 이러한 연마의 불균일도는 폴리머 패드와 웨이퍼 표면 사이의 불균일한 압력분포에 기인하는데 이는 연마압력이나 기계적 성질과 밀접한 관계가 있으며 리테이닝 링의 마멸이 영향을 미치기 때문이라 판단된다.

Fig. 7은 PPS와 PEEK 소재의 리테이닝 링 각 4개씩의 시편을 이용하여 직경 300 mm의 산화막 웨이퍼를 4시간 동안 CMP 가공했을 때 웨이퍼의 프로파일의 편차를 나타낸 그림이다.

Fig, 7(a)의 PPS 링의 경우 웨이퍼 프로파일의 높이는 평균 3.080 ㎛로 나타났으며, 최대값은 3.512 ㎛, 최소는 1.979 ㎛였다. 또한 Fig. 7(b)의 PEEK 링을 사용할 경우 프로파일을 보면 평균 3.178 ㎛, 최대 3.706 ㎛, 최소 1.954 ㎛로 나타났다. 즉, PEEK 보다는 PPS를 사용 시 평균 프로파일의 높이가 0.098 ㎛ 더 감소했는데 이는 PPS의 경우 연마률이 더 높다는 것을 의미한다.

연마 후 전반적인 프로파일을 분석해 보면 웨이퍼 센터를 중심으로 0~119 mm 까지는 PPS, PEEK 모두 웨이퍼의 프로파일이 비교적 평탄하나 119~140 mm 구간에서는 프로파일의 불규칙적 현상이 증가하며, 가장자리 구간인 140～150 mm 에서는 웨이퍼의 프로파일이 거칠어지는 리바운딩 현상이 발생됨을 확인할 수 있다. 하지만 PPS 링으로 연마할 경우 4개 웨이퍼 프로파일의 중심부분은 편차가 적고 평탄도도 우수한 것으로 나타났으며 PEEK 링으로 연마할 경우 웨이퍼 전체에 걸쳐 프로파일의 편차가 PPS에 비해 크게 나타남을 확인할 수 있다.

이러한 실험결과로부터 PPS 링의 경우 PEEK 링보다 연마률이 높으며 프로파일의 높이 편차 또한 PEEK 링 보다 작게 나타나 전반적인 성능은 PPS 소재가 더 우수한 것으로 판단된다.

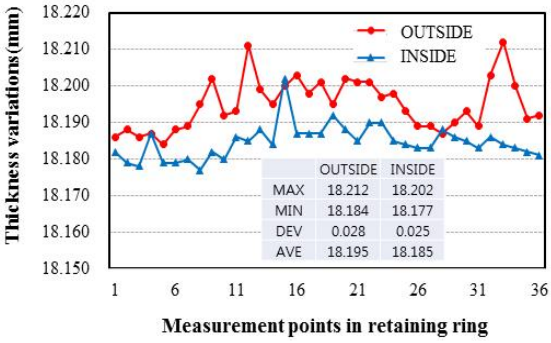
4시간 연마 후 4개의 시편 링에 대한 웨이퍼의 연마 프로파일 높이와 링 자체의 마멸량을 측정한 결과를 Table 2에 나타내었다. PPS 링의 평균 마멸량은 0.7 ㎛, 최소값은 1.3 ㎛, 최대값은 2 ㎛로 확인되었다. PEEK 링의 경우 평균 마멸량은 1.2 ㎛로 PEEK 링이 마멸량이 미소하나마 크게 나타났는데 이는 앞에서 보인 PEEK의 경우 웨이퍼의 연마 프로파일이 더 낮게 나타나고 있는 현상과 일치한다고 판단된다.

Table 2 Experimental results in CMP of wafer

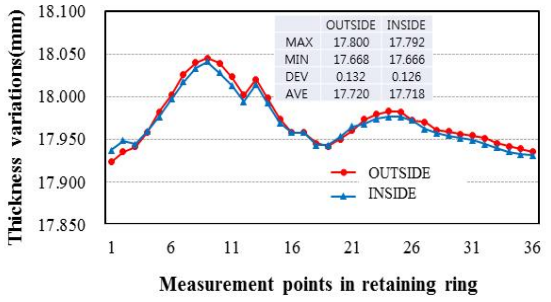
Material	Sample No.	Test Time (hour)	Wafer Profile(㎛)			Retaining Ring Wear(㎛)		
			AVG	MAX	MIN	AVG	MIN	MAX
PPS	1	4	3.000	3.370	1.979	2.0	1.0	4.0
	2	4	3.155	3.512	2.002	1.0	2.0	3.0
	3	4	3.036	3.491	2.290	0.0	1.0	1.0
	4	4	3.128	3.502	2.074	0.0	3.0	2.0
PPS AVG			3.080	3.512	1.979	0.8	1.8	2.5
PEEK	1	4	3.300	3.706	2.389	2.0	1.0	2.0
	2.	4	3.058	3.533	1.954	2.0	0.0	3.0
	3	4	3.172	3.533	1.954	0.0	1.0	3.0
	4	4	3.182	3.626	2.415	1.0	0.0	4.0
PEEK AVG			3.178	3.706	1.954	1.3	0.5	3.0

3.2 리테이닝 링의 마멸과 두께 편차

PPS와 PEEK로 제작된 각 40개씩의 리테이닝 링을 CMP 공정 현장에서 70시간씩 사용한 후 마멸에 따른 두께 편차량을 비교하였다. 측정방법은 Fig. 5와 같이 고정핀 위치를 기준으로 내외측 원주 각도별 10도 간격으로, 내경측으로는 8.74 mm, 외경측으로는 8.71 mm 만큼 이동된 직경 상의 내외경 부위 각 36개 점에서 마멸량을 측정하였다.



(a) PPS ring



(b) PEEK ring

Fig. 8 Thickness in a retaining ring

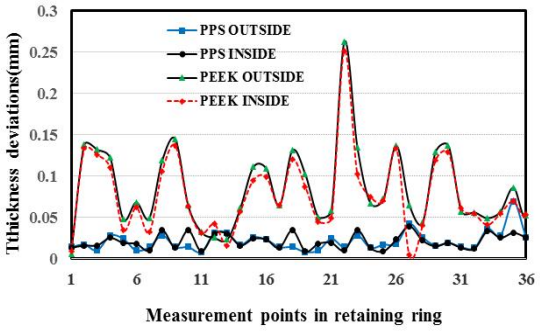


Fig. 9 Average thickness deviations of 40 samples of rings used for 70 hours

Fig. 8은 PPS와 PEEK 소재의 링 특정 시편을 대상으로 두께의 측정결과를 나타낸 그림이며, Fig. 9는 각 40개의 링을 대상으로 측정한 두께의 편차 평균치를 종합적으로 나타낸 그림이다. PPS의 경우 두께 편차가 0~0.05 mm로 전 측정점에서 거의 균일한 분포를 가지나 PEEK는 최대 0.25 mm, 평균적으로 0~0.15 mm의 분포를 보이며 두께의 불균일도도 매우 크다는 것을 알 수 있다.

따라서, 반도체 회로패턴이 미세화되고 웨이퍼의 크기가 대구경화 됨에 따라 CMP 공정에 사용되는 리테이너 링의 재질은 PEEK보다는 PPS가 더 안정적임을 알 수 있다.

PPS는 결정화도가 높고 흡수율이 작은 특징이 있으며 선팽창계수가 작기 때문에 고온, 고습 하에서도 뛰어난 치수 안정성을 볼 수 있으나 PEEK는 융점, 유리전이온도 등의 기계적 성질이나 물리적 성질 등은 PPS 보다 우수하지만 제품의 마멸특성의 안정성 측면에서는 PPS에 비해 떨어짐을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 웨이퍼의 CMP 공정에 사용되는 리테이닝 링의 소재가 모니터링 웨이퍼의 연마특성이나 링의 마멸특성에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 실험 시편으로는 압출성형된 PPS를 STS304 링에 접착한 본딩형 리테이닝 링과, PEEK와 STS304의 인서트 링을 이용하여 인서트 사출

된 리테이닝 링을 사용하여 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PEEK 경우보다 PPS를 사용 시 연마 후 웨이퍼의 평균 프로파일의 높이가 0.098 ㎛ 감소했는데 이는 PPS의 경우 연마률이 더 높다는 것을 의미한다. 또한, PPS 링으로 연마할 경우 웨이퍼 프로파일의 중심 부분은 편차가 적고 평탄도도 우수한 것으로 나타났으며 PEEK 링으로 연마할 경우 웨이퍼 전체에 걸쳐 프로파일의 편차가 PPS에 비해 크게 나타남을 확인할 수 있다.
2. PPS 링의 경우 PEEK 링보다 연마률이 높으며 프로파일의 높이 편차 또한 PEEK 링 보다 작게 나타나 전반적인 성능은 PPS 소재가 더 우수한 것으로 판단된다.
3. 산업현장에 보급된 PPS 및 PEEK 소재의 리테이닝 링 각 40개의 링을 대상으로 40시간 연마 후 측정한 두께의 편차 평균치를 구한 결과 PPS의 경우 두께 편차가 0~0.05 mm로 전 측정점에서 거의 균일한 분포를 가지나 PEEK는 최대 0.25 mm, 평균적으로 0~0.15 mm의 분포를 보이며 두께의 불균일도도 크다는 것을 알 수 있었다.
4. 이러한 실험 결과로부터 반도체 회로패턴이 미세화되고 웨이퍼의 크기가 대구경화 됨에 따라 CMP 공정에 사용되는 리테이너 링의 재질은 PEEK보다는 PPS가 더 안정적임을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. 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, No. 1, pp. 329-332, 2017.
2. 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.
3. 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.
4. Khannaz, A. J., Kakireddy, R., Jawali, P., Chockalingam, A., Redfield, D., Bajaj, R., Fung, J., Cornejo, M., Yamamura, M., Yuan, Z., Orilall, 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.
5. Park, K. W. and Park, D. S., “Effects of Insert Materials of Retaining Ring on Polishing Finish in Oxide CMP,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 8, pp. 44-50, 2019.
6. Bengochea, L. V., Sampurno, Y., Stuffle, C., 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, No. 5, pp. 253-259, 2018.
7. 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.
8. CNUS Co., LTD., Insert ring for retainer ring structure in chemical-mechanical polishing apparatus, PCT/KR2013/006119, 2013.
9. STRASBAUGH, CMP retaining ring with soft retaining ring insert, US-0295013, 2014.

10. 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.
11. 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.