

선형 롤 CMP 에서 플로팅 노즐을 이용한 연마 특성에 관한 연구

A Study on the Polishing Characteristics Using Floating Nozzle in Linear Roll CMP

이치호^{1,2}, 정해도^{1,✉}
Chiho Lee^{1,2} and Haedo Jeong^{1,✉}

1 부산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Pusan National University)
2 지앤피테크놀로지(주) (G&P Technology Inc., #304 MEMS/NANO Center, Pusan National University)
✉ Corresponding author: hdjeong@pusan.ac.kr, Tel: +82-51-510-3210

Manuscript received: 2015.4.24. / Revised: 2015.5.26. / Accepted: 2015.5.29.

Conventional etching technology is in the face of problems such as dishing, erosion resulting from non-uniform removal of film. Advanced printed circuit board (PCB) requires accurate wire formation with the aid of planarization by chemical mechanical polishing (CMP). Linear roll CMP is a line contact continuous process which removes the film by pressurization and rotation while slurry is supplied to polishing pad attached to the roll. This paper focuses on the design of floating nozzle on the linear roll CMP equipment which makes the slurry supply uniformly on the roll pad. Experimental results show that removal rate using the floating nozzle increases 3 times higher than that without it and non-uniformity is less than 15%.

KEYWORDS: Linear roll CMP (선형 롤 화학기계적 연마), Floating nozzle (플로팅 노즐), Removal rate (연마 제거율), Non-Uniformity (연마 불균일도)

기호설명

NU = Non-Uniformity

MRR_{avg} = Average of material removal rate

σ = Standard deviation of MRR

1. 서론

1930년대 영국에서 폴 아이슬러가 인쇄회로기판(Printed circuit board; PCB)를 발명 한 이후로 단면 PCB, 양면 PCB, 다층 PCB 개발 등 지속적인 개발이 진행되어 왔다. PCB는 모바일기기나 태블릿PC 등 거의 모든 전자제품의 기반으로 효율적인

부품배치와 배선의 최적화가 요구된다. 최근에는 PCB 기판의 배선 폭이나 두께가 감소하는 추세이며 배선 형성을 위한 공정으로 화학기계적 연마(chemical mechanical polishing: CMP)공정 기술이 크게 대두되고 있다.¹ 그 중에서도 플렉서블 디스플레이(flexible display) 분야의 핵심 부품인 유연성 인쇄회로 기판에 적용 될 수 있는 선형 Roll-CMP(linear roll-chemical mechanical polishing) 기술은 초박막 기판에 적용될 수 있으며, 유연성 연속흐름 생산에 적합하다.²

본 논문에서는 롤 CMP에서 기존의 노즐 대신 휠의 연삭에서 이용되는 플로팅 노즐 구조를 적용해 슬러리의 공급과 연마 특성에 대해 알아보고자 한다.

2. 연구 방법 및 내용

2.1 선형 롤 CMP 공정

기존의 로터리(rotary) CMP 공정은 플레이트(platen)에 부착된 연마패드(polishing pad)와 헤드(head)에 장착된 웨이퍼(wafer) 사이에 연마입자가 포함된 슬러리(slurry)를 공급하면서 동일한 방향으로 수십 rpm의 회전속도로 상대운동 시키며, 웨이퍼를 가압하여 가공하는 광역 표면 평탄화 기술이다. 로터리 CMP 공정은 웨이퍼 형태의 기판연마에 적합하지만, 박막 및 플렉서블 PCB의 경우 높은 마찰력으로 인한 기판의 찢김 혹은 접힘 등의 현상이 발생할 수 있으며 기존의 슬러리 공급방식에서는 기판 바깥부분의 슬러리 공급 양이 중심부분보다 많아 공급되는 슬러리의 양을 기판 전면에서 균일하게 제어하는 것이 매우 어렵다.⁴

따라서 이 논문에서는 선 접촉 메커니즘을 이용한 선형 롤 CMP 장치로 동박 적층판(copper clad laminate; CCL)의 표면 연마를 실시하였다. 선형 롤 CMP 공정은 Fig. 1과 같이 슬러리를 롤 연마패드 유닛에 공급하면서 연마패드와 연마대상물 사이의 선접촉을 통하여 테이블이 좌우 이동함과 동시에 롤의 가압하중과 회전 운동으로 재료가 제거되는 메커니즘을 가지고 있다.³

2.2 선형 롤 CMP 공정에서 슬러리 공급 방식

선형 롤 CMP 공정에서 연마결과는 다양한 인자들에 의하여 결정된다. 구리(copper)는 재료의 특성상 화학적 반응성이 뛰어나기 때문에 구리의 CMP는 기계적 요소인 압력과 속도 못지 않게 화학적 요소인 슬러리의 공급이나 특성에 대한 의존도가 아주 높다.⁵ 기존의 노즐은 슬러리가 롤 연마패드 위에 불균일하게 공급되고 비산하는 문제가 있었다. 이에 따라 연마율(removal rate; RR)이 낮아지고 연마 불균일도(non-uniformity; NU)가 높아지는 현상이 나타났다. 따라서 슬러리를 균일하게 공급하고 비산을 막아 연마결과를 향상시키기 위한 공급 방식을 모색했다.

2.3 플로팅 노즐을 이용한 슬러리 공급

원통의 연삭에서 냉각수(coolant)의 공급에 이용되는 플로팅 노즐은 노즐 상부에 의해 휠 주변의 공기 유동이 차단되고, 냉각수가 연삭 영역에 용이하게 공급된다. 높은 연삭 속도에도 연삭 지점에 정확히 냉각수를 공급하며, 기존 노즐에 비해

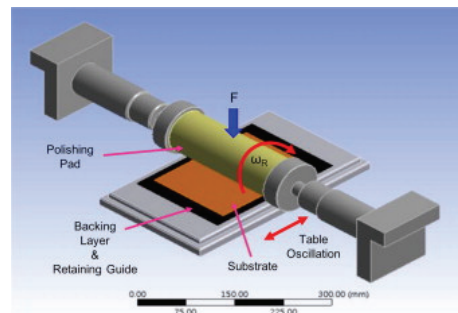


Fig. 1 Concept of linear roll CMP

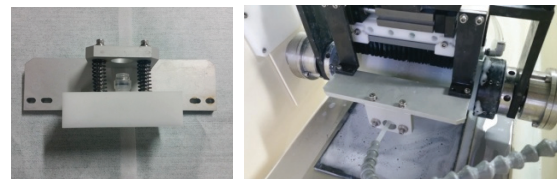


Fig. 2 Photo of floating nozzle(left) and attached it to the equipment(right)

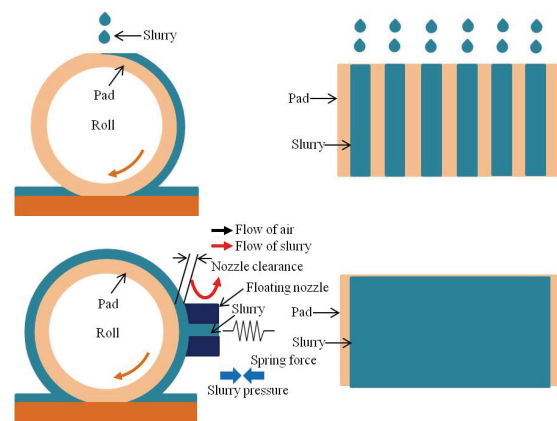


Fig. 3 Schematic of slurry supplying using conventional nozzle(above) and floating nozzle(below)

공급량을 1/5~1/10정도 감소시킨다. 노즐 팁(tip)과 휠 표면 사이의 간격이 자동 조절되며 연삭비(grinding ratio)나, 표면 조도(surface roughness), 연삭 효율(grinding efficiency)등의 연삭 성능을 향상시킨다.⁶ 이런 특징을 바탕으로 선형 롤 CMP 장치의 슬러리 공급에 플로팅 노즐을 적용시키기 위해 Fig. 2와 같이 제작하였다. Fig. 3은 기존의 노즐을 사용했을 때와 플로팅 노즐을 사용해서 롤 연마패드에 색소를 공급 했을 때의 모습이다. 기존의 노즐을 사용했을 때 보다 플로팅 노즐을 사용했을

Table 1 Experimental conditions

Parameters	Conditions or types
Nozzle type	Conventional nozzle, Floating nozzle
Pad	SUBA-Lite(Nitta haas Inc. Japan)
Slurry	MS-5000(Nitta haas Inc. Japan)
Polishing time	4min
Down force	25,30,35,40 kgf
Roll speed	300,450,600,750 rpm
Table feed	7.5mm/s
Slurry flow rate	100ml/min

때 물 연마패드에 색소를 균일하게 공급하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 플로팅 노즐의 스프링 힘으로 인해 노즐이 연마패드에 거의 밀착하여 색소가 노즐의 곡면을 따라 퍼지면서 연마패드 전면에 균일하게 공급되었기 때문이라고 판단된다.

3. 실험 조건 및 결과

3.1 실험 조건

본 연구에서는 플로팅 노즐을 선형 롤 CMP 장치에 적용시켜 연마특성을 알아보기 위한 실험을 진행하였다. Table 1은 실험 조건을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 기관은 PCB에 이용되는 CCL (ISOLAR Laminte Systems Corps.)을 이용하였다. 에폭시 레진(epoxy resin)과 continuous filament fiber glass가 19 μ m 두께의 구리막과 가열 및 가압을 통해 적층된 구조이며, 실험을 위하여 150mm \times 100mm의 크기로 준비되었다. 실험에 사용된 슬러리는 MS-5000(Nitta Haas Inc., Japan)이며 산화제(oxidizer)로 과산화수소(hydrogen peroxide: H₂O₂)로 2.3wt%가 첨가되었다. 연마율은 가공 온도에 영향을 많이 받으며, 온도 상승에 비례하여 증가하기 때문에 슬러리 온도를 45 $^{\circ}$ C로 가열하였다. 연마패드는 부직포 구조를 가진 SUBA-Lite(Nitta Haas Inc., Japan)를 사용하였다.⁷ 연마전 연마패드 표면이 전체적으로 안정된 수준의 조건에 이르게 하기 위하여, 더미(dummy)를 이용하여 20분간 브레이크 인(break-in)을 실시 하였다.⁸ 또한, 공정 간 브러쉬 컨디셔너(brush conditioner)를 이용하여 1분 동안 컨디셔닝(conditioning)을 실시하였다.⁹ 총 연마시간은 5분이었으며, 표면저항 측정기를 통해 연마 전과 후 구리 박막의 두께를 측정해서 연마율을 계산하였다. 측정은 CCL 표면의 25지점에서 이루어졌다. 본 논문에서 연마율은 공정 전의 박막 두께에서

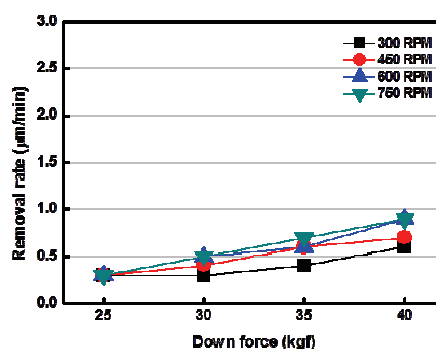


Fig. 4 Removal rate using conventional nozzle

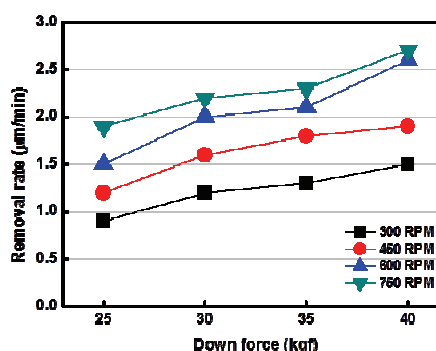


Fig. 5 Removal rate using floating nozzle

공정 후의 박막 두께를 뺀 값을 총 연마시간으로 나눈값으로 정의 하였다. 또한 연마 불균일도는 CCL의 두께편차와 CCL과의 접촉 상태 차이에 의해 영향을 받으며, CCL 두께에 대한 표준 편차를 평균으로 나눈 값의 백분율로 정의하여 계산하였다. 연마 불균일도는 아래의 식(1)로 계산되었다.¹⁰

$$NU(\%) = \frac{\sigma}{MRR_{avg}} \times 100 \quad (1)$$

3.2 결과 및 고찰

일반적으로 CMP공정에서 연마율은 프레스턴 방정식(Preston's equation)에 입각해 작용압력과 상대속도에 비례한다.¹¹ 본 실험 결과를 통해 선형 롤 CMP 공정에서도 프레스턴 방정식이 동일하게 적용이 되고 있음을 보여준다. Fig. 4와 Fig. 5를 보면 기존의 노즐을 사용했을 때는 0.3~0.9 μ m/min의 연마율을 보였지만 플로팅 노즐을 사용 했을 때는 0.9~2.7 μ m/min로 약 3배 정도로 증가 했음을 확인할 수 있었다. 기존의 노즐에 비해 플로팅 노즐을

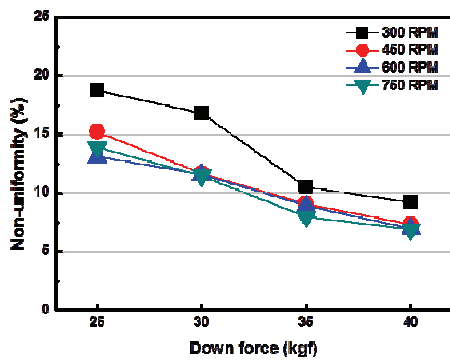


Fig. 6 Non-Uniformity using conventional nozzle

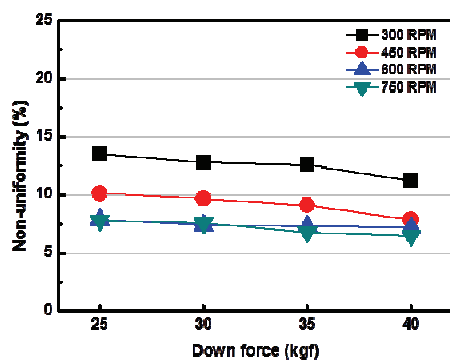


Fig. 7 Non-Uniformity using floating nozzle

사용해 슬러리를 공급한 결과 슬러리가 비산되지 않고 물 연마패드 전면에 균일하게 공급되어 연마에 참여하는 슬러리 양이 증가해 상대적으로 높은 연마율을 얻을 수 있다고 판단된다.

연마 불균일도는 CMP 공정에서 광역 평탄화의 성능을 나타내는 중요한 지표 중 하나로 공정의 수율(yield)과 직접적인 연관이 있다. 일반적인 반도체 공정과는 달리 다층회로기판 및 평탄 디스플레이 공정에서는 15% 미만 정도의 연마 불균일도를 요구하고 있다. 실험 결과 기존의 노즐을 사용했을 때는 6.9~18.8%의 연마불균일도를 보였지만 플로팅 노즐을 사용했을 때는 6.5~13.5%로 상대적으로 낮아졌음을 확인 할 수 있었다. 연마 불균일도 값은 Fig. 6과 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 두 경우 모두 물 가압 하중이 증가할수록 연마 불균일도가 감소하는 것을 확인 할 수 있는데 하중이 증가할수록 물의 진동이 감소한 것 때문이라고 생각된다. 플로팅 노즐을 사용한 경우 연마 불균일도가 향상되어 모든 조건에서 15% 이내로 들어왔다.

이는 노즐의 스프링 힘 때문에 공급되는 슬러리가 노즐의 곡면을 타고 패드 전면에 골고루 퍼져서 기판의 전면이 비교적 균일하게 연마되었다고 판단한다.

4. 결론

본 논문에서는 선형 롤 CMP 공정에서의 슬러리 공급 장치에 플로팅 노즐을 적용시켜 연마특성을 알아보는 연구를 하였다. 가압하중과 물 회전 속도 변화에 따른 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 선형 롤 CMP에서 가압 하중과 물 회전 속도가 증가함에 따라 연마율이 증가하는 현상은 프레스턴 방정식에서 압력과 속도가 증가할 때 연마율이 증가하는 현상과 동일함을 알 수 있었다.

(2) 가압 하중이 높을수록, 물 회전 속도가 높을수록 비교적 좋은 연마불균일도를 얻을 수 있다.

(3) 플로팅 노즐은 슬러리를 균일하게 공급해 기존의 노즐에 비해 3배 이상 향상된 0.9~2.7 μ m의 연마율과 6.5~13.5%의 안정적인 연마불균일도를 얻을 수 있게 한다.

(4) 선형 롤 CMP에서 플로팅 노즐을 이용해 슬러리를 공급한 결과 슬러리 비산을 방지하고, 그 결과 폐액의 양을 감소시켜 환경오염을 감소시킨다.

본 연구를 통하여 선형 롤 CMP공정에서 물 연마패드 전면에 균일하게 슬러리를 공급해서 향상된 연마결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 향후 선형 롤 CMP 공정에서 슬러리 공급 방식에 관한 다양한 연구가 이루어 질 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 2013년도 중소기업 기술혁신 개발사업의 지원을 받아 수행되었음(S2089351).

REFERENCES

- Hung, K., Chan, Y., Ong, H., Tu, P., and Tang, C., "Effect of Pinhole Au/Ni/Cu Substrate on Self-Alignment of Advanced Packages," Materials Science and Engineering: B, Vol. 76, No. 2, pp. 87-94, 2000.
- Kim, S. S., "Development of Roll CMP Machine for Large Area Micropatterns and Polishing Characteristics,"

- M.S, Thesis, Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan National University, 2013.
3. Lee, H., Wang, H., Park, J., and Jeong, H., "Experimental Investigation of Process Parameters for Roll-Type Linear Chemical Mechanical Polishing (Roll-CMP) System," *Precision Engineering*, Vol. 38, No. 4, pp. 928-934, 2014.
 4. Coppeta, J., Rogers, C., Philipossian, A., and Kaufman, F., "Characterizing Slurry Flow during CMP Using Laser Induced Fluorescence," *Proc. of the 2nd International Chemical Mechanical Polish Planarization for ULSI Multilevel Interconnection Conference*, 1997.
 5. Joo, S. B., Lee, H. L., and Jeong, H. D., "Analysis of Cu CMP according to the Variation of Corrosion Inhibitor Concentration," *Proc. of KSMPE Spring Conference*, pp. 121-124, 2008.
 6. Ninomiya, S., Qiang, F., Shimizu, T., Iwai, M., Uematsu, T., et al., "Application of a Floating Nozzle to Grinding Process Using an Edge of Grinding Wheel," *Key Engineering Materials*, Vol. 389-390, pp. 326-331, 2009.
 7. Jeong, Y. S., Kim, H. J., and Jeong, H. D., "The Effect of Slurry Flow Rate and Temperature on CMP Characteristic," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 21, No. 11, pp. 46-52, 2004.
 8. Park, J.-H., Kinoshita, M., Yoshida, K., Matsumura, S., and Jeong, H.-D., "Stability and Improvement of Polishing Pad in W CMP," *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol. 20, No. 12, pp. 1027-1033, 2007.
 9. Lee, S. H., Kim, H. J., Ahn, D. G., and Jeong, H. D., "A Study on Novel Conditioning for CMP," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 16, No. 5, pp. 40-47, 1999.
 10. Wang, H., Lee, H. S., and Jeong, H. D., "Statistical Analysis on Process Variables in Linear Roll-CMP," *Journal of the Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, Vol. 30, No. 3, pp. 139-145, 2014.
 11. Yang, W.-Y., Yang, J.-C., and Sung, I.-H., "A Study of the Effects of Pressure Velocity and Fluid Viscosity in Abrasive Machining Process," *Journal of the Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, Vol. 27, No. 1, pp. 7-12, 2011.