

컨디셔닝 공정의 수학적 모델링

장원문, 박기현, 이현섭, 정원덕, 박성민, 박범영, 서헌덕, 김형재* 정해도**
 부산대학교 정밀기계공학과, G&P Technology Co.*, 부산대학교 정밀기계공학과**

Modeling of the Conditioning Process in Chemical Mechanical Polishing

Onemoon Chang, Kihyun Park, Hyunseop Lee, Wonduck Jung, Sungmin Park,
 Boumyoung Park, Heondeok Seo, Hyoungjea Kim* and Haedo Jeong**

Department of Precision and Mechanical Engineering, Pusan National University, G&P Technology Co.*,
 School of Mechanical Engineering, Pusan National University**

Abstract : The conditioning process is very important process for the CMP (Chemical Mechaning Polishing). This process regenerates the roughness of the polishing pad during the CMP process, increases the MRR (Material Removal Rate) and gives us longer pad life so conditioning process is essential for the CMP. and conditioning process influences the polishing pad shape gradually. Conditining process is related to the Non-Uniformity. In This paper, Kinematic of the conditioning process and mathematic modeling of the pad wear is studied and result shows how the various parameters influence the pad shape and WIWNU[1]. Consequently through these parameter, optimal design of the conditioning process equipment is predicted

Key Words : CMP (화학 기계적 연마), Conditioning Process (컨디셔닝공정), Polishing Pad (연마패드), MRR (재료제거율), WIWNU (연마불균일도)

1. 서론

CMP(화학기계적연마)공정은 반도체 제조공정에 필수적인 공정을 자리잡고 있다. 반도체 회로의 고속화 및 고집적화는 1차원적으로 선폭의 최소화, 2차원적으로 칩 및 웨이퍼의 대면적화, 3차원적으로 다층배선화와 같은 구조적인 변화로 요약할 수 있다. 이러한 구조적인 변화를 이끌어 낸 핵심기술은 여러 공정기술들과 더불어 로광(lithography)기술과 평탄화(planarization)기술의 발전에 힘입은 바가 크다.

CMP는 기계적 작용과 화학적 작용의 상승효과에 의하여 재료의 표면에 결함을 남기지 않고 연마해 나가는 방법이다. 연마를 위하여 연마공구인 패드와 가공물인 웨이퍼 사이에 연마액을 개재시킨 채 압력을 가한 상태에서 서로 상대 운동시켜 연마하는 가공기구를 가지고 있다. 이러한 방법에 의하여 웨이퍼 표면의 요철이 선택적으로 제거되면서 평탄화가 이루어진다.

CMP공정에서 중요시되는 것 중에 하나는 재료제거율이다. 재료제거율은 wafer와 패드의 접촉으로 인해 패드의 거칠기가 떨어지면서 감소한다. 따라서 지속적으로 처음의 재료제거율을 유지하기 위해서는 패드의 거칠기 값을 유지시켜 주는 것이 필요하다[2].

이러한 공정으로 일반화 되어 있는 것이 바로 다이아몬드 입자를 이용한 컨디셔닝공정이다. 그 원리는 다이아몬드 입자가 패드의 표면을 갈아내게 하여 거칠기 값을 증가시키는 것이다[3].

그러나 현재 컨디셔닝 공정에 대한 연구가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 컨디셔너와 패드와의 기구학적 해석을 통해 컨디셔닝 공정의 이론적 규명을 시도하였으며, 이를 통해 polishing pad 평탄도를 유지시킬 수 있는 최적조건을 도출하고자 한다.

2. 컨디셔닝 공정의 기구학적 해석

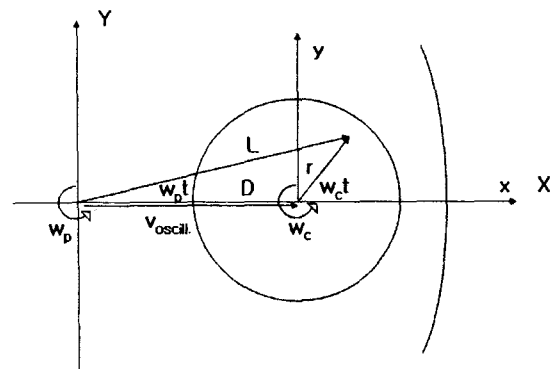


그림 1. 컨디셔닝 공정의 개략도

컨디셔너와 polishing pad의 기구해석은 wafer 연마와 polishing pad의 기구해석과 동일하게 출발하나 wafer 연마와는 달리 컨디셔닝 시의 기구해석은 polishing pad의 마멸에 초점이 맞추어진다[4].

$$\vec{V}_{w/p} = \vec{V}_w - \vec{V}_p = -\vec{W}_p \times \vec{D} - (\vec{W}_p - \vec{W}_w) \times \vec{r} \quad (1)$$

기본적으로 wafer 연마기구와 컨디셔너의 연마 기구는 동일하게 해석될 수 있으나 연마의 초점이 반대가 된다. 즉 아래의 식과 같이 해석될 수 있다[5].

$$V_{p/c} = -V_{c/p} = -V_{w/p} \quad \text{또는}$$

$$|V_{p/c}| = |V_{c/p}| = |V_{w/p}| = W_p D \sqrt{(\rho\zeta)^2 + 2\rho\zeta \cos\theta + 1} \quad (2)$$

위 식(4)에서 $V_{p/c}$ 의 크기를 알 수 있으며 이때 중심점을 컨디셔너의 중심에서 polishing pad의 중심으로 변화하면 다음의 컨디셔너와 pad의 상대속도의 크기에 관한 식을 유도할 수 있다.

$$V_{p/c} = w_p D \left\{ R + (\rho'\zeta') \cos\phi + \frac{R - \cos^2\phi}{4R^2} (\rho'\zeta')^2 \right\} \quad (3)$$

$$\rho' = \frac{L}{r_p}, \quad \zeta' = \frac{r_p}{D}(1-R), \quad R = \frac{w_c}{w_p}, \quad \phi = w_p t$$

여기서 ρ' , ζ' , R 은 polishing pad를 중심점으로 하였을 때의 무차원수이다. 위 식(5)은 쉽게 적분이 가능하기 때문에 polishing pad의 sliding distance를 구할 수 있다. polishing pad의 마멸단차의 기본 지배방정식은 preston equation을 적용한다.

$$H_0 = \int_0^{t_0} k_p V_{p/c} dt = \int_0^{t_0} k_p V_{p/c} dt = k_0 p S \quad (4)$$

위의 식(8)을 적분하여 sliding distance를 구하면 아래의 식과 같다.

$$S = \int_0^{t_0} V_{p/c} dt = w_p D t_0 \left\{ R + \frac{(\rho'\zeta')^2}{4R} \left(\frac{R-1}{R} \right) + \rho'\zeta' \right\} \quad (5)$$

그림 1에서 cos 제2법칙을 적용하여 t_0 를 구할 수 있다.

$$t_0 = \frac{2}{w_p} \cos^{-1} \left(\frac{D^2 + L^2 - r_w^2}{2DL} \right) \quad (6)$$

위식(11)을 식(10)에 대입하면 pad의 sliding distance 일반식을 구할 수 있다.

$$S = 2D \left\{ R + \frac{(\rho'\zeta')^2}{4R} \left(\frac{R-1}{R} \right) + \rho'\zeta' \right\} \cos^{-1} \left(\frac{D^2 + L^2 - r_w^2}{2DL} \right) \quad (7)$$

따라서 저자는 식(7)의 sliding distance model을 오실레이션이 적용되지 않은 컨디셔닝공정에 적용하였다. 3가지 경우의 속도비에 따른 sliding distance의 profile을 simulation하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 위 식(7)을 패드 반경(L)에 따라 도식화한 것이다. sliding distance의 profile은 반경방향에 따라 볼록한 형상을 보였으며, 속도비(R)의 값에 따라서 profile 형상도 경향성을 보이며 변화하였다. 즉, 속도비가 0.5 근방에서 완만한 경사를 가지는 sliding distance 분포를 보였으며 안정적인 패드 마멸 양상을 보인다는 알 수 있었다.

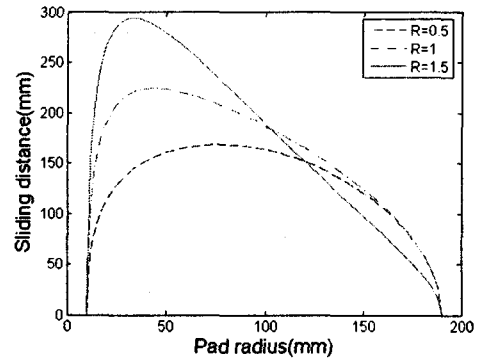


그림 2. Sliding distance 의 Profile

속도비가 1이상으로 증가하여 1.5에 도달하게 되면 profile의 최대값이 급격히 증가하면서, 패드의 중심부로 치우쳐 간다는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 영향은 패드의 불균일 마모를 일으켜 wafer의 연마균일도에 악영향을 미친다는 것을 알 수 있었다[6].

4. 결론

sliding distance 분포는 패드와 wafer 사이의 상대속도비에 따라 다른 형상을 보인다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 sliding distance 의 profile형태는 패드의 불균일 마모를 일으켜 wafer의 불균일 마모를 초래하여 CMP 공정에 악영향을 미치는 주요 변수라는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Y.Y. Zhou and E.C. Davis, "Variation of polish pad shape during pad dressing", Material Science and Engineering, B68, pp91-98, 1999.
- [2] M. R. Oliver, Chemical - Mechanical Planarization of Semiconductor Materials, pp157-158, Springer.
- [3] B. J. Hooper, G. Byrne and S. Galligan, "Pad conditioning in chemical mechanical polishing", J. of Materials Processing Technology, 123, pp107-113, 2002.
- [4] F. W. Preston, "The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machines", J. of the Society of Glass Technology, Vol.11, No. 44, pp227-228, 1927.
- [5] H. J. Kim and H. D. Jeong, "Effect of Process Conditions on Uniformity of Velocity and Wear Distance of Pad and Wafer during Chemical Mechanical Polishing", J. of ELECTRONIC MATERIALS, Vol.33, No. 1, pp53-60.2001, 2004.
- [6] H. Hocheng, H. Y. Tsai, M. S. Tsai, "Modeling and Experimental Analysis of the Material Removal Rate in the Chemical Mechanical Planarization of Dielectric Films and Bare Silicon Wafers", Intl. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol.40, PP 1651-1669, 2004.