

패드 프로파일에 따른 웨이퍼 표면의 스트레스 분포 Stress Distribution on the Wafer according to Pad Profile

*오지현, 조한철, 안준호, 박선준, 이현섭, #정해도

*J. H. Oh, H.S. Lee, H.C. Cho, J.H. Ahn, S. J. Park, #H. D. Jeong (hdjeong@pusan.ac.kr)

부산대학교 기계공학부

Key words : Stress distribution, Pad profile, WIWNU

1. 서론

최근 반도체의 배선 폭이 더욱 세밀화 되고 다층화 됨에 따라 웨이퍼(wafer) 표면의 광역평탄화에 대한 요구가 심화되고 있다. 광역평탄화를 실현하기 위해서 화학기계적 연마 (CMP; Chemical Mechanical Polishing)가 주로 사용되고 있으며, CMP 장비는 기본적으로 패드 (Pad), 연마헤드 (polishing head) 그리고 컨디셔너 (Conditioner)로 구성되어 있다. 연마 헤드와 패드 사이에 웨이퍼가 위치하며 연마 중 슬러리 (Slurry)가 유입된다. 슬러리의 화학적인 작용과 연마헤드와 패드의 상대 운동으로 웨이퍼의 광역평탄화를 이룬다. 폴리싱 상태를 평가하는 방법으로 웨이퍼내 연마 균일도 (WIWNU; Within wafer non-uniformity)와 웨이퍼 사이의 연마 균일도 (WTWNU; Wafer to wafer non-uniformity), 연마율 (Removal Rate)이 있다. 웨이퍼내 연마 균일도에 영향을 미치는 인자 중 큰 비중을 차지하는 것이 압력과 속도이다.

컨디셔닝 공정은 패드의 거칠기를 일정하게 유지 시키며 연마잔류물을 제거하여 웨이퍼의 연마율을 일정하게 유지시킨다[1]. 그러나 컨디셔닝 공정은 패드 표면을 불균일하게 마멸시키며 불균일한 패드 프로파일(Profile)을 만들 수 있다[2].

D. Wang [3] 등은 웨이퍼가 압력을 받았을 때 웨이퍼에 나타나는 응력을 분석 하였으며 Srinivasa-Murthy [4] 등은 시뮬레이션을 통해 웨이퍼 표면에 생기는 응력 분포를 분석하였다. 이들은 패드 표면이 이상적으로 평평하다고 가정하고 해석을 하였다. 하지만 패드 표면은 컨디셔닝 공정에 의해 불균일한 프로파일을 가지며 공정을 진행함에 따라 패드 프로파일의 균일도는 나빠지게 된다. 변화된 패드 프로파일은 웨이퍼의 응력 분포를 변화시키며 연마 균일도에 영향을 미칠 수 있으므로 패드 프로파일의 변화에 따른 웨이퍼의 응력 분포를 이해하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 Deform-2D 를 통해 패드의 변형에 따른 웨이퍼 표면의 Von Mises 응력 해석을 통하여 웨이퍼의 WIWNU 와 스트레스 분포의 관계를 고찰하였다.

2. 응력 시뮬레이션 모델링

CMP 공정 중 웨이퍼에 응력을 일으키는 요소에는 연마 헤드에서 웨이퍼를 누르는 힘과 패드와 웨이퍼 사이의 상대속도 차이로 인한 전단 응력이 있다[5]. 만약 웨이퍼와 패드의 각속도가 같을 때는 웨이퍼 전 영역에서 상대 속도가 동일함으로 웨이퍼 표면에 작용하는 전단 응력은 균일하게 된다[6]. 따라서 웨이퍼의 WIWNU 는 웨이퍼와 패드의 각속도가 동일할 경우 연마헤드 하중에 의한 응력분포와 관련 있다.

응력 해석은 다음과 같은 가정하에 진행되었다. 패드 프로파일의 마멸된 깊이에 따른 웨이퍼 표면의 응력 분포를 얻기 위해 프로파일이 마멸이 30um, 60um, 90um 일 때 시뮬레이션을 수행하였으며 선행연구와 비교하기 위해 패드 프로파일이 편평할 (flat) 때 또한 시뮬레이션을 수행하였다. Fig.1 과 같이 구조적 모델링에서 각 요소들의 끝 부분은 직각으로 가정하였고, 각 구조물의 재료 성질은 동일

하며 웨이퍼에 하중이 작용하기 전 까지 각 구조물에 작용되는 힘은 없다고 가정하였다. 재료의 물성치는 Table1 에 나타내었다. 웨이퍼와 패드 사이의 마찰계수는 마찰력 모니터링 장치를 이용하여 측정하였으며 물성치와 각 구조물에 대한 치수는 Srinivas-Murthy 연구를 참고 하였다. 경계 조건은 연마헤드 위로 균일한 압력이 작용하며 연마패드의 밑부분은 고정되어 있다.

Table 1 Typical dimensions and Material property of an 8inch wafer system [4]

Part dimension (mm)	Head	Wafer	Pad
Radius	100.33	100.08	558.9
Thickness	7.62	0.706	1.397
Material property	Head	Wafer	Pad
E (GN/m ²)	193000	193000	2.29
Poisson ratio	0.3	0.3	0.1

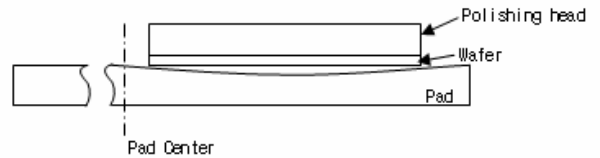


Fig. 1. Schematic of the simulation model

3. 응력 분포 계산 결과

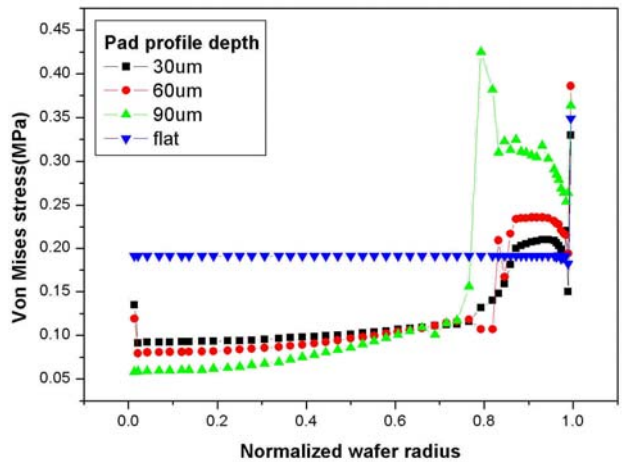


Fig.2. Von Mises stress as a function of wafer radius

Fig. 2 는 웨이퍼의 중심에서부터 끝까지 반지름 방향으로 Von Mises 응력 분포를 도시하였다. 패드가 편평할 때 웨이퍼 끝 부분에서 응력이 급증한다. 이 결과는 Srinivas-Murthy 등에 의해 연구된 결과와 일치된 결과이다.[4] 패드가 컨디셔닝에 의해 점점 오목해짐에 따라 웨이퍼 끝 부분에 응력 집중도가 크고 넓게 나왔으며 패드의 최대 마멸 깊이가 90um 일 때 응력 불균일도가 가장 크다. 또한 웨이퍼의 가운데 부분에는 패드가 편평할 때 보다 패드가 오목한 프로파일을 가졌을 때 작은 응력 값을 가진다. 패드의

최대 마멸깊이가 90um 일 때 중간에 갑자기 증가하는 응력은 Fig.3 에서 볼 수 있듯이 웨이퍼가 패드 모양에 따라 변형하게 되므로 국부적인 응력 값을 높게 받은 것이다. 웨이퍼의 변형이 매우 작으므로 육안으로 확인할 수 없지만 응력 분포를 통해 알 수 있다.

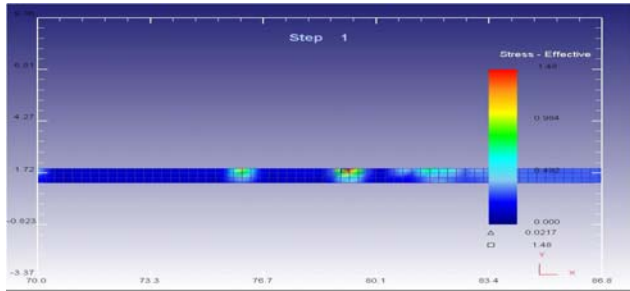


Fig.3. Local stress distribution of pad worn to 90um

4. 패드 프로파일에 따른 웨이퍼 연마

패드 프로파일에 따른 웨이퍼 연마 실험을 수행하였다. G&P Tech 의 POLI400 으로 CMP 공정을 실시하였으며 연마 헤드와 패드, 컨디셔너의 회전 속도는 80 rpm으로 동일하게 하였고 웨이퍼에 작용되는 압력은 300g/cm²으로 하였다. 패드 프로파일을 만들기 위해 컨디셔닝 공정을 20 분 간격으로 수행하였으며 컨디셔닝 후 웨이퍼를 연마하여 재료 제거율과 WIWNU를 확인하였다. 패드 프로파일을 확인하기 위해 접촉식으로 패드의 상대적인 위치 변위를 측정하는 G&P Tech의 PMS-800 (Profile measuring system)을 사용하였다. Fig. 4 는 컨디셔닝에 따른 패드 프로파일의 변화이다. 컨디셔닝 시간이 누적됨에 따라 패드 프로파일의 오목한 부분이 깊어지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 5 에서는 웨이퍼의 재료 제거율을 반경 방향으로 도시하였으며 Fig. 6 은 WIWNU와 재료 제거율을 각 Run time에 따라 도시하였다.

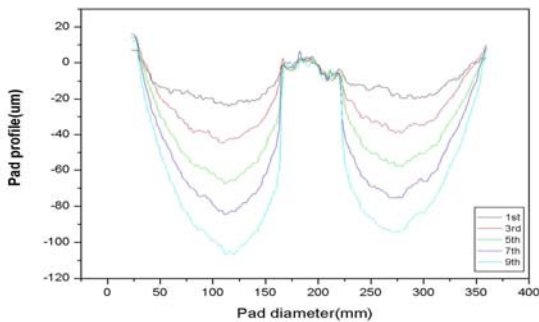


Fig.4. Pad profile change according to conditioning time

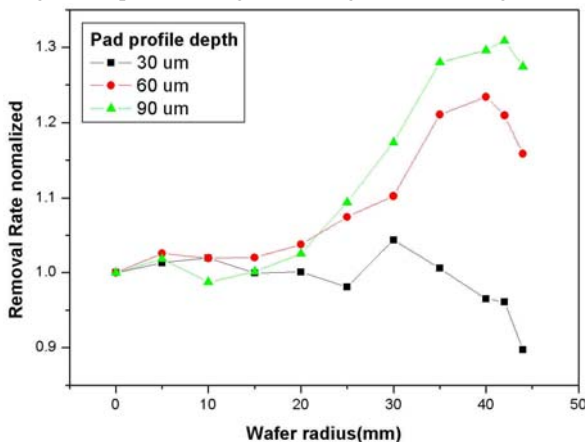


Fig.5. Normalized removal rate according to max amount of pad wear

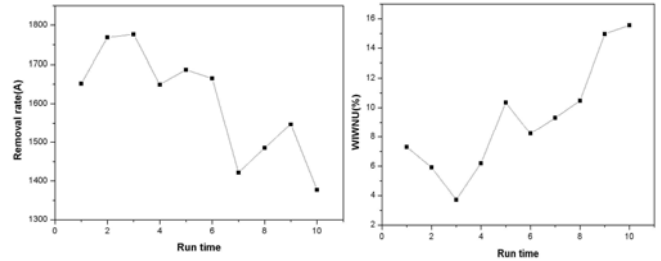


Fig.6. Removal rate and WIWNU according to run time

실험 결과에서 보듯이 패드 프로파일의 변화가 심해질 수록 최대 마멸깊이는 커지며 웨이퍼 반경 방향으로 재료 제거율이 점차 불균일하게 된다. 시뮬레이션에 의한 응력 분포에서와 같이 웨이퍼의 끝 부분에 재료 제거량이 높게 나왔으며 Fig. 6 에서는 공정이 진행 되면서 재료 제거량이 감소하는 경향을 보인다. 이는 시뮬레이션에서도 확인할 수 있듯이 프로파일이 오목해짐에 따라 웨이퍼에 작용하는 응력이 작아지기 때문이다. 또한 패드 프로파일이 오목할수록 웨이퍼 표면에 응력 불균일이 일어나며 그에 따라 WIWNU 가 증가한다.

5. 결론

연마 헤드에 의해 웨이퍼에 하중이 작용할 때 패드 프로파일의 변화에 따른 Von Mises 응력 분포를 유한요소 해석 프로그램인 Deform-2D 를 통해 계산하여 확인하였다. 또한 실제 프로파일의 변화에 따른 연마결과를 통해 응력분포에 대한 영향을 고찰하였다. 이를 바탕으로 웨이퍼의 응력 분포는 연마 품질에 영향을 크게 미치는 것을 알 수 있으며 패드 프로파일이 오목해 짐에 따라 응력 분포는 불균일하게 되며 WIWNU 는 나빠진다.

후기

본 연구는 과학기술부/ 한국과학기술재단 국가 핵심 연구 센터 사업 (R15-2006-022-01003-0) 지원으로 수행 되었음

참고문헌

1. B.J. Hooper, G. Byrne, "Pad conditioning in chemical mechanical polishing," Journal of Materials Processing Technology, 123, 107-113, 2002.
2. Sangjik Lee, Woonki Shin, Haedo Jeong, "Kinematical approach on pad surface profile induced by pad conditioning in CMP," ASPEN, 2007.
3. D. Wang, S. Beaudoin, J. Lee, T. Bibby, K. Holland and T. Cale, J. Electrochem. Soc., 144(3) (1997) 1121.
4. C. Srinivasa-Murth, D. Wang, S.P. Beaudoin, "Stress distribution in chemical mechanical polishing," Thin Solid Films, 533-537, 1997.
5. J. Patric and W.L. Guthrie, J. Electrochem. Soc., 138, 1778, 1992.
6. Hyoungjae kim, Hoyun kim, Haedo Jeong sunghoon Lee and David dornfeld, "Kinematic Analysis of chemical mechanical polishing and its effect on polishing results," Key Engineering Materials Vols. 238-239, pp.229-234, 2003.