

POST-CMP CLEANING USING A SINGLE WAFER MEGASONIC CLEANER



장성규
Swico Korea 지사장

1. 개요

Megasonic을 이용한 매업방식의 세정방법은 연마와 세정공정이 통합되는 Dry-in/Dry-out CMP 공정을 필요로 하는 반도체 산업을 겨냥하여 발전되었다. 슬러리 defect을 제거하기 위해, 피에조 전기 변환기는 웨이퍼 바로 위에 위치한 Quartz 막대를 따라 소리 에너지를 전도시킨다. 그렇게 해서, 이 소리 에너지는 Quartz 막대와 웨이퍼 사이에 형성되는 수막을 통해 웨이퍼로 전도된다. 또한 소리 에너지는 웨이퍼를 투과하여 웨이퍼의 뒷면에 까지 전도된다. Spinner와 스프레이 노즐을 통해 웨이퍼의 양면 모두에 적용되는 화학 약품에 의해 웨이퍼는 계속 세정되고, 이어 Rinsing, Drying 이 그 Spinner 위에서 계속된다. 연마된 웨이퍼 실험을 통해 Megasonic 방식이 PVA 브러쉬 스크러버 방식의 세정 만큼의 Defect 결과를 가져다 준다는 것을 증명했다. 소리 전도의 특성화를 위해서 Quartz 막대와 웨이퍼의 거리가 미치는 영향은 슬러리 제거 테스트에 의해 평가되었고, 2차원적 소리 압력 시뮬레이션의 결과로 비교되었다. 두 실험 모두, Quartz 막대와 웨이퍼 간의 거리는 3/4에서(0.14에서 0.18

cm)를 권장한다. Quartz 막대 길이가 미치는 영향에 대한 평가와, 웨이퍼 뒷면의 defect 제거 증명에 의해 소리에너지의 전도는 더욱 특성화 되었다.

2. 소개

반도체 제조에서의 주요 공정으로서 화학적 기계적 평탄화(CMP)의 급속한 발전은 널리 보고 되어왔다 [1]. 많은 제조업체들은 연마기와 세정 장비가 결합되어진 자동화된 CMP 공정을 원한다. 건조 상태의 평탄화 되지 않은 웨이퍼의 투입과, 건조 상태의 평탄화 된 웨이퍼의 배출이 가능하기 때문이다. 오퍼레이터는 젖은 상태의 웨이퍼를 다루지 않는 이른바 Dry-in/Dry-out CMP 공정이 가능한 것이다[2].

CMP 후 세정은 연마시 사용된 잔여 연마제의 Particle을 제거하는데 필요하다. 일반적으로 PVA 브러쉬 스크러버는 실리카와 알루미나 Particle을 제거하기 위해 사용되어 왔다[3]. 또한 이런 접촉 방식보다 소리에너지를 이용하는 세정방법이 생산라인에서 사용되어 왔고, 논문에도 발표되었다[4]. GoldfingerTM(GF)는 Dry-in/Dry-out CMP 공정을 위한 연마기와 결합된 매업 방식의 Megasonic을 이용한 세정 장비이다. 이 세정 실험과 모델링 실

험의 목표는 소리 분산과 그 분산된 소리의 영향에 의해 Particle이 제거되는데 있어서의 이해를 높이는 것이다.

2.1. 실험에 의거한 Megasonic 세정 장비의 설명

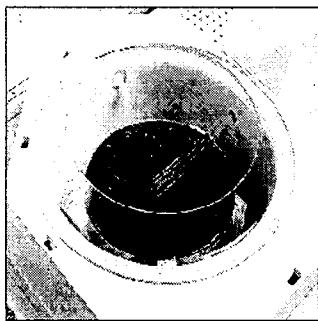


Fig. 1. GoldfingerTM 세정 모듈에서 웨이퍼 위에 위치한 Quartz finger

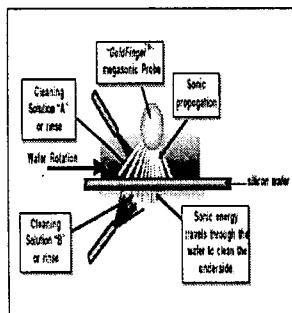


Fig. 2. Quartz 막대로부터의 Megasonic 에너지의 전파와 웨이퍼 표면의 위, 아래로 세정 액이 분산되는 것을 나타낸 도식적 묘사.

세정 실험은 매연 방식의 non-contact 세정 모듈인 GoldfingerTM(GF)에 의해서 진행되었다 (Figure1 & 2). 공정에 직접적으로 영향을 미치는 구성 요소들은 (1) 웨이퍼 척과 회전기, (2) Megasonic 변환기와 전도기 그리고 (3) 화학 약품 전도 시스템이다. Megasonic은 Quartz 막대가 부착된 피에조전기 변환기로 구성 된다. 소리(=830 Hz)는 변환기에서 Quartz 막대를 통해 수막을 거쳐 최종적으로 웨이퍼에 전도된다. Quartz 막대는 단지 웨이퍼 위에 있지만, 웨이퍼를 투과한 소리의 전

도에 의해 뒷면의 세정까지 이루어 진다. 화학 약품은 웨이퍼 위, 아래에 있는 스프레이 노즐을 통해서 웨이퍼로 전달 된다.

화학 약품 회석은 모듈내의 저장 탱크에서 계량 펌프에 의해 공급되는 원액 화학 약품을 DI H₂O와 회석함으로써 이루어진다. 모듈 내의 다양한 화학 약품은 웨이퍼의 앞면과 뒷면에 또는 각각의 면에 여러 단계의 화학 약품 적용을 가능하게 한다. 그리고 Rinse를 위해 분리된 스프레이 노즐 셋트가 있다. 웨이퍼는 1500~2000rpm에서 웨이퍼를 회전하여 건조 된다. 이때 Quartz 막대는 모듈 안으로 들어간다.

2.2 웨이퍼 준비

슬러리로 오염된 실리콘 웨이퍼는 (1) 물속에서 미리 적셔서, (2) Cabot SS-25 슬러리 안에 10초간 담그고, (3) 다시 10초간 회석된 표면활성제 안에 옮겨 놓고, (4) 사용하기 전에 Spin Dryer를 거쳐 말려서 준비되었다. Si₃N₄로 오염된 웨이퍼는 Spin Dry에 의한 결과로서 떠도는 Si₃N₄를 포함하는 수용액 속에 담그어 준비했다. 연마된 PE-TEOS 웨이퍼 실험에서는 외부에서 웨이퍼 연마 공정을 한 후에, 젖은 상태로 웨이퍼 세정을 위해 Goldfinger로 옮겨졌다. 세정 실험은 웨이퍼 연마 공정 다음 3일 후에 이루어졌다. 브러쉬 스크리버로 진행된 split lot test는 연마 공정 후 같은 장소에서 세정이 이루어졌는데, 이 웨이퍼들은 외부에서 연마되어져 Goldfinger로 운반된 웨이퍼들처럼 운반되는 기간 만큼의 시간 동안 물 속에 보관 되었다. 웨이퍼 위의 defect이나 오염 정도는 Tencor 6400에 의해서 측정 되었다(>0.20 um, gain 6, edge exclusion 3 mm).

2.3 모델링

이 임시 연구에서, 일반적인 2차원적 음향 압력장은 음향선 방법(ray acoustic method)과 corresponding 코드를 이용하여 수치적으로 시뮬레이션 되었고, 그 방법은 이미 예전에 자세히 설명되었다 [6]. 이 시뮬레이션을 위해서 Quartz 막대의 크기 (3/8" 직경)와 그리고 Quartz 막대와 웨이퍼 간의 거리가 이용되었다. 계산된 범위는 6×7 mm였는데, 그것의 대칭으로 인해 Quartz 막대의 1/4이 범위 안에 포함되었다. 87×101의 격자망사가 사용되었다. 물과 웨이퍼 그리고 물과 Quartz 막대가 서로 원활히 상호 작용 하기 위해 0.9의 반사 계수, 수중에서는 0.019/m의 소리감소계수가 사용되었다. 각각

의 음원에서는 6000개의 선들이 물속에서의 전파를 위해 방출되었다.

3. 결과와 토론

3.1 Post-CMP defect 결과

Megasonic 세정이 브러쉬 스크러버 세정의 대안으로 실행이 가능하다는 것을 증명하기 위해, 연마된 웨이퍼의 defect 결과를 보여준다. PE-TEOS 웨이퍼를 연마 후 2개 웨이퍼 그룹으로 나누었다. 한 그룹은 Megasonic 공정을 위해 Goldfinger로 옮겨졌고, 또 다른 그룹은 PVA 브러쉬 공정을 위해 남아서 진행됐다. 물 안에 3일동안 담가둔 후에, 양쪽의 그룹은 회석된 수용성 암모니아에 의해 세정 됐다. 세정 결과는 기술적으로 비슷하다(Fig. 3).

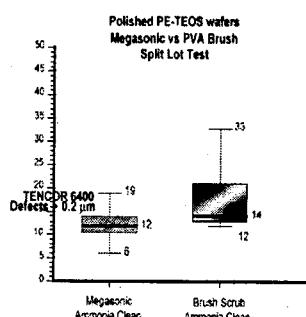


Fig. 3. PE-TEOS 연마 후 split lot 세정 : Megasonic 대 브러쉬 스크러버 : Tencor 6400에 의해 측정된 결과(>0.20 m)

3.2 소리 전도 : Quartz막대와 웨이퍼간의 영향

Quartz 막대와 웨이퍼 사이에서의 수막의 형성은 소리 전도에 있어서 매우 중요하다. 이 수막은 액체 전달 방법(유입량, 속도, 점착성 그리고 노즐 방향), 소리의 세기와 주파수, Quartz막대와 웨이퍼간의 거리, 그리고 웨이퍼의 회전 속도를 포함한 몇몇의 변수에 의해 영향을 받는다. 수막의 이러한 영향외에, Quartz막대와 웨이퍼간의 거리 또한 소리 전도에 영향을 미친다. 왜냐하면 그 거리는 물 속에서 음의 파장(megahertz range)과 비슷하기 때문이다.

슬러리 제거 테스트가 실험되었고, 그 틈새 거리의 영향에 대한 수월한 이해를 위해서 2차원적 소리 압

력 시뮬레이션의 결과와 비교되었다. 이 슬러리 테스트의 결과는 Figure 4에서 보여진다.

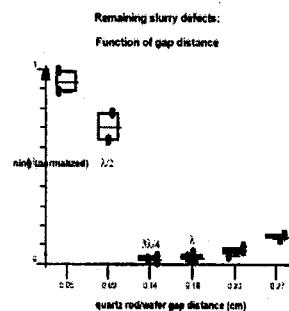


Fig. 4. Quartz막대와 웨이퍼 간 거리의 함수로서 나타낸 슬러리 제거 실험과의 관계.

Fig. 4는 이 거리들과 슬러리 제거 실험 결과와의 관련성을 보여준다.

틈새 거리는 0.05에서 0.27cm 까지 다양하고, corresponding 거리는 1/2, 3/4, 1 파장이 선택 되어졌다. 1/2λ 보다 더 멀 거리는 짧은 거리보다 상당히 월등한 세정 효과를 나타냈다. 3/4λ에서 1λ의 범위가 최고의 결과를 나타냈다.

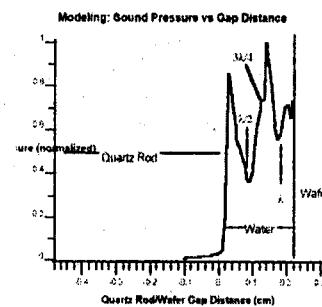


Fig. 5. 음향선 방법 모델. Quartz막대와 웨이퍼 간 거리의 함수로서 Quartz막대 밑의 표준화된 음향 압력을 나타낸다.

막대, 물 그리고 웨이퍼 사이에서 발생하는 반사 모델링은 소리 전도가 웨이퍼에 미치는 영향에 대한 이해를 더욱 돋는다. Figure 5는 웨이퍼로 부터의 거리 함수로서 Quartz막대의 축을 따라 표준화된 음향 압력을 보여준다. 그 시뮬레이션은(ref 6에서 음

향선 방법에 대해 자세히 설명) Quartz 막대, 물 그리고 웨이퍼의 1/4의 기하학적 차원을 포함하는 6×7 mm 범위를 사용했다. 음향선은 Quartz 막대 표면에 위치한 음원으로부터 방출되고, 그 경계에서의 반사 계수는 이 범위 내에서 소리 반사의 시뮬레이션을 위해 허용됐다. 절대 소리 압력 값은 결정되지 않았다.

Figure 5에서는 단지 표준화된 값을 보여준다. 비록 이 모델이 매우 임시적이고 세정을 위해 어떤 표준화된 소리 압력을 필요로 하는지에 대해서는 미정이지만, 이 모델은 슬러리 세정에서 defect를 감소시키기 위한 대응 거리가 최저 $1/2\lambda$ 임을 보여준다 (Figure 4). $1/4\lambda$ 에서 증가되고 예측되는 압력은 슬러리 dip 테스트 상의 그 거리에서 보여진 좋지 않은 세정을 설명할 수 없음에 주의해야 한다.

3.3 소리 전도 : 웨이퍼 표면과의 평행

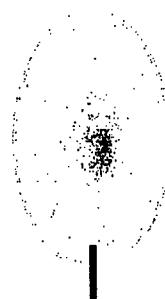


Fig. 6. Quartz 막대(검정 직사각형으로 표시된)가 웨이퍼 가장자리에서 단지 $1/2$ 만큼만 위치했을 때 나타난 defect 모양. 세정은 웨이퍼의 가장자리에서 3 까지 실행된다.

일반적인 화학 약품 공정에서 Quartz 막대는 웨이퍼의 가장자리에서 웨이퍼의 중앙으로 나와서 웨이퍼 위에 위치한다. 웨이퍼가 회전하기 때문에 Quartz 막대는 웨이퍼의 전면을 거치게 된다. 위의 모델링은 Quartz 막대의 바로 밑에 위치한 웨이퍼로의 소리 전도를 연구한 것이다.

그러나, 소리의 분산이 Quartz 막대의 길이를 넘어서 전도되는 것임을 Quartz 막대를 점차적으로 모듈안에 넣어 그 길이를 줄이면서 떠도는 슬러리를 제거하는 실험을 통해서 증명하였다.

Figure 6은 Quartz 막대가 가장자리에서 $1/2$ 만 놓여졌을 때 제거 되지 않은 defect을 보여준다. 이 때, 소리는 가장자리로부터 3 까지 영향을 미쳤다.

이것은 소리가 Quartz 막대의 끝을 넘어서 웨이퍼 표면으로 평행하게 상당히 전도됨을 증명한다.

3.4 웨이퍼를 통한 소리 전도

Quartz 막대가 단지 웨이퍼의 앞면에만 위치하지만, Megasonic 에너지는 웨이퍼 뒷면의 슬러리까지도 제거한다. 웨이퍼를 통한 소리에너지 전도는 일반적인 입사각에서 Quartz 막대 바로 밑에서 웨이퍼 표면에 영향을 주는 소리 파형 때문이다.

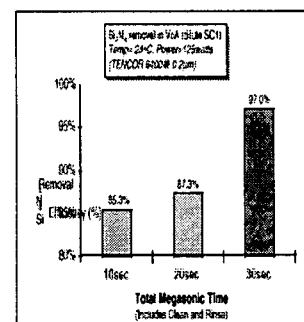


Fig. 7. 공정 시간의 함수로서의 나탄낸 웨이퍼 뒷면의 세정 효과

Figure 7은 웨이퍼 뒷면의 세정 결과를 보여준다. Megasonic 에너지에 의해 실리콘 질화물 Particle은 제거되고, 30초 진행 후 97%까지 제거됨을 보여준다.

4. 결 론

앞에서는 Megasonic 세정을 이용하는 매염방식의 Post-CMP 세정 효과를 보여주었다. 이 방법으로 연마 장비와의 Dry-in/Dry-out CMP 공정이 가능하게 된 것이다. 소리에너지에 대한 특성은 슬러리 제거 실험과 소리 반사 모델링에 의해 입증되었다. 이외에 다른 많은 소리의 특성들은 이 비접촉(Non-Contact) 방식을 사용함으로써 세정 효과를 향상시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] (a) M. Fury, Solid State Tech., April (1995) 47.

- (b) M. Martinez, Solid State Tech., Sept (1995) 44.
- (c) P. Buggraaf, Semiconductor Intl., Nov (1995) 74.
- [2] M. Mainpour, presentation at VMIC (1998).
- [3] W. Krusell, J. de Larios and J. Zhang, Solid State Tech, June (1995), 109. (b) D. Hymes and I. Malik, Micro, Oct (1996) 55.
- [4] I. Constant, S. Marthon, T. Lardin, C. David, M. N. Jacquemond and F. Tardif, ECS Proc, 35 (1997) 626. (b) S. R. Roy, I. Alli, G. Shinn, N. Furusawa, R. Shah, S. Peterman, K. Witt, S. Eastman, P. Kumar, J. Electrochem. Soc., 142 (1995) 216. (c) B. Fraser, M. Olesen, T. Phan and B. Morrison, ECS Proc., 35 (1997) 634.
- [5] D. Riley and R. Carbonell, J. IES (1991) 28.
- [6] Y. Wu, Ph. D. thesis, Univ of Minn (1997).