

Development of watermark free drying process on hydrophobic wafer surface for single wafer process tool

임정수*, 최승주*, 성보람찬*, 구교욱*, 조중근*

*SEMES Co.,LTD, R&D Center

초록

반도체 산업은 회로의 고밀도화, 고집적화에 따라 웨이퍼 표면의 입자, 금속, 금속 이온, 유기물 등 오염물의 크기가 미세해 지고 세정에 대한 요구 조건이 더욱 엄격해지고 있다. 현재 세정 공정은 반도체 제조공정 전체에서 약 30%를 차지하고 있으며, 습식 세정 방식이 주로 사용되고 있다.[1] 습식 세정방식은 탈이온수로 린스하고 건조하는 공정이 필연적으로 따르며, 기판 표면에 건조과정에서 물반점이 남는 문제가 가장 큰 이슈로 남아 있다. 본 연구는 웨이퍼의 습식 세정 공정에 사용되는 DHF Final Clean Process후 IPA Vapor를 이용한 건조 방법을 기술 하였다. Single wafer spin process를 이용하였으며, 웨이퍼 Process 공간을 밀폐 후 N2가스를 충전하여 대기중의 산소 오염원 유입을 차단하고 수세 및 건조 가스를 이용하여 건조시킴으로써 SiF_x의 SiO_x로의 치환을 방지 하여 건조 효율 향상을 목적으로 한다. Bare 웨이퍼에서 65nm 이상 오염 발생 증가량을 측정 하였으며, 공정 후 웨이퍼 오염 발생량을 35개 이하로 확보 하였다.

1. 서론

반도체 기술이 발전함에 따라 기판 표면의 청정화에 대한 요구가 더욱 심해지고 있다. 특히 습식 세정 공정은 종래의 Bath Type 에서 Single Wafer Type으로 발전되어 왔으며, 이에 따라 습식세정 후 건조 공정도 계속 진화를 하고 있다. 매엽식 습식 세정 공정에서의 건조는 스핀 건조가 널리 사용되었지만 고속회전에 따른 웨이퍼의 대전에 의한 Particle 흡착 및 회전 부분의 발진, Trench 파손 (Pattern Broken)등의 문제뿐만 아니라 패턴의 미세화에 따라 물반점 발생이 높아지고 이에 매엽식 스핀 건조와 건조 가스를 같이 사용하는 기술로 발전하게 되었다.[2] 특히 물반점은 웨이퍼 상에 잔류하는 물방울에 산소가 결합하여 발생하는 것으로 소수성으로 치환된 웨이퍼의 경우 미세한 물방울 상태로 표면에 잔류하여 SiF_x의 SiO_x 로의 치환되어 미세 파티클로 측정되는 SiO₂의 발생을 촉진 하게 된다.[3] 최근 이를 방지하고자 IPA Liquid를 직접 DIW 처리된 소수성 웨이퍼 표면에 분사는 건조 공정도 사용되고 있으나 이러한 방법은 IPA 의 사용량이 증가되어 반도체 제작 비용의 증가로 이어지며 이를 위해 적은 IPA 사용량으로써 효과적인 건조 효율 향상을 요구하고 있다.

본 연구는 소수성으로 치환된 웨이퍼 표면의 효율적인 건조를 위해 공정 Chamber를 밀폐하여 산소 유입을 차단하였으며, 이로서 DIW 처리 후 미세 물방울들과 주변 산소와의 결합을 방지하여 SiF_x의 SiO_x로의 치환을 방지하고 건조 가스로 IPA Vapor를 사용 함으로써 그 사용량을 효과적으로 줄일 수 있도록 하였으며, 밀폐된 Chamber 내 N2가스를 Purge 시켜줌으로써 웨이퍼로의 재오염을 방지하여 건조 공정 후 Particle 증가량을 최소화 하고자 하며, 이때의 공정 인자에 대한 영향성을 확인하는 것을 목표로 하였다. [2-5]

2. 실험 방법

평가에 사용한 설비는 당사(SEMES Co., LTD)에서 양산 중인 매엽식 습식 세정 설비를 발전시켜 진행 하였다. 당 설비는 웨이퍼 이동 및 약액 분사등의 일련의 동작을 자동으로 제어 할 수 있으며, 웨이퍼를 소수성 표면으로 치환 시키기 위한 상부 약액 노즐과 건조공정시 Chamber를 밀폐 시킬 수 있

는 Dry Cover를 구성 하였으며, Dry Cover 내부에서 DIW 와 IPA Vapor를 분사하며, 이동 할 수 있는 Dry Nozzle로 구성 되었다. 그림 1 공정 진행에 사용된 평가용 매엽식 습식 세정 설비의 모습이며, 그림 2는 건조 공정을 위한 밀폐 Chamber의 모식도 이다.

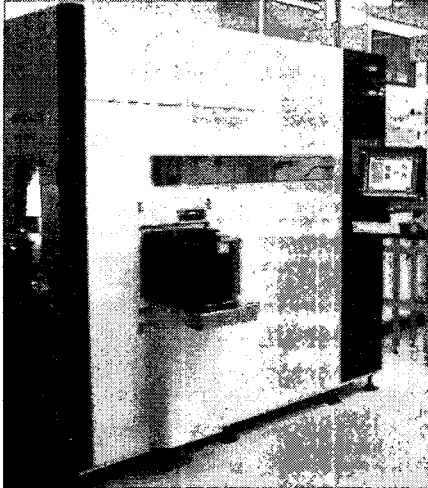


그림 1. 평가용 매엽식 세정 설비

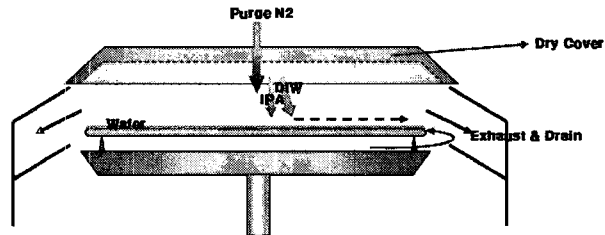


그림 2. 밀폐 Chamber 모식도

Dry Nozzle과 웨이퍼와의 거리는 2.5mm를 유지하며, 웨이퍼는 6개의 Chuck에 의해 고정되어 Spin Head와 함께 회전하게 된다. 웨이퍼는 Bare 웨이퍼 Test Grade를 사용 하였으며, 이때 초기 웨이퍼 오염은 0.065 μ m 이상크기의 파티클 100개 이하로 사용하였다. 웨이퍼를 소수성 표면으로 치환하기 위해 DHF 30:1(DIW/HF)를 13초간 전처리 하였으며, 이후 Rinse 및 Dry 공정을 진행한 후 웨이퍼 파티클 증가량을 측정 하였다. 건조 공정은 소수성으로 치환된 웨이퍼를 Chamber에 안착시킨 후 Dry Cover를 이용하여 밀폐하고 Dry Cover 중심부에서 Purge N2를 분사하여 Chamber 내부에 산소 농도를 감소시켰으며, Dry Nozzle을 웨이퍼 중심부에서 가장자리까지 이동시켜 건조를 완료하였다. 이때 Dry Nozzle 에서의 DIW 는 12 LPM를 분사 하였으며, IPA Vapor 농도 및 유량 그리고 Chamber 배기압력을 각각 변화를 주어 평가 하였다.

실험 전 후의 결과 측정은 KLA 사의 SP-1을 사용하였으며, 0.065 μ m이상 크기의 파티클 증가량을 측정 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Chamber내부의 산소 농도의 변화를 회전 속도에 따라 웨이퍼 중심부 25mm 높이에서 측정을 하였다. 그림 3은 회전 속도에 따른 Chamber내부의 산소 농도를 회전 속도에 따라 측정 한 결과이며, 속도는 정지상태, IPA Vapor Dry 공정 회전속도, 일반적인 Spin 공정 회전속도 그리고 Spin 건조 회전속도인 0rpm, 120rpm, 500rpm, 1500rpm에서 각각 진행 하였으며, 이때 Chamber Main 배기압력과 Purge N2유량은 -220 Pa과 30LPM으로 진행 하였다.

밀폐된 Chamber내부의 산소 농도는 초기 21 vol% 에서 약 2 vol% 까지 감소 하였으며, 회전 속도가 빠를수록 감소 하는 시간은 더 단축되나 Chamber내 산소 농도는 오히려 느리게 회전 할 때 더욱 감소하는 것을 알 수 있다.

이후 친수성 표면과 소수성 표면에서의 Spin Dry 에 의한 파티클 증가량을 확인하여 보았다.

Rinse공정은 500rpm 에서 15초간 진행 하였으며, Dry 공정은 1500rpm에서 30초간 진행 하였다 친수성 표면의 웨이퍼는 약액 공정 없이 Bare 웨이퍼를 사용 하였으며, 소수성 표면의 웨이퍼는 DHF 30:1(DIW/HF)에서 13초간 전처리 한 후 같은 조건의 Rinse 공정 및 Dry 공정을 진행 하였다. 그림 4 는 친수성 표면 과 소수성 표면에서의 같은 조건의 Rinse 공정 과 Dry공정을 진행 한 결과이며, 이를 통해 친수성 표면에서는 약간의 세정 효과가 나타났으나 소수성 표면에서는 중심부에서 가장자리 방향으로 빗살형태의 파티클이 약 30,000개 이상 증가함을 알 수 있다.

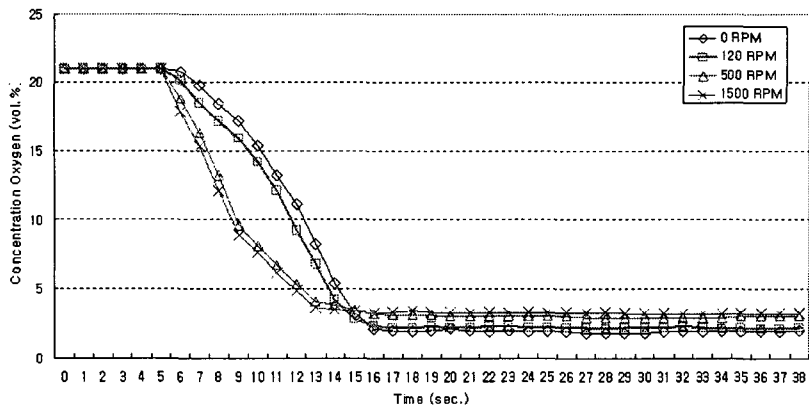


그림 3. 회전 속도에 따른 Chamber 내부 산소 농도 변화

상기 결과에서 소수성 표면의 웨이퍼에서 Rinse 및 Dry 공정 진행 후 파티클 발생량이 급격히 증가됨을 알 수 있으며, 소수성 표면 웨이퍼의 파티클 감소를 위해 밀폐된 Chamber 에서 동일한 평가를 진행 해보았다. 건조 공정에 중요한 인자로 예상되는 Chamber 배기 압력, IPA Vapor농도 그리고 IPA Vapor 유량에 대하여 -1, +1 수준의 완전요인 실험법을 사용하여 주요 인자 및 교호 작용을 평가해 보았다. 이때 웨이퍼는 DHF 30:1(DIW/HF)에서 13초간 전처리 하여 소수성 표면으로 치환 시켰다. 건조 공정의 Spin Speed 는 120rpm, 에서38초간 진행 하였다.

Wafer	Size	Pre	Post	Delta	Pre	Post
Hydrophilic	SUM ($\geq 0.065 \mu m$)	57	21	-36		
Hydrophobic	SUM ($\geq 0.065 \mu m$)	57	39787	+39730		

그림 4. 친수성 및 소수성 표면에서의 파티클 증가량

그림 5(a)의 Main Effect Plot에서 알 수 있듯이 밀폐된 Chamber를 이용한 건조 공정에서 Chamber 배기 압력이 가장 중요한 인자임 확인 할 수 있고, 그림 5.(b)의 Interaction Effect Plot을 통해 IPA Vapor는 농도와 유량이 서로 교호 작용함을 알 수 있었다

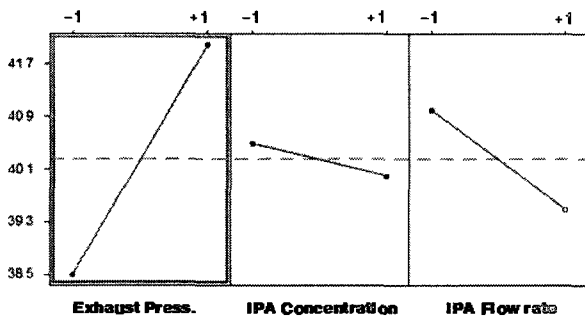


그림 5.(a) Main Effect Plot

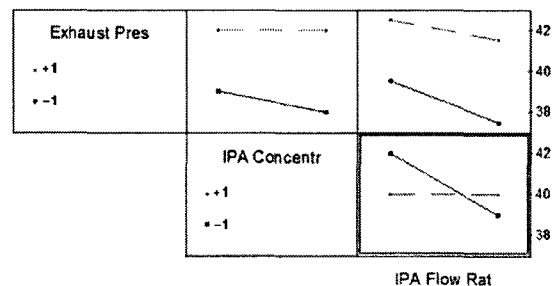


그림 5.(b) Interaction Effect Plot

Main effect와 interaction effect 결과를 통해 밀폐된 Chamber를 이용한 소수성 표면의 웨이퍼 건조 공정에서 파티클의 증가량은 Chamber 배기 압력이 가장 큰 영향을 주는 인자임을 확인 하였으며, Chamber 배기 압력, IPA Vapor농도 그리고 IPA Vapor 유량에 대해 다음과 같은 수학적 계산식(1)을 산출 하였다.

계산식(1)

$$40.25 + 1.75[Exhaust Press.] - 0.25[IPAconcentration] - 0.75[IPAflowrate] + 0.75[IPAconcentration] \times [IPAflowrate]$$

이때 건조 공정은 Chamber 배기 압력 -90Pa, IPA Vapor 농도 80%LEL 그리고 IPA Vapor 유량 17LPM에서 최적화 되며, 상기 조건으로 진행 하여 Rinse 공정 및 Dry 공정 처리 후 +31개 증가 (0.065 μ m이상) 결과를 얻었다

4. 결론

본 연구는 밀폐된 Chamber를 이용한 소수성 표면의 웨이퍼 건조 공정에서 공정 진행 후 파티클 증가량을 최소화 하기 위한 Chamber 배기 압력, IPA Vapor 유량 그리고 IPA Vapor 농도의 영향을 확인 하기 위해 진행 되었으며, Chamber 배기 압력이 가장 큰 영향을 주는 인자임을 확인 할 수 있었으며, 이때 Chamber 내 산소의 농도는 Dry Cover를 이용한 Chamber 밀폐 및 Purge N2충진을 통해 2vol% 이하로 감소 시킬 수 있었다. 본 연구의 결과로 파티클의 증가량은 +35개(0.065 μ m) 이하 수준을 확보 하였고, IPA 사용량은 3.0 ml/wafer이며 건조 공정 시간은 1min/wafer로 최적화 되었다.

참고문헌

- [1] Ah-Ta, et al., JETI, 51, No.13, p.13, 32, (2003)
- [2] Takeshi Hattori: Ultraclean surface proc. of silicon wafer, 494, Springer (1995)
- [3] 김철주: ULSI 공정기술, 169~177, 아카데미아리서치 (1998)
- [4] W.Fyen et al., ECS PV 2001-26,91-101 (2201)
- [5] Jin-goo Park, et., RJES, 142, No.6,(1995)