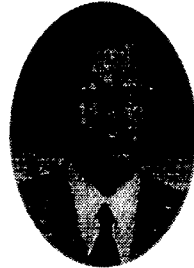


Non-Contact Post-CMP Cleaning에 대한 평가와 기존 Scrubber Cleaning과의 비교



이우선
조선대학교 전기공학과 교수

1. 서 론

Non-Contact Post-CMP Cleaning방법은 일반적으로 사용되는 Scrubbing 방식의 대안으로 대표된다. 이 세척 방법은 먼저 첫번째 Tank에서 Megasonic 에너지를 이용한 수성 암모니아 세척과 린스를 하고 두번째 Tank에서 HF 공정을 한다. 평탄화(Planarization)공정과 세척공정은 불가분의 관계이므로, 사실상 이러한 색다른 Cleaning방법을 올바르게 평가 하려면 동일한 Polish Lot의 웨이퍼를 사용해야 한다. 이 자료에 나타난 생산Line에서의 Split-lot Test는 Non-Contact Cleaner(40 24 defects \geq 0.20 μ m)가 Contact Cleaner(88 112 defects \geq 0.20 μ m)의 대안이라는 것을 확연히 보여주고 있다.

두 타입의 Cleaner 모두가 각각 더 나은 결과를 보여주고 있지만, 이 자료에 나타난 데이터는 두 타입의 Cleaner 모두가 동일한 Polish Wafer를 사용한 Split-lot Test임을 보여주었다.

CMP(Chemical Mechanical Planarization) 공정은 보다 향상된 전체 Wafer 표면의 평탄화가 가능하다는 장점으로 인해 빠르게 발전하고 있다.

CMP 공정을 수행함에 따라 여러 공정이 보다 간편해 졌다. 즉 각 공정에는 평탄도를 유지하기 위한 중요하고도 세밀한 작업이 진행되어야 했으나 이것이 CMP로 대체됨에 따라 보다 수월해진 것이다. 또한 CMP를 하게됨에 따라 Lithographic Depth를 유지하기 위한 근심이 크게 줄어 들었다[1]. CMP 공정이 점차 확산됨에 따라, CMP 이후의 Cleanup 역시 중요해 졌다. 그 이유는 기계적 Polishing으로 Flim을 제거 하는데 사용되는 Silica(SiO₂, for Dielectric Layers)와 Alumina(Al₂O₃, for Metal Layers)는 중요한 오염 물질로, CMP공정 후 반드시 제거되어야 하기 때문이다[2].

CMP는 상대적으로 새로운 공정이기 때문에 최적의 표준화된 지표가 아직 없다. 그러나 Cleaning 결과는 Polishing 공정과 Cleaning 공정을 함께 고려해야 하기 때문에 표준화된 지표는 매우 중요하다. 즉, CMP와 Post-CMP Clean공정은 둘 다 신중하게 정의, 결정 되어야 할 Performance이다. 이 논문은 일반적이고 공통적인 Site에서 수행된 다양한 Polish와 Clean공정에 대한 결과이다.

Scrubber 방식의 Cleaning은 Post-CMP Cleaning 에 널리 사용되어 왔다[3]. 이것은 기계적으로 표면에서 Particle을 제거하기 위해 Wafer

에 압력을 가하고 회전시키는 PVA Brushes로 구성된다. DIW는 Brush 중심으로 흐르고 Chemical을 Brush Station에 사용할 수도 있다. 이와 함께 Megasonic Spray Nozzle을 사용할 수도 있으며 Wafer를 HF Acid로 Etch 할 수도 있다.

2. Non-Contact Cleaning

여기 소개된 것은 Post-CMP Cleanup을 위한 Non-Contact Cleaning 방법이다. Clean System(VcS)은 Megasonic에너지와 희석된 SC-1(또는 다른 Chemical)을 이용하는 Rinsing 공정을 위한 VcS Tank와 HF 공정을 위한 Recirculation Tank(DHF Tank)로 구성된다. VcS Tank에서는 필요한 만큼의 Chemical과 DIW가 공급되며 Tank 바닥에 설치된 Quick Dump Paddle에 의해 효과적으로 Rinsing 된다.

Megasonic Energy는 음파를 이용하며 물리적으로 Particle을 제거하는 Non-Contact Cleaning 방법이다. 또한 Spin-Rinser Dryer(SRD)는 Wet Processing 이후 Rinse 및 Dry를 위해 사용한다.

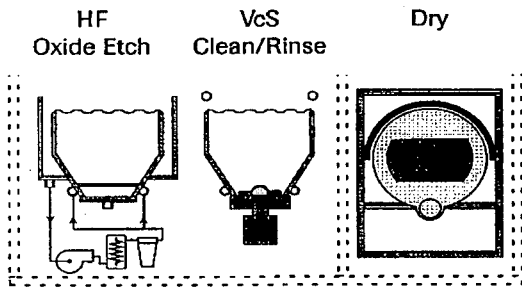


Fig. 1. Process Sequence for VcS Non-Contact Post-CMP Cleaning Process

Figure 1은 System의 구성도이다.

VcS에서 특허된 Chemical Delivery 방법과 System Design은 다음과 같은 이유에서 중요하다. Chemical 농도와 용액의 온도를 쉽게 바꾸거나 조절할 수 있다.

Megasonic Energy는 VcS Tank가 DIW 및 Chemical이 Filling/Dumping되는 동안 Wafer 표면에 작용할 수 있다.

NH₄OH의 농도 조절은 용액의 pH를 조절하기 위해 필요하다. 이것은 용액 구성 물질의 Zeta

Potential과 SiO₂ Dissolve의 비율이 pH와 연관되어 있기 때문에 중요하다. Etching은 Particle 제거량에 영향을 주는 반응이다[4]. 또한 전기적으로 선호되어 Attach 될 것인지 Reattach될 것인지를 결정하는 Zeta Potential의 결정에 영향을 준다[5]. Etching의 최적의 양은 특화된 것인데 NH₄OH의 농도와 용액의 온도를 변화시켜 조절할 수 있다. 또한 Particle 제거 시 Megasonic Energy를 작용시킴으로써 Etching 양이 감소되는 것을 볼 수 있다[6].

Particle 제거에 있어 Electrostatic Force는 Particle이 표면으로 유도되지 않도록 하는데 사용되고, van der Waal 반응을 일으킬 수 있는 영역 내로의 접근을 막는데 이용된다. 이상적으로 Cleaning은 Particle과 Film이 같은 Sign의 Zeta Potential을 가지는 pH에서 행해져야 한다. Oxide CMP는 비교적 간단해 보일지 모르나, 왜냐하면 Film과 전형적인Slurry는 둘 다 SiO₂ 이기 때문이다. 그러나 Zeta Potential은 표면 상태와 불순도(Impurities)[7]에 따라 크게 달라질 수 있다. 결론적으로 Film과 Particle은 서로 모든 pH에서 전기적으로 반드시 반발하지는 않는다. 즉 pH 8 이상에서 Silica (SiO₂) Particle과 Film의 Zeta Potential은 상당히 큰 Negative (-) 값에 접근하여 반발한다. 따라서 Post Oxide CMP Cleaning에서 염기성 용액의 사용이 정전기적인 이유로 선호된다.

Alumina (Al₂O₃) Slurry는 전형적으로 Tungsten (W) CMP를 위해 사용한다. 따라서 Slurry는 정전기적으로 Tungsten과 Oxide Film으로부터 반발해야 한다. 단지 pH 8 이상에서 Alumina의 Zeta Potential은 Tungsten과 SiO₂의 Zeta Potential과 같은 Sign (Negative)을 가진다. 결론적으로 염기성 용액이 일반적으로 Post-Tungsten-CMP cleaning에 사용된다.

pH 8 이상에서만 Alumina의 Zeta Potential은 Tungsten과 SiO₂와 같은 Negative (-) 이다. 결론적으로 SC-1(또는 다른 Chemical)은 일반적으로 Post-Tungsten-CMP Cleaning에 사용된다.

Cleaning하는 동안 이용되는 Megasonic 에너지(700~1500kHz)는 다른 어떤 방법보다 우수한 Cleaner Film을 얻기 위한 방법이다. Ultrasonic 에너지(20~40kHz)와는 달리 Megasonic에너지는 Wafer 표면 손상을 야기하지 않는 것으로 알려져 있다. Bubble Cavitation이 Ultrasonic에너지의 Wafer 표면 손상의 원인인 것으로 보인다. 그러나

Megasonic 에너지의 Streaming, Cavitation, Acoustic Pressure가 빈번히 Particle 제거에 기여하고 있는 것으로 조사되고 있다. 그럼에도 불구하고 Megasonic 에너지의 Mechanism은 아직 잘 규명되고 있지는 않다[8]. Megasonic 에너지는 Boundary층의 Thickness를 감소 시킨다. 그 결과 이 층을 통하여 보다 쉽게 Chemical 과 Particle의 교환이 이루어진다[9]. Wafer Cleaning에 대한 또 다른 Megasonic 효과를 조사한 결과 Megasonic이 Chemical의 반응을 유도하고 특히 Radical Species의 형성을 유도한다[10].

VcS에서의 Megasonic Cleaning 효과는 재빨리 흩어진 파동형태(Sunburst 형태)를 산출하기 위해 곡선으로 디자인 특허를 받은 Transducer에 의해 앞서 간다. 지금까지 이용되던 전통적인 Transducer는 수직으로 파동을 형성함에 따라 Transducer 또는 Wafer가 Process가 진행되는 동안 이동해야만 한다. 이러한 이유로 Cleaning 효과가 감소하고 처리 시간이 증가하며, 카세트가 손상을 입어 Particle 생성의 원인이 되기도 한다.

실험적으로도 Tank 안에 Chemical 또는 Rinsing Solution을 채우면서 Wafer에 Megasonic Power가 가해진다면, Contamination 제거와 Rinsing에 있어서 보다 효과를 볼 수 있다[11]. 이미 용액이 가득 채워진 Tank에서 Megasonic 공정을 실시하는 전통적인 방법으로부터 용액을 채워가면서 Megasonic 에너지를 가하는 새로운 방법에서의 변화는 Cleaning 효과를 크게 향상 시켰다. 전통적인 공정에서의 Liquid/Wafer Interface와 비교해 볼 때 Air/Liquid/Wafer Interface에서는 다른 주요한 Megasonic Mechanism을 야기할 수 있다. 전체 Cleaning 과정 뿐만 아니라 Rinsing Cycle에서도 Megasonic 에너지를 사용함으로써 Megasonic 에너지에 대한 노출 시간을 증가시켜 결과적으로 Cycle Time을 줄이는 결과를 가져온다.

3. Polisher Cleaner Co-Dependence

Post-CMP Cleanup이 최종 Wafer Cleanliness에 결정적임에도 불구하고, Polisher 또한 Cleanup 과정에 매우 중요한 부분이다. Polisher와 Cleaner는 상호 의존적으로 고려해야 한다. 최종 Cleanliness는 Wafer의 표면상태에 대한 기능이고, Wafer 표면은 Cleaning 공정과 유사한 방법으로 Polisher에서 변한다. 특히 Post Polish Buff와 Rinse는 Particle로 인한 오염을 줄이는데 결정적인

단계이다[12]. 이 상호의존성을 앞에서도 언급하였으나 Post CMP Cleaning 방법들 간의 의미 있는 비교와 평가의 중요성 때문에 재 언급한다.

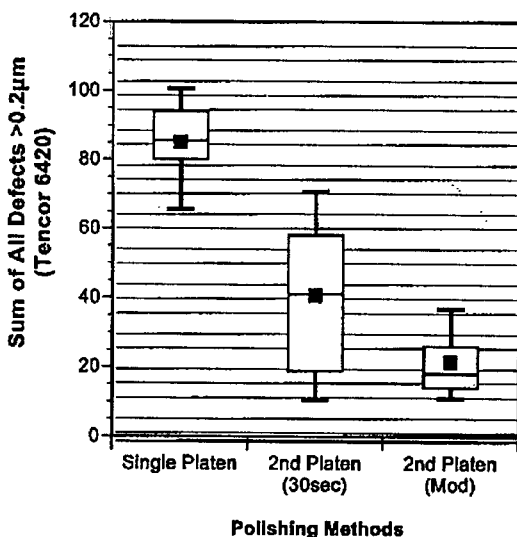


Fig. 2. Effect of Various Polish Processes Using the Same VcS Clean Process

Figure 2는 한 예이다. Blanket PE-TEOS Polish 실험은 모든 Wafer (200mm)에 대해 Post CMP Cleaning이 동일함을 보여 준다. 유일한 차이는 Polish Recipe이다. 실험은 (1) Single Platen, (2) Two Platen(2nd Platen)으로 하였다. Particle 제거의 차이는 다만 Polisher 공정 방법에 의해서 야기되었다. 이는 Post CMP Clean 평가에 Polisher에 대한 고려가 중요함을 보여주는 것이다[13]. Second Platen Rinse 또는 Buff를 사용하고 향상된 공정은 Platen Downforce와 Chemistry의 효과를 포함한다[14]. 2nd Platen은 Polisher 공정이나 본질적으로는 Cleaning공정의 시작이다.

Cleaning수행을 위한 Polisher의 중요성에 대한 고려를 하게 되면서, 이것은 Post CMP Cleaning 방법들 사이의 다양하고 의미 있는 비교 덕분에 알려지게 되었다. VcS가 Scrubber 방식과 비교할 만한 Particle 결과를 줄 수 있는지 실험을 통해 평가 하였다.

첫째, Blanket PE-TEOS Oxide Wafer는 2nd-Platen, 30-Second Rinse의 사용으로 8500A 두께로 Polish 하였다. 모든 Wafer는 매번 동일한 Polish

상태로 진행하였다. 그리고 Wafer는 VcS 또는 Scrubber(DNS-SP-W813-AS)로 Cleaning한다. 150개의 Wafer를 Tencor 6420으로 0.20 μ m Size의 크기를 분석하였다. 그 결과는 Figure 3에 있다.

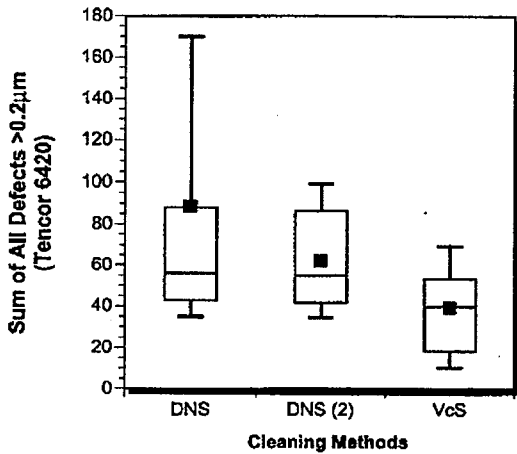


Fig. 3. Result of Scrubber and VcS Cleaners Utilizing the Same Polish Process

VcS와 Scrubber에 대한 모든 Defects의 합은 VcS가 40 24, Scrubber가 88 112이다. 동일 Polish 조건과 VcS Cleanup에서 60일 이상의 Test 결과가 Figure 4에 나타난다.

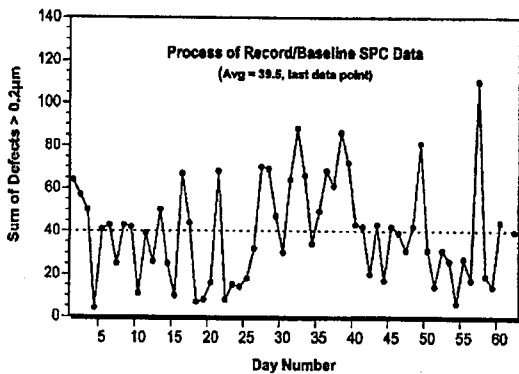


Fig. 4. 60-Day SPC Chart of Polish and Clean Process

중요한 점은 Polish Process는 많은 Cleaning Type에 대한 Test와는 달리 제출된 결과들이 완전하지도 필연적이지도 않다는 것이다. 따라서 Cleaning 평가를 위해 Polish Process는 여전히 고정된 상수로 한다.

또 다른 중요한 평가변수는 Cleaning에 따르는 Surface-Metal Contamination이다. Scrubber뿐만 아니라 VcS에서도 이것은 사용되는 Chemical의 작용에 따라 매우 달라진다. Dilute SC-1과 같은 용액으로 Slurry Particle을 제거하고, HF로 Metal Contamination을 크게 감소시키기 위해 약 100Å 정도를 Etch 한다. 이에 따라 Surface Metal의 농도 수준은 1010 atoms/cm²이하 이다.

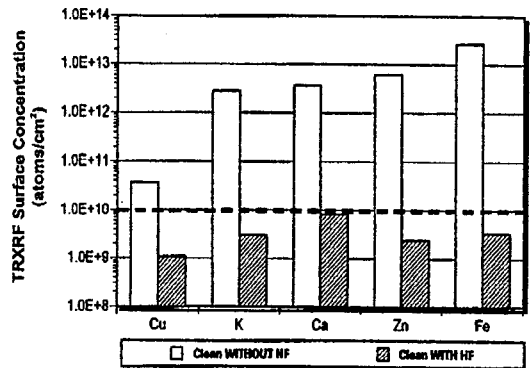


Fig. 5. Metals Contamination Comparison With and Without HF Process Sequence

Figure 5는 HF로 처리했을 때와 하지 않았을 경우의 Surface Metal의 농도 차이를 보여준다. 이것은 SIMS에 의해 확인 되었고 TRXRF로 측정하였다.

4. 결 론

Split-Lot Testing에서 Non-Contact방식은 Post-CMP Cleaning을 위해 Brush Scrubber방식 보다는 향상된 것이고 미래 지향적인 공정기술이다. Non-Contact Cleaning(VcS)과 Contact Cleaning(Scrubber)에 있어서 Defect의 결과치는 각각 40 24와 88 112, $\geq 0.20\mu$ m 이다. 또한 Non-Contact Cleaning에서 Surface Metal농도는

1010 atoms/cm² 이하이다. Non-Contact Cleaner(VcS)는 오직 2개의 Tank 즉, Megasonic Energy를 이용하는 수성 암모니아 Cleaning과 Rinsing 공정을 위한 Tank, 그리고 HF공정을 위한 Tank 만으로 구성된다.

참 고 문 헌

- [1] F. B. Kaufman, D. B. Thompson, R. E. Broadie, M. A. Jaso, W. L. Guthrie, D. J. Prearson and M. B. Small, J. Electrochem. Soc., 138, 3460, 1991.
- [2] T. Myers, M. Fury and W. Krusell, Solid State Tech, Oct, 59, 1995.
- [3] W. Krusell, J. de Larios and J. Zhang, Solid State Tech, June, 109, 1995.
- [4] S. Verhaverbeke, M. Meuries, P. Mertens, H. Schmidt and M. M. Heyns, Semicon Japan, 1993.
- [5] J. de Larios, M. Ravkin, D. Hetherington and J. Doyle, Semiconductor Intl., May, 121, 1996.
- [6] S. Cohen, D. Rath, G. Lee, B. Furman, K. Pope, R. Tsai, W. Syverson, C. Gow and M. Liehr, MRS Symp. Proc., 386, 177, 1995.
- [7] C. Raghunath, D. Jan and S. Raghvan, Microcontamination Conf. Proc, 164, 1994.
- [8] D. Kittleson, T. Kuehn and Y. Wu, Spring '97 MRS Conf.
- [9] R. M. Hall, T. Jarvis, T. Parry, L. Li and R. Hawthorne, Micro, July, 81, 1996.
- [10] T. Ohmi and M. Toda, Ohmi, Spring '97 MRS Conf.
- [11] Unpublished results, VERTEQUE(part of VcS patent).
- [12] S. R. Roy, I. Alli, G. Shinn, N. Furusawa, R. Shah, S. Peterman, K. Witt, S. Eastman, P. Kumar, J. Electrochem. Soc., 142, 126, 1995.
- [13] These experiments and all other experiments described was performed at Texas Instruments with an IPEC/Westech polisher, semi-automated VcS and DNS-SP-W813-AS scrubber.
- [14] I. Ali, S. Roy, G. Shinn, S. Raghavan, R. Shah and S. Peterman, Microcontamination Conf. Proc, 196, 1994.