

LPP(Landing Plug Poly) CMP Induced Defect 제거에 관한 연구

오평원, 최재건, 최용수, 최근민, 송용욱

메모리 연구소, 하이닉스 반도체

A Study on the Removal of LPP CMP Induced Defect

Pyeong-Won Oh, Jea-Gon Choi, Yong-Soo Choi,

Geun-Min Choi, Yong-Wook Song

Memory R&D Division, Hynix Semiconductor Inc.

Abstract

본 연구는 반도체소자 제조공정에 적용되는 CMP공정 중 LPP(Landing Plug Poly) Contact간의 소자 분리를 위해 진행되는 LPP CMP의 후 세정 과정에서 유발되는 방사형 Defect 제거에 관한 내용이다. 방사형 Defect은 LPP CMP 후에 노출되는 BPSG, Poly, Nitride Film과 연마제로 사용되는 SiO₂ 입자, 후 세정 과정에서 적용되는 SC-1, DHF, NH₄OH Chemical과 Brush와의 상호작용에 의해 발생되며, Cleaning시의 산성 분위기 하에서 각 물질간의 pH와 Zeta Potential의 차이에서 기인한다. 이 Defect을 제거하기 위해 LPP CMP후에 Film 표면에 노출되는 각 물질의 표면 특성과 CMP 후 오염입자의 흡착과 재 흡착에 영향을 미치는 Electrostatic force와 Van der Waals force, PVA Brush에 의한 Mechanical force의 상호작용을 고려하여 최적 후 세정 조건을 제시 하였다 .

Key Words : LPP CMP, Defect, Zeta Potential, Post Cleaning, PVA Brush

1. 서 론

일반적으로 실리카계 연마 슬러리를 사용하여 연마를 진행할 경우 웨이퍼 표면에서 관찰되는 오염물질은 대부분 무기입자(Inorganic Particle), 금속 불순물, Hydrocarbon계 유기물 등으로 분류된다. 이러한 표면 오염물질의 일부는 잔류 연마물질과 연마 부산물, 금속 불순물 등과 같이 슬러리 자체에서 기인되는 경우도 있지만, 연마 패드(Pad)나 브러시(Brush) 물질과 같이 CMP 공정을 위해 사용되는 Consumable에 의해 기인되는 경우도 상당부분 존재한다.

CMP 공정을 거쳐 연마된 웨이퍼 표면에 존재하는 잔류 슬러리 또는 다른 표면 오염물의 제거 효과는 사용된 슬러리의 조성, 연마 후 표면에 노출되는 물질들의 종류, 적용된 후 세정 방법 등에 밀접한 영향을 받으며, CMP 공정에서 기인된 Defect들을 제거하기 위해 현재까지 여러 가지 세정방식들이 개발되어 왔다.[1-7],

일반적으로 오염입자와 웨이퍼 표면간의 흡착 반응기구는 Electrostatic Force와 Van der Waals forces의 상호작용으로 설명되고 있으며, 웨이퍼 표면에 흡착된 오염입자들을 제거하기 위해서는 오염입자와 웨이퍼 표면간의 흡착력(Adhesion Force) 이상의 기계적인 힘을 외부로부터 가해주거나, 소위 'Undercut Cleaning'을 적용하여 Wet Chemical을 사용하여 웨이퍼 표면과 오염입자와의 계면을 박리시켜주어야 한다. 특히 CMP 공정 완료 후의 세정 공정에서는 잔류하는

슬러리 입자들의 크기가 매우 작아 웨이퍼 표면과 잔류 입자들간의 흡착력이 매우 크므로, Brush scrubbing 방식에서와 같이 오염입자 제거를 위해 기계적인 제거와 화학적 제거 효과를 모두 이용하여 세정공정을 진행하고 있다.

이와 더불어 Brush scrubbing 방식을 이용한 CMP 후 세정 공정에서 고려해야 할 중요한 특성 중의 하나가 바로 제거된 오염입자들이 웨이퍼 표면에 재 흡착되는 현상을 방지해야 한다는 점이다. 이러한 재 흡착 현상을 방지하기 위해서는 웨이퍼 표면과 오염입자간의 Zeta Potential Control을 통해 두 물질간의 정전기적 반발력을 극대화 시켜주어야 한다. 하지만 CMP 공정에서 유발되는 오염입자의 종류가 다양하고, 웨이퍼 표면과의 흡착력이 매우 크기 때문에 Zeta Potential Control을 통한 입자간 반발력의 제어가 쉽지 않으며, 이로 인해 실제로 Device 개발 과정에서 CMP 후 세정 공정 이후에 다양한 형태의 Defect들이 관찰되고 있다.

본 연구에서는 100nm급 DRAM Device 개발 과정에서 LPP(Landing Plug Poly) CMP 후 Brush scrubbing 방식을 사용한 후 세정 공정에서 발생하는 Defect의 발생원인과 이에 대한 제거 방안에 대하여 연구하였다.

2. 실험 방법

APPLIED MATERIALS사의 Mirra Mesa™ Integrated CMP System을 사용하여 연마공정을

진행하였으며, 자체적으로 Integration되어있는 Mesa Cleaning System을 사용하여 CMP 후 세정 공정을 진행하였다. 그림1에 나타난 바와 같이 Mesa Cleaning System은 2개의 Brush Station 앞단에 Hot SC-1 + Megasonic Bath가 추가로 존재하며, Vertical type의 Brush Scrubbing 방식을 적용하고 있다. Chemical Etching과 Mechanical Brushing 효과를 동시에 적용 가능하도록 고안되어 있지만, 공급되는 Chemical은 Brush를 통하지 않고, Wafer의 상부에서 뿌려주는 방식으로 공급된다. 본 실험에서 적용된 모든 세정 공정은 SC-1 + NH₄OH (@Brush1) + DHF (@Brush2)의 Cleaning Sequence를 기본으로 하였다. 연마 및 후속 세정 완료 후 UV1036 KLA Tencor Scanner와 HITACH5240 CD-SEM 장비를 이용하여 각 Wafer의 Defect 양상을 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LPP CMP후에 발생하는 방사형 Defect

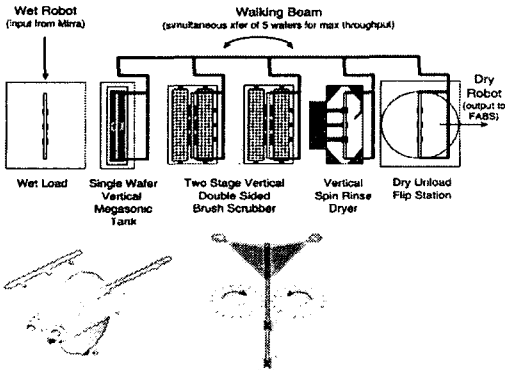
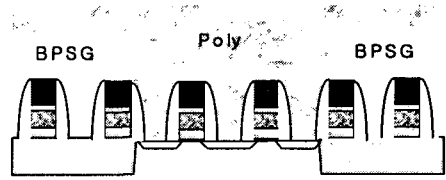


그림 1. CMP후속 세정 모식도(Mesa Cleaner).

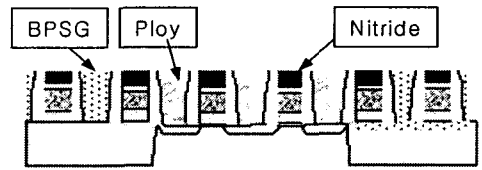
LPP CMP공정은 반도체 소자 제조 과정에서 Bit Line과의 Contact과 Storage Node와의 Contact 간을 서로 분리하기 위해 진행되는 연마 공정으로, 연마 초기 상태에서 Wafer전면에 Poly Silicon이 증착되어 있으나(그림2(A)), CMP 공정이 진행됨에 따라 Nitride, BPSG, Poly Silicon의 세 가지 물질이 웨이퍼 표면에 노출되게 된다. 연마공정 완료 후, 표면특성이 서로 다른 두 가지 이상의 물질이 표면으로 노출되는 경우는 다른 CMP layer에 비해 Defect Level 이 상대적으로 높으며, 실제로 LPP CMP 공정 진행 후 장비의 상태에 따라 그림3(A)에 나타난 정상적인 Defect Map 대비 방사형(그림 3(B))이나 반달형(그림 3(C)),일자형(그림 3(D))형태의 Defect Map들이 관찰 되었다.

LPP CMP 후 Defect Map상에서 관찰되는 이러한 Defect들은 실제로 연마과정에서 유발되는 연

마 부산물인 Drop Particle (그림 4(A))과 Pad(그림 4(B) 또는 슬러리(그림 4(C)) 잔류물 등이 대부분이었다.

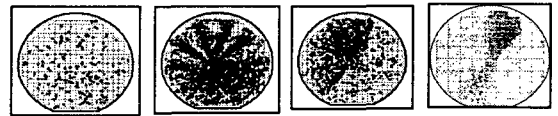


(A) LPP CMP전 단면 Scheme



(B) LPP CMP후 단면 Scheme

그림 2. LPP CMP Scheme 모식도.



(A)정상 (B)방사형 (C)반달형 (D)일자형

그림 3. CMP후의 KLA Scan Map.



(A) (B) (C)

그림 4 LPP CMP 공정에서 유발되는 defect 양상.

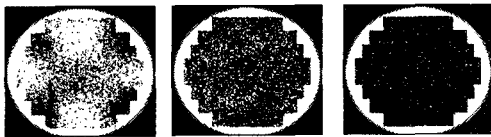
3.2 표면 노출 물질들의 후 세정 특성 평가

연마 과정에서 표면 특성이 서로 다른 두 가지 이상의 물질들이 표면으로 노출되는 CMP Layer의 후 세정 과정에서는 각 세정과정에서 유지되는 pH 분위기가 오염입자의 제거에 매우 중요한 역할을 하게 된다. 즉, 각 세정과정에서 사용되는 Chemical의 종류에 따라 표면에 노출된 각 물질들과 오염입자들은 표면전하(제타포텐셜)를 띠고, 이 표면 전하의 부호와 크기에 따라 오염입자의 흡착과 탈착

이 진행된다.

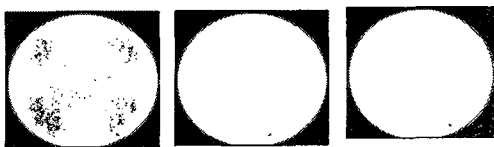
이를 바탕으로 LPP CMP 후에 노출되는 세 가지 물질들이 각각의 세정 분위기 하에서 어떤 특성을 나타내며 어떠한 상호 연관성을 갖고 있는지를 파악하기 위하여 세 가지 물질 각각에 대해 세정 sequence에 따른 defect양상을 Step-by-step 으로 관찰 하였다.

SC-1 세정만을 진행하였을 경우 세 가지 물질 모두 Defect 측면에서 취약한 결과를 보여주고 있으나(그림 5-1), NH₄OH Chemical을 사용하여 Brush Scrubbing을 추가한 경우에는 세 가지 Film 모두에서 Defect 양상이 상당히 개선되었다. (그림 5-2). SC-1 only 세정과 NH₄OH 세정은 동일한 염기성 분위기 하에서 진행되는 세정으로서 그림 6에 나타낸 바와 같이 Zeta Potential 관점에서 표면에 노출되어 있는 물질들과 오염입자, Brush 모두 Negative 값을 가지므로 입자의 재 흡착이 방지되어 두 조건 모두 우수한 Defect Level 이 예상되었으나 실제로는 큰 차이를 나타내었다.



(A)BPSG (B)Poly (C)Nitride

그림 5-1. SC-1 Only 진행 후.



(A)BPSG (B)Poly (C)Nitride

그림 5-2. SC-1 + NH₄OH 진행 후.



(A)BPSG (B)Poly (C)Nitride

그림 5-3. SC-1 + NH₄OH + HF 진행 후.

그림 5. 표면 노출 물질의 Cleaning 조건에 따른 Defect 양상변화.

이는 앞서 서론 부분에서 설명한 바와 같이 슬러리 잔류물에 의한 오염입자는 그 크기가 매우 작아 웨이퍼 표면과의 흡착력이 매우 강하며, 이로 인해 Megasonic 분위기 하에서 SC-1 Chemical을 이용한 습식세정 방식만으로는 오염입자를 충분히 제거해 낼 수 없으며, Brush에 의해 오염입자와 웨이퍼 표면 간에 존재하는 흡착력 이상의 물리적인 힘을 가해 주어야만 오염입자의 제거가 가능하기 때문으로 판단된다.

또한 실제 Pattern Wafer와 동일한 세정 조건인 HF last 세정 시에는 Poly Film에 대해서 상당히 취약한 Defect 양상이 관찰되었다. 이는 산성 분위기 하에서 Poly Film의 Zeta Potential과 오염입자인 실리카 입자의 Zeta Potential이 서로 반대 부호를 가지므로 DHF Station에서의 Brush scrubbing 과정에서 Brush에 붙어 있던 오염입자들이 Poly Film 표면으로 재 흡착되는 것으로 판단된다.

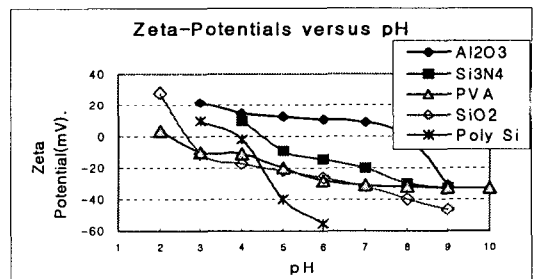
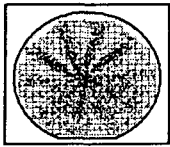


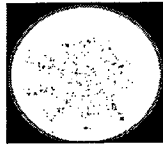
그림 6. pH에 따른 각 물질의 Zeta-Potential 변화.

이상의 결과로부터, CMP 후 세정과정에서 표면에 드러나는 각 Film들과 오염입자, Brush 표면간의 Zeta potential 제어가 Defect의 흡/탈착 반응에 핵심적인 역할을 하고 있다는 사실을 확인하였다.

3.3 방사형 Defect 제거를 위한 후속 세정 평가
 앞 절의 실험에서 Nitride Film에서 발생된 Defect의 양상이 특이하게도 Pattern Wafer에서 관찰되는 반달형 모양의 Map 양상을 띠고 있었다.(그림 5-3(C)) 또한 LPP CMP 후에 Pattern Wafer 상에서 방사형 defect이 발생하는 장비조건에서 Nitride Film에서도 방사형 defect이 발생하는지를 확인해 본 결과 그림 7(B)에 나타낸 바와 같이 LPP CMP후에 발생하는 방사형 defect이 Nitride Film만의 후 세정 과정에서도 동일하게 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.



(A)Patternwafer



(B)Blanket Film

그림 7. Nitride Film의 방사형 Defect 전사 여부.

HF Last 세정 시에 Nitride Film보다는 Poly Silicon Film의 Defect Level이 훨씬 더 취약하였음에도 불구하고 방사형 Defect의 양상이 Nitride Film의 양상을 따르고 있는 현상은 LPP CMP후의 표면에 노출된 각 layer의 면적비로 설명할 수 있다. 실제 LPP CMP후에 표면으로 드러나는 각 물질의 면적 비는 Nitride 57%, Poly Silicon 25%, BPSG 18% 정도로 Nitride 물질이 차지하고 있는 비중이 가장 크며, 이로 인해 LPP CMP후에 Induce되는 방사형 Defect은 표면에 드러나는 Nitride 물질과 오염입자의 표면상태에 가장 큰 영향을 받는다.

HF last세정 시의 PVA Brush Effect를 확인하기 위해 Nitride Film 만들 이용하여 SC-1+NH₄OH+HF 세정의 HF Brush Step에서 PVA Brush 사용 유무에 따른 Defect level을 비교 평가하였다.(그림 8) Brush를 사용하지 않은 Nitride Film의 Defect Level이 개선되는 현상으로 보아 방사형 Defect의 발생원인은 산성영역, 즉 HF Last 세정 시에 PVA Brush에 기 흡착되어 있던 오염입자가 Nitride Film에 재 흡착되어 나타나는 현상으로 판단할 수 있었다..



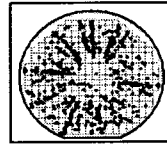
(A) No Brush



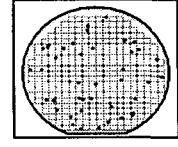
(B)Brush 사용

그림 8. PVA Brush 사용 유무에 따른 Nitride Film의 Defect전사 양상.

Pattern Wafer 상에서도 기존 HF last 세정 시 PVA Brush를 사용하는 조건에서 방사형 Defect이 관찰되는 반면(그림 9(A)), HF last 세정 시 PVA Brush를 사용하지 않는 경우에는 방사형 Defect이 나타나지 않았다.(그림 9(B))



(A)Brush사용



(B) No Brush

그림 9. PVA Brush 사용 유무에 따른 실제 Pattern Wafer의 Defect전사 양상.

4. 결 론

LPP CMP 후 세정 과정에서 발생하는 방사형 Defect의 원인규명 및 제거 방안에 대한 고찰 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

LPP CMP후에 발생하는 방사형 Defect은 산성 분위기하에서의 세정과정에서 연마공정 후에 노출되는 Nitride Film의 표면에 PVA Brush에 붙어있던 오염입자가 재 흡착되어 나타나는 현상이다.

제거방법으로는 기존 Sc-1+NH₄OH+ HF Sequence의 후 세정과정에서 Metal Contamination 제거를 위해 수행 되는 DHF Chemical 세정 Step에서 표면으로 노출된 Nitride 표면과 PVA Brush와의 접촉을 방지하는 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Roy, I. Ali, N. Furushawa,R. Shah, S. Peterman, K.Witt,S.Eastman and P. Kumar ,J.Electrochem. soc ., 142, pp. 216 (1995).
- [2] I.Ali,S.Roy,G.Shinn,S.Raghavan,R. Shah and S. Peterman Microcontamination (October1994)
- [3] C.Huynh, "CMP Clean Process Engin -eering, CMP Clean Evaluation,"presented at Sematech Surface Prep. PTAB Meet -ing, July 1993
- [4] C.Huynh, P. Burke, M. Rutten and A. Kabili,"Colloidal Silica Removal by IPA -Water Solutions Immersion in CMP Clean," presented at the 1993
- [5] I. Ali, S. Raghavan and S. Ristoud, Semi conductor Intl., pp92 (April1990)
- [6] J. Park and S. Raghavan, in " Inter -facial Characteristic"
- [7] R. Blackwell, "Removing Slurry Residue from Semiconductor Wafer Plana-rization, "US Patent # 5,320,706.
- [8] G. M. Burdick, N. S. Berman, and S. P. Beaudoin, " A Theoretical Analysis of Brush Scrubbing Following Chemical Mechanical Polishing," Journal of The Electronicchemical Society,150 (2) G140 - G147 (2003)