

연마제를 포함하지 않는 알칼리 용액에서 연성고분자패드를 이용한 폴리실리콘의 기계적 화학적 연마에 관한 연구

박경순, 오윤진, 유재옥*, 정태우*, 김일욱*, 백종성**, 정찬화
성균관대학교 화학공학과, (주)하이닉스반도체*, (주)에프에스티**

The abrasive-free CMP process of poly-silicon film using alkaline solution and soft polymer pad

Gyung-Soon Park, Youn-Jin Oh, Jae-Ok Yoo*, Tae Woo Jung*,
Il-Wook Kim*, Jong Sung Paik**, and Chan-Hwa Chung
Dept. of Chemical Engineering, Sungkyunkwan Univ., Suwon 440-746, Korea
Hynix Semiconductor Inc., Ichon 467-701, Korea*
FST Inc., Suwon 442-380, Korea**

서론

최근 반도체 공정에서는 집적도의 향상에 따른 다층배선 구조의 요구로 인해 Chemical Mechanical Polishing(CMP) 공정이 매우 중요한 공정중의 하나로 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 이런 중요성에도 불구하고 현재의 CMP공정은 아직 해결되지 않은 많은 문제점을 가지고 있다. 그중 slurry에 첨가되어 있는 abrasive에 의한 pad contamination과 post-cleaning의 어려움, wafer상의 scratch 발생, 그리고 이를 방지하기 위한 filtration system 등의 제반 utility에 의한 cost 상승 문제 등이 아직도 해결되어야 할 과제이다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 slurry에 abrasive를 사용하지 않는 CMP공정에 관한 많은 연구와 노력이 진행되어지고 있으며, 본 연구에서는 연마제를 포함하지 않는 알칼리 용액과 연성고분자패드를 이용한 doped poly-silicon wafer의 화학적 기계적 평탄화에 대해 연구하였다.

알칼리 용액에서의 single-crystal silicon의 화학적 에칭과 CMP공정에서의 slurry와 pad에 의한 silicon의 기계적 화학적 반응 메커니즘은 이미 많은 연구 논문들을 통해 발표되었다 [1-11]. 알칼리 용액에서의 single-crystal silicon의 화학적 에칭 속도는 용액의 농도와 온도에 영향을 받는다. KOH 용액을 사용하여 30°C에서 Si(100)의 etching rate를 측정하였을 경우, 22wt% KOH(molarity, $c \approx 5$) 근처에서 최대의 etching rate를 가진다[1,2]. 또한 농도와 온도에 따라 single-crystal silicon의 비등방 식각(anisotropic etching)에 대한 orientation 의존성 및 표면 roughness도 영향을 받으며, 여기에 IPA의 첨가에 따라 다양한 구조의 형상을 얻을 수도 있다[3,4,5].

이러한 single-crystal silicon의 화학적 비등방 식각 특성과 더불어 기계적 평탄화를 위해 polymer pad와 abrasive를 첨가하여 사용하는 CMP 메커니즘은 Fig.1과 같은 Cook's model로 설명할 수 있다[6,7]. 먼저 silicon이 부분적으로 oxide를 형성하고, 이에 산화막 표면의 siloxane(Si-O-Si)결합은 수용액 상에서 hydroxyl(Si-OH) 결합을 생성한다. 그리고 이렇게 형성된 hydroxyl 결합은 슬러리의 연마제 입자 표면의 hydroxyl기와 반응하여 연마제와 산화막 표면의 Si이 결합된 상태가 되고, 연마제 입자가 이동하면서 산화막 표면의 실리콘-산소 결합이 함께 떨어져 나감으로써 산화막 표면이 제거된다[6].

이러한 메커니즘은 이미 IR spectroscopy를 통해 증명되었으며, 슬러리의 pH가 11일 때 silicon 표면이 가장 높은 hydrophobicity를 나타내어, 가장 높은 hydrogen coverage를 나타낸다[7-11].

이에 본 연구에서는 기존 single-crystal silicon의 알칼리 용액에서의 화학적 비등방 식각 메커니즘과 CMP 공정에서의 연마 메커니즘을 바탕으로, 연마제를 사용하지 않는 알칼리 용액과 연성고분자패드를 이용한 poly-silicon의 화학적 기계적 평탄화를 연구하였다. 즉, 기존 CMP 메커니즘에서 abrasive의 역할이 없어도 알칼리 용액의 농도와 첨가제의 첨가, 그리고 고분자패드를 이용한 최적공정조건에서 Fig.2에서와 같은 메커니즘으로 poly-silicon을 제거할 수 있다.

실험

본 실험에서는 패턴이 있는 doped poly-silicon wafer를 사용하여 알칼리 용액에서의 연마 특성을 연구하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 패턴된 PE-TEOS(1500Å)/HDP oxide(6000Å) 안에 Metal Organic Chemical Vapor Deposition(MOCVD)방식으로 doped poly-silicon을 증착한 wafer를 사용하였다. 그리고 연성고분자패드와 더불어 연마제를 포함하지 않는 알칼리 용액, 즉, KOH 용액을 사용하여 기계적 화학적 평탄화 실험을 Fig. 3과 같은 장치에서 실행하였다. 연성고분자패드는 Teflon 덮개로 고정시켰고, 3×3 웨이퍼를 Quartz wax를 이용하여 PP(polypropylene)에 부착한 뒤, 상온에서 0~70rpm 정도의 속도로 회전시켰다.

기본적인 이론을 바탕으로, 우선은 상온에서의 polishing rate 및 wafer의 표면 특성을 관찰하기 위하여 농도와 polishing time에 따른 doped poly-silicon wafer의 표면을 SEM을 통해 분석해 보았다.

결과 및 고찰

본 실험을 통해, 기존의 CMP 공정에서의 abrasive contamination과 post-cleaning의 어려움, 그리고 surface scratch 등의 문제점을 지적하면서, 연마제를 포함하지 않는 알칼리 용액에서의 연성고분자패드를 이용한 폴리실리콘의 기계적 화학적 평탄화에 대한 특성을 SEM을 통해 분석해 보았다. 일정한 3M KOH 용액에서 polishing time에 따른 wafer의 표면 profile에 대한 변화를 SEM을 통해 분석해 본 결과, Fig.5와 같이 polishing time이 13분 일 때 최적의 profile을 얻었고, 시간이 지날수록 via내로 dishing현상이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로 우선 연마제를 포함하지 않는 알칼리 용액에서 연성고분자 패드를 이용하여 폴리실리콘을 polishing하였으며, 이때 wafer표면에 scratch도 나타나지 않았다. 따라서 이 공정을 통해 기존 CMP공정의 많은 부분을 개선할 수 있을 것으로 보며, 이를 토대로 현재 남아있는 etch rate control 및 surface roughness에 대한 문제점도 함께 해결해 나갈 것이다. 또한 연마제를 사용하지 않으므로, post-cleaning도 단순한 공정으로 전환할 수 있으며, 제반 utility에 대한 cost도 상당히 저렴해 질 수 있을 것이다.

참고문헌

1. O. J. Glembocki, E. D. Palik, G. R. de Guel, D. L. Kendall, *J. electrochem. Soc.*, **138**, 1055(1991).
2. H. Seidel, L. Csepregi, A. Heuberger, H. Baumgartel, *J. electrochem. Soc.*, **137**,

- 3612(1990).
3. Kazuo Sato, Mitsuhiro Shikida, Yoshihiro Matsushima, Takashi Yamashiro, Kazuo Asaumi, Yasuroh Iriye, Masaharu Yamamoto, *Sensors and Actuators A*, **64**, 87(1998).
 4. Kazuo Sato, Mitsuhiro Shikida, Takashi Yamashiro, Masaki Tsunekawa, Shunji Ito, *Sensors and Actuators A*, **73**, 122(1999).
 5. Irena Zobel, *Sensors and Actuators A*, **84**, 116(2000).
 6. 남철우, 최기석, 김삼동, 김정태, *공업화학전망*, vol 2, No 3, p 11(1999).
 7. G. J. Pietsch, G. S. Higashi, and Y. J. Chabal, *Appl. Phys. Lett*, **64**, 3115(1994).
 8. G. J. Pietsch, Y. J. Chabal, and G. S. Higashi, *J. Appl. Phys*, **78**, 1650(1995).
 9. Krishnan Raghavachari, Y. J. Chabal, Lisa M. Struck, *Chemical Physics Letters*, **252**, 230(1996)
 10. L. M. Struck, J. Eng Jr., B. E. Bent, G. W. Flynn, Y. J. Chabal, S. B. Christman, E. E. Chaban, K. Raghavachari, G. P. Williams, K. Radermacher, S. Mantl, *Surface Science*, **380**, 444(1997)
 11. Minoru Tomozawa, *Solid State Technology*, July, 169(1997).

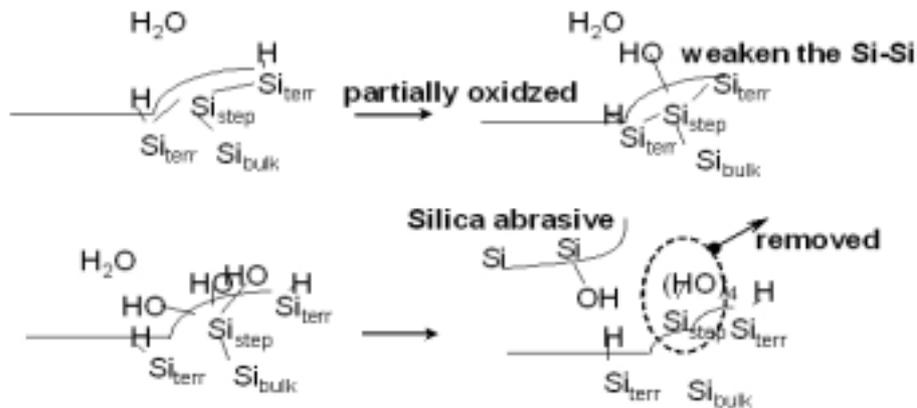


Fig. 1. Silicon의 CMP 공정의 연마 메카니즘

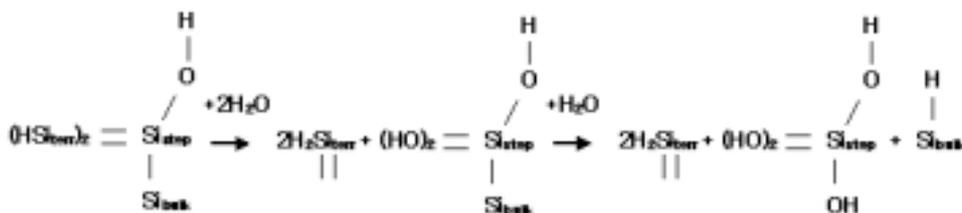


Fig. 2. 연마제를 포함하지 않는 알칼리 용액에서의 연성고분자패드를 이용한 poly-Silicon의 연마 메카니즘

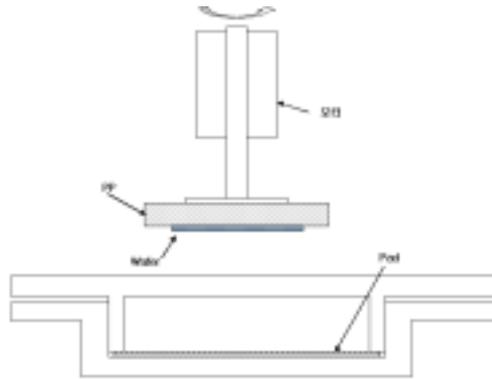


Fig. 3. 연성고분자패드를 이용한 연마장치의 개략도

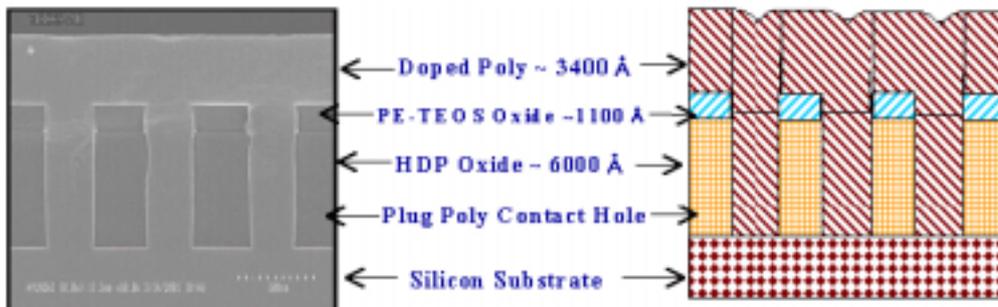


Fig. 4. 패턴이 있는 Poly-Si wafer의 단면 SEM 사진

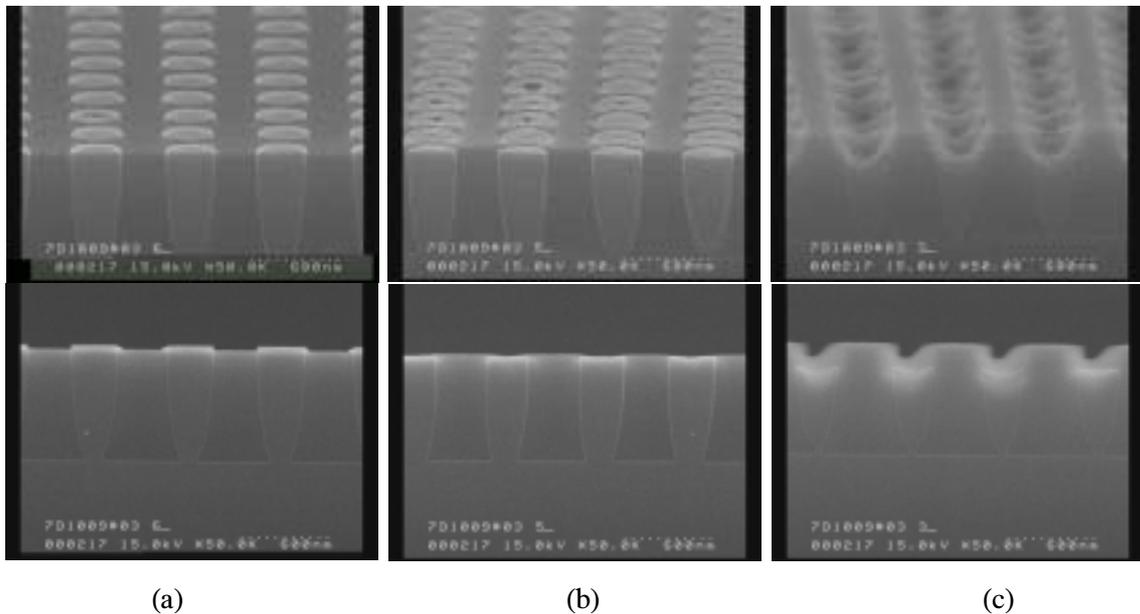


Fig. 5. 3M KOH용액과 연성고분자패드를 이용한 polishing 공정에서의 연마 시간에 따른 SEM 사진; (a)13분, (b)15분, (c)20분