

Low damaged FIB-TEM specimen preparation by using Ar ion-milling technique

어희주, 이승현, 김 원, 박주철, 이순영

(주) 하이닉스 반도체 메모리연구소 분석개발팀

1. Introduction

반도체 공정 평가 및 분석에서 Focused Ion Beam (FIB) 장치는 일반적으로 미세 회로의 수정 및 불량 부위의 단면 제작 등에 널리 사용되어져 왔다., 또한 이를 응용한 특정 위치의 Transmission Electron Microscopy (TEM) 시료 제작 방법의 종류가 매우 다양해 지면서 특정 위치의 고 분해능 분석에 많은 도움을 주고 있다., 그러나 FIB를 이용한 TEM 시료 제작은 기존의 ion miller에 의하여 마무리되는 것에 비하여 damage나 시편 자체의 두께가 두꺼워 crystal defect등의 high-resolution을 관찰하기에 어렵다는 단점을 지니고 있다. 실제로 25keV의 가속 전압을 갖는 FIB에서 제작한 시편의 damage는 약 20nm 정도로 보고되고 있으며 시료 제작과정에서 금속이나 반도체와 같은 high thermal conductivity를 지닌 물질들은 국부적으로 온도가 올라가게 되어 artifact를 유발하는 요인이 된다. 이와 같은 damage나 artifact들을 최소화하기 위해 thinning 단계에서 I₂, XeF₂등의 gas를 사용하거나 시편의 하부에 구멍을 내어 thinning하는 등 많은 연구가 이루어지고 있다. 근래에 들어와서 FIB 장비 내에 250~500eV정도의 저 에너지 Ar ion gun을 장착하여 damage를 제거하는 시도가 진행되고 있다. 본 실험에서는 이와 같은 일련의 simulation 결과 및 시험적 기술들을 토대로 기존의 상용화된 50keV의 가속전압을 갖는 FIB장비를 이용하여 제작된 TEM 시료를 보다 얇고 향상된 thickness uniformity를 갖도록 제작하는 방법을 개발하였으며 시료의 damage 영역을 실제로 확인하고, 이를 제거하기 위하여 시도된 처리 방법과 결과에 대하여 논의하고자 한다.

2. Experiment & Result

본 실험에서는 FIB를 이용한 TEM 시편의 문제점을 파악하기 위하여 milling면의 경사 정도와 damage의 실제 두께를 확인하였다. 이 결과를 토대로 Ar ion beam을 이용하여 damage를 제거하기 위한 시도와 시편의 두께를 보다 얇게 만드는 시도를 하였다. 시편 제작에 사용된 장비는 50keV의 가속 전압을 갖는 FIB-100CM(micron)를 사용하였고 Damage 제거를 위해서는 Beam diameter가 ~5mm(FWHM), current density는 10mA/cm²인 Ar etching gun - PECS (Precision Etching and Coating System, Gatan)을 사

용하였다. 또한 PECS는 시편을 $\pm 45^\circ$ tilt와 360° 회전하는 것이 가능하다. 관찰에는 200keV의 TEM - CM200(Fei)을 사용하였다. Damage관찰을 위한 시료의 제작은 일단 단결정 Si wafer에 일반적인 단면 제작 방법으로 조건별 시료를 제작한 후, Epoxy나 SOG 등을 protective layer로 채워 넣은 다음 단면의 수직 방향으로 다시 TEM 시료를 제작하여 관찰하였다.

FIB에서 milling할 때 사용되는 집속 이온 빔은 gaussian 분포를 가지고 있기 때문에 milling된 면이 수직구조를 지닐 수 없고 약간 경사지게 만들어진다. 그림1.은 입사 빔의 조건에 따른 시료의 sputtering 형태를 보여 주는 그림으로 각 시편 상부에서 하부로 약 0.2°~ 2.2°경사면을 이루고 있음을 확인할 수 있다. 또한 집속 이온 빔을 수직 입사했을 경우, 상부에서 받게 되는 damage의 두께는 Monte carlo Simulation에 의하면 약 300nm로 계산되지만 그림2.와 같이 실제 증착을 위한 빔의 입사에서는 약 150nm의 damage가 발생함을 알 수 있었다. 이와 같은 두 가지 현상을 종합하여 보면 FIB를 이용하여 제작된 TEM시료는 일반적인 thinning 조건(~100pA)에서 시편의 하부로 갈수록 시료의 두께가 약 2°의 경사를 이루며 두꺼워지는 현상이 발생함을 알 수 있다. 이와 같은 문제점을 피하거나 제거하기 위해서는 관찰하고자 하는 layer를 최상부로부터 약 300nm 정도 떨어진 곳 까지 de-layer한 후 작업을 진행 하고 thinning에 사용되는 빔 조건에 따라 역으로 tilt를 주어 polish milling을 진행하여야 함을 알 수 있다. 그러나 이와 같이 제작을 하더라도 시편에 가해지는 damage는 그림3. A와 같이 약 30~40nm 두께로 여전히 남는다는 문제를 갖는다. 이를 제거하기 위하여 본 연구에서는 PECS의 Ar ion beam을 이용하여 lift-out 하기 바로 전 단계에서 다양한 조건으로 etching 시도하였다. 여러 조건 중에서 5keV, 200uA, 입사 angle이 15°인 경우, 그림3. B와 같이 약 8nm로 현저히 감소함을 알 수 있었고. 이를 통한 선명한 high resolution image를 관찰할 수 있는 가능성을 확보할 수 있었다.

3. Conclusion

본 실험을 통하여 FIB를 이용한 TEM 시료의 문제점을 해결하여 보다 깊이 있는 특정 부위의 분석을 수행할 수 있게 되었다. 이 외에도 주사할 수 있는 Ar beam을 이용하거나 FIB 자체에서 5kV 이하의 저 가속 전압을 이용할 수 있도록 설정하여 마지막 thinning에 사용하는 등의 방법으로 보다 재현성 있게 문제점을 제거하기 위한 실험을 진행 중이다.

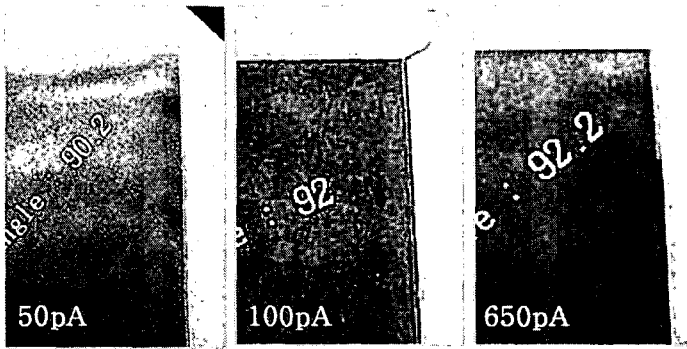


그림 1. 입사빔 조건에 따른 시료의 sputtering 형태



그림 2. 입사빔에 의한 Top damage

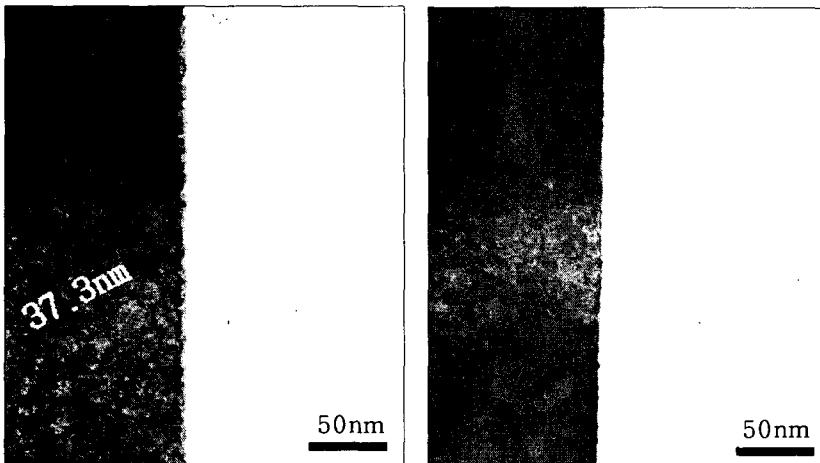


그림 3. Ar ion beam 이용 전(좌), 후(우)

References

1. J. Melngilis. SPIE, vol 1465 (1991)
2. C. T. Kim, H. J. Kim and S.H. Choi, Semicon/Korea Technical Symposium, (1992)
3. R. J. Young, E. C. G.Kirk, D. A. Williams, and H. Ahmed, Meter. Res. Soc. Symp. Proc. 199, 205 (1990)
4. F. A. Stevie, T. C. Shane, P. M, Kahora, R. Hull, D. Bahnck, V. C. Kannan, and E. Davis, Proceedings of the symposium on Applied Surface Analysis, Burlington, MA (1995) Vol. 23, P. 61
5. M. Tarutani, K. Min, Y. Takai, and R. Shimizu, Extended Abstract of the 55th Autumn Meeting, Japan Soc. App. Phy (1994)
- 6.T. Ishitani and Y. Kaga, J. Electron Microsc. 44 (1995) P. 331
7. A. Yamaguchi and T. Nishikawa, J. Vac. Sci. Technol. B13(3) (1995)
8. R. Pantel, G. Auvert and G. Mascarin, Mat. Avanced Mentalization (1997) P.99
9. Y. W. Beag, M. Gotoh, R. Shimizu, R. Aihara and H. Takahashi, IEEE (1999)
10. G. S. Cho, E. H. Choi, Y. H. Seo, T. W. Kim, and S. O. Kang, J. Appl. Phys. 74 (5), 3503 (1993)
11. P. Jacob, A. Schertel, L. Peto and G. Sundaram, Proceedings of 7th IPFA (1999)