

Preparation of site-specific transmission electron microscopy plan-view specimens for failure analysis

김 원, 이승현, 어희주, 박주철, 이순영
(주) 하이닉스 반도체 메모리연구소 분석개발팀

I. Introduction

일반적으로 반도체 공정 평가 및 분석에서 Focused Ion Beam (FIB) 장치는 미세회로의 수정과 불량 부위의 단면 제작 및 관찰에 널리 사용되어져 왔다. 특히 0.1um 이내의 불량 부위까지도 접근하여 단면 형성이 가능하기 때문에 특정 부위의 Transmission Electron Microscopy (TEM) 시료 제작에 효과적으로 사용되고 있다. 이와 같이 FIB를 이용한 TEM 시료의 제작은 전통적인 trench 방법과 함께 Wafer를 깨지 않고 FIB 내에서 박막을 만든 후 외부에서 매우 얇게 제작한 glass tip의 정전기를 이용하여 채취한 다음, holed carbon grid에 부착하여 바로 관찰하는 lift-out 방법이 개발되어 보급되고 있다. 이와 같은 방법들은 각기 장단점을 가지고 있는데 주로 특정 위치의 단면 시료를 대상으로 하고 있다. 최근에는 단면 이외에도 특정 위치의 평면 관찰에 대한 관심이 커지고 있는데 이는 평면 시료에서 얻을 수 있는 정보가 매우 유용하기 때문이다. 그러나 특정 위치에 대한 평면 시료의 제작은 단면에 비하여 과정이 복잡하고 많은 시간을 필요로 하며 실패 가능성도 높다. 따라서 본 논문에서는 lift-out 방법을 이용하여 평면 시료가 가지는 장점을 가지면서도 매우 빠르고 안전하게 시료를 제작할 수 있도록 개발된 방법과 이를 이용하여 특정 불량 부위에서 진행된 분석 사례를 소개하고자 한다.

II. Experiment

일반적으로 특정 위치의 평면 시료를 만들기 위해서는 그림1.(a)와 같이 여러 단계의 미세 연마가 필요하다. 이와 같은 미세 연마는 높은 숙련과 일정한 시간을 필요로 하기 때문에 시료 제작 시간이 많이 들고 실패하기 쉽다. 따라서 본 실험에서는 이와 같은 미세 연마 과정을 줄이는 관점에서 cover glass를 덮은 후 불량 위치까지 한번만 연마하면 되는 PPC(Precise Polishing with Cover-glass)법과 bulk자체를 lifting하여 미세 연마 단계를 완전히 없앤 BLS(Bulk Lift-out Sampling)법의 두 가지 방법을 고안하여 시도하였다.

1) Plan-view sample preparation based on Lift-out I.: PPC-method

그림1.(b)와 같이 lift-out방법에 기초를 둔 PPC법은 일단 bit fail이 발생한 위치가 광학 현미경으로는 확인이 불가능 하므로 FIB를 이용하여 불량 부위의 address를 센 후 표시를 하여야 한다. 이 때 그림2.와 같이 두 가지 크기로 표시하게 되는데 큰 box(5X5 μ m이상)는 polishing 할 때 확인하는 reference box이고 작은 box(1X1 μ m이내)는 TEM을 관찰할 때 불량 address를 알려주는 reference box이다. Polishing 할 때는 그림3.과 같이 reference box를 기준으로 진행 한 후, 수직으로 세워서 holder에 장착한 후 loading한다. 시편을 holder에 붙일 때는 시편 내에서 동일 layer의 평면 시료를 제작하여야 하므로 수직으로 정확히 장착하는 것이 매우 중요하다. 마지막으로 원하는 부위를 찾아 기존의 lift-out법과 같이 시료를 제작하여 채취하면 된다.

2) Plan-view sample pre-preparation based on Lift-out II. : BLS-method

상기의 PPC방법은 기존의 일반적인 방법에 비해서는 많은 개선이 이루어 졌지만 특정 부위에 1 μ m 이내로 근접하도록 시료를 연마하여야 하므로 여전히 시간이 많이 걸리고 실패율이 높게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 본 실험에서는 그림4.와 같이 일단 bulk형태의 시료를 제작하고 오직 lift-out 방법에 의존하여 채취한 후 시료 제작을 완료할 수 있는 방법을 개발하였다. 일단 bulk를 제작할 때는 glass tip에 의하여 채취가 용이하고 평면 시료 제작에 용이한 크기와 모양으로 만들어야 한다. 이때 10 μ m 이내의 작은 크기는 glass tip 자체의 정전기를 이용하여 채취할 수 있으며 그 이상의 크기는 glass tip을 vacuum tweezers로 변형하여 사용하였다. 이와 같이 채취된 시료는 charging을 막고 시편 search를 용이하게 하기 위하여 metal pad 위에 놓은 다음 원하는 위치를 선정, lift out과 동일한 방법으로 시료를 제작하여 채취하면 된다. 이때 주의할 점으로는 원하는 평면의 동일 layer를 최대한 넓게 관찰하기 위해서 bulk 시편의 단면을 완전 수직으로 만드는 것과 텅스텐 증착을 이용, 접지를 해주어 전기적인 floating을 방지해 주어야 한다는 것이다.

III. Case study of Failure Analysis using plan-view sample

본 연구에서 시도된 특정 위치의 평면 시료 제작 방법을 실제 불량 분석에 적용하기 위하여 전기적인 test를 통해 single bit fail로 판명된 0.16 μ m technology SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) 시료를 대상으로 평면 분석을 시도하였다. Single bit fail은 말 그대로 cell 하나가 fail되는 것으로 그 원인은 몇 가지로 한정되어 있다. Fail은 cell에 쓰여진 data의 전위가 바뀔 때 발생하는데 독립된 data의 전위가 바뀌기 위해서는 다른 전위를 가진 부분과 연결이 되어 있거나 처음부터 원하는 data가 기록되지 않은 경우를 들 수 있다. 이 외에도 data가 기록되긴 하였으나 조금씩 새어

나가는 경우에 이를 감지하는 회로의 sensing margin이 작으면 single bit fail로 인지하게 된다. 이렇게 다양한 가능성이 있음에도 불구하고 처음부터 한정된 layer의 평면을 제작 관찰하는 방법으로 분석을 시도하는 것은 무리가 있다. 그러므로 이에 앞서 SEM 분석 및 불량 원인에 대한 다양한 예상을 통하여 가장 가능성이 높은 layer 순서대로 시료 제작을 시도해야 효율적이다. 본 실험에서는 전기적 test를 거친 후 fail address를 FIB상에서 찾은 후에 voltage contrast를 이용하여 관찰한 결과, 불량 contact에서 보다 밝은 contrast를 지니고 있음이 관찰되었다. 이는 contact당 약 $\sim 10k\Omega$ 의 저항을 갖는 SNC(storage node contact)로는 발생할 수 없는 현상이므로 불량의 원인은 일단 bridge로 예상할 수 있다. 따라서 bridge를 확인하기 위하여 bit line에 맞추어 평면 시료를 제작한 결과, 그림6.과 같이 misalign에 의하여 발생된 SNC와 bit line간의 short가 불량의 원인임을 쉽게 확인할 수 있었다.

IV. Conclusion

결론적으로 lift out을 이용한 특정 부위의 평면 시료 제작은 기존의 방법보다 매우 빠를 뿐 아니라 높은 성공률도 가지고 있음을 확인하였다. 특히 단면으로는 미비했던 contact의 misalign에 의한 bridge나 not open 그리고 이물의 3차원적 분석 등 다양한 불량 양상에 대하여 확인이 가능하였으며 patterning 문제, 각 Layer별 높이에 따른 critical dimension (CD)의 측정, Metal contact의 매립 정도 등 공정 process에 대한 평면 분석도 가능하게 되었다.

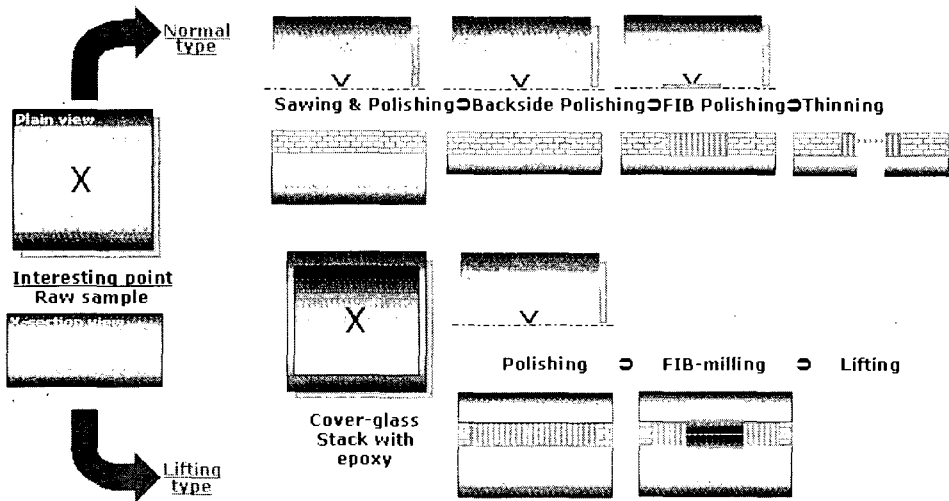


그림 1. FIB-TEM 평면 시료 제작 과정. (a) 위 : Trench 방법 이용한 일반적인 진행 과정 (b) 아래 : lift-out 방법 이용한 진행 과정

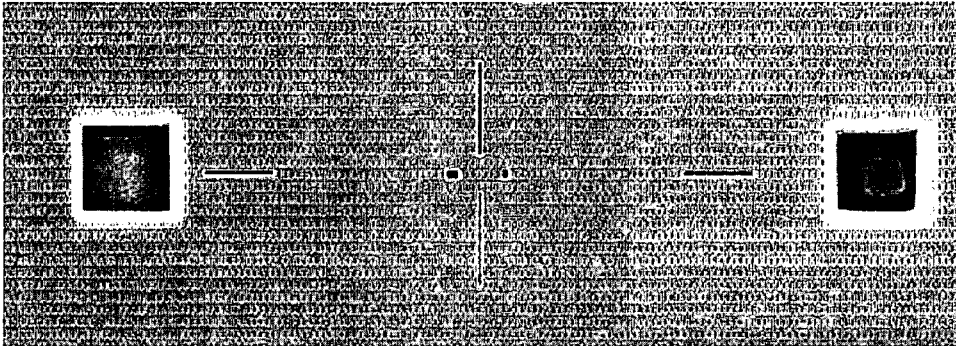


그림 2. FIB-TEM 평면 시료를 제작하기 위한 FIB Position Marking

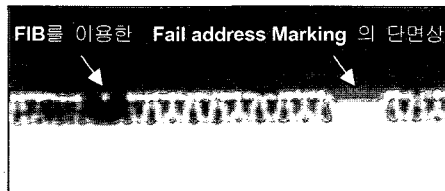
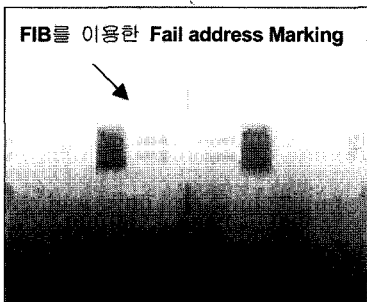


그림 3. Polishing procedure (a)좌: Top view after polishing, (b)우: X-section view after

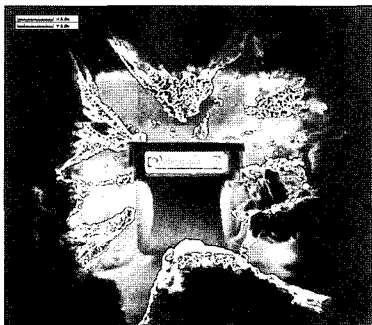


그림 4. Bulk sample milling



그림 5. Plan-view FIB-TEM image

References

1. J. Melngilis, SPIE, vol 1465 (1991)
2. Y. Sugimoto, M. Taneya, H. Hidaka, and K. Akita, J. Appl. Phys. 68, 2392 (1990)
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. R. J. Young, P.D. Charleson, X. Da, T. Hunt, and J. F. Walker, 24th ISTFA, 1998