

# Cu/Ultra Low-K CMP 공정에서 발생하는 박리 면적 예측 Prediction of Delamination Area in Cu/Ultra Low-K CMP

\*김기현<sup>1</sup>, #오수익<sup>1</sup>

\*K. H. Kim<sup>1</sup>, #S. I. Oh(sioh@snu.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Chemical mechanical polishing, Delamination

## 1. 서론

반도체 공정이 급속도로 고집적화되면서, 패턴의 선폴은 줄어들고 반도체 층수는 점차 증가해 왔다. 이러한 현상은 반도체 패턴을 전사시키는 사진공정에 있어서 엄격한 초점심도를 요구하게 되었다. 결국 chemical mechanical polishing/planarization (CMP)을 이용한 광역평탄화공정이 도입되었다 [1]. 그리고, 고집적화는 배선간의 전기적인 지연 현상을 나타내는 RC delay 를 급격히 증가시켰는데, 이를 해결하기 위해 재료적인 접근이 이루어져 왔다. 즉, 비저항을 낮추기 위해 기존의 텅스텐이나 알루미늄 배선에서 구리를 사용하게 되었고, 유전상수를 낮추기 위해 SiO<sub>2</sub> 를 사용했던 절연층에는 저유전물질(low-K)을 도입하기 시작했다. 그러나 재료 자체의 유전상수를 낮추는 방안이 한계에 이르자 기존의 저유전물질에 공극률을 넣은 초저유전물질 (ultra low-K: ULK)을 제안하기에 이르렀고, 현재 활발히 연구되고 있으며 일부 도입되었다 [2]. 그리고, ULK 가 보다 낮은 유전상수 값을 갖기 위해 공극률을 지속적으로 높이고 있다. 공극률이 높아질수록 ULK 가 약해지는데, 이러한 원인으로 인해 CMP 공정에서 박리현상이 발생하기 시작했다. 박리현상은 기존 CMP 공정에서는 없던 새로운 문제점으로, 패턴영역에서부터 웨이퍼 영역에 이르기까지 발생하는 매우 심각한 문제점이다 [3-5]. 이러한 박리현상을 이해하기 위한 많은 실험적인 접근이 이루어졌는데, 이들 대부분의 연구는 박리면적을 이용해서 그 결과를 정리하였다. Kondo 등은 ULK 의 modulus 와 CMP 공정의 적용압력 그리고 더미패턴의 밀도에 따른 박리경향을 박리면적으로 표시하였고 [6], Leduc 등은 공정시간과 패턴의 유무에 따른 박리경향을 박리면적으로 표시하였다 [7]. 이러한 실험결과는 박리현상 분석에 있어서 많은 진전을 가져왔다. 그러나, CMP 공정을 이용한 실험결과에서는, CMP 공정자체가 갖는 무수한 변수로 인해 많은 오차가 발생한다. 즉, 결과분석에 있어서 정성적인 결과에 만족할 수 밖에 없다. 그러나 만일, 이러한 자료를 분석할 적절한 이론적인 도구가 있을 경우 보다 명확하게 결과분석을 할 수 있을 것이다. 이에 본 논문에서는 시간에 따른 박리면적 예측 모델을 제시하였다. 그리고 이 모델을 기존의 실험결과와 비교하여 검증하였다. 또한 이 모델을 이용하여 기존과는 다른 새로운 각도에서 박리현상에 접근하였고, 의미 있는 결과를 도출하였다.

## 2. 박리 면적 예측 방법

우선, 박리현상을 예측하기 위해 4 가지 가정을 하였다. 첫째, 박리가 발생하는 위치는 웨이퍼 내부에 임의로 존재한다. 둘째, 박리는 박리가 발생하는 빈도, f, 로 연속적으로 발생한다. 셋째, 박리는 원형으로 퍼져 나간다. 넷째, 박리가 성장하는 속도, v, 는 ULK 재료의 crack speed 에 직선적으로 비례한다. 여기서 crack speed 는  $0.38 \times \sqrt{\text{Young's modulus} / \text{density}}$ 이다. Fig. 1 은 이러한 가정에 의해 예측한 박리 상태의 예이다.

이러한 가정을 이용해서 시간에 따른 박리면적을 예측하는 과정은 다음과 같다. 우선, N 개의 박리발생위치, P<sub>i</sub> (i=1~N), 를 임의의 웨이퍼 위에 지정한다. 여기서 박리는 i

의 순서로 순차적으로 발생한다고 생각한다. 다음으로 f 와 v 를 결정한다. 공정이 시작되고 t 초가 지난 후, P<sub>i</sub> 지점에서 발생한 박리 반경, R<sub>i</sub>, 은  $v \times (t - i/f)$ 이다. 이 때, 박리가 발생한 부분에서의 면적은 Monte Carlo 적분법을 이용하여 구한다.

## 3. 박리 면적 예측 방법의 검증

모델의 타당성을 검증하기 위해 우선, 모델이 실제 박리현상을 잘 설명할 수 있는지 S. Kondo 등의 실험결과와의 비교를 통하여 확인하였다. S. Kondo 등은 그들의 실험에서 박리 시간에 따른 박리면적을 관찰하였는데, 이 때, ULK 의 modulus 에 따른 결과를 비교하였다. ULK 의 modulus 에 따라 crack speed 를 결정할 수 있고, 네 번째 가정에 의해 이 crack speed 를 이용해서 각 재료의 v 의 비를 구할 수 있다. 이 때, 마지막 순간까지 박리가 지속적으로 발생한다고 생각한다면, 유일한 변수는 f 뿐이다. 본 논문에서는 S. Kondo 등의 실험결과를 매우 잘 따르는 f 를 찾을 수 있었으며, 이 결과는 Fig. 2 에 보이고 있다. 또한 Fig. 2 에 보인 f 를 ULK 의 modulus 에 따라 Fig. 3 과 같이 나타낼 수 있다. Fig. 3 에서 ULK 의 modulus 가 약 6GPa 정도가 될 때 박리가 발생하지 않을 것을 예측할 수 있는데, 이 값은 기존 실험 논문에서 보인 5~8GPa 의 범위에 포함된다. 이로부터 본 논문에서 제시한 박리면적 예측방법이 실제 현상을 잘 설명할 수 있음을 알 수 있다.

## 4. 박리 면적 예측 방법의 적용

박리면적 예측모델을 이용해서 얻을 수 있는 유용한 결과를 보이도록 하겠다. 박리면적 예측모델에서 가장 중요한 변수는 v 와 f 인데, v 는 ULK 재료의 특성에 의해 결정되는 값이므로, 적절한 가정을 통해 조절이 가능한 변수는 f 이다.

Cu/ULK CMP 공정 시 웨이퍼에 작용하는 적용압력은 10~20KPa 정도이다. 그러나, 웨이퍼와 패드 사이의 접촉면적비가 매우 작기 때문에, 접촉압력은 수 ~ 수십 MPa 에 이를 수 있는데, 이러한 결과는 기존의 많은 논문 결과로도 확인할 수 있다. 이로부터 본 논문에서는 이렇게 높은 접촉압력이 박리를 유도할 것이라고 생각하였고, 패드의 웨이브와 웨이퍼와의 접촉량, N<sub>c</sub>, 이 박리현상과 밀접한 관련이 있을 것이라 판단했다. 그리고, 이러한 가정을 접촉면적 예측모델을 이용해서 검증하였다. 우선, N<sub>c</sub> 가 많을수록 박리가 잘 발생할 것이라는 가정에 대해, N<sub>c</sub> 와 f 와의 관계로 표현하였다. 연구의 시작단계로, 이 둘 사이에 가장 기본적인 관계인 비례관계가 있는 것으로 하였다. N<sub>c</sub> 에 가장 영향을 많이 줄 것으로 생각되는 것은 적용압력이므로, 우선 적용압력과 N<sub>c</sub> 와의 관계를 Greenwood-Williamson model 을 사용하여 구하였다. SEM 사진 등을 통하여 확인한 결과, 패드 웨이브 길이는 250~900um, 그리고 그 폭은 10~45um 이었다. 이 값을 이용해서 적용압력에 따른 N<sub>c</sub> 를 구할 수 있었다. 결국 이로부터 적용압력과 f 와의 관계를 구한 것이다.

S. Kondo 등은 적용압력과 박리현상의 관계를 관찰한 후 박리면적을 이용하여 결과를 기술 하였다. 그들은 박리

면적이 10, 50, 90%가 될 때까지의 시간을 측정해서 Fig. 4에 보이는 결과를 얻었다. 앞서 구한 적용압력과  $f$ 와의 관계를 이용해서, 10, 50, 90%의 박리가 발생한 시간을 예측하였다. 계산 결과로는 비례적인 관계만을 알 수 있으므로, Fig. 4의 S. Kondo 등의 실험값 중 10% 박리가 발생한 경우 중에 10.3kPa(1.5psi)에서의 실험값과 이 경우에 해당하는 계산값을 일치시켜서 Fig. 4에 비교해 놓았다. 계산값이 실제 실험값을 상당히 잘 따르고 있음을 또한 확인할 수 있다.

4. 고찰과 결론

CMP 공정에서 발생하는 박리면적을 네 개의 가정을 통하여 계산해 보았다. 그리고 계산값이 S. Kondo 등의 실험 결과를 매우 잘 설명할 수 있다는 것을 확인하였다. 그리고, 이 모델을 이용하여 S. Kondo 등의 또 다른 실험결과와 비교한 결과, 웨이퍼와 패드 사이의 접촉량이 박리와 밀접한 연관이 있다는 결과를 얻었다. 이 결과는 패드의 표면형상이 박리현상과 연관이 있다는 것을 의미하고, 더 나아가서는 패드의 표면형상을 결정하는 패드 컨디셔닝에 의해 박리현상이 영향을 받을 것이라 추론도 할 수 있다. 이러한 결론은 현재 Cu/ULK CMP에서 발생하는 박리현상에 새로운 접근방법을 제시해 주는 것으로 그 의미가 매우 크다.

참고문헌

1. Liang, H., and Crave, D., "Tribology in Chemical Mechanical Planarization," CRC Press, 2005.
2. Shamiryam, D., Abell, T., Iacopi, F., and Maex, K., low-K dielectric materials," materialstoday, 34, 2004.
3. Lu, M., Burke, P., Cui, H., Moore, D., Hsia, W.-J., and Catabay, W., "low- $\kappa$  dielectrics for on-chip interconnect application," LSI logic, 2002.
4. Breen, M.R., Foster, C.M., Lee, J.J., Mlynko, W., and Bass, S., "Role of passivation etch polymers in interfacial delamination for polymeric low-k dielectrics," J. Vac. Sci. Technol. B 18, 1314-1321, 2000.
5. Endo, N., Kondo, S., Tokitou, S., Yoon, B.U., Ohasih, N., Sone, S., Shin, H.J., Matsumoto, I., and Kobayashi, N., "Challenges of CMP Technology Beyond 65 nm Node," 8<sup>th</sup> international chemical-mechanical polish (c.m.p.) planarization for ULSI multilevel interconnection conference (CMP-MIC) and exhibition, 2003.
6. Kondo, S., Tokitoh, S., Yoon, B.U., Namiki, A., Sone, A., Ohashi, N., Misawa, K., Sone, S., Shin, H.J., Yoshie, T., Yoneda, K., Shimada, M., Ogawa, S., Matsumoto, I., and Kobayashi, N., "Low-Pressure CMP for Reliable Porous Low-K/Cu Integration," Proceedings of the IEEE 2003 International Interconnect Technology Conference, 86-88, 2003.
7. Leduc, P., Savoye, M., Maitrejean, S., Scevola, D., Jousseau, V., and Passemard, G., "Understanding CMP-induced delamination in ultra low-k/Cu integration," Interconnect Technology Conference, 2005. Proceedings of the IEEE 2005 International, 209- 211, 2005.

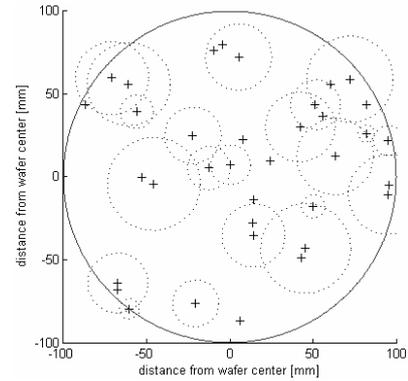


Fig. 1 Example of predicted delamination area. (+: delamination onset point; dot line: delamination area; solid line: wafer boundary)

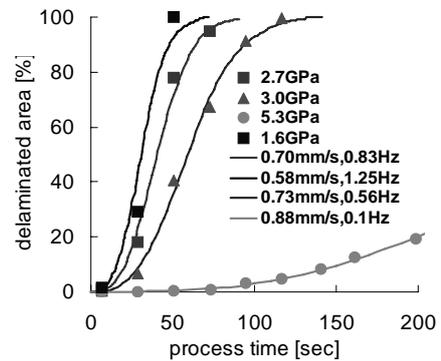


Fig. 2 Comparison between predicted delamination area and S. Kondo et al.'s work. (Point: experiment data by S. Kondo et al.; Line: prediction by this work)

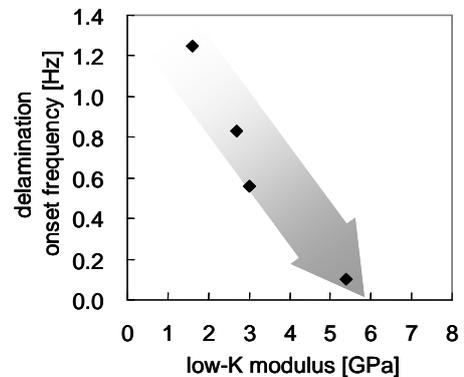


Fig. 2 delamination onset frequency vs. ULK modulus

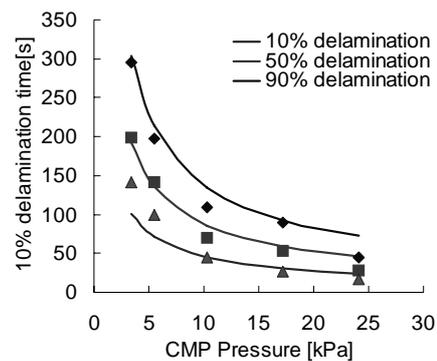


Fig. 4 Comparison between prediction and S. Kondo et al.'s work. (Point: experiment data by S. Kondo et al.; Line: prediction by this work)