

## 실리콘 연마에서 패드 버핑 공정이 연마특성에 미치는 영향

### Effect of Pad Buffing process on Material Removal Characteristics in Silicon Chemical Mechanical Polishing

박기현<sup>1</sup>, 정해도<sup>2,a</sup>, 박재홍<sup>3</sup>, 마사하루키노시타<sup>3</sup>

(Ki-Hyun Park<sup>1</sup>, Hae-Do Jeong<sup>2,a</sup>, Jae-Hong Park<sup>3</sup>, and Masaharu Kinoshita<sup>3</sup>)

#### Abstract

This paper investigated the effect of the pad buffing process on the material removal characteristics and pad stabilization during silicon chemical mechanical polishing. The pads surface were controlled by the buffing process using a buffer made by the sandpaper. The buffing process is based on abrasive machining by using a high speed sandpaper. The controlled pad by the buffing process show less deformation deviation and stable material removal rate during the CMP process. In addition, the controlled pad ensure better uniformity of removal rate than comparative pads. As a result of monitoring, the controlled pad by the buffing process demonstrated constant and stable friction force signals from initial polishing stage. Therefore, the buffing process could control the pad surface to be uniform and improve the performance of the polishing pad.

**Key Words :** Pad, Silicon, Chemical mechanical polishing(CMP), Buffing process

#### 1. 서론

반도체는 확산공정을 이용한 메시트렌지스트 개발과 반도체 소자의 평면적을 구현할 수 있는 플래너 공정개발로 인하여 비약적인 발전을 이룩하였다[1]. 또한 이러한 기술을 이용하여 고집적화와 초고속의 반도체 집적소자를 만들기 위해서 구성 재료와 구조적인 측면에서 변화가 필요하게 되었다. 재료적 측면에서는 낮은 비저항을 가지는 배선 재료와 낮은 유전율을 가지는 절연재료로 바뀌어 가고 있으며, 구조적 측면으로는 최소 선폭의 감소, 칩과 웨이퍼 크기의 증가와 다층배선화가 일어나고 있다. 따라서 고집적도의 패턴을 구현하기 위해서는 웨이퍼 표면의 평탄도를 확보하는 것이 필

수적이다. 이러한 원인으로 인하여 의해 소자의 집적도가 높아질수록, 화학 기계적 연마 (chemical mechanical polishing; CMP)에 의한 평탄화공정은 필수적인 기술이 되고 있다[2].

CMP 공정은 슬러리와 연마 대상 재료인 웨이퍼 표면의 박막 사이의 화학적 반응에 의해 반응 표면층이 형성되고, 이와 동시에 슬러리, 패드, 웨이퍼 사이의 압력과 상대운동에 발생하는 기계적 에너지에 의해 박막의 표면에서 재료를 제거해 나가는 공정이다[3].

이러한 CMP 공정에서 재료 제거특성에 영향을 미치는 많은 인자들 중에서, 연마패드는 연마율 (removal rate, RR)과 연마불균일도(within wafer non-uniformity; WIWNU)에 영향을 미치는 중요한 변수로 작용한다. 특히, 연마패드의 표면특성은 재료제거와 밀접한 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. Lawing과 Hooper는 패드 표면의 형상을 제어하여 연마율에 직접적으로 영향을 미치는 컨디셔닝 (conditioning) 공정의 중요성에 대해서 기술하였다[4,5]. McGrath는 연마시간에 따른 연마율과 패드 표면 상태변화의 연관성을 단계적으로 기

1. 부산대학교 정밀기계공학과  
(부산시 금정구 장전동 산30)  
2. 부산대학교 기계공학부  
3. Nitta Haas Inc.(Japan)  
a. Corresponding Author : hdjeong@pusan.ac.kr  
접수일자 : 2007. 2. 13  
1차 심사 : 2007. 3. 2  
심사완료 : 2007. 3. 20

술하였다[6]. Lee와 Park은 표면 거칠기 인자를 분류하고, 이에 따라 컨디셔닝 공정에 따른 표면 거칠기의 변화를 마찰력과 재료제거의 관점에서 언급하였다[7,8]. 이러한 연구들은 공통적으로 연마패드의 표면 상태가 CMP 공정에서 재료제거특성과 강한 상관관계가 있음을 기술하고 있다.

따라서 본 연구에서는 버핑 공정을 이용하여 연마패드의 표면 형상을 제어하였다. 이에 따라 패드 표면 상태와 연마특성과의 상관관계를 파악하여, 패드 버핑 공정을 통한 연마특성의 향상을 목표로 한다.

## 2. 실험

### 2.1 패드 표면 형상제어

본 연구에서 실리콘 웨이퍼 연마를 위해 사용한 패드는 연속 발포체 패드로서, 부직포를 기본 재료로 하고 있다. 또한 그 섬유 교차체 내에 함유된 여러 가지의 수지가 섬유끼리의 binder로서 작용하면서 그 수지층 자체가 연속 발포 구조를 갖고 있다[9]. 패드 표면은 균일하지 못하고, 두께 편차가 심한 상태로 존재한다. 이러한 불규칙한 패드 표면층을 균일한 상태로 제어가능하다면, 연마특성을 향상시킬 수 있게 된다.

패드 표면층을 균일한 상태로 만들기 위해서, 버핑 공정 (buffing process)을 이용하였다. 버핑 공정이란, 천이나 가죽 또는 연마입자가 부착된 소재로 이루어진 버퍼(buffer)를 고속으로 회전시켜 표면을 연마하는 기계가공법의 하나이다(그림 1). 본 연구에서는 샌드페이퍼 (sandpaper)를 버퍼로 사용하였고, 버퍼가 가지는 표면 상태를 패드에 전사하여 불균일한 패드 표면을 제거하였다. 따라서 이러한 표면 처리기법을 사용하여, 기존 패드에 존재하는 불규칙하고 불균일한 패드 표면층을 제거하여 재현성 있는 연마특성을 제공해 줄 수 있게 된다.

CMP 공정에서 웨이퍼와 연마패드가 접촉하여 재료 제거가 이루어지므로, 연마패드의 표면특성은 재료제거 특성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[4-8]. 그러나 CMP 공정에서 패드는 실제 연마에 사용되기 전에 다이아몬드 디스크를 사용하여 패드 표면의 거칠기를 확보하고, 이와 동시에 패드의 표면특성의 최적화를 위해서 안정화과정(break-in process)을 필요로 한다. 안정화공정은 더미(dummy) 웨이퍼와 슬러리의 낭비를 초래하고, 긴 안정화 시간을 요구하게 된다. 이러한 안정화시간을 감소시키고, 패드 표면의 거칠기를 확보함과 동시에 두께편차를 감소시키는 중요하다.

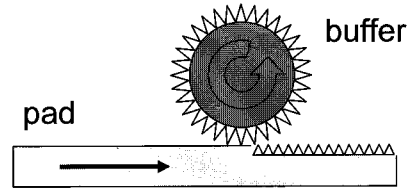


그림 1. 패드 표면형상 제어를 위한 버핑 공정의 개념도.

Fig. 1. Schematic of the buffing method used to control the pad surface in this research.

따라서 본 연구에서는 버핑공정을 사용하여, 패드 제작 시에 버퍼를 사용하여 패드의 표면 거칠기를 확보함과 동시에 불균일한 표면층을 제거하여, 연마특성을 향상을 확보하고자 한다.

### 2.2 실험장치

본 연구에서 패드는 폴리에탄이 함침 된 폴리에스테르 펠트 (polyester felt)를 표면 처리하여 사용하였다. 상용패드와 표면처리를 통하여 형상제어를 한 패드 (#180, #240, #600; 버퍼 거칠기 번호)를 포함하여 4가지의 시편을 준비하였다.

웨이퍼는 4인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였고, 슬러리는 콜로이드(colloidal) 실리카 (silica) 타입을 사용하였다. 연마 공정 중의 마찰력을 모니터링하기 위하여, 그림 2와 같이 연마 장치에 압전센서를 부착하였다.

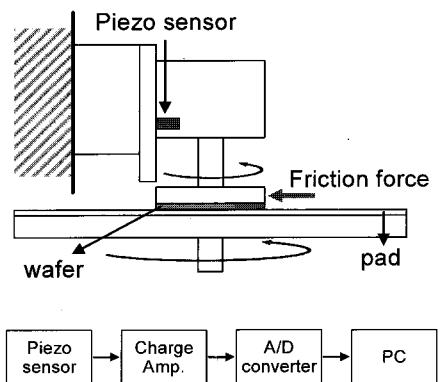


그림 2. CMP 공정에서 압전센서를 이용한 마찰신호의 모니터링 장치 구성도.

Fig. 2. Schematic of monitoring system setup using the piezoelectric force sensor for obtaining the friction force signal.

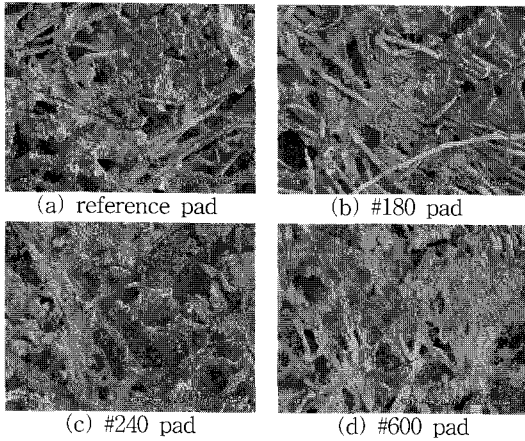


그림 3. 기준패드(a)와 거칠기가 상이한 샌드페이퍼를 이용하여 버핑공정을 적용한 연마패드(b=#180, c=#240, d=#600)의 표면이미지.

Fig. 3. SEM images of the pads; reference pad(a), controlled pads by the buffing method using variable roughness sandpapers (b=#180, c=#240, d=#600).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 패드 표면이미지 및 특성

샌드페이퍼를 이용한 버핑공정으로 연마패드의 표면을 연마하였고, 표면 이미지를 그림 3에 나타내었다. 버핑 공정으로 표면의 형상을 제어한 패드들은, 기준패드 (a)와 달리 표면이 다른 형상을 가짐을 알 수 있다. 2장에 기술한 것처럼, 부직포를 기본 재료로 하고 폴리머가 함침되어 있는 연속 발포체 타입의 연마패드는 표면에 불규칙하고 균일하지 못한 층이 존재한다는 것을 그림 3에서 알 수 있다. 버퍼로써 사용되었던 샌드페이퍼의 거칠기와 표면의 이미지는 선형적으로 비례하지는 않지만, (d) #600 패드는 기준패드나 다른 패드와는 달리 표면이 버퍼에 의해서 불균일한 층이 제거되어 두께편차가 작고 상대적으로 균일한 표면층을 가지고 있음을 알 수 있다.

기준패드와 버핑공정을 처리한 연마패드의 표면 거칠기를 측정하였고, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 버핑공정을 처리해준 연마패드들은 기준패드에 비해서 작은 표면 거칠기 값을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 거칠기가 상이한 버퍼를 사용하였음에도 불구하고, 표면 거칠기의 차이는 보이지 않음을 알 수 있다. 이러한 원인은 부직포 타입의 연마패드는 표면에 폴리머가 함침되어있고, 부드러운 부직포의 구조적특성으로 인하여 결과가 비례하지 않는 것으로 판단된다.

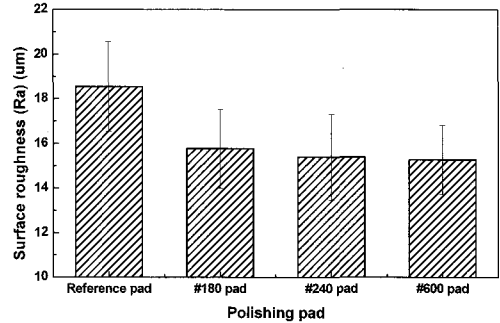


그림 4. 접촉식 측정기에 의한 연마패드의 표면 거칠기 측정값.

Fig. 4. Surface roughness values (Ra) of the polishing pads using the contact surface profiler.

버핑공정은 패드 표면의 거칠기를 형성에 기여한다. 또한 부직포타입 패드의 경우에는 불규칙하게 함침되어 있는 폴리머를 제거하고, 패드의 두께편차를 감소시켜 패드를 평탄하게 만들어 주는 효과도 있다. 이러한 영향을 확인하기 위하여 연마패드의 탄성계수를 나타내는 점탄성 변형량을 측정하였다. 점탄성 변형량이 작다는 것은 높은 탄성계수를 가짐을 의미하고, 이는 인가되는 압력에 안정한 변형특성을 가짐을 의미하는 것이다. 표면 처리한 패드 (#600)는 다른 패드들에 비해서 점탄성 변형량이 작다는 것을 알 수 있다. 이것은 버핑공정이 연마패드의 불균일하고 높이 편차가 심한 표면층을 제거하였기 때문이다. 이러한 결과로부터, 버핑공정은 부직포타입 패드의 불균일한 표면층을 제거하여 평탄(flat)한 형상으로 제어할 수 있다는 것을 알 수 있다.

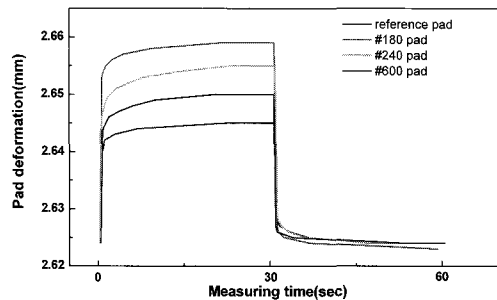


그림 5. 압축 및 회복 실험을 통한 연마패드의 점탄성 변형량 측정값.

Fig. 5. Viscoelastic deformation values of the polishing pads by creep and recovery test.

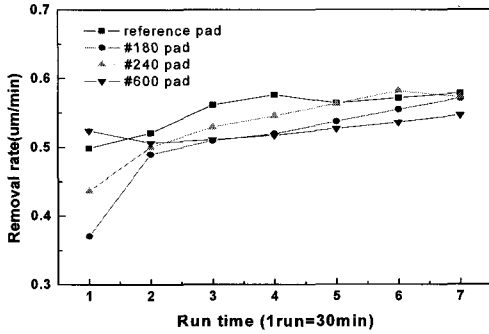


그림 6. 연마시간에 따른 패드별 연마율 비교.  
 Fig. 6. Material removal rate of the pad according to the run time; 1run=30 min.

표면 형상이 다른 4가지 패드를 사용하여 연마 실험을 진행하였고, 연마패드의 재현성과 성능을 확인하기 위하여 연마율의 변화를 관찰하였다. 첫 번째 연마시간(run 1)에서 #600 패드의 연마율이 가장 크고, #180 패드가 가장 낮은 연마율을 보여 주고 있음을 그림 6에서 확인 할 수 있다. 이러한 결과는 연마패드의 점탄성 변형량의 측정결과와 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 연마초기에는 패드가 안정화되는 시간이 필요하게 되고, 이러한 것은 패드의 변형특성에 많은 영향을 받게 된다. #600 패드는 다른 패드와 비교하였을 때, 상대적으로 평탄하고, 불균일한 표면층이 제거되어서 두께 편차가 작고 변형특성이 안정하기 때문에 초기에 연마율이 높게 나온 것으로 판단된다. 전 연마구간에서 안정한 연마율을 확보하기 위하여, 실제 연마에 사용되기 전에 표면에 거칠기를 확보하고 연마 패드의 젖음성을 증가시키는 브레이크인(break-in) 공정이 필요하다. 다른 패드는 연마횟수가 증가함에 따라 연마율이 서서히 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 전체 연마구간에 걸쳐 판단했을 때, #600 패드가 처음부터 안정적이고 재현성 있는 연마율을 나타내었다.

연마율의 결과를 바탕으로, 연마불균일도 (wafer to wafer non-uniformity; WTWNU)를 측정하였고, 그림 7에 나타내었다. 연마 불균일도가 표면처리 기법에 사용된 버퍼의 거칠기에 비례하지는 않지만, #600 패드는 다른 패드에 비해서 양호한 특성을 나타냄을 알 수 있다. 이러한 결과는 위에서 언급하였듯이, 표면처리 기법을 사용하여 연마패드 표면의 불균일한 층을 제거하였기 때문으로 판단 된다.

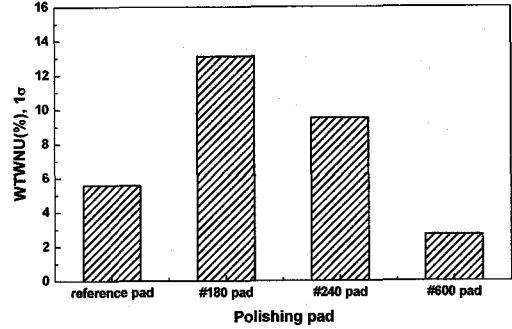


그림 7. 표면처리에 따른 연마 불균일도 비교.  
 Fig. 7. Uniformity of the material removal rate (WTWNU) according to the polishing pads.

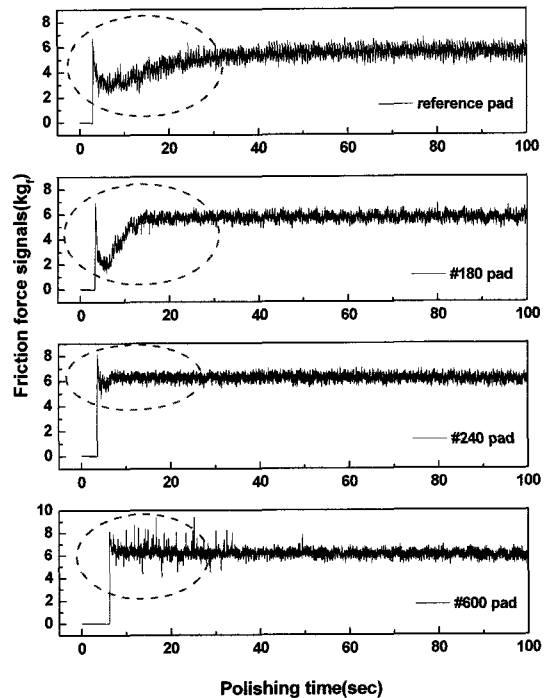


그림 8. 연마패드의 표면 상태에 따른 마찰력 신호 형상 분석.  
 Fig. 8. Analysis of the friction force signals of the polishing pad according to the pad condition.

표면처리기법에 의한 패드 표면 상태와 재료제거율 변화와의 상관관계를 규명하기 위하여, 연마 공정 중에 마찰력 센서를 이용하여 실리콘 웨이퍼

재료제거 시 발생하는 진단력을 측정하였고, 그 결과를 그림 8에 제시하였다. 연마율의 결과에서 확인하였듯이, 첫 번째 연마에서 표면처리에 의한 패드별로 많은 차이를 나타내었다. 이러한 경향은 마찰력 신호 분석에서도 확인 할 수 있다. 기준패드는 표면 처리한 #180 패드와 #240 패드보다 초기 연마율은 높았지만, 마찰력 결과에서 알 수 있듯이 초기에 불안정한 신호를 보여주고 있다. 또한 표면 처리한 #600 패드는 처음부터 안정된 마찰력 신호를 나타내면서 연마가 진행됨을 알 수 있다. 이러한 마찰력의 초기 신호는 패드의 표면 상태와 연관 지어 설명 할 수 있다. 다른 패드와 비교하였을 때, #600 패드는 고운 버퍼로써 가공을 하였기 때문에 패드 표면에 존재하는 불균일한 층이 제거됨과 동시에 전체적으로 표면 거칠기가 균일하게 형성된다. 그러나 기준패드를 포함한 다른 패드들은 거친 버퍼를 사용하였기 때문에 표면의 불균일한 표면층은 제거되었지만, 이와 동시에 표면에 균일하지 못하고 편차가 심한 거칠기가 형성되었을 것으로 판단된다. 따라서 #600과 같은 거칠기의 버퍼를 사용하여 패드 표면을 가공하게 되면, 기존의 더미(dummy) 웨이퍼를 사용해서 패드의 최적의 성능을 도출하기 위한 브레이크인 공정 시간을 줄일 수 있다는 것을 실험결과로부터 알 수 있다. 패드 표면의 불균일한 층을 제거하게 되면, 안정된 마찰특성과 재현성 있는 연마율을 가능하게 함으로써 연마특성의 향상이라는 목적을 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문은 표면 처리 기법에 의한 버핑공정으로 연마패드의 표면특성을 제어하고, 궁극적으로 실리콘 연마에서 연마특성에 미치는 영향을 파악을 목적으로 하였다. 버핑공정을 이용하여 패드 형상을 제어하였고, 연마공정 중에 재료제거의 변화를 감시하기 위하여 마찰신호를 분석과 동시에 연마특성의 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

버핑공정은 연마패드의 표면에 존재하는 두께 편차를 감소시키고 불균일한 층을 제거하고, 패드 전면에 균일한 거칠기를 가지는 평탄한 표면층을 형성할 수 있음을 확인 하였다. 그리고 이 공정은 높은 연마율과 안정한 패드의 성능을 도출하기 위

해서 기존의 연마공정에서 필수적인 브레이크인 공정시간을 줄일 수 있음을 확인하였다. 또한 연마 초기에 발생하는 마찰력이 불안정한 영역도 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 버핑공정은 연마패드의 표면형상의 제어를 통하여 연마특성을 향상시키고, 보다 안정하고 우수한 성능의 패드 제작을 가능하게 할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] P. Singer, "The future interconnects", Semiconductor International, Vol. 15, p. 90, 1998.
- [2] S. H. Li and R. O. Miller, "Chemical mechanical polishing in silicon processing", Academic Press, Vol. 63, p. 1, 2000.
- [3] M. R. Oliver, "Chemical-mechanical planarization of semiconductor materials", Springer, Vol. 69, p. 1, 2004.
- [4] A. S. Lawing, "Pad Conditioning Effects in Chemical Mechanical Polishing", China 2004 SEMI Technology Symposium, 2004.
- [5] J. McGrath and C. Davis, "Polishing pad surface characterisation in chemical mechanical planarization", J. of Material Processing Technology, Vol. 153-154, p. 666, 2004.
- [6] B. J. Hooper, G. Byrne, and S. Galligan, "Pad conditioning in chemical mechanical polishing", J. of Material Processing Technology, Vol. 123, p. 107, 2002.
- [7] H. S. Lee, B. Y. Park, H. D. Seo, H. D. Jeong, and H. J. Kim, "Correlation Between Pad Roughness and Frictional Behavior in Chemical Mechanical Polishing", Proceeding of PacRim-CMP 2005, p. 347, 2005.
- [8] K. H. Park, J. W. Jung, H. D. Seo, H. D. Jeong, and H. J. Kim, "Effect of Pad Surface Roughness on Material Removal in CMP", Proceeding of PacRim-CMP 2005, p. 357, 2005.
- [9] J. M. Steigerwald, "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials", John Wiley & Sons Inc., p. 65, 1997.