

CMP 공정에서 Diamond Disk와 Pad PCR 상관관계 연구

윤영은*, 노용한, 윤보연*, 배성훈**
 성균관대학교, 삼성전자*, SKC**

Interrelation of the Diamond Disk and pad PCR in the CMP Process

Young-Eun Yun, Yong-Han No, Bo-Earn Yoon*, Sung-Hun Bae**
 Seunggunwan Univ., Samsung Electronic Company*, SKC**

Abstract : As circuits become increasingly complex and devices sizes shrinks, the demands placed on global planarization of higher level. Chemical Mechanical Polishing (CMP) is an indispensable manufacturing process used to achieve global planarity. In the CMP process, Diamond Disk (DD) plays an important role in the maintenance of removal rate. According to studies, the cause of removal rate decrease in the early or end stage of diamond disk lifetime comes from pad surface change. We also presented pad cutting rate (PCR) as a useful cutting ability index of DD and studied PCR trend about variable parameters that including size, hardness, shape of DD and RPM, pressure of conditioner. It has been shown that PCR control ability of pressure and shape is superior to RPM and size. High pressure leads to a decrease of cell open ratio of pad surface because polyurethane of pad is destroyed by pressure. So low pressure high RPM condition is a proper removal rate sustain. By examining correlations between RPM and pressure of conditioner, it has been shown that PCR safe zoneto satisfy proper removal rate has the range 0.06mm/hr to 0.12mm/hr.

Key Words : CMP (Chemical Mechanical Polishing), PCR(pad Cutting Rate), Diamond Disk(DD), Removal rate(RR)

1. 서 론

반도체 소자가 고집적화 고속화 됨에 따라 소자의 구조적 측면에서 소자분리 및 다층 배선화의 중요성이 커지고 있다. 효과적인 소자분리 및 다층배선화를 위해서는 높은 균일도를 가지는 평탄화(Planarization) 기술이 필요하며 이를 만족시키는 기술은 CMP(Chemical Mechanical Polishing)가 유일한 방법이다. 따라서 회로선폭이 미세해 지고 소자가 미세해질수록 광역평탄화는 더욱 많이 요구되고 있으며 CMP공정의 수도 크게 증가하고 있다.[1] CMP는 화학적으로 실리콘 기판 위의 막질의 특성을 변화시킨 후 기계적으로 막질을 연마하여 평탄화하는 방법으로 슬러리(slurry)라는 화학적인 요소와 패드(pad), 헤드(head), 다이아몬드 디스크(DD)등의 기계적인 요소와의 결합에 의해 공정결과가 결정이 된다. 이때 패드의 표면 거칠기를 유지해 주기 위하여 DD를 이용하여 패드 컨디셔닝(pad conditioning)을 해준다. 패드 컨디셔닝이라 함은 DD를 이용하여 패드 표면을 처리해주어 패드 표면의 거칠기를 유지해주는 작업을 의미한다.

본 연구에서는 DD의 사양과 조건에 따른 패드의 표면변화와 이에 따른 패드의 절삭비의 상관관계를 고찰해보고 이것이 공정에 미치는 영향성을 분석하여 패드 컨디셔닝조건 설정에 기초가 되는 자료를 제시하고자 한다. 이러한 자료를 토대로 하여 향후 새로운 CMP공정 도입 할 때나 보나 보나 나온 공정조건을 잡을 때 혹은 패드나 DD의 사용시간을 연장하고자 하거나 컨디셔닝 조건 변화에 따라 패드 및 DD의 사용시간이 얼마나 될지 예측하는데 매우 중요한 참고자료가 될 것이다.

2. 실험 및 결과

2.1 다이아몬드 디스크의 사용시간에 따른 패드의 표면변화

보통 패드 사용시간이 증가하면 웨이퍼 막질의 RR이 떨어지게 되는데, 이는 패드가 DD에 의하여 절삭되면서 패드 표면 홈(groove)이 없어지면서 패드 홈에 의한 CMP 슬러리의 보유 및 분산효과가 감소되기 때문이다. 그런데 패드 사용시간이 얼마 지나지 않았음에도 불구하고 RR이 저하되는 현상이 발생하는데 이때 패드를 확인해보면 이미 패드의 홈이 대부분 마모되었음을 확인할 수 있다. 이때 DD의 사용시간을 확인해보면 항상 초기이다. 이는 DD의 초기 절삭력이 매우 높기 때문이라고 할 수 있다.

그림1은 패드 및 DD사용 시간에 따른 패드의 표면변화를 광학현미경과 SEM을 이용하여 분석한 사진이다. 그림 1(a),1(b)는 사용하지 않는 패드의 표면이다. 패드 표면은 홈이 명확히 살아있으며 SEM으로 보이는 패드 표면의 작은 구멍도 막힌 부분이 없이 깨끗한 상태를 유지하고 있다. 따라서 가장 높은 RR을 가진다. 1(c),1(d)는 DD의 사용시간이 1.5hr에서의 표면이다. 패드가 11hr밖에 되지 않았는데도 불구하고 이미 패드 표면의 홈이 마모되어 거의 보이지 않는 상태이다. SEM으로 확인된 표면도 패드의 재질인 폴리우레탄(polyurethane)이 뚫어져 패드표면의 작은 구멍이 80%이상 막혀져 있다. 따라서 CMP 슬러리가 패드의 작은 구멍에 들어가지 못하고 유출되기 때문에 RR이 떨어지는 결과를 초래하게 된다.[2] 즉 DD의 사용시간이 초기인 경우 예상된 패드 사용시간 이전에 RR이 저하되는 이유는 DD의 과도한 절삭력으로 패드 표면의 작은 구멍이 뚫여지면서 CMP 슬러리가 작은 구멍 내로 유입되지 못하기 때문이다. 그림1(e),1(f)는

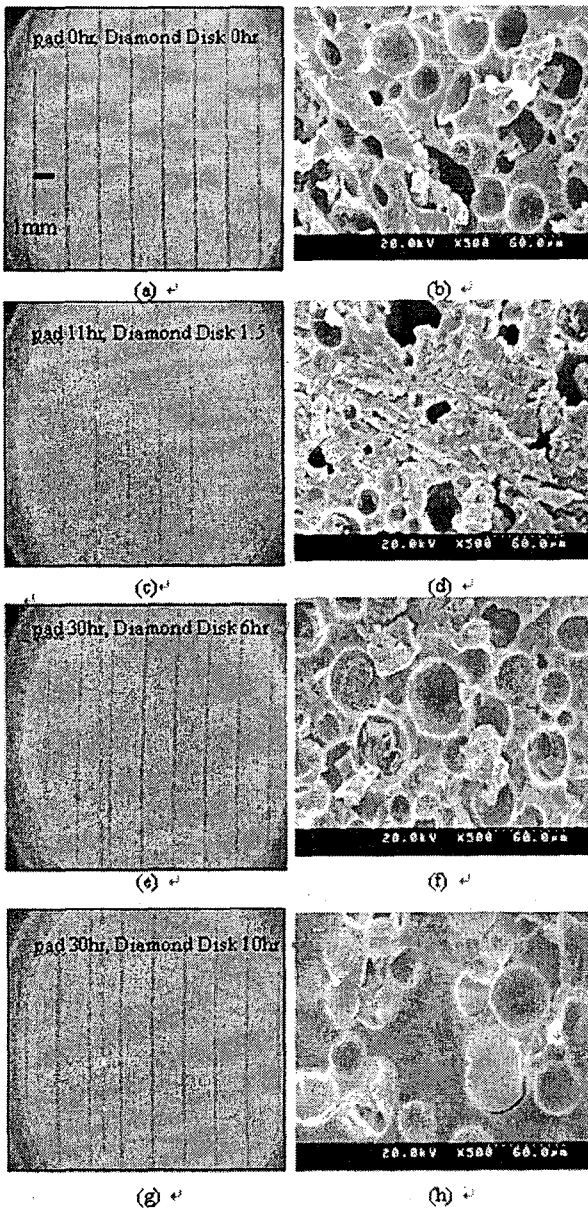
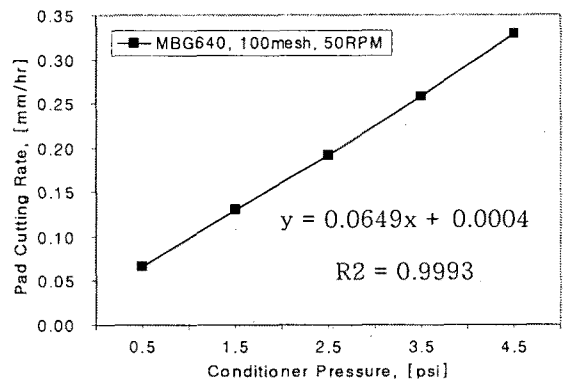


그림 1. 다이아몬드 디스크의 사용시간에 따른 패드 표면 변화
 DD가 6hr일 때 패드의 표면이다. 1(b)와 비교해서 패드 표면이 조금 손상되기는 하였지만 패드 홈이 살아있고 여전히 많은 작은 구멍들이 개방되어 있는 상태이다. 따라서 패드 사용시간이 30hr이 되었지만 적절한 RR을 유지 할 수가 있다. 패드 사용시간이 30hr된 그림1(g)를 보면 패드 홈이 많이 살아있는데도 불구하고 그림4에서 확인되듯이 RR은 매우 낮다. 하지만 그림1(h)를 확인해보면 패드 표면의 작은 구멍들이 대부분 막혀 작은 구멍의 셀 개방비중(cell open ratio)이 매우 낮아져 있는 것을 볼 수 있다. 이는 DD의 절삭력이 극도로 떨어짐에 따라 패드 표면에 잔류되는 패드의 폴리우레탄 부산물이나 CMP 슬러지 등을 제거해주지 못하여 이러한 것들이 작은 구멍을 막아 glazed area가 발생하여[3] 윤활효과(greasing effect)가 발생하는 것으로 생각된다. 따라서 작은 구멍 내부에 CMP 슬러지가 함유되지 못하여 RR저하현상이 발생하는 것이다. 즉 1(d)와 1(h)의 경우 모두 RR이 저하되는

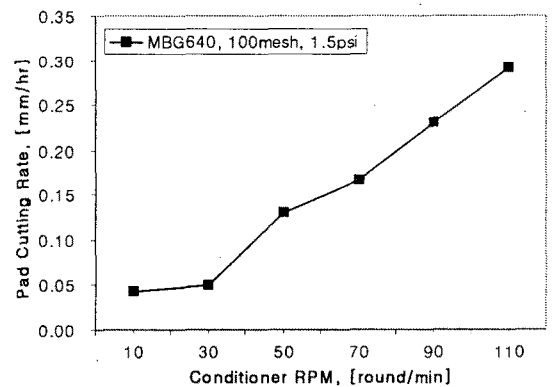
현상이 나타나지만 패드표면분석결과와 RR을 결정하는 주요인자는 홈 이외에 작은 구멍의 cell 개방 여부도 매우 중요한 영향을 미칠 수 있으며, 이것은 작은 구멍 내부에 CMP 슬러지가 유지되어 웨이퍼 막질의 RR을 형성하는데 중요한 역할을 하게 되기 때문이다.

2.2 컨디셔너 압력 & RPM와 PCR

그림2에 컨디셔너 압력, RPM의 인자를 각각 독립적으로 변화시켰을 때와, 같이 연동시키며 변화시켰을 때 PCR거동을 나타내었다. DD의 사용시간에 따라 PCR은 심하게 변화한다. 따라서 컨디셔너의 여러 조건에 따른 PCR 변화를 비교하기 위해서는 일정한 DD 사용시간의 기준이 필요하다. 본 실험에서는 DD의 사용시간에 따른 PCR 차이를 제거하기 위하여 사용하지 않은DD를 기준으로 컨디셔너의 조건을 변화시키면서 1hr동안의 PCR 값을 측정하였다.



(a) PCR verse conditioner pressure



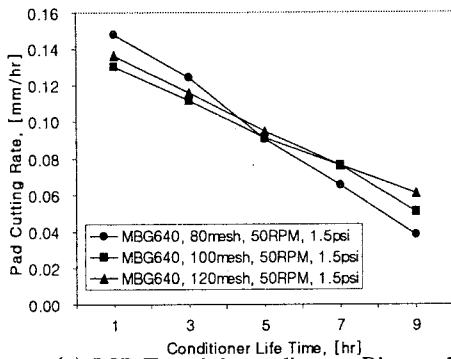
(b) PCR verse RPM

그림 2. 컨디셔너 압력, RPM에 따른 PCR 추이

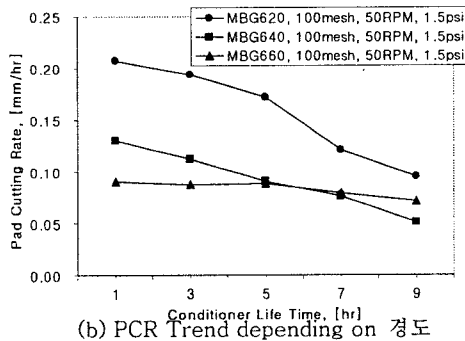
2(a)는 컨디셔너 압력을 기본사용조건(1.5psi)를 기준으로 하여 0.5psi에서부터 1psi씩 상승 시키며 4.5psi까지 실험을 하였다. 실험결과 컨디셔너 압력이 증가할수록 PCR은 상승하였다. 이는 컨디셔너에 가해지는 압력이 DD를 통하여 패드에 전달되고 압력이 증가할수록 DD가 패드를 절삭해내는 힘이 커지기 때문에 PCR이 증가하는 것이다. 뿐만 아니라 컨디셔너 압력이 증가하면 웨이퍼 막질의 RR도 같이 증가하게 된다.[4] 컨디셔너 압력과 PCR은 거의 직선형

선형관계를 나타낸다. ($R^2=0.9993$) 따라서 컨디셔너 압력이 변화함에 따라 PCR이 어떤 값을 가질지를 거의 정확히 예측할 수 있다. 그림2(b)는 컨디셔너 RPM을 변화시키면서 PCR 거동을 실험한 것이다. 실험결과 컨디셔너 압력과 마찬가지로 RPM이 증가하면서 PCR은 여전히 선형적으로 증가하였다. 다만 컨디셔너 압력이 9배 증가하였을 때 PCR은 0.33mm/hr까지 증가한 반면, RPM이 11배 증가하였을 때 PCR은 0.29mm/hr까지 증가하여 컨디셔너 압력이 RPM에 비하여 더 많은 영향을 미침을 알 수 있다. 즉 압력에 의한 PCR의 조정능력이 RPM보다 높다는 것을 의미한다.

2.3 다이아몬드 디스크의 크기와 모양에 따른 PCR 변화



(a) PCR Trend depending on Diamond 크기



(b) PCR Trend depending on 경도

그림 3 다이아몬드 입자의 크기 및 경도변화에 따른 PCR 추이

그림3은 DD입자의 크기와 모양을 변화시켰을 때 PCR 거동을 나타내었다. 3(a)는 다이아몬드 입자의 크기를 변화시키면서 PCR Trend를 실험한 것이다. mesh는 다이아몬드 입자의 크기를 결정하는 요소로써 값이 클수록 다이아몬드 입자는 작아진다. PCR값의 큰 차이는 나지 않지만 전체적으로 입자가 작아 질수록 초기PCR값도 작아지며 DD 사용시간에 따른 PCR 추이 기울기도 완만해지는 것을 알 수 있다. PCR 추이가 완만해 진다는 것은 동일시간에 DD 입자가 PCR을 유지하는 능력이 더 크다는 것을 의미한다. 따라서 PCR 추이 기울기가 완만해지면 DD의 절삭력은 보다 오래 유지된다. 그림3의 (b)는 DD의 모양변화에 의한 PCR 추이를 나타낸다. MBG는

다이아몬드입자의 등급을 나타내는 것으로 숫자가 커질수록 입자의 경도는 커지는 동시에 모양은 둥근 모양을 띄게 된다. (표1) 실험결과 MBG620의 경우 상당히 높은 초기 PCR값을 가지면서 DD의 사용시간에 따라 PCR값이 급격히 떨어지는 반면에 MBG660의 경우 낮은 초기 PCR값을 가지는 반면에 DD의 사용시간에 따라 PCR이 미미하게 떨어짐을 확인 할 수 있다. 즉, 다이아몬드 입자의 절삭력이 오랫동안 유지됨을 의미한다.

항목	Scope image		
다이아몬드 크기			
	80mesh	100mesh	120mesh
	다이아몬드 경도		
MBG620		MBG640	MBG660

표 1. 다이아몬드 입자 크기, 경도별 분류

3. 결론

DD초기 RR 저하현상은 패드 과마모로 인한 패드 홀이 상당 폭 제거됨으로써 기인되는 것이고 DD 말기에는 패드 홀은 유지되지만 패드 표면의 셀 개방비중이 감소하여 작은 구멍의 슬러리 함유능력이 떨어짐으로써 RR이 저하됨을 확인 할 수 있었다. 이러한 현상을 일으키는 원인은 DD의 입자의 모서리가 무더짐으로써 발생하게 된다. 컨디셔너의 압력과 RPM이 증가하면 PCR이 증가하게 되는데 RPM 보다는 압력 PCR 조정능력이 높다. 또한 높은 압력은 패드 표면의 작은 구멍을 손상시키기 때문에 컨디셔너의 조건은 낮은 압력, 높은 RPM으로 설정하는 것이 바람직하다. DD의 등급이 높으면 경도는 높아지는 반면에 입자의 모양이 상대적으로 둥근 모양을 가지기 때문에 초기에 낮은 PCR 값을 가지는 동시에 높은 경도로 인하여 DD 사용시간에 따른 PCR 추이가 완만하여 절삭력이 오래 유지된다.

참고 문헌

- [1] Michael Quirk and Julian Sera, "Semiconductor Manufacturing Technology", Prentice Hall, pp.518, 2001.
- [2] S. Wolf, "Silicon Processing for the VLSI Era", LATTICE PRESS, Vol 4, pp. 375-376, 2002
- [3] 김상용, 김남훈, 김인표, 장의구, "금속CMP 공정시 경질 다공성 패드의 적용", 전기전자재료학회논문지, 16권, 5호, pp. 387, 2003.