

< 논문 >

패드 그루브의 치수가 CMP 연마특성에 미치는 영향

박기현* · 김형재* · 최재영* · 서헌덕* · 정해도†
(2004년 7월 16일 접수, 2004년 11월 10일 심사완료)

The Effects of Groove Dimensions of Pad on CMP Characteristics

Ki-Hyun Park, Hyoung-Jae Kim, Jae-young Choi, Heon-deok Seo and Hae-do Jeong

Key Words: Edge Effect(외주 연마불균일 현상), GSQ(그루브 강성계수), GFQ(그루브 유동 계수), Stiffness(강성), Groove Dimensions(그루브 치수), WIWNU(연마불균일도)

Abstract

CMP characteristics such as material removal rate and edge effect were measured and investigated in accordance with pad grooving effect, groove width, depth and pitch. GSQ (Groove Stiffness Quotient) and GFQ (Groove Flow Quotient) were proposed to estimate pad grooving characteristics. GSQ is defined as groove depth(D) divided by pad thickness(T) and GFQ is defined as groove width(W) divided by groove pitch(P). As GFQ value increased, material removal rate increased some point but gradually saturated. It seems that material removal rate is not affected by each parameter respectively but by interaction of these parameters such as groove dimensions. In addition, an increase in GFQ and GSQ causes edge effect to be improved. Because, pad stiffness decreases as GSQ and GFQ increase. In conclusion, groove influences relative pad stiffness although original mechanical properties of pad are unchanged by grooving. Also, it affects the flow of slurry that has an effect on the lubrication regime and polishing results. The change of groove dimensions has influence on pad stiffness and slurry flow, so that polishing results such as removal rate and edge effect become changed.

1. 서 론

1980년대 말 미국 IBM사에서 기계적 제거가공과 화학적인 제거가공을 하나의 가공방법으로 혼합한 화학 기계적 연마(Chemical Mechanical Polishing; CMP)라는 공정을 개발한 이후로, 반도체 산업은 점점 고속화, 고집적화 되어가고 있다. 웨이퍼가 대직경화되고, 초고집적회로(ULSI)에서 최소선폭이 미세화되고 있고, 또한 배선의 다층화가 요구됨에 따라 CMP를 통한 고성능의 평탄화는 필수적인 요소로 자리매김 하고 있다.⁽¹⁾

CMP는 연마패드와 웨이퍼 사이에 연마 입자가

분산되어 있는 연마액(Slurry)을 공급하여, 압력을 가한 상태에서 서로 상대 운동을 시켜 연마하는 가공기술이다. 이 연마공정은 연마입자와 패드의 접촉에 의한 기계적인 작용과 연마액의 화학성분에 의한 화학적인 작용이 복합되어 연마가 이루어진다. 이러한 복합된 작용에 의하여 웨이퍼 표면의 요철이 선택적으로 제거되면서 평탄화가 이루어진다.⁽²⁾

CMP 특성은 매우 다양하고 복합적인 요소에 의해 영향을 받는다. 이러한 다양한 요소 중에서 연마패드는 화학 기계적 연마의 특성에 영향을 미치는 중요한 인자중의 하나이다. 패드인자에는 그루브, 경도, 두께, 포어, 탄성계수 등 많은 세부적인 인자들로 구성되어진다. 패드인자 중에서 그루브에 의한 패드의 걸보기 접촉면적은 연마특성을 결정하는 매우 중요한 역할을 한다.

따라서 본 연구에서는 CMP와 패드특성과의 관

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부
E-mail :hdjeong@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-3210 FAX : (051)518-8442

* 부산대학교 정밀기계공학과

계를 알기 위하여 그루브의 폭, 깊이, 피치의 변화가 연마특성에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

2. 패드의 특성

2.1 패드 그루브의 기능

패드 그루브가 CMP 공정에서 하는 역할을 정리하면 다음과 같다. 그루브는 연마 패드의 전체적이고 국소적인 강성을 변화시켜 웨이퍼 전면에 걸친 연마의 균일성을 조절할 수 있도록 한다. 그리고 슬러리가 패드 전면에 걸쳐 균일하게 분포되고 충분한 슬러리가 웨이퍼의 중심까지 도달할 수 있도록 이송시켜주는 채널의 역할을 한다. 그리고 패드 표면으로부터 연마 잔류물질을 제거하기 위한 채널로서의 기능을 하여 결함이 생길 가능성을 감소시켜준다. 또한 슬러리를 보유할 수 있는 저장고의 역할을 하여 패드 표면에서 슬러리 체류시간을 연장시켜주는 기능도 한다. 이외에도 슬러리의 유동에 영향을 미쳐 연마공정 중 웨이퍼와 패드 표면의 냉각효과를 일으키는 작용도 한다.^(2,3)

2.2 패드 변형에 따른 연마특성

CMP 공정중 웨이퍼의 변형이 거의 없다고 가정하면 패드의 탄성변형량에 의해서 연마특성이 변하게 된다. 패드의 강성이 높은 경우 수평방향의 변형영역이 넓기 때문에 칩내의 국소평탄도는 상당히 좋아지지만 유연한 패드에 비해 탄성변형량이 줄어들어 웨이퍼 전면의 연마불균일도는 악화되는 특징을 나타낸다. 한편, 유연한 패드는 수평방향의 변형이 좁게 되기 때문에 칩내의 국소평탄도는 악화되지만 웨이퍼 전면에서의 연마불균일도는 향상되는 것이 일반적인 특징이다.^(1,4)

웨이퍼와 패드에 압력이 가해졌을 때 상부패드의 강성(S)을 Fig. 1과 식 (1)에, 웨이퍼에 분포하는 압력의 프로파일(p)을 식 (2)에 나타내었다.⁽⁵⁾

$$S = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (1)$$

$$p(x) = k\delta \left[1 + e^{-\left(\frac{k}{S}\right)^{\frac{1}{4}}x} \left\{ 1 + 4\cos\left(\left(\frac{k}{S}\right)^{\frac{1}{4}}x\right) \right\} \right] \quad (2)$$

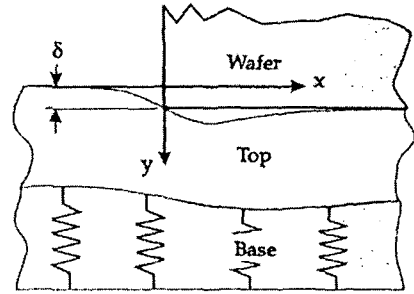


Fig. 1 Schematic of pad deformation. Figure courtesy of A. Richard Baker⁽⁴⁾

S는 상부패드의 강성이고, E는 상부패드의 탄성계수, h는 상부패드의 두께, ν는 상부패드의 푸아송비이다. 그리고 p는 웨이퍼의 압력프로파일, δ는 패드의 변형량, k는 하부패드의 스프링 상수이다. 패드의 굽힘강성은 식 (1)에서 알 수 있듯이 패드의 두께와 탄성계수, 푸아송비에 의해 결정된다. 그리고 CMP 공정중 웨이퍼에 분포하는 압력의 프로파일은 식 (2)에서 알 수 있듯이 패드의 강성과 하부패드의 스프링 상수에 많은 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 하부패드의 상수가 고정된 경우에는 상부패드의 강성에 의해서 웨이퍼에 분포하는 압력의 프로파일이 결정되는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 식 (2)로부터 웨이퍼의 중심보다는 외주에서 압력이 불균일한 집중이 발생한다는 것을 알 수 있다. 또한 연마공정 중 발생하는 패드 변형량을 Fig. 1에 나타나 있는 것처럼 패드강성에 의해서 웨이퍼의 압력분포와 패드 변형량(δ)의 차이가 발생한다. 이러한 패드 변형량(δ)의 차이가 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상의 변화를 발생시키는 것으로 알려져 있다.^(5,6)

그리고 패드의 변형을 강성이 높은 패드와 낮은 패드로 구분해서 Fig. 2(a), (b)에 나타내었다. Fig. 2(a)는 강성이 높은 패드의 수직하중(F_N)에 대한 수평방향의 변형영역(l_h)을 나타내고, Fig. 2(b)는 강성이 낮은 패드의 수직하중(F_N)에 대한 수평방향의 변형영역(l_h)을 나타낸다. Fig. 2(a)에서 볼 수 있듯이, 수직방향 하중(F_N)이 가해졌을 때, 강성이 높은 패드는 수평방향의 변형영역(l_h)이 넓다. 즉 강성이 높은 패드는 웨이퍼와 패드가 접촉이후 패드의 변형이 수직방향 변형량(l_v)은 작아질 수 있지만, 변형이 전달되는 수평방향

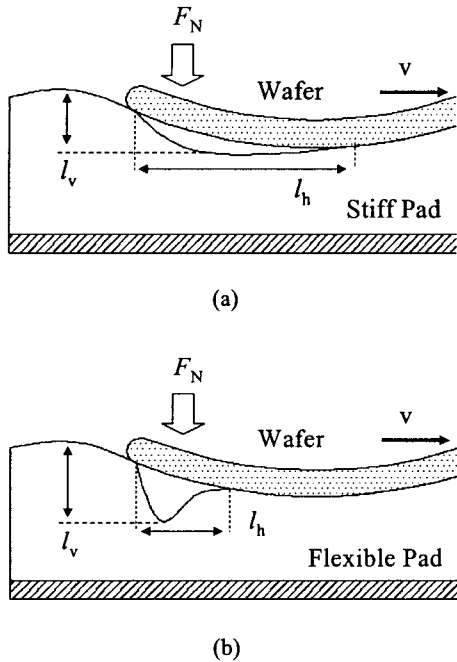


Fig. 2 Schematic of pad deformation of (a) stiff pad and (b) flexible pad with pad stiffness

변형영역(l_h)은 넓다는 것이다. 강성이 낮은 패드는 Fig. 2(b)에서 볼 수 있듯이 수직방향 하중(F_N)이 가해졌을 때, 수평방향의 변형영역(l_h)이 좁다. 즉, 강성이 낮은 패드는 웨이퍼와 패드가 접촉이 후 변형이 수직방향 변형량(l_v)은 커질 수 있지만, 변형이 전달되는 수평방향의 변형영역(l_h)은 좁다는 것이다. 이것은 강성이 높은 패드에 비해서 낮은 패드의 경우에는, 패드가 수직방향으로 가해진 하중(F_N)을 흡수하는 것처럼 일종의 쿠션과 같은 역할을 하여 수평방향의 변형영역(l_h)이 좁게 되는 것이다. 따라서 패드 강성의 차이는 패드의 수평방향의 변형의 차이를 발생시킨다.

일정한 패드 두께에 대하여, 패드 탄성률이 증가하면 패드 강성 및 패드의 평탄화 능력이 증가한다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 패드 두께를 변화시키는 것이 패드 탄성률을 변화시키는 것보다 패드 강성에 더 큰 영향을 미친다. 그리고 패드에 그루브를 가공하면 패드 자체의 성질은 변화가 없지만, 패드의 상대적인 유효강성과 슬러리의 이동이 변하게 된다. 이러한 패드의 유효강성의 변화와 슬러리의 이동의 변화는 연마 불균일도와 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상에 영향을

미친다.⁽⁷⁾ 따라서 패드 그루브가 연마특성에 미치는 영향을 식 (3)으로서 평가하였다.⁽³⁾

$$GSQ = \frac{\text{그루브깊이}}{\text{패드두께}} = \frac{D}{T}$$

$$GFQ = \frac{\text{그루브단면적}}{\text{피치단면적}} = \frac{D \times W}{D \times P} \quad (3)$$

GSQ는 패드 두께(T)에 대한 그루브의 깊이(D)의 비로써 패드 강성을 나타내는 것이다. 그리고 GFQ는 피치 총 단면적에 대한 그루브 단면적의 비로써 슬러리 유동에 관한 그루브의 효과를 나타내는 것이다. GSQ는 패드 강성을 평가하는 것으로서 웨이퍼 표면의 연마 불균일도와 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상에 영향을 미친다. 따라서 상부 패드에 그루브를 가공함으로써 패드의 강성을 감소시키고, 연마 불균일도나 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상을 감소시킬 수 있다⁽⁷⁾. 그리고 GFQ는 웨이퍼와 접촉한 패드의 표면적과 슬러리의 유동 특성에 영향을 미치고, 또한 패드 강성에도 영향을 미친다. 폭과 피치를 포함하는 인자 GFQ에 의해 그루브를 가공한 경우라고 하더라도, 패드에 존재하는 그루브의 밀도가 낮은 경우와 아주 높은 경우의 패드의 강성은 동일할 수가 없다. 그러므로 그루브 설계에서 강성과 유동에 관련된 인자 GSQ와 GFQ로 구분하였지만, 두 인자 모두 패드의 강성에 영향을 미칠 것으로 보인다. 패드 강성은 GSQ와 GFQ가 증가할수록 감소하는 것과 같다. 따라서 패드 강성은 GSQ와 GFQ에 반비례한다고 할 수 있다.

2.3 패드 그루브의 설계

패드 그루브 인자는 그루브 패턴과 프로파일, 치수로 구분할 수 있다. 그루브 패턴이란 패드를 위에서 본 평면형상을 말하는 것으로 동심원타입, 직교타입, 방사형타입 등으로 나눌 수 있다. 그루브의 프로파일은 패드를 단면으로 잘랐을 때 본 그루브의 단면형상으로, 직각형상, 아치형상, 쉘기형상 등으로 나눌 수 있다. 그리고 그루브의 치수는 그루브의 폭(W)과 깊이(D) 그리고 피치(P)를 말한다. 본 실험에서 사용한 패드의 그루브 패턴의 형상을 Fig. 3에 표시하였고, 패드의 단면형상에서의 그루브 치수를 Fig. 4에 나타내었다.

그리고 식 (3)과 Fig. 4를 기준으로 패드 그루

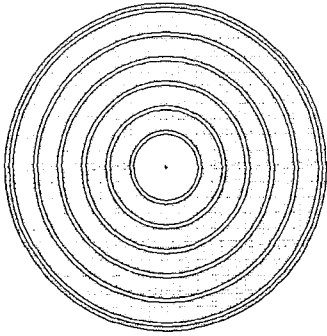


Fig. 3 Schematic of pad groove pattern

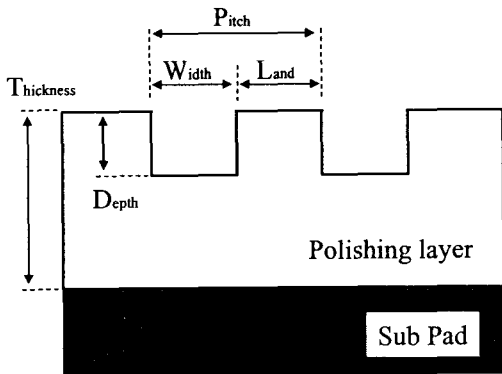


Fig. 4 Schematic of pad groove dimensions

Table 1 Design of pad groove dimension

	W (mm)	D (mm)	P (mm)	GSQ	GFQ
폭 변화	1	0.6	20	0.472	0.05
	2	0.6	20	0.472	0.10
	3	0.6	20	0.472	0.15
깊이변화	2	0.6	20	0.472	0.10
	2	0.8	20	0.630	0.10
피치변화	2	0.6	20	0.472	0.10
	2	0.6	30	0.472	0.067

브를 설계하였고, 이를 Table 1에 표시하였고, 상부패드의 두께(T)는 1.27mm로 고정하였다. 패드 그루브 설계에 있어 깊이는 제작하는 패드가 동심원타입이기 때문에 과도한 그루브 치수의 변경은 연마공정 자체를 불안정한 특성을 보이게 할 여지가 있으므로 최소의 안정한 영역을 선택하였다. 그루브 깊이는 0.6mm가 현재 상용되고, 이

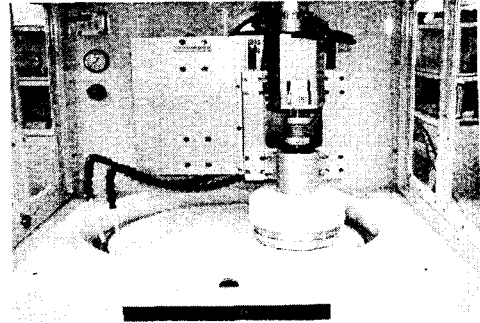


Fig. 5 Photograph of polishing equipment

값 이상으로 그루브 깊이가 증가하면 슬러리 공급에 문제가 발생할 것으로 보이므로 0.8mm로 가공하여 슬러리 공급이 문제가 되는지 확인하고자 한다. 또한 그루브 피치는 앞선 기초연구에서 획득한 실험결과를 바탕으로 하고자 한다.⁽⁸⁾

3 실험 조건 및 실험 장치

패드 그루브의 치수에 따른 연마특성을 평가하기 위하여 사용된 CMP 장치는 Fig. 5의 G&P Tech사의 POLI-400을 사용하였다.

연마 후 웨이퍼 박막의 두께를 Rudolph Auto EL-III를 사용하여 측정하였다. 그리고 본 실험에서 사용된 실험조건을 Table 2에 나타내었다. 패드 그루브의 치수가 연마특성에 미치는 영향을 알기 위하여 다른 조건들은 고정하고 그루브의 치수만 변화하였다. 다양한 압력과 속도 영역에서 패드 그루브의 치수가 연마특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 MINITAB 14를 사용하여 압력과 속도의 실험조건을 선정하였다. 연마 압력은 40-600(g/cm²)으로 범위를 규정하였고, 테이블과 헤드의 속도는 30-90(rpm)으로 규정하였다. 공정은 동일한 조건으로 1분 동안 2회 연마하여 연마율을 측정하였다. 연마 전후의 웨이퍼의 잔류박막의 두께를 19지점을 측정하여 연마량을 계산하여 평균값을 취하는 방식을 택하였다. 또한 웨이퍼의 프로파일은 웨이퍼의 중심에서 0°에서 270°방향으로 19지점의 연마율을 측정하고 상대 비교 하였다.

Table 2 Experimental condition

Polishing Parameters	Condition
Pad	Circular type
Slurry and flow rate	ILD 1300, 150ml/min
Polishing time	1min
Wafer	4" SiO ₂
Polisher	POLI-400 (G&P Tech.)
Film thickness measure	Rudolph Auto EL-III

4. 실험결과 및 고찰

4.1 그루브의 폭에 따른 연마특성

그루브 폭에 따른 연마율의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 폭의 변화는 GSQ는 고정하고, GFQ만 변화시킨 것이다. 그루브 폭과 연마율은 큰 상관관계를 보이지 않음을 Fig. 6에서 알 수 있다. 그러나 폭이 가장 좁은 W=1mm와 가장 넓은 W=3mm를 비교하면, 폭이 좁은 패드의 연마율이 상대적으로 낮다는 것을 알 수 있다. W=1mm의 패드와 W=3mm의 패드는 GFQ의 값이 0.050과 0.150이다. 즉, 그루브 폭이 작고, 또한 패드면적에 대한 그루브 면적의 비율이 매우 작아서 슬러리의 동압에 의해 지지되는 것과 같은 현상을 발생시켰기 때문에 상대적으로 연마율이 감소한 것으로 보인다. 또한 W=3mm의 연마율이 W=2mm와 비슷한 값을 보이지만, 약간 감소한 것은 그루브 면적이 과도하게 증가함에 따라 슬러리 공급이 증가하지만 실제연마에 참여하지 못하고 배출되는 슬러리량도 증가하였기 때문으로 생각된다.^(2,8)

그리고 그루브 폭에 따른 웨이퍼의 프로파일을 Fig. 7에 나타내었다. 그루브 폭이 증가함에 따라 웨이퍼의 가장자리의 연마율이 높아지는 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상은 감소하는 것을 Fig. 7에서 알 수 있다. 폭의 증가하는 것은 GFQ가 증가하는 것이고, 이것은 패드 강성의 감소를 말하는 것이다. 따라서 그루브 폭의 증가에 의해 상대적으로 패드 강성이 감소하고, 이에 따라 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상이 감소한 것으로 보인다. W=1mm의 연마프로파일은 측정방향에 대

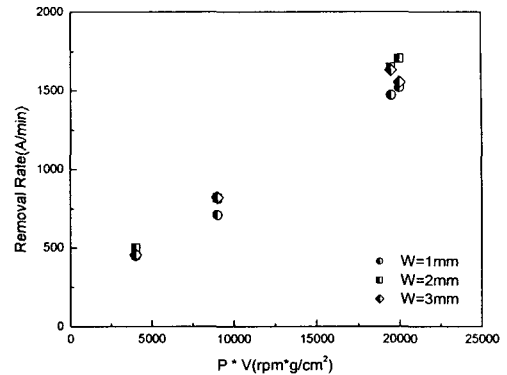


Fig. 6 Results of removal rate with groove width

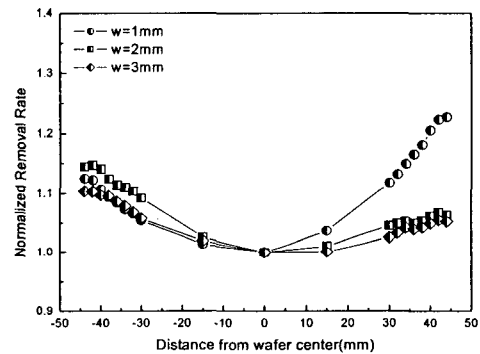


Fig. 7 Results of normalized removal rate profile with groove width

하여 편차가 심한 것을 볼 수 있다. 이것은 그루브 면적이 작고 이에 따른 슬러리의 동압으로 균일한 하중이 가해지지 않고 편심하중이 가해진 영향으로 보여진다.

4.2 그루브의 피치에 따른 연마특성

그루브 피치에 따른 연마율의 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 피치가 증가함에 따라 연마율은 처음에는 거의 변화가 없지만, P×V의 값이 큰 지점에서는 연마율이 감소하였다. 그루브 피치가 증가하는 것은 GSQ는 고정이고, GFQ가 감소하는 것이다. 즉, 인접한 그루브 사이의 간격이 멀어지는 것이므로 연마지점까지 슬러리가 공급되는 확률이 감소하는 것을 말한다. 따라서 피치가 증가

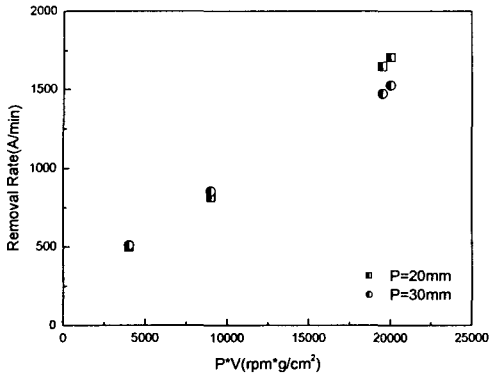


Fig. 8 Results of removal rate with groove pitch

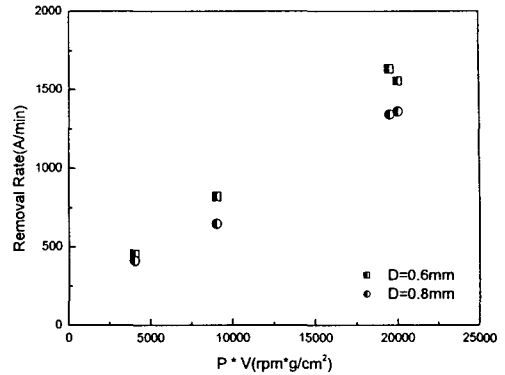


Fig. 10 Results of removal rate with groove depth

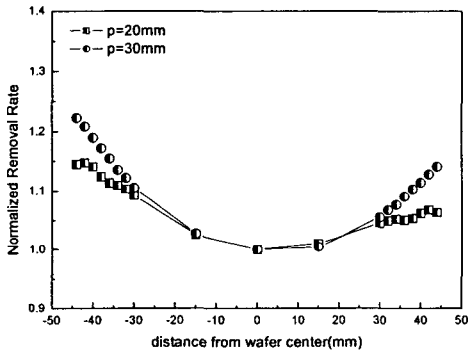


Fig. 9 Results of normalized removal rate profile with groove pitch

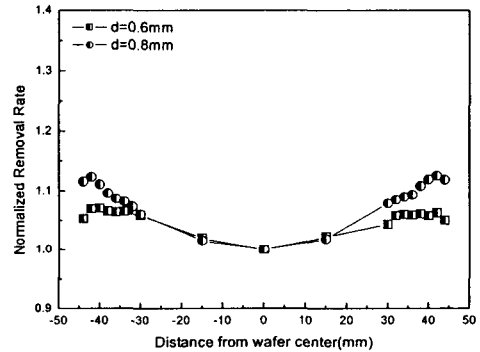


Fig. 11 Results of normalized removal rate profile with groove depth

함에 따라 연마율이 감소하는 것으로 생각된다.

그리고 그루브 피치에 따른 웨이퍼의 프로파일을 Fig. 9에 나타내었다. 피치가 증가함에 따라 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상이 심해지는 것을 알 수 있다. 피치가 증가하는 것은 GFQ가 감소하는 것이고, 이것은 상대적인 패드 강성의 증가를 말하는 것이다. 따라서 피치가 증가할 경우 상대적인 패드 강성의 증가로 웨이퍼의 형상에 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상이 심해진 것으로 보인다.

4.3 그루브의 깊이에 따른 연마특성

그루브 깊이에 따른 연마율의 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 동일한 그루브 폭의 패드는 깊이

가 증가함에 따라 연마율은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 그루브 깊이가 증가함에 따라 그루브가 슬러리를 보유할 수 있는 체적은 증가하지만, 깊이의 증가로 인하여 웨이퍼와 패드가 접촉하여 연마가 발생하는 연마지점으로 새로운 슬러리가 공급되기 힘들기 때문에 발생한 결과라고 생각된다. 따라서 실제 연마에 참여하는 슬러리의 양은 그루브의 폭, 깊이, 피치에 의해 각각의 영향을 받는 것이 아니라, 상호작용에 의해서 영향을 받을 것으로 생각된다. 즉 그루브의 치수변화에 의한 연마지점으로 공급되는 슬러리유량의 영향도 작용한 것으로 보인다.^(2,8)

그리고 그루브 깊이에 따른 웨이퍼 프로파일의 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 깊이가 증가함에

따라 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상이 심해진다는 것을 알 수 있다. 그루브 깊이가 증가하면 GSQ가 증가하여 상대적인 패드 강성의 감소한다. 이론적으로는 패드 강성의 감소로 인해 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상이 감소할 것으로 보이지만 실제로는 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상이 심해졌다. 이 현상은 일정깊이 이상의 그루브 깊이는 연마지점에 슬러리를 공급하는 채널로서의 그루브가 깊이가 증가하여 연마지점으로 슬러리가 원활하게 공급되지 못하기 때문에 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상이 더 심해진 것이라고 보여진다. 이 또한 그루브 깊이에 따른 연마율의 결과와 일치한다.

5. 결론 및 고찰

본 논문은 패드 그루브의 치수가 CMP 연마결과에 미치는 영향을 알아보았다. 실험결과와 고찰을 통해 그루브 치수와 연마특성의 상관관계를 정리하면 다음과 같다.

(1) 그루브 폭과 연마율은 큰 상관관계를 보이지 않지만, 그루브 밀도가 아주 낮은 경우에는 연마율이 감소하는 현상이 나타남을 알았다.

(2) 그루브 피치가 증가하면 인접한 그루브 사이의 거리가 멀어지게 되어 원활한 슬러리 공급이 이루어지지 않아 연마율이 감소하였다.

(3) 그루브 깊이가 증가하면 패드 표면의 그루브 밀도는 변함이 없지만, 깊이증가에 따른 슬러리공급의 문제가 발생하여 연마율이 감소하였다.

(4) 그루브의 치수변화를 통한 패드의 강성이 감소하게 되면 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상은 향상되었다.

(5) 패드 강성이 감소하면 연마 불균일 현상이 향상되어야 하지만, 슬러리 공급이 문제가 되는 경우에는 오히려 악화될 수도 있다는 결과를 얻을

수 있었다.

따라서 패드 그루브는 연마지점에 공급되는 슬러리의 공급량과 상대적인 패드 강성의 변화를 초래하여 연마율과 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상에 영향을 미친다는 결론을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- (1) Jeong, H.D., 1997, "CMP-The Challenge and Opportunities," p. 72, Semiconductor Monthly 9712, KSME
- (2) Kim, H.J., 2003, "A Study on the Interfacial Characteristics and Its Effect on Material Removal in CMP," Ph. D Thesis, PNU, p. 108, 150, 165.
- (3) Rodel holdings, Inc. 2001, "Grooved Polishing Pads for Chemical Mechanical Planarization," PCT/US01/16870, World Intellectual Property Organization.
- (4) Doi, T., Kasai, T. and Nakagawa, T., 1998, "半導體 平坦化 CMP 技術", p. 96-114, Books-Hill Publishing Co., Inc
- (5) Baker, A. Richard, 1996, "The Origin of the Edge Effect in CMP," Electrochemical Society Proceeding, Vol. 96-22, p. 229.
- (6) Wang, D., Lee, J., Holland, K., Bibby, T., Beaudoin, S. and Cale, T., 1997, "Von Mises Stress in Chemical Mechanical Polishing Processes," J. Electrochem. Soc., Vol. 144, No. 3, p. 1121.
- (7) Oliver, M. R., 2003, "Chemical-Mechanical Planarization of Semiconductor Materials," Physics and Astronomy, p. 29, 167.
- (8) Park, K.H., Jeong, Y.S., Kim, H.J. and Jeong, H.D., 2003, "The Effect of Groove Density on CMP Characteristics," KSPE Spring Conference, p. 79.