

알루미늄 박막의 화학기계적연마 가공에 관한 연구

조웅*, 안유민**, 백창욱***, 김용권***

Chemical Mechanical Polishing of Aluminum Thin Films

Woong Cho*, Yoomin Ahn**, Chang-Wook Baek*** and Yong-Kweon Kim***

ABSTRACT

The effect of mechanical parameters on chemical mechanical polishing (CMP) of blanket and patterned aluminum thin films are investigated. CMP process experiments are conducted using the soft pad and the slurry mainly composed of acid solution and Al₂O₃ abrasive. The result for the blanket film showed that as the concentration of abrasive in slurry is increased, the surface roughness gets worse but the waviness gets better. The planarity of the patterned Al films is slowly improved by CMP when the width of and gap between the patterns are relatively small. It is tried to find the optimized CMP process conditions by that the patterned Al thin film can be planarized with fine surface. The most satisfiable film surface is obtained when the applied pressure is low (10kPa) and the abrasive concentration is relatively high (5wt.%).

Key Words : Chemical mechanical polishing (화학기계적연마), Al thin films (알루미늄 박막), Planarity /Waviness (평탄도), Surface roughness (표면거칠기), Removal rate(소재제거율),

1. 서론

최근 수년간의 화학기계적연마(CMP) 가공기술은 반도체 소자 웨이퍼(wafer)의 가공공정으로써 뿐만 아니라 마이크로 머신(MEMS)의 가공 기술 중 한 단계로써 그 연구가 진행되어 오고 있는 실정이다⁽¹⁻³⁾. ULSI 소자가 고집적도 및 다층 배선화됨에 따라, CMP 기술의 고정밀도화가 더욱 요구되어지고 있다. 이는 박막층 적층에 의한 소자 웨이퍼 표면의 요철을 CMP 가공법에 의해 제거하여 고정밀의 평탄화를 얻어야만 하기 때문이다. 그러나 아직까지는 CMP 가공에 의해 반도체 소자 웨이퍼 전역에서의 광역 평탄화를 완전하게 달성하

는 데는 기술적인 한계가 있는 실정이다.

알루미늄 박막은 반도체 분야에서 전기 저항이 작고 제조 공정이 간편하여 반도체 소자의 금속 배선층으로 많이 사용되고 있으며, MEMS 분야에서는 값싸면서 반사율이 좋아 거울면 제조 등에 쓰이고 있다^(4,5). 금속 배선층이나 거울면 제조공정에서 Al 박막을 매끈한 평탄면으로 만들기 위해 화학기계적연마 가공법을 이용하고 있다.

화학기계적연마 가공은 화학적 부식반응과 기계적 연삭작용을 혼합하여 이용하는 가공이다. 중요 가공인자 들로는 화학적 반응을 일으키는 연마액(slurry)과 기계적 작용을 조절하는 연마재(abrasive), 가공압력, 연마패드(polishing pad) 등이

접수 2001년 5월 28일
* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
** 한양대학교 기계공학과
*** 서울대학교 전기컴퓨터공학부

있다. 또한 가공하고자 하는 소자 웨이퍼 표면의 재료역시 CMP 가공의 중요 변수로서 작용하게 된다. Al 박막의 화학기계적연마 가공에서는 알루미늄 연마재를 사용한 산성(pH 2-4) 연마액이 주로 사용되고 있다⁽⁶⁾. 그리고 Al 는 강도가 낮은 편이라 연질 연마패드를 주로 사용하는데, 일반적으로, 표면거칠기가 좋게 연한 연마패드를 사용하여 CMP 를 하면 박막의 평탄도가 나빠지게 되고, 반대로 박막의 높이가 일정한 평탄면이 되도록 경한 연마패드를 사용하여 CMP 를 하면 표면거칠기가 나빠진다⁽⁷⁾.

Wang⁽⁸⁾ 등과 Tseng⁽⁹⁾ 등은 Al 박막의 재료구조와 합금원소가 CMP 가공특성에 미치는 영향을 연구하였으며, 인산 등을 섞어 연마액을 산성용액으로 만들어 Al 박막을 CMP 가공하면 가공율과 표면조도 등이 향상되는 것이 Kallingal⁽¹⁰⁾ 등에 의해 밝혀졌다. Wrschka⁽¹¹⁾ 등은 산화제(H₂O₂)의 함유량, 가공속도와 가공압력에 따른, 그리고 Hernandez⁽¹²⁾ 등은 연마패드의 경연질 정도 등에 따른 소재 제거율과 선택성(Al 과 절연재 와의 소재 제거비) 등의 변화를 연구하였다. 그 밖에 CMP 에서의 화학적 가공기구를 이해하기 위해서 전기화학적 분석연구가 수행되었다⁽¹³⁻¹⁵⁾.

알루미늄 박막의 평탄도와 표면거칠기를 함께 향상시키는 CMP 가공기술 개발을 위한 기초연구로서, 연마재와 연마압력 등의 주요 기계적 가공인자 들과 표면 요철형상 등이 Al 박막(1.5~2.0 μ m)의 평탄도를 비롯한 표면거칠기, 소재 제거율(removal rate) 등의 가공특성에 미치는 영향을 실험을 통하여 자세히 분석하여 보았다. 분석 결과에 기초하여, 가공인자 들을 어떻게 적용하여야 알루미늄 박막이 화학기계적연마에 의해 표면거칠기가 만족할 정도로 매끈하면서 최대한 평탄한 면으로 가공될 수 있는 가를 살펴보았다.

2. Al 박막의 CMP 가공실험

본 연구에서는 1, 2 차로 나누어 CMP 실험을 수행하였다. 1 차 실험에서는, 단결정 실리콘 웨이퍼 위에 후막 photo resist (AZP4620)을 spin coating 방식으로 7 μ m 의 두께로 도포하고, 그 위에 thermal evaporation 방식으로 1.8 μ m 두께의 Al(순도 99.99%) 박막을 평평하게 만든 시편을 사용하였다. 웨이퍼를 20(mm)X20(mm)로 잘라 CMP 실험 시편

으로 사용하였다. 연마액의 화학적 조성을 다음과 같이 하여 실험을 수행하였다. 먼저 65% 인산(H₃PO₄), 25% 황산(H₂SO₄), 10% 질산(HNO₃)을 가지고 순수(DI water)에 5 vol.%이 되도록 희석 시킨 후에 에칭용 K₂Cr₂O₇을 2 wt.% 되게 넣어 pH ~1.7 의 연마액을 만들었다⁽¹⁰⁾.

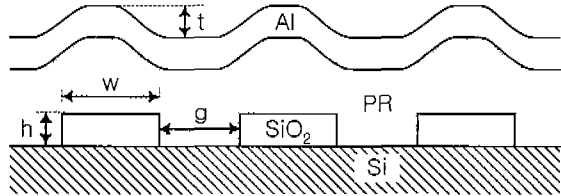


Fig. 1 Schematic of patterned wafer.

2 차 실험에서는 Si 웨이퍼 위에 PECVD 방식으로 산화막(SiO₂)을 형성한 후에 사진식각 방식으로 여러 패턴 형상을 만들었고, 그 위에 1 차 실험 시편에서와 같은 공정법으로 4 μ m 두께의 후막 PR 을 도포하고 마지막으로 1.8 μ m Al 박막을 표면에 증착한 시편을 사용하였다. 요철 형상이 가공특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Fig. 1 과 같이 산화막의 패턴 형상을 다양하게 제작하였다. 산화막의 높이(h)는 0.5, 1.0, 1.5 μ m 의 세가지 경우로 하였으며, 한 시편 내에 패턴 폭(width; w)과 간격(gap; g)은 각각 10, 20, 50, 100 μ m 로 하여 총 16 가지 패턴 형태를 만들었다. CMP 실험 시편으로서 는 직경 100mm 웨이퍼를 사용하였다. 순수에 산화제 H₂O₂ 용액을 5 vol.%로 혼합한 후에 인산과 구연산을 소량 섞어 pH ~2.0 이 되도록 조절한 연마액을 사용하였다^(9, 13, 15).

CMP 실험은 연마재의 입자크기(d), 연마액 내의 연마재 함유량(c), 가공압력(p), 연마패드와 시편 간의 가공속도(v), 등의 가공인자를 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 이 때 연마재의 입자크기는 0.3, 0.05 (μ m)의 두 가지를 사용하였고, 연마재의 함유량은 0.0 ~ 5.0 (wt.%)의 범위에서, 그리고 가공압력은 5 ~ 30 (kPa)의 범위에서 실험하였다. 연질인 Al 박막을 CMP 가공한 후에 되도록 경면에 가까운 표면을 얻기 위해서 비교적 낮은 범위의 가공압력 만을 설정하였다.

알루미늄 박막의 표면거칠기, 평탄도, 소재 제거율 등을 측정하기 위해서 촉침 접촉식인 Taylor

Hobson 사의 Stylus Form Series2 와 Veeco Instruments 의 Dektak 장비를 사용하였다. 소재 제거율은 Al 박막에 만들어진 작은 홈(0.6 μ mX0.6 μ m hole)의 단차 변화를 CMP 가공 전후에 측정하여 구하였다. 평탄도를 위해 사용한 평가인자는 일반적으로 식 (1)과 같이 정의된 Planarity 와 경면 가공성능 측면에서 국부적 die 내에서의 박막표면의 평탄 정도를 알 수 있게, 측정길이 내에서 시편 표면 형상의 최고 높이 차를 나타내는 Waviness (Wt)를 함께 사용하였다.

$$Planarity = \left(1 - \frac{t_f}{t_i}\right) \times 100\% \quad (1)$$

식 (1)에서, t_i 와 t_f 는 각각 CMP 전과 CMP 후의 Fig. 1 에서의 Al 박막 표면요철 단차량(t)이다. 표면 거칠기 Ra(산술평균거칠기), Rq(제곱근평균거칠기), Rt(최대높이거칠기)와 표면반사도 Δa (산술평균기울기), Δq (제곱근평균기울기), 그리고 평탄도 Wt(최대 파상도높이)를 측정할 때에 측정길이는 10mm 로, 그리고 cut off length 는 0.08mm 로 하였다.

가공실험을 위해서 Buehler Co.의 MOTOPOL 2000 을 CMP 장비로 사용하였고 Buehler Co.의 γ -Al₂O₃ 를 연마재로 사용하였다. 그리고 사용된 연마패드는 최종 CMP 세정용 뿐만 아니라 bare wafer 의 가공이나 wafer 의 경면 2 차 가공용인 Rodel 사의 연질패드 Polytex Supreme 이다. CMP 장비의 Wafer Carrier 에 실험하고자 하는 시편을 장착하고 Wafer Carrier 에 일정한 하중을 주어 가공 압력을 조절하였다. 모든 CMP 실험에서 Wafer Carrier 와 연마패드의 회전속도를 같게 하였으며 연마액은 연마패드의 회전 중앙에 Peristaltic 펌프를 이용해 12ml/min 의 일정한 유량으로 공급하였다. 연마패드의 드래싱(dressing)은 패드 표면에 손수를 충분히 주입하며 브러시를 이용하여 패드에 남아있는 잔여물 들을 제거하였으며, Al 박막 시편은 CMP 가공 후 초음파 세척기를 이용하여 약 30 초간 세정한 후에 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

1 차 CMP 실험에서는 가공속도를 2.1m/min 로 하고 가공압력과 연마액 내의 연마재의 함유량을 변화시키면서 Al CMP 를 수행하였다. 가공압력의

경우에는 일반적 연마가공에서와 같이, 시편에 가해지는 압력이 클수록 표면거칠기는 나빠지지만 평탄도는 향상되는 결과를, 그리고 소재 제거율은 가공압력이 커짐에 따라 증가하는 것을 Fig. 2 와 같이 확인할 수 있었다⁽⁷⁾. 이와 같은 Al CMP 에서 가공압력 증가에 따른 표면거칠기 값과 소재 제거율의 증가 현상은 Kallingal⁽¹⁰⁾ 등과, Wrschka⁽¹¹⁾ 등의 연구에서도 같은 결과가 나왔다. 그리고 Hernandez⁽¹²⁾ 등의 Al CMP 실험에 의하며 식 (2) 와 같은 가공압력과 소재 제거율 간의 관계식이 성립한다.

$$Removal\ rate = kp^a v^b \quad (2)$$

식 (2)에서 k 는 가공조건에 따른 실험상수이며 지수 a 와 b 는 일반적으로 1.0 이하의 값을 취하는 것으로 알려져 있는 데, 본 실험의 경우에도 Fig. 2(b)으로부터 압력지수가 $a \leq 1.0$ 임을 알 수가 있다.

가공압력이 12.5kPa 일 때에 연마재 함유량에 따른 가공성능의 변화는 Fig. 3 과 같다. Al 박막의

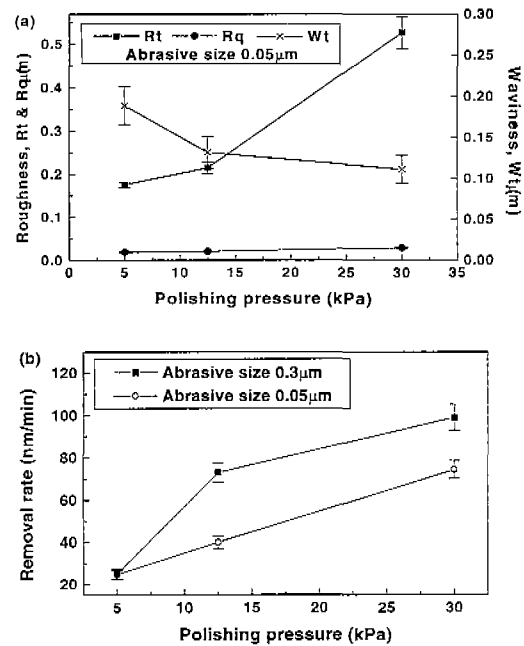


Fig. 2 (a) Roughness and waviness, and (b) removal rate with the variation of polishing pressure.

산술평균 표면거칠기 Ra 값(Fig. 3(a))을 보면 연마재인 알루미늄 입자가 작아지거나 함유량이 적어짐에 따라 일반적으로 표면거칠기는 작아지는 것을 알 수가 있다. 이것은 연마입자에 의한 AI 박막 표면에 미세한 스크래치 발생량이 감소되기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 연마재 함유량이 매우 적은 경우(0.1wt.%)에는 표면거칠기가 다소 나빠지는 데, 이는 연마입자수가 너무 적어지면 연마입자 당 작용하는 가공력이 커져서 연마입자에 의한 스크래치 압입 크기가 커지기 때문이라 여겨진다.

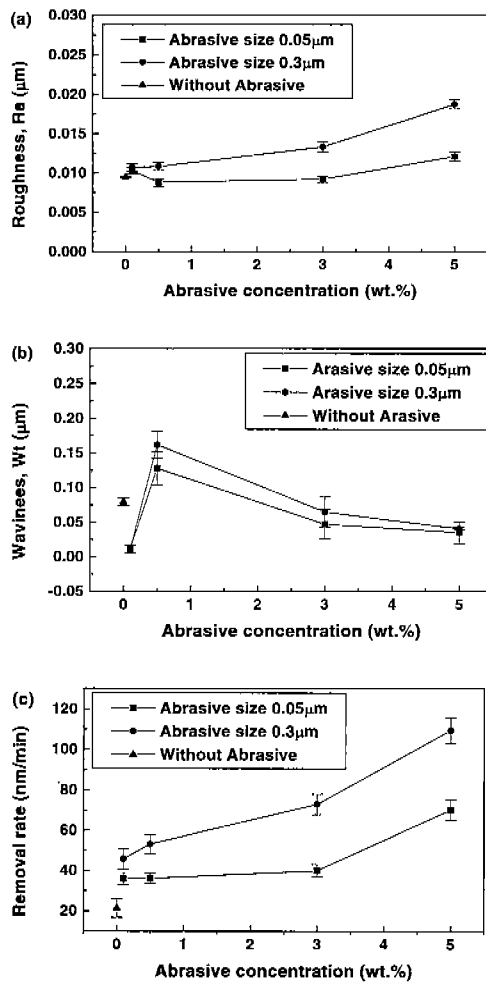


Fig. 3 (a) Roughness, (b) waviness, and (c) removal rate with the variation of abrasive concentraion.

이와 비슷한 현상은 Hernandez⁽¹²⁾ 등의 연구에서도 발견되었다.

AI 박막의 평탄도를 나타내는 W_t(Fig. 3(b))를 보면, 연마재 크기에 의한 차이는 별로 없지만 연마재 함유량이 높아 질수록 평탄도가 좋아지는 경향이 있음을 알 수가 있다. 이것은 연마재 함유량이 많아 질수록 시편 전체에서 고른 가공이 이루어지기 때문이라 생각된다. 그리고 연마재 함유량이 매우 적은 경우에는 평탄도가 의외로 향상되는 결과를 보이고 있는데, 이는 박막표면이 연마재와 보다는 연마패드와의 접촉이 더 많이 이루어져서 국부적인 돌출 부위가 우선적으로 화학적 마찰마멸에 의해 가공되기 때문이 아닌가 한다.

소재 제거율(Fig. 3(c))은 연마재의 함유량이 높아지거나 연마재 입자크기가 클수록 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 연마재의 함유량과 입자크기가 증가되면서 기계적 연삭작용이 활발해져서 나타난 결과인 것으로 생각된다. Kuo 와 Tsai 는 H₂O₂ 용액과 인산으로 구성된 연마액을 사용한 경우, 알루미늄 연마재가 10wt.%까지는 소재 제거율이 증가하지만 그 이상의 함유량에서는 제거율의 변화가 거의 없음이 실험결과로 얻어졌다⁽¹⁵⁾. H₂O₂ 용액과 인산위주로 구성된 연마액을 사용하여 AI CMP 을 수행한 경우에도 1 차 실험과 비슷한 경향이 나오리라 여겨진다.

Fig. 3 에서 화학적인 작용에 의해서만 가공이 이루어지는 연마재 0.0wt.% 인 경우를 살펴보면, 연마재를 사용한 경우에 비해 소재 제거율은 작지만 표면거칠기는 좋은 것을 알 수가 있다. 연마재에 의한 기계적 연삭작용이 전혀 발생하지 않기 때문에 소재 제거율은 낮아지지만 가공면은 양호하게 되는 것 같다. 평탄도의 경우에는 박막표면에서의 화학적작용과 박막이 연마패드와의 마찰마멸현상에 의해 전체적으로 표면 돌출부위 위주의 가공이 이루어져 좋은 평탄도가 얻어진 것으로 여겨진다. 그러나 연마재 함유량이 매우 적은 경우(0.1wt.%)에 비해서는 평탄도가 나쁜 데, 이에 대한 원인은 아직은 명확하지 않으며 좀 더 연구를 해야 겠다.

1 차 CMP 가공 실험결과를 정리하여 보면, 가공압력이 높을수록, 연마재의 입자 크기가 클수록, 그리고 연마액 내의 연마재 함유량이 많을수록 소재 제거율은 좋아지지만 표면거칠기는 나빠지는 것을 알 수가 있다. 그리고 평탄도는 가공압력이

Table 1 CMP process conditions

CMP condition	Abrasive concentration <i>c</i> (wt.%)	Pressure <i>p</i> (kPa)
No. 1	5.0	10.0
No. 2	5.0	15.0
No. 3	1.0	15.0

높고 연마재 함유량이 많을수록 향상되는 경향을 보이고 있다. 따라서 특정 가공조건에 의한 한 번의 CMP 가공에 의해 평탄도와 표면거칠기가 둘 다 우수한 Al 박막 표면을 얻는 것은 매우 힘들리라 여겨진다.

1 차 실험에서 얻은 가공인자와 가공성능과의 관계를 근거로 하여, 평탄도와 표면거칠기가 모두 양호한 Al 박막 표면을 얻기 위한 CMP 가공방법을 구상하여 2 차 CMP 실험을 수행하여 보았다. 2 차 실험을 수행할 가공조건을 선정할 때, 가능한 빠른 시간 내에 표면 요철 단차가 제거되어 전체적으로 평탄한 면이 되는 평탄화와 가공 후에도 최대한 매끈한 표면 상태가 유지되는 경면화가 균형적으로 일어날 수 있는 가공이 되도록 고려하였다. 연마재의 함유량과 가공압력을 주요 가공변수로 하였다. 2 차 CMP 실험을 위해 선정한 가공조건 들은 Table 1 과 같다. 모든 2 차 실험에서 연마재 크기는 0.3 μ m, 가공속도는 4.2m/min 로 하였다.

Fig. 4 는 산화막 두께가 1.0 μ m 인 시편에 대해서, Table 1 의 첫번째 가공조건 (연마재 함유량 5wt.%, 가공압력 10kPa) 으로 5 분 CMP 가공한 결과이다. Fig. 4(a)는 가공전과 가공후의 Al 박막 표면요철 단차(t_i)이다. 패턴의 폭과 간격이 커질수록 단차가 증가하다가 약 50 μ m 이상에서는 단차가 거의 일정한 것을 알 수가 있다. 이와 같은 단차 크기의 차이 발생은 PR 을 도포하는 과정에서 기인된 것으로 사료된다.

PR 을 도포 할 때에, 먼저 500RPM 의 spin 속도로 두껍게 도포를 한 후에 3000RPM 의 속도로 2 차 spin 시키면 PR 의 두께가 줄어들면서 최종 4.0 μ m 정도 두께가 되게 조절이 된다. 이와 같은 과정에서 패턴간의 간격이 넓을수록 요철의 오목부분의 PR 이 쉽게 이탈되어 이 부분의 깊이가 깊어지는 것 같다. 이탈되는 PR 의 양이 이렇게 증

가되면 요철의 볼록 부분에 올라가 남게 되는 PR 의 양도 증가하여 볼록 부분의 높이도 높아지는 것 같다. 또한 패턴의 폭이 클수록, 즉 볼록 부분이 넓을수록 많은 양이 도포 될 수 있어 볼록 부분의 높이가 높아지리라 생각된다. 이러한 현상은 패턴의 폭과 간격이 약 50 μ m 이하인 경우에서만 두드러지게 되어 Fig. 4(a)와 같은 단차 분포가 생기는 것 같다. CMP 가공에 의한 단차 감소량($t_i - t_f$)을 나타낸 Fig. 4(b)를 보면 약 50 μ m 이하에서 패턴의 폭과 간격이 작아질수록 단차 감소량이 감소한다. 그 이유는 패턴의 폭과 간격이 작아질수록 패턴의 볼록 부위 높이가 상대적으로 낮아 다른 요철부위에 비해 CMP 에 의한 가공량이 적기 때문이라 여겨진다.

Fig. 5 는 5 분 CMP 가공한 후의 planarity 를 측정한 결과이다. 1 번째 가공조건에 대한 Fig. 5(a)를

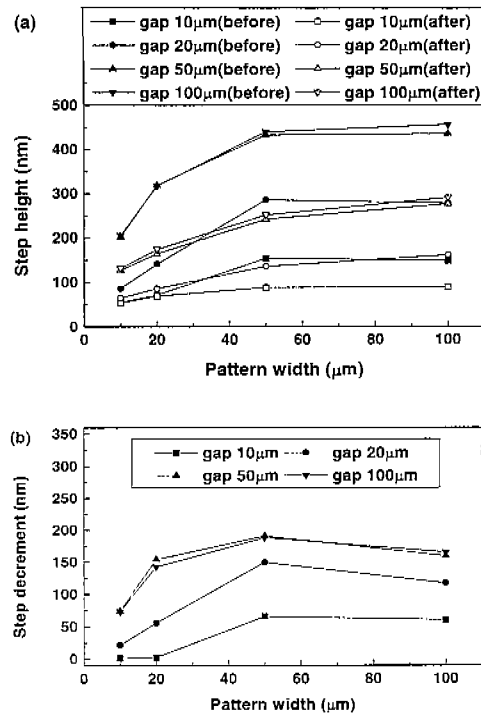


Fig. 4 (a) Step height before and after 5 min. CMP and (b) step decrement at CMP condition No.1 as a function of oxide pattern width for different pattern gap when pattern height is 1.0 μ m.

Table 2 Summary of the CMP process results for the patterned Al thin film

CMP condition	Oxide height h (μm)	Ra (μm)	Rq (μm)	Rt (μm)	Δa ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	Δq ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	Wt (μm)	Polishing time T (min.)
No. 1	1.0	0.020	0.026	0.315	0.780	1.064	0.295	10
No. 2	1.0	0.025	0.035	0.507	1.121	1.523	0.443	7
No. 3	0.5	0.081	0.110	1.066	3.652	5.183	0.365	60
No. 2	1.5	0.149	0.198	1.702	5.638	7.947	0.270	20

보면 패턴의 폭과 간격이 상대적으로 작은 경우에만 느리게 planarity 가 향상되고, 나머지는 대체로 비슷한 속도로 평탄화가 이루어지고 있다. Fig. 4에 의하면 초기 단차가 큰 패턴에 대해서는 가공량도 같이 크다고 할 수가 있겠다. 따라서 대체로 planarity 는 패턴의 형태에 무관하게 거의 비슷하게 될 것이다. 다만 패턴의 폭과 간격이 작은 경우에는 가공량이 매우 작아 planarity 가 느리게 향상되는 것 같다. 가공량이 작은 이유는 이 경우에 패턴의 밀집도가 상대적으로 높아 각 패턴에 작용하는 가공압력이 작아지기 때문인 것 같다. Table 1의 2 번째 가공조건 (연마재 함유량 5wt.%, 가공압력 15kPa)에 대한 Fig. 5(b)에서도 planarity 가 비슷한 경향을 보이고 있다. 다만 가공압력 증가에 따른 가공량이 커져서 planarity 가 가공압력 10kPa 인 경우(Fig. 5(a))에 비해 전반적으로 큰 값을 보이고 있다.

산화막 패턴형상에 따라 표면이 요철형상인 Al 박막 웨이퍼 시편에 대해서, 패턴 형상이 모두 없어질 때 까지 Table 1에 명시된 가공조건 들에 의해 CMP 가공을 수행하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 산화막 단차 높이가 1.0 μm 인 경우에 대해서 가공압력만 달리하여 CMP 를 수행한 결과를 살펴보면, 10kPa 로 가공한 경우($T=10\text{min.}$)가 15kPa 로 한 경우($T=7\text{min.}$)에 비하여 가공시간은 길게 걸리지만 표면거칠기(Ra, Rq, Rt), 표면반사도(Δa , Δq), 평탄도(Wt)가 모두 나은 가공표면을 얻었다. 따라서 가공시간이 크게 분제되지 않는 한 되도록 낮은 가공압력으로 CMP 가공을 수행하는 것이 바람직하다고 생각된다.

연마재 함유량을 1.0wt.%인 3 번째 가공조건은

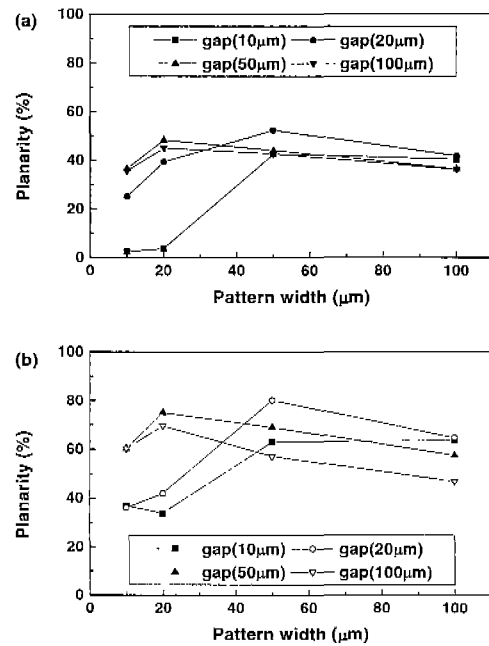


Fig. 5 Planarity at CMP condition (a) No.1 and (b) No.2 as a function of oxide pattern width for different pattern gap when oxide height is 1.0 μm .

다른 가공조건 들에 비해서 연마재 함유량이 상대적으로 낮은 경우로서 가공결과를 살펴보면, 단지 함유량 만 다른 2 번째 가공조건 ($h=1.0\mu\text{m}$) 과 비교하여 산화막 단차 높이가 매우 적은 시편 ($h=0.5\mu\text{m}$)을 가공 하였는데도 걸리는 시간이 무척 많이 필요로 하는 것을 알 수가 있다. 그리고 표면거칠기와 표면반사도는 나쁘지만 평탄도는 상대적으로 좋게 가공이 되었다. 이는 평평한 시편에

대한 결과와 상반된 것으로서, Fig. 3에 의하면 똑같은 가공시간에 대해서 연마재 함유량이 적을수록 평탄도는 떨어지지만 표면거칠기는 양호해진다.

표면이 요철형상인 박막을 가공할 때에는 가공시간이 길어질수록 평탄화 된 후의 박막표면의 거칠기와 반사도는 나빠지는 것 같다. 반대로 평탄도는 가공시간이 길어질수록 좋아지는 것 같다. 이와 같은 현상은 2 번째 가공조건으로 산화막 단차 높이가 큰($h=1.5\mu\text{m}$) 박막을 가공한 결과에서도 나타나고 있다. 높은 단차 때문에 가공시간이 길어지게 되면 단차 높이가 낮은($h=1.0\mu\text{m}$) 경우에 비해 표면거칠기와 표면반사도는 나쁘지만 평탄도는 상대적으로 좋아진 것을 알 수가 있다.

2 차 실험결과를 종합하여 보면 가공시간이 가공성능에 크게 영향을 미치는 것을 알 수가 있다. 그리고 기저층의 패턴에 따라 요철형상을 한 Al 박막을 CMP 가공을 할 때에는, 연마재 함유량 등의 가공변수 들은 높은 가공율을 얻을 수 있는 조건으로 하고, 가공압력은 가공시간이 크게 문제 되지 않는 한 되도록 낮게 하여 설정하는 것이 바람직하겠다.

Fig. 6는 패턴 된 Al 박막 표면의 $80\mu\text{m} \times 80\mu\text{m}$ 구간을 원자력간 현미경 (PSI사의 Cp autoprobe)으로 scan 하여 구한 형상이다. Fig. 6(a)는 산화막의 폭이 $10\mu\text{m}$ 이고 패턴간 간격이 $10\mu\text{m}$ 인 경우의 CMP 가공 전 모습이다. PR 을 spin coating 을 할 때에 요철의 볼록 부분 모서리에서는 PR 도포가 얇아지고 오목부분 모서리에서는 도포가 두껍게 되는 경향이 있다. 이와 같은 현상 및 패턴의 폭과 간격이 작기 때문인지 요철 형상이 평탄한 부분이 거의 없이 물결모양과 같이 형성되어 있음을 알 수가 있다. 패턴 요철 형상이 직각인 경우 증착된 금속 박막 두께가 step coverage 현상에 의해 불균일 해질 수가 있다. 그러나 PR 도포에 의해 물결 모양으로 바뀐 패턴 요철 위에 금속 박막이 증착될 때에는 step coverage 영향이 미비하리라 여겨지므로, 비교적 균일한 두께의 금속박막이 물결 모양의 PR 층위에 형성되었으리라 추측된다.

Fig. 6(b)와 (c)는 산화막 단차 높이가 1.0 인 Al 박막을 각각 1 번째 가공조건으로 10 분, 그리고 2 번째 가공조건으로 7 분 CMP 가공한 후의 표면 형상이다. 두 경우 모두 가공전의 요철형상이 모두 없어져 평탄화가 이루어졌음을 알 수가 있다.

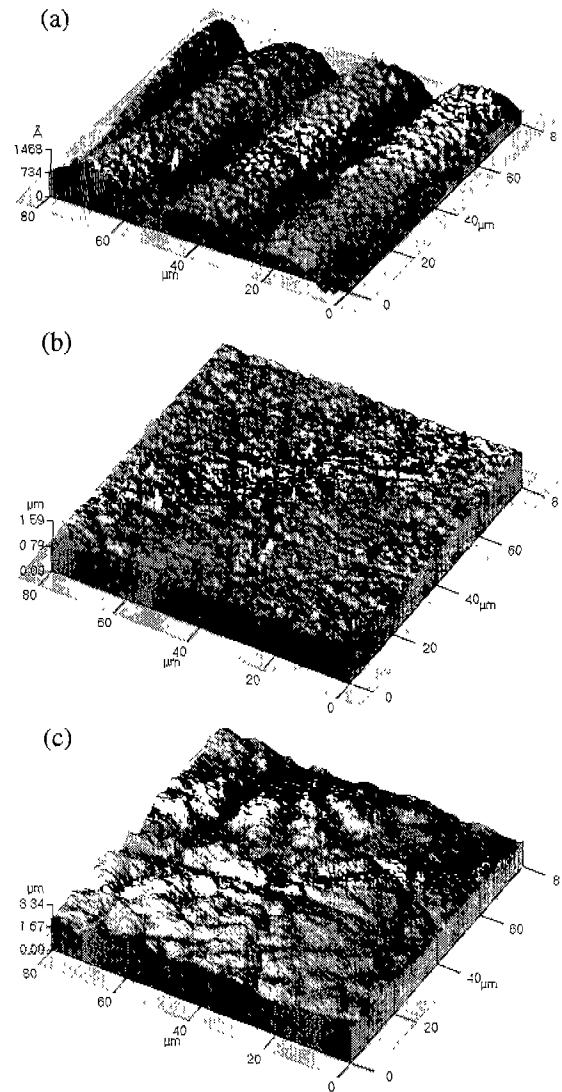


Fig. 6 AFM image of a test pattern of $10\mu\text{m}$ width and $10\mu\text{m}$ gap (a) before polishing and after (b) 10min polishing with CMP condition No.1 and (c) 7min polishing with CMP condition No.2.

그리고 Table 2에 명시된 결과와 같이, 가공압력을 낮게 1 번째 가공조건으로 수행한 결과가 가공압력이 높은 2 번째 가공조건에 의한 결과보다 거칠기 형상이 양호한 표면을 얻을 수 있음을 알 수가 있다. 그러나 아직 거울면을 사용하기에는 표

면거칠기와 표면반사도 값(Table 2)이 큰 편이다. Al 박막이 거울면으로 사용되기 위해서는 빛의 난반사가 적어야 되므로, 표면 미소 거칠기 형상의 기울기를 나타내는 Δa 와 Δq 의 값이 작을수록 바람직 할 것이다. 따라서 2 차 실험에서 가장 양호한 결과를 가져온 연마재 함유량 5wt.%, 가공압력 10kPa 에 의한 CMP 가공은 평탄화 가공조건으로는 적합하지만 경면 가공조건으로는 부적당하다고 하겠다.

거울과 같은 Al 박막을 얻기 위해서는 평탄화 가공 후에 2 차 가공으로, 표면거칠기와 표면반사도를 위주로 향상시키는 경면화 가공법을 개발하여 수행하여야 되겠다. 그리고 Fig. 6(b)와 (c)에서 발견할 수 있듯이 CMP 가공 후 박막 표면에 적지 않은 미소 스크래치들이 발생하여 있다. 이러한 미소 스크래치의 발생을 줄이는 CMP 가공기술의 개발도 필요하겠다.

알루미늄 박막이 거울면으로 사용 되는 MEMS 분야의 micromirror array 구조물에서는 박막이 경면이 되어야 할 뿐만 아니라, 거울면 들간의 평탄화가 요구되어진다⁽¹⁶⁾. 따라서 본 연구에서 추구된 CMP 가공 공정은 micromirror array 와 같은 마이크로 구조물 제조 공정 개발을 위한 기초자료로서 잘 활용될 수 있으리라 생각된다.

4. 결론

반도체 소자 및 MEMS 용 알루미늄 박막에 대한 화학기계적연마 가공실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과들을 얻을 수가 있었다. 연마재 입자 크기, 가공압력과 더불어 연마액 내의 연마재의 함유량도 가공성능에 영향을 미치며, 함유량이 많아질수록 일반적으로 표면거칠기는 나빠지지만 평탄도는 향상되는 경향을 보였다. 패턴 형상에 따른 평탄도 추이를 살펴 본 결과, 패턴 폭과 패턴 간의 간격이 좁은 경우 CMP 에 의한 요철면의 평탄화가 상대적으로 느리게 이루어지는 것을 알 수가 있었다. 요철형상의 Al 박막의 평탄화를 위해 CMP 가공을 할 경우에, 평탄화를 완결하기 까지 걸리는 가공시간이 길어 질수록 표면거칠기와 표면반사도는 나빠지지만 평탄도는 좋아지는 현상이 나타났다. 평탄도와 표면거칠기가 모두 양호한 Al 박막 표면을 얻기 위해서, 연마재 함유량은 비교적 높게 하고 가공압력은 가능한 낮게 하는 것이

바람직하겠다. 그러나 평탄화 가공후의 박막표면은 MEMS 용 거울면으로 사용하기에는 거칠은 편이라 2 차 경면화 CMP 가공이 필요하다.

후 기

이 논문은 1999 년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었으며 (KRF-99-041-E00088), 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Patrick, W.J., Guthrie, W.L., Standley, C.L., and Schiabe, P.M., "Application of Chemical Mechanical Polishing to the Fabrication of VLSI Circuit Interconnections," J. Electrochem. Soc., Vol. 138, No. 6, pp. 1778-1784, 1991.
2. Sniegowski, J.J., "Chemical-Mechanical Polishing: Enhancing the Manufacturability of MEMS," SPIE Proceedings, Vol. 2879, pp. 104-115, 1996.
3. 조철호, 박상신, 안유민, "화학기계적연마 공정의 유효역학적 압력 및 전단응력 분포 해석," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 1 호, pp. 179-184, 2000.
4. Amazawa, T., Yamamoto, E., and Arita, Y., "Planarization Multilevel Interconnection Using Chemical Mechanical Polishing of Selective CVD-Al Via Plugs," IEEE Transactions on Electron Device Vol. 45, No. 4, pp. 815-820, 1998.
5. Shin, J.-W., Chung, S.-W., Kim, Y.-K., Choi, B.K., "Design and Fabrication of Micromirror Array Supported by Vertical Springs," Sensors and Actuators A, Vol. 66, pp. 144-149, 1998.
6. Yu, C.C., Doan, T.T., and Laulusa, A.E., Method of Chemical Mechanical Polishing Aluminum Containing Metal Layers and Slurry for Chemical Mechanical Polishing, US Patent, 5209816, 1993.
7. Steigerwald, J.M., Murarka, S.P., and Gutmann, R.J., Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials, John Wiley and Sons, pp. 49 and 276-280, 1997.
8. Wang, Y.L., Wu, J., Liu, C.W., Wang, T.C., and Dun, J., "Mechanical Characteristics and Chemical-Mechanical Polishing of Aluminum Alloy Thin

- Films,” *Thin Solid Films*, Vol. 332, pp. 397-403, 1998.
9. Tseng, W.-T., Wang, Y.-L., Niu, J., “Microstructure-related Resistivity Change after Chemical-Mechanical Polish of Al and W Thin Films,” *Thin Solid Films*, Vol. 370, pp. 96-100, 2000.
 10. Kallingal, C.G., Duquette, D.J., and Murarka, S.P., “An Investigation of Slurry Chemistry Used in Chemical Mechanical Planarization of Aluminum,” *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 145, No. 6, pp. 2074-2081, 1998.
 11. Wrschka, P., Hernandez, J., Hsu, Y., Kuan, T.S., Oehrlein, G.S., Sun, H.J., Hansen, D.A., King, J., and Fury, M.A., “Polishing Parameter Dependencies and Surface Oxidation of Chemical Mechanical Polishing of Al Thin Films,” *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 146, No. 7, pp. 2689-2696, 1999.
 12. Hernandez, J., Wrschka, P., Hsu, Y., Kuan, T.-S., Oehrlein, G.S., Sun, H.J., Hansen, D.A., King, J., and Fury, M.A., “Chemical Mechanical Polishing of Al and SiO₂ Thin Films: The Role of Consumables,” *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 146, No. 12, pp. 4647-4653, pp. 1999.
 13. Kuo, H.-S. and Tsai, W.-T., “Electrochemical Behavior of Aluminum during Chemical Mechanical Polishing in Phosphoric Acid Base Slurry,” *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 147, No. 1, pp. 149-154, 2000.
 14. Kuo, H.-S. and Tsai, W.-T., “Effect of Applied Potential on the Chemical Mechanical Polishing of Aluminum in Phosphoric Acid Base Slurry,” *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 147, No. 6, pp. 2136-2142, 2000.
 15. Kuo, H.-S. and Tsai, W.-T., “Effect of Alumina and Hydrogen Peroxide on the Chemical-Mechanical Polishing of Aluminum in Phosphoric Acid Base Slurry,” *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 69, pp. 53-61, 2001.
 16. 이국녕, 김호성, 김용권, “광화학적 표면 개질을 위한 마이크로미터 광변조 시스템 연구,” 제 3 회 한국 MEMS 학술대회 논문집, pp. 15-21, 2001.