

화학기계적연마 공정에서 미소 스크래치 저발생화를 위한 가공기술 연구

김성준*, 안유민**, 백창욱***, 김용권***

Study on Chemical Mechanical Polishing for Reduction of Micro-Scratch

Sung Jun Kim*, Yoomin Ahn**, Chang-Wook Baek*** and Yong-Kweon Kim***

ABSTRACT

Chemical mechanical polishing of aluminum and photoresist using colloidal silica-based slurry was experimented. The effects of slurry pH, silica concentration, and oxidizer (H_2O_2) concentration on surface roughness and removal rate were studied. The optimum slurry conditions for reduction of micro-scratch were investigated. The optimum chemical mechanical polishing with the colloidal silica-based slurry was compared with conventional chemical mechanical polishing with alumina-based slurry. Chemical mechanical polishing of the aluminum with the colloidal silica-based slurry showed improved result but chemical mechanical polishing of the photoresist did not. The improved result was comparative with that of chemical mechanical polishing with filtered alumina-based slurry which one of desirable methods to reduce the micro-scratch.

Key Words : CMP (화학기계적연마), Micro-Scratch (미소 스크래치), Colloidal SiO_2 -Based Slurry (콜로이달 실리카 연마액), MEMS (마이크로 머신)

1. 서론

정보처리 관련산업이 발달함에 따라 반도체 메모리 칩의 용량 및 전산 처리속도의 증가가 요구되어지고 있다. 처리속도가 빠른 대용량의 메모리 칩 개발을 위해서 여러 반도체 제조 공정기술들이 발달하게 되었다. 그 중에서 화학기계적연마(CMP)는 금속 배선층이 다층화 됨에 따라 문제시 되는 표면 단차를 없애주기 위한 평탄화 가공법으로서 많이 사용되고 있다. 보다 효율적인 평탄화 가공을 위해서 화학기계적연마 가공에 대한 연구

가 활발히 진행되고 있다^(1,2). 그리고 미세과학기술로서 중요시 되고 있는 마이크로 머신(MEMS)의 대부분이 반도체 제조기술에 기초하기 때문에, 마이크로 머신에서의 화학기계적연마 기술 발달도 요구되고 있다⁽³⁾.

반도체 칩 제조와 마이크로 머신에서 금속박막 및 절연막을 화학기계적연마 가공을 하게 되면 일반적으로 가공면에 미소 스크래치가 남게 된다. 이러한 미소 스크래치는 표면 반사도 뿐만 아니라 가공물의 내구성과 신뢰성을 감소시키는 나쁜 영향을 미치게 된다. 예를 들면, 금속박막의 경우에

... 2002년 2월 25일 접수
* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
** 한양대학교 기계공학과
*** 서울대학교 전기컴퓨터공학부

는 내부식성이 약화되고 전기적 이동에 의한 회로 단락 발생 가능성이 증가되며, 유기물 등의 절연막의 경우에는 유전강도가 감소되고 누전전류가 증가되는 등의 바람직하지 못한 현상이 생긴다⁽⁴⁾. 이와 같은 미소 스크래치에 의한 문제점은 반도체 소자의 고집적화와 마이크로 머신 분야가 발전됨에 따라 해결 되어야 하는 필요성이 커지고 있다.

지금까지의 연구결과에 의하면, 미소 스크래치 발생에 가장 크게 영향을 미치는 것이 연마액에 함유된 매우 큰 연마입자들인 것으로 발표되고 있다⁽⁵⁾. Basim 등⁽⁶⁾의 절연 산화막 화학기계적연마 실험에 의하면, 최대 연마입자 크기가 클수록 그리고 그 양이 많을수록 미소 스크래치 발생량이 증가된다. 금속 알루미늄 화학기계적연마에서, 연마패드가 경질일수록 미소 스크래치가 증가되는 것이 Kallingal 등⁽⁷⁾에 의해 발견되었으며, 가공압력이 높을수록 미소 스크래치 밀도가 증가되며 연마재 입자크기가 클수록 미소 스크래치 크기가 커지는 것이 Zhong 등⁽⁸⁾에 의해 관찰되었다. 즉 미소 스크래치의 주된 발생기구가 기계적 압입연삭 작용인 것으로 여겨지고 있다⁽⁸⁾.

미소 스크래치 발생을 억제하는 방법으로써 연질 연마패드를 사용하면 일반적으로 가공면 평탄도가 나빠지게 되며, 가공압력을 낮추면 소재 제거율이 감소되는 단점이 있게 된다. 바람직한 방법으로써는 기계적 압입연삭 작용의 영향을 줄일 수 있는 연마재를 사용하는 가공법⁽⁹⁾과 연마재를 전혀 사용하지 않는 가공법⁽¹⁰⁾이 보고되고 있다. 그 밖에 가공 전에 연마액을 필터링하여 크기가 큰 연마입자들을 제거하는 방법이 있겠다.

본 연구에서는 미소 스크래치 발생을 줄일 수 있는 화학기계적연마 가공기술에 대해서 연구하였다. 스크래치가 잘 발생하는 재료들인 금속 배선용 알루미늄 박막과 마이크로 머신의 희생층 용인 포토레지스트(Photo Resist, PR) 유기박막을 연구대상 소재로 하였다. 금속 및 유기박막 화학기계적연마에 주로 사용되는 알루미늄(Al_2O_3)보다도 경도가 낮으며 평균 입자 크기도 작은 콜로이달 실리카(colloidal SiO_2)를 연마재로 이용하는 화학기계적연마 가공법이 미소 스크래치를 줄이는 방법으로 가능한 지를 실험으로 알아보았다.

2. 화학기계적연마 실험

콜로이달 실리카 연마재에 의한 알루미늄 박막과 포토레지스트 박막의 화학기계적연마 가공에 대해서, 가공면에 미소 스크래치가 최소로 발생하는 가공조건을 찾기 위한 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 알루미늄 시편은 4 인치 실리콘 웨이퍼(Si wafer)에 약 1 μm 정도 높이의 알루미늄 박막을 스퍼터(sputter) 장비를 이용해서 전력 480W, 6mTorr 아르곤 가스 환경에서 스퍼터링 한 후 20 mm \times 20 mm의 크기로 다이싱 절단기(dicing saw)를 이용해서 절단하여 제작하였다. 그리고 포토레지스트 시편은 4 인치 실리콘 웨이퍼에 약 7 μm 정도 높이의 후막 포토레지스트(AGP4620)를 스피너(Gyrset spinner)를 이용하여 먼저 500rpm에서 10 초 그 다음에는 2000rpm에서 35 초 정도 스펀 코팅하였다. 스펀 코팅 후 95°C에서 30 분, 120°C에서 1 시간, 150°C에서 30 분, 180°C에서 30 분, 210°C에서 1 시간 순으로 열처리(baking)하였다. 열처리가 완료된 웨이퍼는 다이싱 절단기로 20 mm \times 20 mm의 크기로 절단하여 사용하였다.

가공실험을 위해서 Buehler Co.의 MOTOPOL 2000 을 화학기계적연마 장비로 응용하였다. 화학기계적연마에 사용한 연마액은 ACE HIGTECH 사의 평균 입자크기가 20 nm 인 콜로이달 실리카를 순수에 섞어서 만들었다. 소량의 H_3PO_4 와 KOH 을 이용하여 연마액의 pH 를 조절하였다. 알루미늄 화학기계적연마의 경우에는 산화제인 H_2O_2 를 연마액에 넣어 사용하였다. 모든 실험에서 가공압력은 30kPa, 가공속도(시편과 연마패드 간의 상대속도)는 15m/min, 연마액의 공급률은 12ml/min 이 되게 하였다 연마패드는 Rodel 사의 연질패드 Polytex Supreme 을 사용하였다.

화학기계적연마 가공 후에 미소 스크래치와 소재제거율을 측정하였다. 미소 스크래치 크기를 간접적으로 평가하는 방법으로서 표면거칠기 R_v (최대깊이거칠기)를 Veeco Instruments 의 Dektak 장비를 사용하여 측정하였다. 측정할 때에 측정길이는 10 mm로, 컷 오프 길이(cut off length)는 0.08 mm로 하였다. 알루미늄 박막의 소재 제거율은 Chang Min Tech 사의 4-Point Probe 장비로, 그리고 유기박막은 Nanometrics 사의 NanoSpec 장비로 측정하였다. 하나의 실험조건에 사용된 시편의 수는 6 개이고 각 시편을 4 번 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

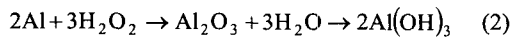
Bulsara 등⁽¹¹⁾의 연마 가공기구 해석에 의하면, 연마가공시 박막표면이 연삭입자에 의해 압입되어 형성되는 소성변형 자국깊이 d 는 다음 식과 같다.

$$d = (x - X) \left(1 + \sqrt{\frac{H}{H'}} \right)^{-1} \quad (1)$$

식 (1)에서 x 는 연마입자 크기, X 는 박막표면과 연마패드 간의 간격, H 는 박막소재의 경도, H' 는 연마패드의 경도이다. 경도가 높은 연마패드를 사용하거나 연마액 내에 매우 큰 연마입자들이 존재할수록 소성변형되는 압입깊이, 즉 미소 스크래치 크기가 커지게 되는 것을 알 수가 있다.

식 (1)은 연마입자가 강체라는 가정 하에 유도 되었으며, 연마입자의 경도가 박막소재의 경도에 비해 매우 크지 않은 경우에는 H' 를 연삭입자의 경도로도 간주할 수 있다. 따라서 알루미늄보다 크기도 작고 경도가 낮은 실리카를 연마재로 사용할 경우 미소 스크래치의 크기가 작아지리라 추측된다. 그리고 날카로운 입자 형태인 흠드 실리카 (fumed SiO₂)가 아닌, 입자모양이 구형에 가까운 콜로이달 실리카를 사용하면 미소 스크래치 발생 억제 효과가 커지리라 생각한다. 연마재의 입자 크기가 일반적으로 정규분포에 가까우므로⁽¹¹⁾, 확률통계적 측면에서 미소 스크래치가 소재 박막표면에 많이 발생될수록 미소 스크래치들의 평균크기도 커지리라 믿어진다. 따라서 본 연구에서는 미소 스크래치 발생정도를 미소 스크래치 크기 (Rv)로 대신하여 분석하였다.

첫번째로, 콜로이달 실리카 연마재에 의한 알루미늄 화학기계적연마 실험을 연마액의 pH 및 산화제 H₂O₂ 의 농도 그리고 연마재 실리카의 함유량 들을 변화시키면서 수행하였다. 가공시간은 4 분 이었다. 화학기계적연마 가공시 알루미늄 표면에서는 산화제에 의해 다음과 같은 화학반응이 일어나게 된다⁽¹²⁾.



즉, 금속박막 표면에 산화막이 먼저 형성 된 후에, 형성된 산화막이 연마재의 연삭작용에 의해 제거 되는 동안 산화막 혹은 연삭제거된 박막칩 들은 화학적 에칭에 의해서 연마액 내로 용해된다. 다시 똑 같이 산화막의 형성 및 제거의 과정이 반복

됨으로써 화학기계적연마 가공이 이루어지게 된다고 믿어지고 있다. 연삭작용시 연마재에 의해 금속표면이 소성 연삭되는 것보다는 산화막이 되어 취성파괴 될 때에 제거량이 훨씬 커질 것이다.

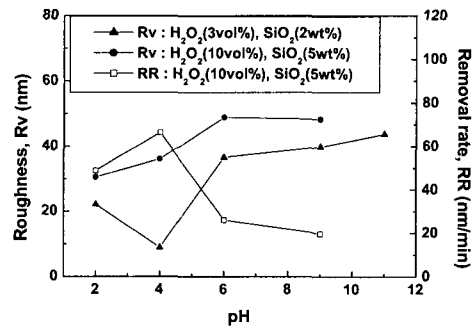


Fig. 1 Roughness and removal rate of Al films with the variation of slurry pH

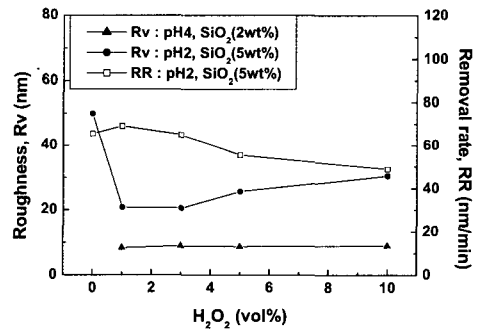


Fig. 2 Roughness and removal rate of Al films with the variation of H₂O₂ concentration

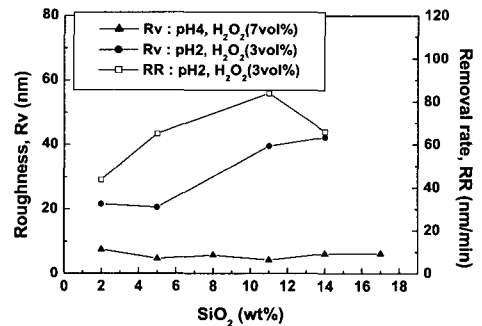


Fig. 3 Roughness and removal rate of Al films with the variation of SiO₂ concentration

연마액 pH 변화에 따른 미소 스크래치 크기 (Rv)와 소재제거율(RR)은 Fig. 1 과 같다. 강산성일 때에 작은 Rv 값과 큰 소재제거율을 보이고 있으며, 염기성이 강해질수록 Rv 값이 커지고 소재제거율은 작아지고 있다. 그 이유는 연마액이 강산성일 때에 박막표면에서의 화학적 반응이 활발해지지만, 염기성으로 변화될수록 표면반응이 비활성화 되기 때문인 것 같다. 즉, 화학적 반응이 활발하지 못하게 되면, 산화막 형성 및 에칭 현상이 미비하게 되어 소재제거율은 감소하게 되고, 산화막이 얇아 연질 금속표면까지 기계적으로 연삭되어 미소 스크래치가 크게 발생하는 등 표면이 거칠게 되는 것이라 생각된다.

Fig. 1 에서 보면 산화제 H₂O₂ 3.0 vol.%, 콜로이드 실리카 5.0wt.% 가공조건인 경우, pH 4 보다 pH 2 에서 미소 스크래치 크기(Rv)가 커진다. 콜로이드 실리카의 제타전위(zeta potential) 분포에서 등전위점(isoelectric point)이 pH 2 에 가깝기 때문에, 즉 pH 2 에서는 콜로이드 실리카 입자가 거의 전하를 띠지 않아 서로 뭉쳐지기 쉬워지기 때문에, 뭉쳐진 연삭입자들의 크기가 커짐에 따라 미소 스크래치도 커지지 않나 추측 되어진다. 흙드 실리카의 경우에는 등전위점이 pH 3 근처임이 보고 되었는데⁽¹⁾, 정확한 원인 규명을 위해서는 콜로이드 실리카의 제타전위 측정 등의 연구를 좀더 하여야 되겠다.

Fig. 2 는 H₂O₂ 농도가 가공성능에 미치는 영향을 보여주고 있다. 미소 스크래치 크기(Rv)는 농도가 약 1~3 vol.%일 때에 가장 작으며 농도가 증가함에 따라 커지고 있다. 소재제거율은 1 vol.% 농도에서 가장 크며, 농도가 증가함에 따라 감소함을 보이고 있다. 농도가 1~3 vol.% 일 때에 산화막이 형성되는 속도와 산화막이 제거되는 속도가 균형적으로 평형을 이루어 소재제거율이 최적으로 커지게 되고 산화막 만이 효과적으로 제거됨으로써 그 밑의 알루미늄 금속막이 큰 스크래치 발생 없이 새 표면이 되는 것으로 여겨진다. 산화제 농도가 증가되면, 산화막의 비활성화도가 증가되어 산화막의 형성속도가 연삭 제거속도보다 작아지게 되리라 여겨진다. 따라서 취성과피량 감소에 따라 소재제거율은 감소하게 되고 연질 금속층이 연삭 가공이 되어 미소 스크래치가 많은 거칠은 표면이 형성되리라 생각된다. 그 밖에 산화제를 전혀 사용하지 않고 연마제만으로 가공한 경우인 농도가 0

vol.%일 때에는 연삭작용만으로 가공되어, 미소 스크래치(Rv)가 매우 크고, 소재제거율은 대체로 작은 편인 것을 알 수가 있다.

미소 스크래치 크기 및 소재제거율 들의 가공성능과 연마제 함유량과의 관계는 Fig. 3 과 같다. 연마액 내에 연마제를 많이 함유시켜 가공을 수행할수록, 미소 스크래치 크기(Rv)가 커지거나 거의 변화가 없다. 소재제거율은 함유량이 많아질수록 증가되다가 11 wt.% 이상에서는 약간 감소되는 결과를 보이고 있다. 연마제가 많아짐에 따라 연삭작용이 왕성해져서 소재제거율과 미소 스크래치 크기가 커지게 되리라 여겨진다. 그러나 경우에 따라서 미소 스크래치 크기가 변화지 않는 것과 소재제거율이 감소되는 현상 들은 연마제가 많아짐에 따라 산화막 형성등의 화학적 반응력에 변화가 발생되기 때문이 아닌가 하며 이에 대해서는 좀더 연구를 해야겠다.

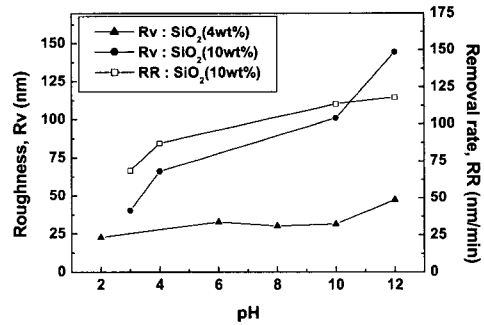


Fig. 4 Roughness and removal rate of PR films with the variation of slurry pH

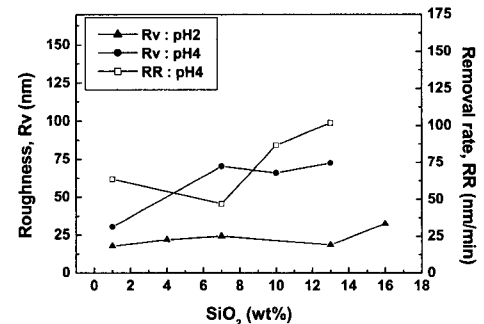


Fig. 5 Roughness and removal rate of PR films with the variation of SiO₂ concentration

다음에는 포토레지스트 화학기계적연마 실험을 수행하였다. 유기물인 포토레지스트는 화학적으로 안정한 소재이기에, 에칭 등의 화학적 작용이 포토레지스트 화학기계적연마에서는 금속박막 화학기계적연마에서 만큼 활발하지 않으리라 생각된다⁽⁴⁾. 그러므로 연마액의 pH와 연마재 실리카의 함유량 들만을 변화시키면서 실험을 하였으며 가공시간은 5분으로 하였다.

Fig. 4는 연마액 pH 변화에 따른 미소 스크래치 크기(Rv)와 소재제거율이다. 연마액이 강염기성으로 변화될수록 미소 스크래치 등의 표면거칠기가 커지며 소재제거율도 증가되고 있다. pH가 증가함에 따라 포토레지스트 표면이 화학적으로 활성화되어 표면내의 원자 혹은 분자간 결합력이 약화되는 것 같다. 따라서 약해진 표면이 연마재의 연삭작용에 의해 더욱 거칠어지고 소재제거율도 증가되는 것으로 생각된다. 제조업체가 제공하는 콜로이드 실리카 용액의 pH는 약 9이다. 그 이유는 pH 9 근처에서는 실리카 입자들이 같은 부호의 큰 전하값을 띠게 되어, 즉 입자간 반발력이 크게 형성되어 입자들이 뭉쳐지는 일이 억제되기 때문이다. 따라서 연마액이 산성보다는 염기성일 때 작은 입자들 만에 의한 연삭작용이 이루어져 표면이 양호하게 되리라 예측된다. 그러나 실험결과에 의하며 그렇지 않으므로, 이러한 입자간 전하량 변화 효과는 포토레지스트 박막 표면에서의 화학적 활성화 효과 보다는 미비한 것 같다.

연마재 함유량이 가공성능에 미치는 영향은 Fig. 5와 같다. 연마재의 양이 많아질수록 대체로 표면은 거칠어지고 소재제거율은 증가하는 것 같다. 연마입자 증가에 따른 연삭작용이 많아져서 표면은 미소 스크래치 발생 등으로 보다 거칠어지고 더 많은 소재가 제거되는 것으로 판단된다.

콜로이드 실리카 연마재를 사용함으로써 어느 정도 미소 스크래치 발생을 억제할 수 있는지를 알아보기 위해, 기존의 알루미늄 연마재에 의한 화학기계적연마 가공과 비교 실험을 수행하였다. 그리고 알루미늄 연마액을 필터링하여 가공 실험한 것보다 비교하여 보았다. 실리카 연마재에 의한 화학기계적연마는 앞선 알루미늄과 포토레지스트 화학기계적연마 실험 결과들의 미소 스크래치 크기가 작으면서 (Rv < ~10 nm) 소재제거율이 제일 클 조건을 고려한 결과, 알루미늄에 대해서는 pH 4, H₂O₂ 1.0 vol.%, 실리카 5.0wt.% 에서 그리고 포토

Table 1 Summary of the CMP process results

Thin film	Abrasive	Rv (nm)	RR (nm/min)
Al	Al ₂ O ₃	18.15	21.34
Al	Filtered Al ₂ O ₃	9.85	2.57
Al	SiO ₂	6.08	137.45
PR	Al ₂ O ₃	13.31	1874.95
PR	Filtered Al ₂ O ₃	5.96	248.01
PR	SiO ₂	15.27	203.01

레지스트에 대해서는 pH 11, 실리카 0.5wt.% 에서 수행하였다. 알루미늄 연마재에 의한 실험은 기존의 연구결과^(1,2)의 표면거칠기가 최소화되는 조건을 고려한 결과, 알루미늄에 대해서는 pH 2, H₂O₂ 5.0vol.%, 알루미늄 0.5wt.% 에서 그리고 포토레지스트에 대해서는 pH 11, 알루미늄 0.5wt.% 에서 수행하였다. 입자크기가 50 nm인 Buehler Co.의 γ -Al₂O₃를 연마재로 그리고 1 μ m 이상 입자 제거용인 Millipore 사의 CMP3를 필터로 사용하였다. 알루미늄은 4분, 포토레지스트는 1분 화학기계적연마 가공하였다. 화학기계적연마 가공전에 알루미늄 시편의 Rv는 39.40 nm이고 포토레지스트 시편의 Rv는 7.85 nm였다.

비교 실험 결과는 Table 1과 같다. 필터링한 알루미늄 연마재로 화학기계적연마 가공을 하면, 필터링을 안 했을 때보다 미소 스크래치 크기(Rv)는 크게 줄어들지만 소재제거율도 감소하는 것을 알 수가 있다. 실험에 사용된 필터는 매우 고은 필터이기 때문에 1 μ m 이상의 큰 연마입자들이 대부분 제거됨으로써, 미소 스크래치 발생이 크게 줄어들면서 큰 입자들에 의한 연삭제거량도 크게 줄게 되어 소재제거율이 감소하게 된 것 같다.

Table 1의 실험결과에 의하면, 알루미늄 박막의 경우에 콜로이드 실리카 연마재를 사용한 화학기계적연마가 알루미늄 혹은 필터링한 알루미늄 연마재를 사용한 화학기계적연마 보다 미소 스크래치 크기(Rv)나 소재제거율이 모두 우수하다. Fig. 6는 알루미늄 박막 표면의 50 μ m \times 50 μ m 구간을 원자력간 현미경 (PSI 사의 Cp autoprobe)으로 스캔(scan)하여 구한 형상이다.

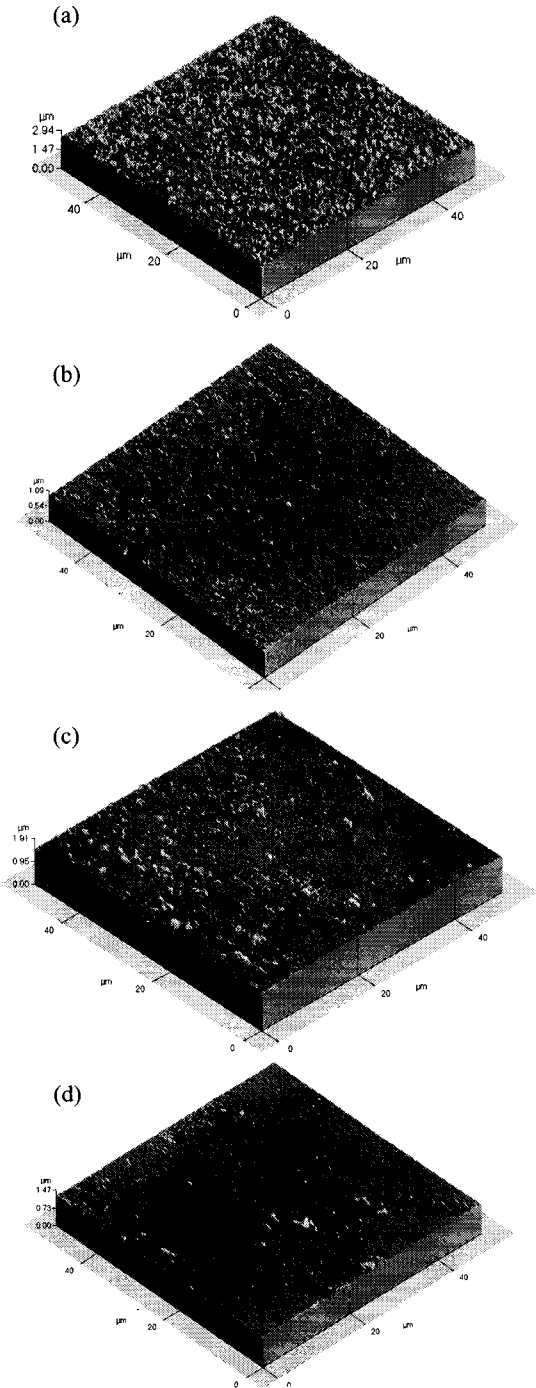


Fig. 6 AFM images of Al films (a) before CMP and after CMP with (b) Al_2O_3 , (c) filtered Al_2O_3 and (d) SiO_2 abrasives

미소 스크래치는 없지만 약간 거칠은 화학기계적연마 가공전의 알루미늄 표면 (Fig. 6(a))이 알루미늄 연마재 화학기계적연마 가공에 의해 대체로 경면화되지만 미소 스크래치들이 발생한 것 (Fig. 6(b))을 관찰할 수가 있다. 필터링한 알루미늄 연마재 화학기계적연마에서도 약간의 미소 스크래치가 존재하고 있다(Fig. 6(c)). 그러나 콜로이달 실리카 연마재 화학기계적연마한 가공면 (Fig. 6(d))에서는 미소 스크래치가 거의 관찰되지 않고 있다.

식 (1)로 부터 예견할 수 있듯이, 일반 알루미늄 연마재보다 입자크기가 작고 경도도 낮은 콜로이달 실리카를 사용하면 연삭입자에 의한 박막표면의 압입 깊이가 작아져서 미소 스크래치가 저발생화 된다고 할 수 있겠다.

알루미늄 연마재에 의한 알루미늄 화학기계적연마에서는 미소 스크래치를 줄이기 위해서 소재제거율이 작은 가공조건을 사용하여야 되지만 콜로이달 실리카 연마재에 의한 화학기계적연마에서는 연마액 pH와 산화제의 농도를 잘 선정하면 소재제거율이 작지 않으면서 미소 스크래치가 거의 없는 알루미늄 표면을 얻을 수가 있겠다. 그러나 포토레지스트 박막에서는 콜로이달 실리카 연마재 화학기계적연마가 알루미늄 연마재 화학기계적연마에 비해서 오히려 나쁜 가공결과를 보였다. 포토레지스트와 같은 유기박막에 대해서 콜로이달 실리카 연마재에 의한 만족할 만한 화학기계적연마 가공성능을 얻기 위해서는, 미소 스크래치 발생 억제와 소재제거율 향상을 가져올 수 있는 적절한 화학용액의 사용 등에 대해서 연구할 필요가 있겠다.

4. 결론

알루미늄 및 포토레지스트 박막들을 콜로이달 실리카 연마재를 이용하여 화학기계적연마 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 알루미늄 화학기계적연마 경우에는 연마액이 강산성(pH 2~4)이고 산화제 H_2O_2 의 농도가 1~3 vol.% 일 때에 미소 스크래치 크기가 작아지고 소재제거율도 커진다. 그러나 연마액 내의 연마재 함유량이 증가할수록 미소 스크래치 크기와 소재제거율이 대체로 모두 커진다. 포토레지스트 화학기계적연마 경우에는 연마액의 pH와 연마재 함유량이 증가할수록 미소 스크래치 크기와 소재제거율이 일반적인

로 커지는 경향을 보였다.

콜로이달 실리카 연마제 실험결과로부터 얻어진 최적 가공조건에 의해 화학기계적연마를 수행하여, 기존의 알루미나 연마제를 이용한 화학기계적연마 가공결과와 비교하였다. 알루미늄 박막에 대해서는 좋은 결과를 얻을 수 있었으나 포토레지스트에 대해서는 그렇지 못했다. 알루미늄 박막 경우에는 미소 스크래치의 저발생화 정도가 알루미늄 연마제를 필터링하여 화학기계적연마 가공한 가공결과와 비교하여 바람직한 결과를 얻을 수 있었다.

후 기

이 논문은 2000 년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며(KRF-2000-041-E00093), 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kim, H.-G., Ahn, Y., Moon, D.-K., and Park, J.-G., "Effect of Chemicals and Slurry Particles on Chemical Mechanical Polishing of Polyimide," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, pp. 1085-1090, 2000.
2. 조웅, 안유민, 백창욱, 김용권, "알루미늄 박막의 화학기계적연마 가공에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 2 호, pp. 49-57, 2002.
3. Sniegowski, J.J., "Chemical-Mechanical Polishing: Enhancing the Manufacturability of MEMS," SPIE Proceedings, Vol. 2879, pp. 104-115, 1996.
4. Steigerwald, J.M., Murarka, S.P., and Gutmann, R.J., "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials," John Wiley and Sons, pp. 39 and 281, 1997.
5. Peters, L., "Investigating the Causing of CMP Micro-Scratches," *Semiconductor International*, Vol. 22, No. 6, p. 70, 1999.
6. Basim, G.B., Adler, J.J., Mahajan, U., Singh, R.K., and Moudgil, B.M., "Effect of Particle Size of Chemical Mechanical Polishing Slurries for Enhanced Polishing with Minimal Defects," J. Electrochem. Soc., Vol. 147, No. 9, pp. 3523-3528, 2000.
7. 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.
8. Zhong, L., Yang, J., Holland, K., Grillaert, J., Devriend, K., Heylen, N., and Meuris, M., "A Static Model for Scratches Generated during Aluminum Chemical-Mechanical Polishing Process: Orbital Technology," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38, pp. 1932-1938, 1999.
9. Hara, T., Tomisawa, T., Kurosu, T., and Doy, T.K., "Chemical Mechanical Polishing of Polyarylether Low Dielectric Constant Layers by Manganese Oxide Slurry," J. Electrochem. Soc., Vol. 146, No. 6, pp. 2333-2336, 1999.
10. Kondo, S., Sakuma, N., Homma, Y., Goto, Y., Ohashi, N., Yamaguchi, H., and Owada, N., "Abrasive-Free Polishing for Copper Damascene Interconnection," J. Electrochem. Soc., Vol. 147, No. 10, pp. 3907-3913, 2000.
11. Bulsara, V.H., Ahn, Y., Chandrasekar, S., and Farris, T.N., "Mechanics of Polishing," ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 65, pp. 410-416, 1998.
12. 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.