텅스텐 화학적-기계적 연마 공정에서 부식방지막이 증착된 금속 컨디셔너 표면의 전기화학적 특성평가

조병준¹ · 권태영² · 김혁민¹ · Prasanna Venkatesh² · 박문석³ · 박진구^{1,2,†}

¹한양대학교 바이오나노학과, ²한양대학교 재료공학과, ³신한다이아몬드

Electrochemical Characterization of Anti-Corrosion Film Coated Metal Conditioner Surfaces for Tungsten CMP Applications

Byoung-Jun Cho¹, Tae-Young Kwon², Hyuk-Min Kim¹, Prasanna Venkatesh²,
Moon-Seok Park³ and Jin-Goo Park^{1,2,†}

¹Department of Bio-Nano Technology, Hanyang University, Korea

²Department of Materials Engineering, Hanyang University, Korea

³Shinhan Diamond Industrial Co., Ltd., Korea

(2011년 12월 12일 접수: 2012년 2월 28일 수정: 2012년 3월 20일 게재확정)

초 록: 반도체 산업에서 회로의 고집적화와 다층구조를 형성하기 위해 화학적-기계적 연마(CMP: Chemical-Mechanical Planarization) 공정이 도입되었으며 반도체 패턴의 미세화와 다층화에 따라 화학적-기계적 연마 공정의 중요성은 더욱 강조되고 있다. 화학적-기계적 연마공정이란 화학적 반응과 기계적 힘을 동시에 이용하여 표면을 평탄화하는 공정으로, 화학적-기계적 연마 공정은 압력, 속도 등의 공정조건과, 화학적 반응을 유도하는 슬러리(Slurry), 기계적 힘을 위한 패드 등에 의해 복합적으로 영향을 받는다. 패드 컨디셔닝이란 컨디셔너가 화학적-기계적 연마 공정 중에 지속적으로 패드 표면을 연마하여 패드의 손상된 부분을 제거하고 새로운 표면을 노출시켜 패드의 상태를 일정하게 유지시키는 것을 말한다. 한편, 금속박막의 화학적-기계적 연마 공정에 사용되는 슬러리는 금속박막과 산화반응을 하기 위하여 산화제를 포함하는데, 산화제는 금속 컨디셔너 표면을 산화시켜 부식을 야기한다. 컨디셔너의 표면부식은 반도체 수율에 직접적인 영향을 줄 수 있는 스크래치(Scratch) 등을 발생시킬 뿐만 아니라, 컨디셔너의 수명도 저하시키게 되므로 이를 방지하기 위한 노력이 매우 중요하다. 본 연구에서는 컨디셔너 표면에 슬러리와 컨디셔너 표면 간에 일어나는 표면부식을 방지하기 위하여 유기박막을 표면에 증착하여 부식을 방지하고자 하였다. 컨디셔너 제작에 사용되는 금속인 니켈과 니켈 합금을 기판으로 하고, 증착된 유기박막으로는 자기조립단분자막(SAM: Self-Assembled Monolayer)과 불화탄소(FC: FluoroCarbon) 박막을 증착하였다. 자기조립단분자막은 2가지 전구체(Perfluorooctyltrichloro silane(FOTS), Dodecanethiol(DT))를 사용하여 기상 자기조립 단분자막 증착(Vapor SAM) 방법으로 증착하였고, 불화탄소막은 10 nm, 50 nm, 100 nm 두께로 PE-CVD(Plasma Enhanced-Chemical Vapor Deposition, SRN-504, Sorona, Korea) 방법으로 증착하여 표면의 부식특성을 평가하였다. 표면 부식 특성은 동전위분극법(Potentiodynamic Polarization)과 전기화학적 임피던스 측정법(Electrochemical Impedance Spectroscopy(EIS)) 등의 전기화학 분석법을 사용하여 평가되었다. 또한 측정된 임피던스 데이터를 전기적 등가회로(Electrical Equivalent Circuit) 모델에 적용하여 부식 방지 효율을 계산하였다. 동전위분극법과 EIS의 결과 분석으로부터 유기박막이 증착된 표면의 부식전류밀도가 감소하고, 임피던스가 증가하는 것을 확인하였다.

Abstract: Chemical Mechanical Planarization (CMP) is a polishing process used in the microelectronic fabrication industries to achieve a globally planar wafer surface for the manufacturing of integrated circuits. Pad conditioning plays an important role in the CMP process to maintain a material removal rate (MRR) and its uniformity. For metal CMP process, highly acidic slurry containing strong oxidizer is being used. It would affect the conditioner surface which normally made of metal such as Nickel and its alloy. If conditioner surface is corroded, diamonds on the conditioner surface would be fallen out from the surface. Because of this phenomenon, not only life time of conditioners is decreased, but also more scratches are generated. To protect the conditioners from corrosion, thin organic film deposition on the metal surface is suggested without requiring current conditioner manufacturing process. To prepare the anti-corrosion film on metal conditioner surface, vapor SAM (self-assembled monolayer) and FC (Fluorocarbon) -CVD (SRN-504, Sorona, Korea) films were prepared on both nickel and nickel alloy surfaces. Vapor SAM method was used for SAM deposition using both Dodecanethiol (DT) and Perfluorooctyltrichloro silane (FOTS). FC films were prepared in different thickness of 10 nm, 50 nm and 100 nm on conditioner surfaces. Electrochemical analysis such as potentiodynamic polarization and impedance, and contact angle measurements were carried out to evaluate the coating characteristics. Impedance data was

[†]Corresponding author

E-mail: jgpark@hanyang.ac.kr

analyzed by an electrical equivalent circuit model. The observed contact angle is higher than 90° after thin film deposition, which confirms that the coatings deposited on the surfaces are densely packed. The results of potentiodynamic polarization and the impedance show that modified surfaces have better performance than bare metal surfaces which could be applied to increase the life time and reliability of conditioner during W CMP

Keywords: Electrochemical Impedance Spectroscopy, Potentiodynamic Polarization, V-SAM, FC layer, Corrosion

1. 서 론

최근 반도체 소자는 고집적화를 위해 초미세크기의 선 폭이 필요하게 되었으며, DRAM과 논리연산을 위한 소자의 경우는 50 nm 이하의 기술이 이미 양산단계에 접어들었다.¹⁾ 반도체 리소그래피 공정에서 미세한 선폭의 구조를 형성하는 해상능력이 높아질수록 초점 심도(Depth of Focus DOF)는 반대로 감소하기 때문에 다층 배선 형성 과정에서 발생하는 불규칙한 단차가 후속 리소그래피 공정에 점점 치명적인 요소로 작용하게 되었다. DOF의 여유를 확보하기 위한 종래의 기술로는 리플로우(Reflow), SOG(Spin-On-Glass), Etch Back Process 등이 사용되어 왔으나 이와 같은 국부적 평탄화 기술로는 미세 패턴링시 필요한 광역 평탄화의 요구를 만족할 수 없게 됨으로써 새로운 광역 평탄화 기술을 필요로 하게 되었다.²⁾ 반도체 제조 공정에 기계적 연마와 화학적 연마를 하나의 공정 기술로 결합한 화학적-기계적 연마는 공정 중에 공급되는 슬러리 용액의 화학적 작용과 슬러리 내 존재하는 연마 입자(abrasive particle)와 연마패드 사이의 기계적 마찰력을 이용해 웨이퍼 표면을 평탄화, 경면화 시키는 공정을 말한다.³⁾ 화학적-기계적 연마 공정의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

패드 컨디셔닝(Pad Conditioning)이란 다이아몬드 입자가 표면에 증착된 컨디셔너(Conditioner)를 사용하여 연마 전후 또는 연마 도중에 패드 표면을 마모시킴으로써 패드 표면의 거칠기와 패드 상층부의 기공도를 일정하게 유지시키며, 패드의 글레이징(Glazing) 및 불균일 변형을 억제시켜서 연마 후 또는 연마 도중 패드 표면상의 기공들

을 채우고 있는 연마 잔류물(연마 입자, 패드 잔여물 등)을 연마 패드 외부로 밀어내는 작용을 말한다. 따라서 패드 컨디셔닝은 일정한 화학적-기계적 연마 효율 구현하기 위한 필수적인 공정이며 그 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.⁴⁾

금속 화학적-기계적 연마의 제거 모델은 슬러리 내의 산화제(oxidizer)에 의하여 금속표면이 산화되어 부동화층(Passivation Layer)이 형성되며, 단차가 큰 지역의 부동화 층은 연마입자에 의해 기계적으로 제거되고, 제거로 인해 노출된 금속 층은 Etchant에 의하여 화학적으로 식각됨과 동시에 산화제에 의해 부동화 층이 형성되는 과정을 반복하여 연마가 이루어진다는 Kaufmann이 제안한 모델이 보편화 되어 있다.⁵⁾

텅스텐 화학적-기계적 연마 공정에 사용되는 슬러리는 강한 산성을 띄며 산화제, 촉매제(catalyst) 그리고 착화제(complexing agent) 등과 같은 첨가제를 포함한다.⁶⁾ 슬러리에 포함된 산화제는 텅스텐 표면을 산화시킬 뿐만 아니라, 컨디셔너의 표면도 산화시켜 부식을 유발한다. 컨디셔너의 부식은 연마 도중 다이아몬드 입자의 이탈을 유발하고, 이탈된 다이아몬드 입자는 웨이퍼와 패드의 틈으로 들어가 웨이퍼 표면에 스크래치를 생성하게 된다. 스크래치는 화학적-기계적 연마 공정 중에 생기는 결함들 중에서 반도체 수율의 감소와 신뢰도 저하에 가장 큰 원인으로 알려져 있다.⁷⁾ 따라서 화학적-기계적 연마 공정에서 발생하는 스크래치의 발생을 최소화시키기 위한 연구는 필수적이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 컨디셔너 부식으로 인한 문제점을 해결하기 위하여, 컨디셔너 표면에 소수성 유기박막을 증착하여 슬러리로부터 생길 수 있는 컨디셔너의 부식을 미

Fig. 1. Schematic diagram of CMP process.

Fig. 2. Schematic diagram of Conditioning process.

연에 방지하고자 하였다. 제안된 유기박막은 자기조립 단분자막과 불화탄소막으로 각각 기상 자기조립 단분자막 증착방법과 PE-CVD 방법으로 증착되었다. 자기조립 단분자막은 고체표면에 자발적으로 형성되는 유기 단분자막을 말한다. 유기박막을 형성하는데 사용되는 분자의 구조는 크게 세 부분으로 나뉘는데 첫 번째가 헤드그룹(Head group)이다. 헤드그룹은 표면 위에 화학 흡착되는 부분으로 기판의 모든 표면에 흡착되며 결과적으로 밀집된(close-packed) 단분자막이 형성된다. 두 번째 부분은 알킬 사슬로서 긴 사슬간의 반데르발스 상호작용으로 인해 정렬된 단분자막이 형성된다. 나머지 말단 부분은 작용기 부분으로, 필요에 따라 여러 종류의 작용기를 도입할 수 있으며 이는 자기조립 단분자막의 여러 분야로의 응용을 가능케 해주는 부분이다. 다시 말해서, 자기조립 단분자막은 자기조립 단분자막을 형성하는 구성분자가 고체 표면에 흡착됨과 동시에 분자들끼리의 상호작용에 따른 고분자 조립체를 형성함으로써 만들어진다. 자기조립 단분자막 형성은 용액상 또는 기체상에서 이루어지는데, 금속 혹은 반도체 표면에서의 자기조립 단분자막 형성을 통하여 표면의 성질을 쉽게 조절할 수 있게 된다.⁸⁻⁹⁾ 불화탄소막은 불소와 탄소의 화합물로서 기계적, 전기적 강도가 높은 박막이다.¹⁰⁾ 유기 박막이 컨디셔너 표면에 증착됨으로서 슬러리와 컨디셔너의 직접적인 접촉을 제한하여 컨디셔너의 부식을 억제하고자 하였다. 증착된 박막의 부식 특성을 평가하기 위하여 전기화학적 평가 방법이 사용되었고, 부식 방지 효율을 정량화하기 위하여 전기적 등가회로 모델을 적용하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 동판(2 cm×2 cm)위에 컨디셔너 제작에 사용되는 니켈 및 니켈합금을 1 μm의 두께로 증착하여 사용하였다. 니켈과 니켈 합금의 기판에 자기조립 단분자막과 불화탄소막을 각각 증착하였다. 니켈 합금은 팔라듐-니켈-크롬(Palladium-Nickel-Chrome)으로 이루어져 있으며, 부식 저항 특성은 순수한 니켈 보다 니켈 합금이 더 우수하다. 유기박막을 증착하기 위해 기판의 표면은 이소프로필알콜과 메가소닉에 의해 세정되었다. 자기조

립 단분자막은 DT와 FOTS 두 가지 물질을 전구체로 사용하였으며, 온도와 진공도는 각각 150°C와 0.5 torr의 분위기에서 기상 자기조립 단분자막 증착방법으로 10분간 증착하였다. 위의 공정 조건은 기상 자기조립 단분자막 증착 방법의 최적화된 조건으로 선행연구를 통하여 도출되었다.¹¹⁾ DT와 FOTS의 길이는 각각 1.5 nm와 1.1 nm이다. 불화탄소막은 PE-CVD 장비를 이용하여 10 nm, 50 nm 그리고 100 nm를 증착하여, 유기박막의 두께에 따른 부식 특성을 확인하고자 하였다.

유기박막의 증착으로 인해 개질된 기판 표면의 부식 특

Fig. 3. Potentiodynamic polarization curves acquired for modified surfaces of (a) Ni and (b) Ni's alloy in W slurry; Potential range: from -250 mV to +500 mV with respect to open circuit potential, Scan rate: 1 mV/s.

성을 평가하기 위하여, 전기화학 특성 분석 방법인 동전위분극법과 전기화학적 임피던스 측정법을 사용하였다. 모든 전기화학 실험은 반응이 안정화된 후에 실시되었고, 개방 회로 전압(Open Circuit Potential)의 측정을 통하여 안정화를 확인하였다. 상용화되어 있는 텅스텐 슬러리(pH 2.5)에 0.1 M의 과염소산나트륨(NaClO_4)가 첨가된 용액을 전해질로 사용하였으며, 상온(25°C)에서 실험을 진행하였다. 세 개의 전극을 포함하는 형태의 셀이 사용되었으며, 포화 카로멜 전극(SCE: Saturated Calomel Electrode)를 기준전극으로, 백금을 상대전극으로 사용하였다.

동전위분극곡선은 개방 회로 전압을 기준으로 -250 mV 에서 $+500\text{ mV}$ 의 범위를 측정하였고, 스캔속도는 1 mV/s 이다. 전기화학적 임피던스 측정은 10 mV 의 교류 전류를 사용하였고, 교류 전류 신호의 주파수 범위는 10 kHz 에서 0.01 Hz 이다. 임피던스 데이터는 전기적 등가회로에 의해 분석되었고, 사용된 프로그램은 Zsimpwin이다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3는 각 표면 막질의 동전위 분극곡선이다. Fig. 3의 동전위 분극곡선으로부터 부식 전류 밀도(Corrosion Current Density)를 계산하여 그 값을 Table 1에 나타내었고 편의를 위하여 Fig. 4와 같이 그래프로 나타내었다. 부식 전류 밀도는 부식율에 비례하기 때문에, 부식 전류 밀도로부터 표면의 부식 특성을 확인할 수 있다. Fig. 4(a)는 순수한 니켈에 DT와 FOTS가 증착되었을 때 부식 전류 밀도의 변화가 미미한 것을 보여준다. 그러나 불화탄소막이 증착되었을 때는 부식 전류 밀도가 크게 감소한 것을 확인할 수 있다. 반면에 Fig. 4(b)은 자기조립 단분자막과 불화탄소막의 두 가지 유기 박막이 부식 전류 밀도를 크게 감소시킨 것을 확인할 수 있다. 불화탄소막은 두 기관의 표면에서 효과적인 반면에 자기조립 단분자막은 합금의 표면에서만 효과적으로 나타났으며, 이러한 경향은 자기조립 단분자막과 니켈의 결합력이 합금에서보다 상대적으로 낮기 때문에 강한 산성을 띄는 텅스텐 슬러리에 의해 자기조립 단분자막이 제거된 것으로 판단된다.

Fig. 5는 전기화학적 임피던스 측정으로부터 얻은 개선된 막질들의 Nyquist plot이다. 임피던스는 부식저항과 비

Fig. 4. Corrosion Current Density for bare and modified surfaces on (a) Nickel and (b) Nickel alloy.

례하기 때문에, Nyquist plot의 크기가 크면 클수록 부식 저항이 크다는 것을 의미한다. Fig. 5(a)를 보면 DT 또는 FOTS가 증착된 니켈 표면의 임피던스는 순수한 니켈 표면의 임피던스와 차이가 없음을 보여준다. 앞선 결과와 마찬가지로 자기조립 단분자막은 니켈 표면에서 부식방지막으로서 역할을 수행하기에 부적절한 박막으로 평가된다. 하지만 불화탄소막이 증착된 니켈 표면은 크게 증가된 임피던스를 가지게 되며, 불화탄소막의 두께가 증가할수록 임피던스도 증가하는 것을 확인하였다. 니켈 합금의 경우, 두 가지 박막 모두 임피던스를 증가시켰으나, 불화탄소막이 증착되었을 때 상대적으로 더 큰 임피던스를 가지는 것이 관찰되었다. Fig. 5(b). 따라서 불화탄소막이 부식방지막으로서 적합하며 그 중에서도 합금의 표면에 불화탄소막이 100 nm 증착된 표면이 가장 큰 임피던

Table 1. Corrosion current calculated from the polarization curves; I_{corr} : Corrosion current density, DODE: Dodecanethiol, FOTS: Perfluorooctyltrichloro silane, FC: Fluorocarbon

Metal	Film		I _{corr} (A/cm ²)	Metal	Film		I _{corr} (A/cm ²)
Nickel	Bare		1.04×10 ⁻⁴	Nickel alloy	Bare		2.10×10 ⁻⁵
	SAM	DODE	83.3×10 ⁻⁴		SAM	DODE	1.35×10 ⁻⁷
		FOTS	1.52×10 ⁻⁴			FOTS	1.62×10 ⁻⁷
	FC	10 nm	8.69×10 ⁻⁸		FC	10 nm	4.48×10 ⁻⁷
		50 nm	8.47×10 ⁻⁸			50 nm	1.45×10 ⁻⁷
		100 nm	9.60×10 ⁻⁸			100 nm	93.7×10 ⁻⁷

Fig. 5. Nyquist plots of modified surfaces on (a) Ni and (b) Ni's alloy; Sinusoidal voltage perturbation signal: 10 mV_{rms}, Frequency range: from 10 kHz to 0.01 Hz.

Fig. 6. Electrical Equivalent Circuit model for (a) bare metal and (b) modified surface.

스를 가진다.

임피던스 데이터로부터 각 박막의 부식 방지 효율을 계산하기 위해 전지적 등가회로 모델을 적용하여 효율을 계산하였다. 전기적 등가회로 모델링이란 임피던스 그래프로부터 전기화학 시스템을 전기회로화하는 것이다. 순수한 니켈과 합금은 $R_s(QR_1)$ 의 모델을 적용하였고, 그림 6(a), 박막이 증착된 표면은 $R_s(Q(R_1(CR_2)))$ 의 모델을 적용하였다. Fig. 7(b). 모델에 표현된 약어들의 정의는 다음과

Fig. 7. Proposed models for (a) SAM deposited conditioner surface chemical reaction and (b) FC film deposited conditioner surface chemical reaction.

같다.

R_s : Solution Resistance

R_1 : Corresponds to polarization resistance of bare metal surface

R_2 Corresponds to polarization resistance of modified surface:

Q : Constant phase element which is included to model the electrical double layer at the metal/electrolyte interface

C : Corresponds to capacitance at coated surface/electrolyte interface

박막이 증착된 표면의 모델에 (CR_2)이 추가된 이유는 표면에 자기조립 단분자막과 불화탄소막이 증착되었기 때문에 추가된 항목이다. Table 2는 모델링에 의해 계산된 각 R_1 과 R_2 을 보여주며, 다음 식을 이용하여 부식 방지 효율을 계산할 수 있다.

Table 2. Protection Efficiency calculated using ZSimpwin software.

Surface	Polarization Resistance (kohm cm ²)	Protection Efficiency (%)
Ni	5.86	R_1
Ni-DT	5.43	R_2 -8.02
Ni-FOTS	6.96	R_2 15.81
Ni-FC10 nm	15.31	R_2 61.72
Ni-FC50 nm	108.6	R_2 94.60
Ni-FC100 nm	139	R_2 95.78
Alloy	22.63	R_1
Alloy-DT	239	R_2 90.53
Alloy-FOTS	513.4	R_2 95.59
Alloy-FC10 nm	87.82	R_2 74.03
Alloy-FC50 nm	515.3	R_2 95.61
Alloy-FC100 nm	888.1	R_2 97.45

$$\text{Protection Efficiency} = (R_2 - R_1) / R_2 \times 100$$

니켈 표면에 자기조립 단분자막이 증착되었을 때의 부식 방지 효율은 DT와 FOTS가 증착되었을 때, 각각 -8%와 15%이고, 이것은 앞선 결과를 통하여 확인 했듯이, 자기조립 단분자막이 텅스텐 슬러리에 노출되어 제거되었기 때문이다. 효율이 음수를 가지는 이유는 슬러리에 의해 자기조립 단분자막이 제거되었을 뿐만 아니라, 니켈의 산화막 또는 수산화막이 제거 되었기 때문이다. 반면에 합금표면에 DT와 FOTS의 증착은 부식 방지 효율을 각각 90%와 95%까지 증가시켰다. 불화탄소막은 두 가지 표면에서 매우 효과적인 것으로 확인 되었고, 박막의 두께가 증가할수록 부식 방지 효율이 97%까지 증가함을 확인 하였다. 유기박막이 슬러리에 노출되면 반응을 하게 되는데, 10 nm의 두께는 반응에 의해 쉽게 용해되어 금속을 노출시킬 수 있는 확률이 크다. 반면에 가장 큰 효율을 보인 50 nm와 100 nm두께의 불화탄소막은 산화반응을 억제하기에 충분하기 때문에 높은 효율을 보인 것으로 해석된다. 이와 같은 메커니즘을 Fig. 7에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 텅스텐 화학적-기계적 연마 공정 중에 발생하는 컨디셔너의 부식을 방지하기 위하여 컨디셔너 표면에 소수성 유기박막을 증착하여 표면의 전기화학적 특성을 평가하고, 각 박막의 부식 방지 효율을 계산하였다. 실험결과 불화탄소막이 자기조립 단분자막에 비해 니켈과 니켈 합금 두 가지 표면에서 부식 전류 밀도를 더 크게 감소시키고 임피던스를 증가시켰다. 이러한 현상은 자기조립 단분자막의 두께인 10 nm는 슬러리에 포함된 산화제와 금속 표면간의 반응을 억제하기에 충분하지 못하기 때문인 것으로 해석된다. 따라서 자기조립 단분자막은 컨디셔너 표면의 부식을 방지 하기 위함으로는 적절치 않지만 50 nm 두께의 불화탄소막은 부식방지막으로서 적용이 가능함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 부식방지막의 전기화학적 평가만 진행되었기 때문에, 기계적 힘이 가해지는 실제 화학적-기계적 연마 공정에서의 적용을 위한 추가적 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 한국연구재단의 국제협력사업의

지원(2011-0000946) 및 신한다이아몬드의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. P. B. Zantye, A. Kumar and A. K. Sikder, "Chemical mechanical planarization for microelectronics applications", Mater. Sci. Eng., R, 45, 89 (2004).
2. S. Pennington, S. Luce, "Improved Process Latitude with Chemical-Mechanical Polishing", VMIC 9th Conf., Proc., pp.168, Santa Clara, CA, USA (1992).
3. R. Jairath, M. Desai, M. Stell, R. Tolles, D. Scheber-Brewer, "Consumables for the Chemical Mechanical Polishing (CMP) of Dielectrics and Conductors", Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 337, pp.121, San Francisco, CA, USA (1994).
4. K. C. Kim, Y. J. Kang, Y. S. Yu, J. G. Park, Y. M. Won and K. H. Oh, "The Pad Recovery as a function of Diamond Shape on Diamond Disk for Metal CMP", J. Microelectron. Packag. Soc., 13(3), 47 (2006).
5. F. B. Kaufmann, D. B. Thompson, R. E. Broadie, M. A. Jaso, W. L. Guthrie, D. J. Person and M. Small, "Chemical-Mechanical Polishing for Fabricating Patterned W Metal Features as Chip Interconnects". J. Electrochem. Soc., 123(11), 3460 (1991).
6. C. M. Coetsier, F. Testa, E. Carretier, M. Ennahali, B. Laborie, C. Mouton-arnaud, O. Fluchere and P. Moulin, "Static dissolution rate of tungsten film versus chemical adjustments of a reused slurry for chemical mechanical polishing", Applied Surface Science, 257, 6163 (2011).
7. Y. J. Kang, D. H. Eom, J. Y. Park, J. G. Park, B. Y. Myoung, S. I. Lee and P. K. Kwon, "The Conditioning Behaviors of Diamond CVD Deposited Ceramic CMP Conditioner", Proc. the Int'l Microelectron. Packag. Soc. Conf., pp.270, Coex, Seoul (2002).
8. Y. S. Ji, S. M. Kang and I. S. Choi, "Surface Engineering Based on Self-Assembled Monolayers", Polymer Science and Tech. 17(2), 172 (2006).
9. B. J. Hooper, G. Byrne, S. Galligan and S. Galligan, "Pad conditioning in chemical mechanical polishing", J. Mater. Process. Technol., 123, 107 (2002).
10. Y. Matsumoto and M. Ishida, "The property of plasma-polymerized fluorocarbon film in relation to CH₄/C₄H₈ ratio and substrate temperature", Sens. Actuators, A, 83, 179 (2000).
11. D. C. Kim, "Evaluation and Development of contamination free hydrophobic conditioner", in Master Thesis, Hanyang University, Ansan (2010).