[UCI]I804:24011-200000234243

2007年度 2月
工學碩士學位論文

패드컨디셔닝 온도조절이 광역평탄화에 미치는 영향

朝鮮大學校 産業大學院

電 氣 工 學 科

白 旼 旿

2007年 2月 工學碩士學位論文 패드컨디셔닝 온도조절이 광역평탄화에 미치는 영향 白旼旿

패드컨디셔닝 온도조절이 광역평탄화에 미치는 영향

CMP Properties with a Control of Temperature in Pad Conditioning Process

2007年 2月 日

朝鮮大學校 産業大學院

電 氣 工 學 科

白 旼 旿

패드컨디셔닝 온도조절이 광역평탄화에 미치는 영향

指導敎授 李 愚 宣

이 論文을 工學 碩士學位 申請論文으로 提出함

2006年 10月 日

朝鮮大學校 産業大學院

電 氣 工 學 科

白 旼 旿

白 旼 昨의 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 朝鮮大學校 教授 _____印

審査委員 朝鮮大學校 教授 _____印

審査委員 朝鮮大學校 教授 _____印

2006年 11月 日

朝鮮大學校 産業大學院

ABSTRACT

CMP Properties with a Control of Temperature in Pad Conditioning Process

Baek, Min-Oh

Advisor : Prof. Lee, Woo-Sun, Ph. D.

Department of Electrical Engineering,

Graduate School of Industry, Chosun University

Recently as speed of semiconductor gets higher and integration capacity gets bigger, multi-layer interconnection technique becomes important problem in sub micron process. Especially, decrease of wavelength related to the source of light is necessary to perform minute pattern in the process technique under 0.35㎛. As the wavelength decreases, resolution is improved but depth of focus decreases, which brings unflatize in multi layer process. There are two methods in the conventional process. CMP process is effectively used to flat dielectric layer such as IMD, ILD, PMD and metal layer such as W, Al, Cu in order to perform multi layer structure of deep sub micron integrated circuit. It is also done to make various devices and new materials. As the aluminum wiring materials has been replaced by copper and wiring materials with low-K have been developed, the new

process - CMP can flat globally. Since 1980 the method has been used by IBM. Chemical and mechanical process is introduced to get over these technical problems. CMP provides slurry particles whose size is hundreds of Å on the pad of macromolecule material attached to platen. It presses wafer carrier and polish the surface of wafer. Processed material presses elastic pad. Good corroded liquid and micro particle eliminates chemically. In the surface of pad, pressure and temperature gets higher. So chemical and mechanical processing makes flatization processing.

ITO-CMP was performed by change of de-ionized water (DIW) temperature in pad conditioning process. DIW with high temperature was employed in pad conditioning immediately before indium tin oxide (ITO) CMP. Removal rate, within-wafer non-uniformity (WIWNU%), and surface morphology of ITO thin film were investigated.

Ⅰ. 서 론

CMP 공정은 서브마이크론 집적회로의 다층배선구조를 실현하기 위하여 IMD (inter-metal dielectric), ILD (inter-layer dielectric), PMD (pre-metal dielectric)층과 같은 절연막 외에도 W, AL, Cu와 같은 금속층을 평탄화하는데 효과적으로 사용되고 있으며, 다양한 소자 제작 및 새로운 물질 등에도 광범위하게 응용되고 있다. CMP 기술은 그 어원에서도 알 수 있듯이 회전하는 플레이튼(platen)에 부착된 고분자 물질 계열의 패드(pad)위에 수백 Å크기의 슬러리(slurry)입자를 공급하고, 웨이퍼 캐리어에 하중을 가하며 웨이퍼의 표면을 연마하는 방법으로 가공물을 탄성패드에 누르면서 상대 운동시켜 가공물과 친화력이 우수한 부식액으로 화학적 제거를 함과 동시에 미립자의 연마제로 기계적 제거를 하는 공정이다. 최근 반도체 소자의 고속화 및 집적 용량이 점점 커짐에 따라서 칩의 크기는 점점 적어지게 되고, 한계를 극복하기 위하여 배선 선폭의 미세화와 배선 층의 증가에 대한 요구가 갈수록 높아져감에 따라 다층 배선(multi-layer interconnection) 기술이 서브마이크론(sub-micron) 공정에서 중요한 과제로 대두되고 있다. 특히, 0.18 μm이하의 공정 기술에서 미세패턴을 형성하기 위해서는 노광장치의 광원과 관련한 파장의 감소가 필요하며, 파장이 감소함에 따라 해상도(resolution)는 향상되나, 초점심도(depth of focus)의 감소로 다층배선 공정의 누적되는 단차들은 한계를 가져왔다. 이를 평탄화하기 위해 사용되었던 기존공정에서는 유동성이 좋은 산화막을 증착한 후 리플로우(BPSG reflow), PR(photo resist) 증착 후 에치-백(etch-back)을 행하는 방법, 휘발성 고분자 물질을 스핀(spin coating)증착 후 열처리를 행하는 SOG(spin on glass), 리플로우 등의 공정이 사용되었으나, 국소적 평탄화에 그쳐 광역평탄화의 기술적

요구 조건을 만족시키진 못했다. 또한, 알루미늄 배선 재료가 구리로 교체되고, 저유전율의 절연물질이 개발되는 등의 새로운 재료 기술이 등장함에 따라, 그에 적합한 광역평탄화 기술이 요구되었다. 이러한 기술적 문제들을 만족시키기 위해 1980년대 중반부터 IBM이 사용했던 국부뿐만 아니라 광역평탄화가 가능한 CMP(chemical mechanical polishing)라는 화학 기계적 연마 기술을 공정에 도입하게 되었다. 1980년대 말 미국 IBM은 기계적 제거가공과 화학적인 제거가공을 하나의 가공 방법으로 혼합한 CMP라는 새로운 연마공정을 개발하였다. 1995년도에 절연막 CMP에 대해 연구가 되었고, 1997년도는 CMP 세정기술에 대해 연구되었다.

2001년도에는 STI CMP에 대해서 연구가 진행되었으며, PE CVD(Plasma-Enhanced CVD)와 RIE(Reactice Ion Etcher) 공정과 더불어 연구 되어왔다. CMP 성능은 웨이퍼 표면에 작용하는 캐리어 헤드의 압력(down force), 플레이튼 테이블과 헤드의 상대 속도 등 CMP 장비의 공정 변수에 영향을 받는다. 또한 웨이퍼와 패드와의 접촉면에서 슬러리에 의한 화학적 작용 및 패드와 연마제 등에 의한 기계적 제거 메카니즘도 CMP 성능에 영향을 주는 공정 파라메터이다. 또한 CMP 공정을 시작하기 전에 패드를 초기화 시켜주는 패드컨디셔닝도 매우 중요한 공정 변수이다. 따라서 본 논문에서는 패드컨디셔닝의 온도를 달리 하여 CMP 공정을 수행 한 후 온도의 변화가 패드의 특성과 광역평탄화의 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

본 논문에서는 CMP 공정시 적용되어지는 패드컨디셔닝의 온도를 조절하여 평탄화의 특성을 개선하는데 있다. 이러한 연구목적을 달성하기 위해 DIW의 온도조절을 통해 CMP 공정을 수행하여 박막의 표면특성과 패드의 특성을 평가함으로써 최적의 CMP 공정조건을 확립하는데 있다.

Ⅱ. 광역평탄화

A. CMP에 의한 공정

1. CMP 공정의 원리

그림 1에서 보여주듯이, CMP 공정에서 웨이퍼는 패드와 슬러리에 의해서 연마되어지며, 패드가 부착되어진 연마 테이블은 단순한 회전운동을 하고 헤드부는 회전운동과 요동운동을 동시에 행하며 일정한 압력을 가한다. 웨이퍼는 표면 장력 또는 진공에 의해서 헤드부에 장착되어진다. 헤드부의 자체 하중과 인가되는 가압력에 의해 웨이퍼 표면과 패드는 접촉하게 되고 이 접촉면 사이의 미세한 틈(패드의 기공부분)사이로 가공액인 슬러리가 유동하여 슬러리 내부에 있는 연마입자와 패드의 표면 돌기들에 의해 기계적인 제거작용이 이루어지고, 슬러리 내의 화학성분에 의해서는 화학적인 제거작용이 이루어진다. CMP 공정에서 패드와 웨이퍼간의 가압력에 의해 디바이스 돌출부의 상부에서부터 접촉이 이루어지고, 이 부분에 압력이 집중되어 상대적으로 좁은 표면 제거 속도를 가지게 되며, 가공이 진행되어 갈수록 이러한 돌출부는 줄어들어 전 영역에 걸쳐 균일하게 제거된다. CMP 공정기술은 장비, 소모자재(consumable), metrology tool 등의 기술이 결합되어 이루어지며, 말 그대로 화학적 반응과 기계적 반응이 결합되어 일어난다. 화학적 반응은 슬러리 내에 함유되어 있는 chemical들과 연마하고자 하는 웨이퍼 표면간의 반응을 의미하며, 기계적 반응은 연마 장비에서 가해진 힘이 슬러리내의 입자(abrasives)에 전달되고, 이미 화학적 반응을 받은 웨이퍼 표면이 입자에 의해 기계적으로 제거된다.[1~3]

CMP는 높은 제거속도를 가지면서 안정도와 균일도를 얻기 위하여 패드 및 슬러리의 선택뿐만 아니라 캐리어 암과 연마판의 속도, 연마판의 온도, 연마하는 동안의 압력, 그리고 패드 컨디셔닝 하는 방법 등과 같은 공정 조건들을 고려하여야 한다.

CMP 공정의 가장 중요한 장점은 다층 구조의 내부 연결 물질(multi-level interconnection)을 만드는데 필수적인 광역평탄화(global planarization)를 실현할 수 있는 장점이 있다.

반도체 소자 제조 공정에서 단차의 향상과 국부적 또는 광역적 평탄화 구조를 얻기 위해서는 적절한 공정을 수행해야 하며, 현재는 광역 평탄화 공정으로 CMP 공정이 유일한 대안으로 평가 되고 있다. CMP 공정은 메모리 분야뿐만 아니라 비메모리 분야에서 더욱 활발히 사용되고 있고 공정수가 증가하고 다양한 막을 평탄화 하는데 사용된다. 현재 반도체 제조 칩의 집적도가 증가함에 따라 다층 구조 내부 연결 물질의 층수 또한 갈수록 증가하고 있는 추세에 있다. 즉, 반도체 소자가 고집적화 되고 고속화를 필요로 하게 됨에 따라 패턴이 더욱 미세화 되고 내부 연결 물질의 금속 층수도 계속 증가할 전망이다. 그러나, 다층화로 인하여 최저층에서부터 고층으로 올라 갈수록 단차가 점점 커지게 되어 미세 패턴 형성이 어려워 집적회로의 제조가 여려워지는 결과를 갖는다. 평탄화 되지 않은 단차들은 반복된 식각(etching)에 의해 형성된 패턴 위에, 반복된 필름을 증착한 결과로 발생된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 단차를 없애고 표면을 평탄화 시키는 공정이 필요하게 되었다. CMP는 단차가 큰 표면을 광역 평탄화하게 한다.[4]

1980년대 말 미국 IBM은 기계적 제거가공과 화학적인 제거가공을 하나의 가공 방법으로 혼합한 CMP(chemical mechanical polishing)라는 새로운 연마공정을 개발하였다. CMP는 PECVD와 RIE 공정과 함께 deep submicron scale의 칩 제조에 있어서 반드시 필요한 공정이다. ILD(inter layet dielectric ; 층간 절연막) CMP와 metal CMP는 디바이스 층의 모든 표면에서 계속적으로 적용이 되어져야 하며 3차원의 형상을 얻기 위해서 각 층을 광역적인 평탄화를 형성하는 것이 CMP의 주된 장점이다. 이러한 CMP는 기계적인 작용과 화학적인 작용이 동시에 작용하여 서로 상호작용을 일으키는 연마공정이다. CMP는 다른 평탄화 공정에 비해 100~1000배의 평탄화 범위를 갖는 것으로 보고되고 있다. 현재 소자의 고속화를 실현하기 위해 다

층 배선이 요구되는 논리형 소자에서 많이 적용하고 있다. 기억형 소자에서도 다층화 되어감에 따라 점차적으로 적용을 하고 있는 추세다. 또한 CMP 공정은 소자 집적화, 금속배선, 복잡한 논리회로, 층간 절연 평탄화 등 많은 응용 분야에 사용되고 있고 그 사용은 증가 할 전망이다. 차세대 반도체의 금속배선 재료로 연구가 진행 중인 Cu의 경우에 있어서는 저항이 적고 동일한 성능의 소자 제작 시 미세한 금속배선 제작이 가능해서 RC 지연시간이 감소되어 소자의 고속화가 가능하다.[5]

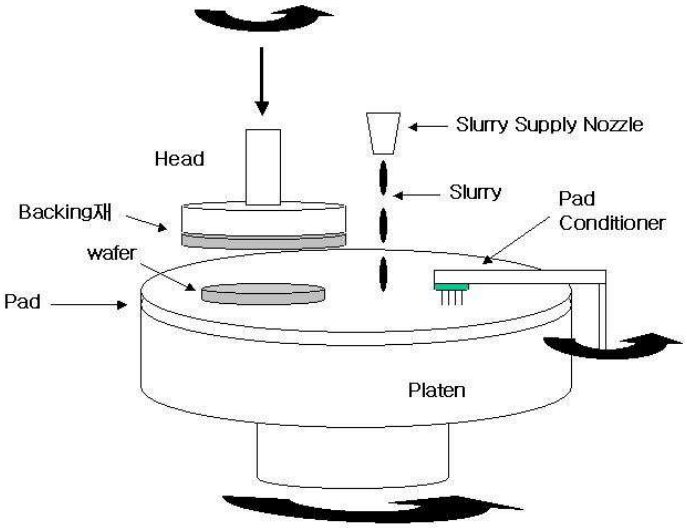


Fig. 1. Schematic diagram CMP polisher.

2. 광역평탄화 공정의 적용

층간 절연막의 평탄화에 있어서 층간 절연막은 plasma CVD막 외에 BPSG막, 열 산화막 등이 있고 CMP의 가공조건(특히 슬러리, 가공 압력, 가공 시간 등)이 다르기 때문에 주의를 요한다. 왜냐하면, 가공 특성이 다른 절연막을 가공하는 도중(소정의 가공량이 되었을 때)에 CMP를 종료해야 하고 그 공정 종료점(end point)의 관리를 엄밀히 할 필요가 있기 때문이다. 통상 미리 실험에 의해서 가공 시간과 가공 속도의 관계를 밝혀 놓아 어떤 일정한 가공 시간에 도달하면 CMP를 종료하는 방법을 쓴다. 그런데, CMP를 사용함에 있어서 또 하나 특별한 문제가 있다. 그것은 아래의 배선 금속 패턴의 형상이라든가 증착의 비율 등이 디바이스의 종류, 공정에 따라서 여러 가지라는 것이다. 즉 층간 절연막의 표면은 chip 내의 장소에 의해서 패턴의 요철의 치수, 조밀도(밀집도), 높이 등이 다르기 때문에 단순한 CMP 조건으로서는 평탄화를 완수할 수 없으며 특히 패드(pad), 슬러리(slurry), 웨이퍼의 가압 방법 등에 의한 영향이 크다.[6]

SiO_2 막의 CMP는 대별하여 층간 절연막의 평탄화 공정과 소자 간 분리의 평탄화 공정에 적용된다. 전자는 배선 또는 여러 가지 소자 위의 절연막으로서의 SiO_2 막을 평탄화 하여 다음의 제2층, 제3층, 제4층 등의 배선패턴에 대비하기 위한 평탄화 공정이다. 이 공정은 배선의 다층화를 겨냥하는 LSI 디바이스로써의 가장 기본이 되는 중요 공정이다. 한편, 후자는 이웃한 같은 종류의 디바이스 소자 사이를 SiO_2 막에 의해 절연 분리하기 위한 공정이다.[7]

배선용의 금속막으로써 Al, W 이외에 Cu가 있다. 그 중에서 Cu는 다른 금속에 비해 저항이 매우 낮고 electro-migration 내성이 있는 등의 이점이 있고 차세대 배선 재료로서 기대되고 있다. 이 배선 금속에 대하여 CMP가 적용되기 시작한 것은 미국 IBM사에 의한 logic 디바이스이다. 그 동기는 etching에 의한 가공보다도 CMP를 쓴 쪽이 배선의 가공의 경우가 더 좋은 특성을 보인다.[8]

절연막에 상층의 배선과 하층의 배선을 연결하기 위한 구멍(contact hole)을 형성하여 그 상부에 배선 재료가 되는 금속막을 증착한 후에 홈 이외의 부분의 금속을 CMP에 의해서 제거한다. 이것이 IBM사에서 제안된 유명한 damascene 방법이다. 증착한 금속막의 CMP 실시에 따라 결과적으로 contact hole과 배선 홈에 금속이 묻히기 때문에 매립 배선이라고도 불린다. 지금 contact hole을 형성하는 경우를 예로 말하였지만 배선 그 자체를 CMP에서 형성하는 경우도 동일하며 이 방법(damascene)에 의한 경우는 SiO_2의 CMP와 다르고 절연막(SiO_2막)이 stopper가 된다. 그러나 접촉하는 연마 패드로부터의 하중(압력)이 패턴의 철부에서 분산되기 때문에 배선 패턴의 밀도나 크기에 의해서 가공의 진행 형태가 다르다. 즉 어느 정도 절연막이 가공의 stopper로서 유효하다고 해도 고밀도의 배선 패턴 부분에서는 가공의 진행은 저지되지 않는다. 그 결과로서 배선 패턴의 밀도나 치수에 의해서 배선부의 과도한 가공이 생기는 부분이 발생한다. 이러한 것이 원인이 되어 생기는 배선 금속의 두께의 감소를 thinning이다. 배선부의 과도한 가공이라도 주로 연마 패드의 탄성과 슬러리의 화학적 효과에 의하여 배선부의 중앙부가 빠르게 가공이 진행되어 함몰이 생긴다.[9]

*B. CMP*의 요소

1. 기계적 요소

CMP의 기계적인 요소로써 연마 공정 시 웨이퍼와 패드와의 물리적인 운동과 패드재료 특성을 들 수 있으며 어떤 재료를 제거한다고 하는 것은 거시적으로 큰 덩어리 제거와 수십 나노 영역의 상호 작용이 있다. Preston의 방정식은 슬러리 입자 직경에 따른 제거 속도를 나타내지는 않는다. 연구에 의하면 어떤 임계값 이상의 슬러리 입자 직경은 제거 속도에 거의 영향이 없으나, 다만 입자들의 균일한 정도가 중요하다. 웨이퍼의 표면 제거 속도는 원래 국부적인 압력에 따라 다른데 Preston 방정식에서 알 수 있듯이 가해지는 압력, 접촉 면적 및 패드의 움직이는 속도에 의해 구해진다. 따라서, 국부적인 면을 생각하면 높게 솟은 부분은 낮은 부분보다 높은 압력을 받게 되므로 빠른 표면 제거 속도를 갖는다. 그림 2에서 패드의 기계적인 특성을 알 수 있다. 사용하는 패드는 웨이퍼 표면을 따라서 굽어져 있지 않고 오히려 존재하는 슬러리 입자, 패드의 휘는 정도, 경도, 거칠기에 따라 어떤 부위에 대해서 불규칙적이다.[10~11]

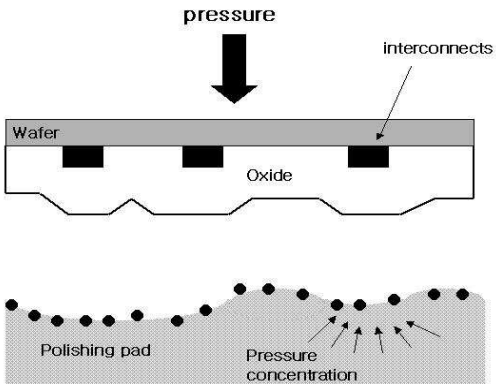


Fig. 2. Mechanical characteristics of pad.

높게 솟은 부분이 연마되는 동안 패드의 특성 변형길이 수평변형 길이와 수직 변형 길이 내에 직접적으로 패드와 접촉되지 않는 부분이 생긴다. 만약 소자 내의 높은 부분들 사이의 간격보다 변형 길이가 길 경우 솟은 부분만이 연마되고 평탄화 속도는 높을 것이다. 높게 솟은 부분이 패드의 거칠기와 같은 높이 슬러리 입자의 직경과 같은 만큼 같이 없어진다면 연마는 솟은 부분이나 낮은 부분 둘 다 일어난다. 그러므로 딱딱한 패드 즉 수평변형 영역이 큰 패드는 다이(die)내의 평탄도는 나쁘지만 연마균일도는 좋다. 여기서 연마균일도는 막의 제거 균일도이고, 평탄도는 연마후의 평탄도이다. 따라서 서로 상관관계에 있다. CMP 공정은 다른 평탄화 기술에 비해 공정이 간단하지만 웨이퍼 내의 연마 균일도를 만족하면서 빠르고 안정된 제거 속도를 얻어야 한다. 또한 패드가 노화되면 제거 속도가 변한다.[12] 따라서 연마 균일도나 평탄도가 변한다. 왜냐하면 연마를 매끄럽게 하면 웨이퍼와 패드와의 접촉면적이 넓어져서 효과적인 연마 압력이 감소하고 ,슬러리 공급 통로가 줄어든다. 한편, 제거 속도에 영향을 미치는 요소들 중에서 원활한 슬러리의 공급은 중요한 요소이고, 그 외에 패드의 노화를 방지하기 위해 주기적인 보완장치나 패드의 교환이 필요하다. 이러한 패드의 오래된 부분들을 깎아 내고 새로운 표면이 드러나게 하는 것이다. 이러한 패드 컨디셔닝은 방법에 따라 제거 속도와 균일도에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 연구 또한 활발히 진행된다.

패드 컨디셔너는 계속되는 연마로 인하여 슬러리의 각종 연마 입자나 웨이퍼 불순물들이 패드 모공에 흡착되어 후속 공정에 영향을 미치는 것을 방지하고 패드 손상과 변형을 제거 시켜 슬러리 공급이 원활하게 하여 연마 시 웨이퍼에 지속적인 연마율을 유지하도록 다이아몬드로 패드 모공의 초기화를 연마 도중 in-situ로 진행하고 있다. 연마 패드는 CMP의 기계적인 요소를 좌우하는 요소로써 패드의 재질과 웨이퍼를 잡고 있는 캐리어 암과 연마 패드의 회전 운동이다.[13]

2. 화학적인 요소

CMP의 기본원리는 어원에서 알 수 있듯이 화학적인 요소와 기계적인 요소가 있다. 화학적인 요소로써 회전하는 탄성체 패드와의 조합에 의해 웨이퍼 표면의 물질이 벗겨져 나가게 된다. 웨이퍼가 패드 표면에서 왕복 운동함에 따라 액상속의 슬러리 입자들이 웨이퍼와 패드가 접촉한 부분에서 웨이퍼 표면에 대해 압력을 가함으로써 연마가 된다. 이와 같이 CMP는 주로 슬러리 입자들에 의한 화학적인 요소와 패드의 재료에 의한 기계적인 요소에 의해 연마한다.[14]

연마하는 동안 표면의 상호 작용은 슬러리 안에 물의 존재에 따라 즉, pH 농도에 따라 큰 영향을 받는다. 그러나 물이 유기 용매로 대체되면 그 영향은 무시된다. 슬러리 내의 용매와 웨이퍼 표면과의 수소결합, 슬러리 입자와 웨이퍼 표면의 수소 결합, 슬러리 입자들이 움직이면서 결합되었던 웨이퍼 표면이 제거된다. 연마는 반응속도가 일반속도 보다 빠를 때 이루어지는데 때때로 산화막의 재 증착이 더 크다. 슬러리 입자와 웨이퍼 표면 사이의 결합력은 연마하는 동안의 동적 마찰 계수를 정한다. 따라서 슬러리의 화학적인 성질은 제거 속도를 좌우하는 중요한 요소이다. 현재 가장 높은 제거속도를 가지는 슬러리 재료는 CeO_2 이다. 그러나 평탄화에서 제거속도에 기초를 둔 슬러리의 선택뿐만 아니라 슬러리 입자 콜로이드 분포도 중요하다. 물은 산화막의 여러 성질에 영향을 미치게 된다. 산화막내에서 수소 확산이 크게 되면 이는 하이드록실 결합의 깨짐에 영향을 주어 결과적으로 제거되는 입자의 크기에도 영향을 주게 된다. 슬러리는 피가공물이 웨이퍼의 표면으로부터 또는 표면으로 연마입자와 화학물질을 전달하는 매개체이다. 패드의 재질과 함께 슬러리의 선택은 연마하려고 하는 막의 종류에 따라 다르게 선택된다.[15] 슬러리의 pH 정도에 따라 막의 화학반응 정도가 다르므로 알맞은 pH의 슬러리를 선택하는 것이 필요하다. 또한 슬러리속의 파티클(particle)의

입자크기에 따라서 연마되는 정도가 다르다. 즉, 다결정 실리콘용 슬러리는 입자가 크고 약 알칼리성이고, 산화막용 슬러리는 입자가 작고, 약 알칼리인데 반하여 금속용 슬러리는 강한 산성의 슬러리를 사용한다. 또한 다결정 실리콘용 슬러리는 입자형태가 콜로이드 형태로 존재하는 반면, 산화막용 슬러리는 퓸(fumed) 형태인 슬러리를 사용한다. 일반적으로 슬러리 내부에 포함되는 연마입자는 10~1000 Å의 크기를 가지며 경도는 피 가공물의 경도와 비슷한 경도를 가지는 것으로 기계적인 제거 작용을 행한다. Fumed silica (SiO_2)는 CMP 연마제에 가장 일반적인 것이고, 비교적 저가의 고순도이며, 다른 연마제에 비교하여 연마입자가 침전되지 않는 등의 이유에 의하여 처음부터 ILD CMP에 사용되고 있다.[16] 퓸드 실리카(Fumed silica)는 기상법 실리카라고 불리는데 사염화규소를 탄수 소염에서 연소시켜 얻는다. 제조공정은 각각의 원료인 사염화규소, 수소, 공기를 반응버너에 공급하고, 1000 ℃ 이상의 고온반응에 의하여 실리카를 발생시킨다. 유기규소화합물을 습식으로 가수분해하면 반도체 제조공정에 있어서의 CVD 산화막에 준하는 품위의 초고순도 콜로이달 실리카(Colloidal silica)가 얻어진다. 이것은 원료의 유기규소화합물이 증류에 의한 제조가 가능하게 하기 위한 것이다 제조공정은 원료인 유기규소화합물은 용매에 넣어 반응조에 도입하고 가수분해 반응이 개시된다.[17]

일반적인 Alumina(Al_2O_3) 연마제는 용매 알루미나를 분쇄한 것이지만 여기에서 서술하는 연마입자 알루미나는 알루미나 수산화물을 소성하여 얻어지는 것이며, 미세한 1차 입자가 복수 회합하여 2차 입자를 형성하고 있다. 소성과 정에는 알루미나는 각종의 결정구조를 가지므로 γ → δ → θ로 변화하여 최종적으로 안정한 α형의 알루미나로 된다. 또, 소성온도에 의하여 1차 입자 직경도 변화하고, 소성조선을 제어하는 것에 의하여 연마용 연마입자로서의 연마력을 조정하는 것이 가능하다. Al과 Cu 등 연질금속의 연마에는 δ晶 또는 θ晶의 알루미나가 이용되어지고, 컴퓨터의 하드 디스크의 연마에는 θ와 α의 공동 결정의 알루미나가 사용되어진다. 소성된 알루미나는 분쇄, 분급 공정을 거치고 최종적으로 필요한 첨가제를 혼합하여 제품화된다.

CMP에서 알루미나의 연마입자를 사용하는 경우의 문제점으로서는 실리카계 연마제에 비교하여 스크래치(scratch)가 일어나는 점, 연마입자가 침전하기 때문에 침강방지제의 첨가가 필요하다.[18]

Cerium oxide(CeO_2)은 유리(glass)에 대하여 높은 가공능률을 나타내는 것은 이미 알려진 사실이고, CMP에 있어서는 산화막을 고능률로 가공하기 때문에 그 적용이 검토되고 있다. 유리연마용의 산화 세륨은 순도 50~90 %로 조정되어 제조되는 것이고, CMP 용도로서는 이것을 용매 추출법에 의해 다시 한번 제조되어 순도를 5N(99.999%)이상으로 높여주는 것이 검토되고 있다. 슬러리는 현재 안정적이며 제조하기가 쉬운 실리카를 가장 많이 사용하고 있으며 국내에서도 제조 가능하다. 차세대 슬러리로는 지르코니아(zirconia)와 산화망간(MnO_2)을 이용한 슬러리 개발이 주목받을 것이다.[19]

연마용 슬러리에 있어 화학적 조성 외에도 연마 입자의 슬러리 용액에서의 입자 크기, 균일성 및 분산 안정성 정도가 연마 특성 및 효율에 큰 영향을 미친다. 이러한 연마 입자의 특성은 슬러리의 제조 공정에서 조절할 수 있다.

슬러리 용액에서의 입자 크기, 균일성 및 분산 안정성 정도를 조절하는 데 있어 가장 중요한 공정은 밀링 공정 이라 할 수 있다. 밀링은 덩어리 상태로 비교적 약하게 응집되어 있는 이차 입자를 원하는 입경으로 깨줌과 동시에 연마 입자가 용액 중에 고르게 퍼지게 해주는 것이다. 대표적인 밀링 방법으로는 bead 밀링, 초음파 밀링, jet 밀링 등이 있다. bead 밀링은 사용한 bead 및 용기로부터 갈려 나오는 물질에 의한 오염 정도가 크며, 초미립화, 다 분산도 등 밀링 효율 및 생산성이 떨어진다. 초음파 밀링은 원하는 정도로의 초 미립화가 어렵고, 밀링된 이차입자가 다시 응집하려는 경향이 강해 안정성이 떨어진다. 또한 초음파 처리 장치에서 금속 불순물이 발생될 위험이 크다. 이러한 종래 밀링 방법들에 의해서는 다 분산도를 충분히 줄일 수 없어 분산액 중에 다양한 크기의 응집 이차입자가 존재하게 되고, 따라서 평탄성 등의 연마 효율이 나쁘고 연마 성능의 재현성 확보가 어렵게 된다. jet 밀링은 오염의 원인이 적고, 전체적으로 균일한 충격량을 줄 수 있어 다 분산도를 줄일 수 있으며, 생산성이 좋다는 장점이 있다.[20~22]

C. 공정변수의 영향

CMP란 화학적으로 연마하고자 하는 물체의 표면을 연화시키고 연화된 면을 기계적인 힘으로 제거해야 한다. 기본 공정 절차는 캐리어 암이 진공으로 웨이퍼를 잡고 이를 1차 연마 장소에서 캐리어 암과 연마판 간에 슬러리가 투입되고, 캐리어 암과 연마판 간에 기계적인 연마가 이루어진다. 1차 연마된 것은 2차 연마 장소에서 미세 연마하게 되고 매세 연마 된 웨이퍼는 초순수 내에서 세정하게 된다. CMP는 높은 제거속도를 가지면서 안정된 균일도를 얻기 위하여 패드 및 슬러리의 선택뿐 아니라 캐리어 암과 연마 판의 속도, 연마판의 온도, 연마하는 동안의 압력 그리고, 패드 컨디셔닝하는 방법 등과 같은 공정 동안 파티클(Particle) 발생 등이 ULSI에 지대한 영향을 미치므로 CMP 공정에 미치는 여러 공정 변수들의 상호 관계를 이해하는 것이 대단히 중요하다.[23] CMP 공정 중 발생하는 공정 변수들로는 연마율, 평탄화율, 패턴 형태 의존성, 표면의 양질, 표면 손상, 슬러리 화학 작용, 수소 이온 농도(pH), 산화제, 화학 농도, 점성도, 슬러리 연마제 입자, 연마제의 경도, 농도, 입자 크기, 입자 형태, 슬러리 흐름 정도, 온도, 압력, 패드 속도, 패드 기질, 패드 기공크기, 패드 압축도, 패드탄력성, 패드의 경도, 패드두께, 연마패드, 패드 컨디셔닝, 마찰력과 윤활력, 웨이퍼 속도, 웨이퍼 굴곡, 웨이퍼 마운팅, 박막의 경도, 웨이퍼 크기, 끝으로 웨이퍼 세정 기술이 있다.[24~26]

Ⅲ. 실험 및 측정장치

A. 광역평탄화

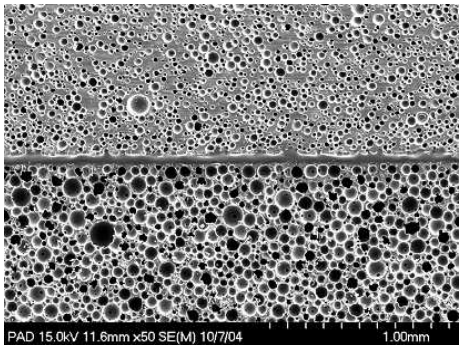
1. 연마 실험장치

그림 3은 본 논문의 CMP에 사용된 연마장치로서 G&P Technology 사의 POLI-380이며 연마장치의 조작부분, 헤드 부분, 테이블 부분을 나타낸다. 헤드는 4인치 웨이퍼를 장착할 수 있는 구조로써, 평균 공기압은 5 kg/㎠ 이상으로 유지하였으며, 슬러리 공급장치는 맥동식 펌프식을 사용하였다.

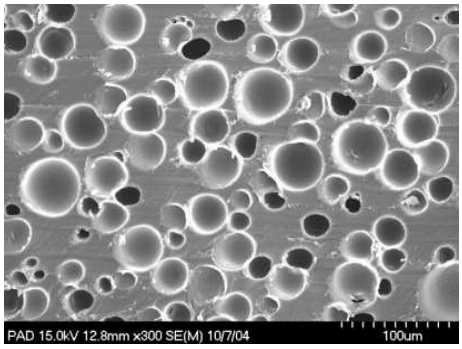
시편은 진공펌프에 의해 장착하는 방법과 베큠 필름을 이용한 방법이 있는데 본 실험에서는 후자의 베큠 필름을 이용하여 시편을 헤드에 장착 하였다. 연마패드는 그림 4에 제시한 Rodel사의 IC 1400 패드를 사용하였다.

본 실험에 사용된 시편은 DC magnetron sputtering을 이용하여 증착되어진 ITO/SiO_2/Glass구조의 웨이퍼형의 4inch glass를 사용하였다. ITO의 두께는 1800 Å이였으며 SiO_2의 두께는 200 Å이였다. 이때 SiO_2는 확산 방지막의 역할을 하며 ITO박막의 면저항은 12 Ω/□이였다.

Fig. 3. CMP equipment.(POLI-380)



(a)



(b)

Fig. 4. Surface SEM photograph of IC 1400 pad.

2. 연마방법

박막 증착 후 silica slurry를 사용하여 RODEL사의 IC-1400 연마패드에서 CMP 공정을 진행하였다. CMP 공정의 순서는 그림 5와 같이 박막을 넣기 전 패드 표면은 패드컨디셔너를 이용하여 슬러리를 제거하고 건조시켰다. 또한, 박막 뒷면의 오염을 감소시키기 위해 웨이퍼 캐리어 표면은 DI water로 세척하였다.

연마공정변수는 플레이튼의 회전속도 60 rpm으로 진행하였으며 슬러리 유속은, 80 ml/min, 공정시간은 60초, 슬러리 주입온도는 30 ℃로 고정, Polisher pressure는 300 g/㎠로 고정하고 패드 컨디셔닝시의 온도는 30, 60, 75 ℃의 조건으로 하여 각각의 공정을 진행 후 DIW 온도에 따른 연마율과 비균일도, 전기적인 특성과 연마후의 표면을 분석하였다. CMP 후 박막의 연마율은 four-point probeb (Chang Min사)를 이용하여 면저항과 두께의 반비례 관계에 의해 구하였다. ITO의 표면분석은 FESEM(S-4700, Hitachi)을 이용하였다. 표 3.1은 CMP에 적용된 공정조건을 요약한 것이며 CMP 후의 세정공정은 SC1 용액을 이용하여 세정 후, 4분 동안 초음파세척을 하는 시퀜스를 적용하였다.

웨이퍼를 연마기에 장입하는 동시에 연마 패드에 슬러리를 20초간 분당 100 ml의 속도로 공급하여 패드의 표면은 충분히 적셔준 후 연마를 시작하였다. 연마가 끝날 때마다 패드의 컨디셔닝을 10분씩 진행하였고, 슬러리는 상온에서 공급되며, 연마하는 동안 교반기를 이용하여 침전을 방지하였다.

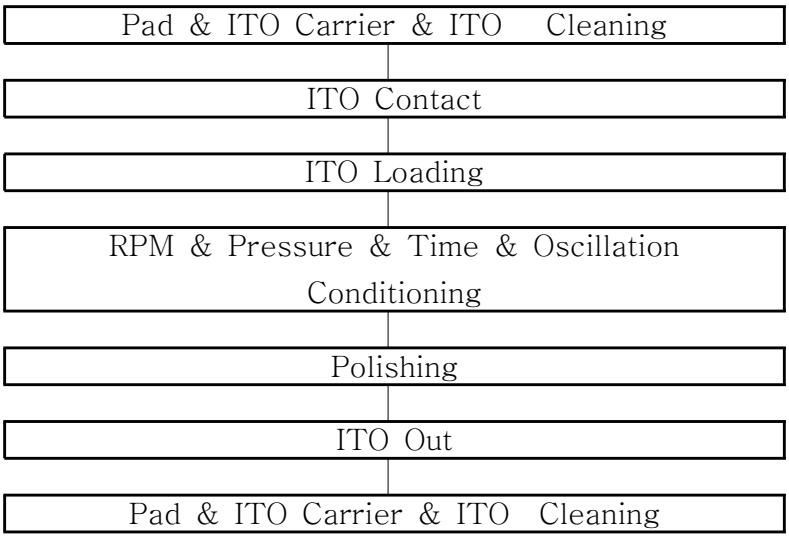


Fig. 5. Run sheet of polishing process.

Table 3.1 CMP process parameter

CMP Parameter	CMP process
Pad	IC 1400
Slurry Flow Rate	80 ml/min
Table speed	60 rpm
Slurry Temperature	RT
Conditioning Temperature	30, 45, 60, 75 ℃
Polishing Time	60 sec
Head speed	60 rpm
Polisher pressure	300 g/㎠
Pad width	16 inch
Post-CMP cleaning	SC1 → Ultrasonic

B. 연마율과 비균일도의 측정

CMP 후 ITO 박막의 두께는 웨이퍼 위의 49 지점에서 측정하였다. 웨이퍼의 중심과 반경에 따라 0.5cm씩 이동하면서 각 반경에서 90° 단위로 4개의 데이터를 측정하였다.

연마율(RR_{avg})은 식(3-1)과 같이 웨이퍼의 동일한 지점에서 연마 전의 두께와 연마 후의 두께의 차이를 연마시간(T)으로 나눈 값의 평균으로 구하였다. 또한, 웨이퍼의 연마 비균일도(non-uniformity)은 식(3-2) 같이 각 측정 지점의 표준편차를 평균 post - CMP의 두께로 나눈 값이다. 단위는 [%]로 나타내었다.

$$\text{평균연마량}(RR_{avg}) = \frac{t^{pre-CMP} - t^{post-CMP}}{T} \ [\text{Å}/\text{min}] \qquad (3\text{-}1)$$

$$NU = \frac{Standard\ \ deviation}{CMP\ \ thiness_{post}} \times 100\ [\%] \qquad (3\text{-}2)$$

여기서

$t^{pre-CMP}$: 연마 전 Cu의 두께

$t^{post-CMP}$: 연마 후 Cu의 두께

T : 연마 시간

$Standard\ deviation$: 최대 연마량

RR_{avg} : 평균 연마량

일반적으로 metal film의 연마율은 four-point probe를 사용하여 metal film의 연마전과 연마후의 sheet resistance의 변화량으로 결정되어진다.

$$R = L/A \tag{3-3}$$

여기서

R: material's resistivity,

L: length,

A: cross-sectional area

$$R = L/A = (\rho/t)(L/W) = Rs\,(L/W) \tag{3-4}$$

$$Rs = (\rho/t) : sheetresistance \tag{3-5}$$

$$T = 1/Rs \tag{3-6}$$

이와 같이 면저항을 측정함으로써 두께를 측정할 수 있지만 metal을 증착시키는 방법에 따라 resistivity가 변하는 것으로 나타나 있다. 따라서 이 resistivity를 보정하기 위해 SEM을 사용하게 된다. 우선 면저항을 측정하고, SEM으로 metal film의 두께를 실측하게 되면 실험 조건에 따른 metal의 resistivity를 계산할 수 있게 된다. 그러면 이와 같이 공정에 따른 resistivity를 구하게 된다. 그러므로 이와 같은 방법을 통해서, 연마전과 연마후의 metal의 면저항만 측정하여 metal film의 두께를 구하였다.

C. 패드의 표면 분석

그림 6의 주사 전자 현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)은 시료 표면상을 주사시킨 전자빔과 시료와의 상호작용에 의해 생긴 여러 신호를 휘도 변조시켜 CRT 상에 비추어서 시료의 표면 혹은 내부의 구조나 결함을 높은 배율로 관찰할 수 있는 장치이다. 측정은 전자총에서 발생한 전자빔을 가속 후 1-3단계로 빔을 가속화시킴으로써 전자 프로브를 얻어 이 프로브를 시료 표면에 주사하는 방법을 이용하였으며, 텅스텐 헤어 필라멘트로 허용전류는 약 10^{-11} [A]로 제한하였고 가속전압은 20 [kV]로 하였다.

Fig. 6. FESEM. (S-4700, Hitachi)

D. 전기적인 특성

전기적인 특성은 그림 7의 Hall effect measurement(HL5500PC, Accent Technologies)를 이용하여 상온에서 캐리어농도와 캐리어이동도를 구하였다. 이때 홀 측정용 시편은 박막을 1 Cm × 1 Cm 크기의 정사각형으로 자르고 네 귀퉁이에 Indium을 부착하여 Ohmic성 접촉을 행한 후 측정하였다.

이때 사용되어진 Hall effect measurement는 물질의 비저항과 운반자 전하, 농도 및 유동속도 측정을 할 수 있는 장비로써 Sheet저항 측정범위는 0.1m Ω/□ ~100G Ω/□, 전하농도 측정범위는 $10^{13}/cm^3 \sim 10^{22}/cm^3$, 유동속도 측정범위는 0.1 cm^2/Vs ~ 10^6 cm^2/Vs이었다.

Fig. 7. Hall effect measurement system.

Ⅳ. 실험결과 및 분석

A. 패드 컨디셔닝 온도에 따른 연마특성

그림 8은 컨디셔닝시 주입되어지는 DIW의 온도에 따른 연마율과 비균일도 결과이다. 컨디셔닝시의 온도가 증가함에 따라 연마율이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 컨디셔닝 온도가 증가함에 따라 슬러리의 잔유물의 제거가 원활히 이루어져 연마율이 증가되는 것으로서 저온에서보다 고온에서 컨디셔닝을 하였을 때가 높은 온도에 의해 패드표면이 양호한 다공성의 기공의 확보와 함께 groove의 막힘성도 줄어들어 슬러리의 흐름이 원활해짐에 따라 연마율이 증가한 것으로 판단된다. 또한 각 온도에서의 비균일도는 1이하로서 모든 박막이 균일하게 연마가 되었음을 알 수 있었다.

그림 9는 컨디셔닝의 온도와 박막의 캐리어농도를 나타내는 그림으로서 온도가 증가함에 따라 캐리어 농도는 감소함을 보이고 있다. 이는 CMP 공정중 사용되어지는 실리카 슬러리의 화학적 성분과 공정시에 발생되는 열에 의해 막 표면에서의 산소의 화학적 흡수에 따라 산소결손 donor에 의한 Carrier의 전자밀도가 감소하는 것으로 판단된다.

그림 10은 컨디셔닝 온도에 따른 ITO 박막의 캐리어 이동도를 나타낸 그림으로서 CMP전에 비해 CMP 공정을 실행한 후의 박막이 캐리어 이동도가 현저히 증가되었음을 알 수 있었다. 이는 연마가 진행됨에 따라 두께의 감소와 함께 표면의 그레인들이 평탄화됨에 따라 캐리어 이동도가 증가한 것으로 판단된다.

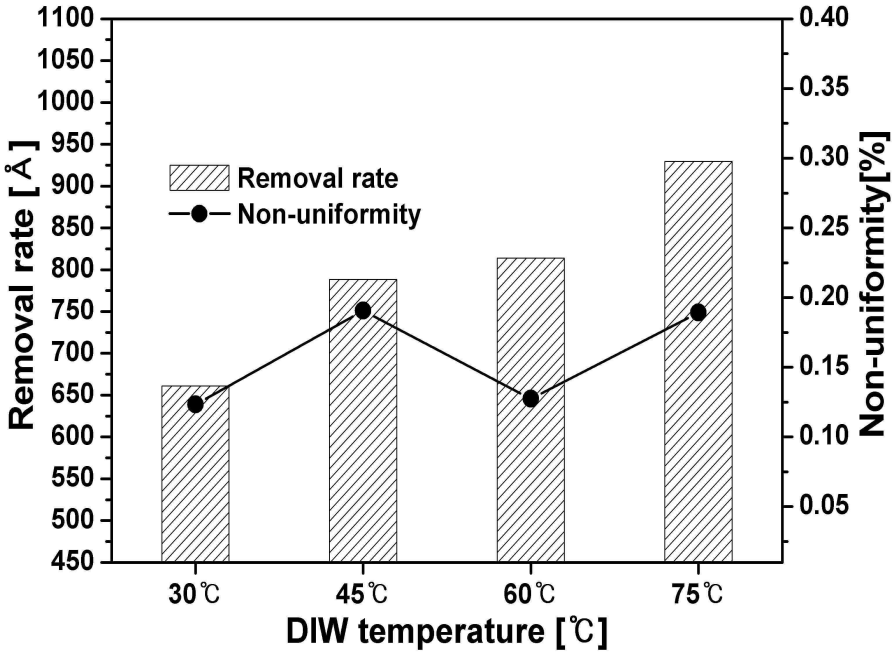


Fig. 8. Non-uniformity and removal rate of ITO a conditioning temperature.

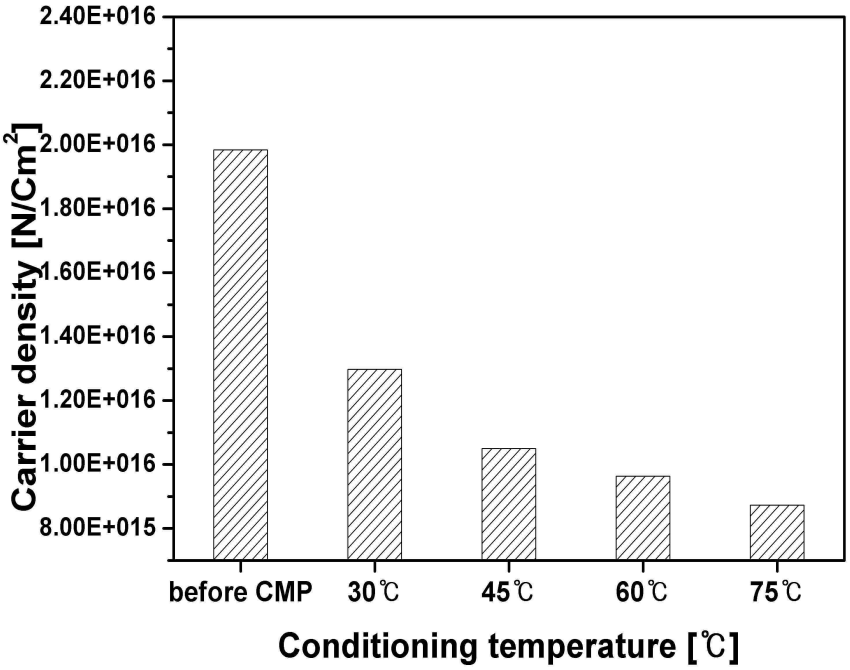


Fig. 9. Carrier density of ITO as a conditioning temperature.

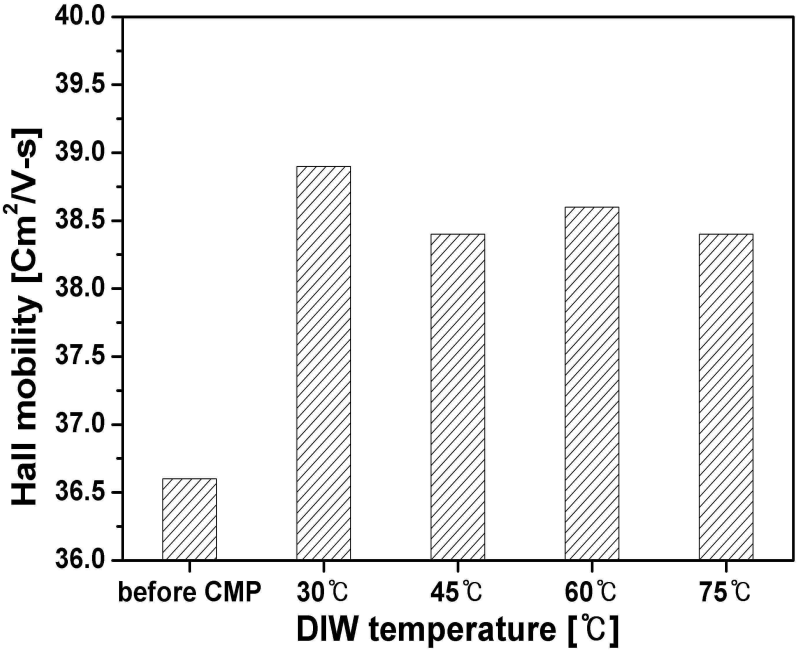


Fig. 10. Hall mobility of ITO as a conditioning temperature.

B. 박막의 표면 분석

주사 전자 현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)은 시료 표면을 주사시킨 전자빔과 시료와의 상호작용에 의해 생긴 여러 신호를 휘도 변조시켜 CRT 상에 비추어서 시료의 표면 혹은 내부의 구조나 결함을 높은 배율로 관찰할 수 있는 장치이다. 측정은 전자총에서 발생한 전자빔을 가속 후 1~3단계로 빔을 가속화시킴으로써 전자 프로브를 얻어 이 프로브를 시료 표면에 주사하는 방법을 이용하였으며, 광원은 텅스텐 필라멘트로 허용전류는 약 10^{-11} [A]로 제한하였고 가속전압은 20 [kV]로 하였다.

그림 11은 컨디셔닝 온도를 높여가면서 CMP 공정을 진행한 후의 SEM 분석 결과로서 단면의 두께가 감소됨 을 알 수 있었다. 이는 온도가 증가함에 따라 연마율이 증가되는 것을 의미한다. 온도에 따른 패드의 패드변화와 변형율의 특성 변화로 설명을 할 수 있다.

그림 12의 (a)는 두께가 1.5 mm인 미사용 패드의 표면 형상으로서 기공 모양이 다공성으로서 뚜렷한 형상을 보이고 있으며 슬러리 이동경로가 되는 groove가 깨끗함을 보이고 있다.

그림 12의 (b)는 CMP 공정을 진행한 후 컨디셔닝을 하지 않을 시의 패드의 표면과 그루브의 SEM 분석결과로서 패드의 표면이 슬러리에 의해 매워져 버림과 동시에 그루브 또한 매워져 슬러리의 이동 경로가 없어져 버림을 확인 할 수 있었으며 이는 CMP공정시 컨디셔닝의 중요성을 제시하고 있다.

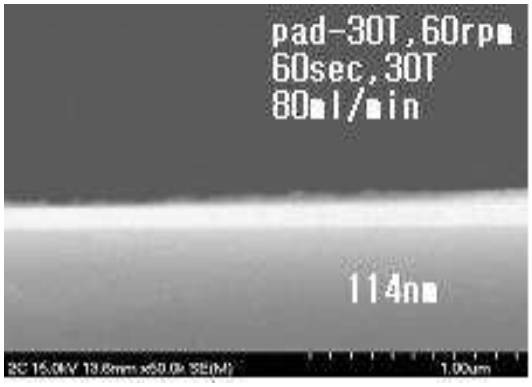
그림 12의 (c)는 패드의 마모로 인한 glazing현상으로서 패드의 기공이 무뎌짐과 동시에 그루브 또한 마모되어 짐을 알 수 있었다. 이러한 현상이 나타났을 경우는 조속한 패드의 교환이 이루어져야 한다.

그림 13의 (a)는 30 ℃의 온도에서 컨디셔닝을 하였을 경우의 결과로서 기공에 슬러리의 잔류물이 남아있음을 확인할 수 있다. 잔류물이 남아있는 경우 박막과 패드와의 접촉 면적이 적어짐에 따라 연마특성에 좋지 않은 영향

을 준다.

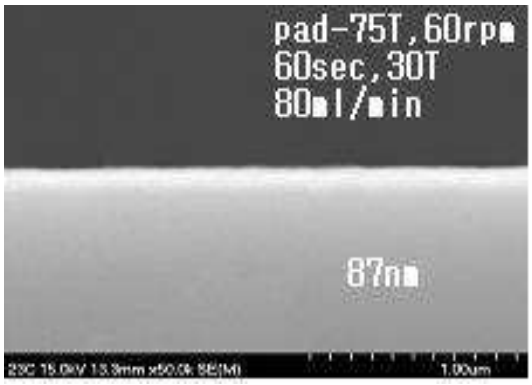
그림 13의 (b)는 60 ℃의 온도로 컨디셔닝을 하였을 경우의 패드표면 분석 결과로서 30 ℃의 경우에 비해서 잔류물이 확연히 감소되어지며 기공의 모양이 새 패드와 비슷한 원형의 모양으로 유지됨을 알 수 있다.

그림 13의 (c)와 같이 컨디셔닝 온도가 75 ℃일 경우는 60 ℃에 비해 슬러리 잔류물이 더 적어짐을 확인 할 수 있었으며 기공의 모양이 새 패드와 비슷하게 완벽한 원형의 모양을 유지하며 슬러리의 흐름에 영향을 주는 표면의 다공성이 확연히 드러남을 알 수 있다. 기공의 크기가 클수록 슬러리의 유입과 이동이 자유로워 연마율이 증가됨을 감안 할 때 컨디셔닝 온도가 증가될수록 높은 온도가 잔류 슬러리 제거를 향상시킴에 따라 기공크기가 커지며 다공성이 유지되어 연마율은 증가하는 것이다.



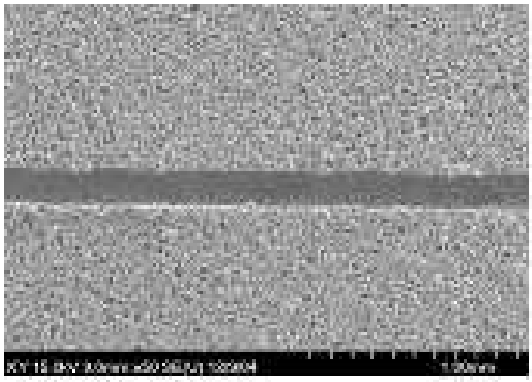
(a) 30 ℃

(b) 60 ℃

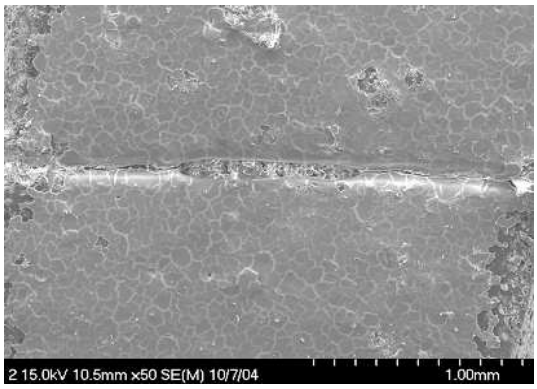


(c) 75 ℃

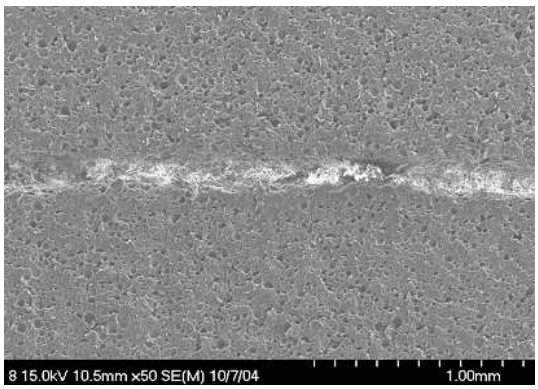
Fig. 11. SEM image of ITO as a conditioning temperature.



(a) new Pad.

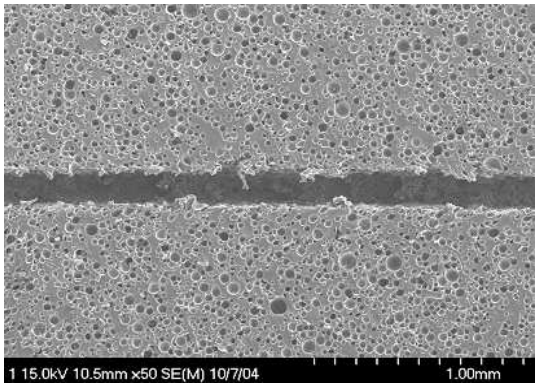


(b) non-conditioning.

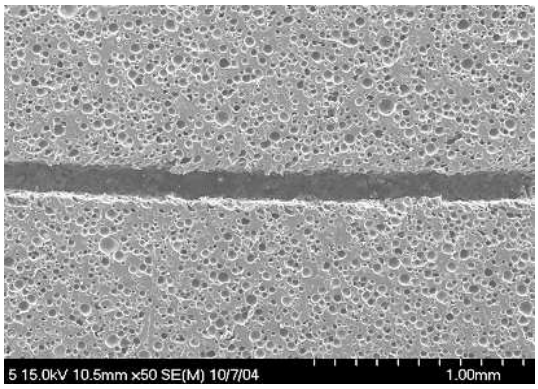


(c) Glazing.

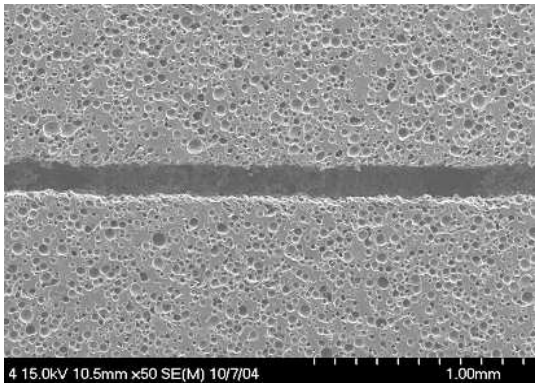
Fig. 12. Surface SEM image of new Pad.



(a) DIW 30℃.



(b) DIW 60℃.



(c) DIW 75℃.

Fig. 13. Pad surface as a conditioning temperature.

V. 결 론

본 논문에서는 평탄화 공정에 의해 박막의 연마율 제어와 함께 균일한 박막의 확보 및 투명전도박막으로서의 기능을 유지 할 수 있는 조건들을 제시하고자 CMP 공정변수에 따른 ITO 박막의 평탄화 공정을 수행하여 연마특성과 전기적인 특성을 연구하고 향후 발광소자의 적용을 위한 연구를 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

CMP공정의 변수중 하나인 패드컨디셔닝시에 주입되어지는 DIW의 온도가 증가함에 따라 패드의 표면의 거칠기 확보와 패드의 다공성이 유지되어짐에 따라 연마율은 증가함을 보였으며 두께의 감소에 의해 면저항은 증가를 하였으며 이는 면저항에 의한 계산수치와 박막의 단면 SEM분석 결과와도 일치함을 보였다. 컨디셔닝의 온도가 증가함에 따라 캐리어 농도는 감소하였으며 캐리어 이동도는 현저히 증가되었다. 이는 연마가 진행됨에 따라 두께의 감소와 함께 표면의 그레인들이 평탄화됨에 따라 캐리어 이동도가 증가한 것이다.

이러한 결과를 감안하여 볼 때 광역평탄화 공정을 수행을 함에 있어 패드의 컨디셔닝의 온도를 고온으로 함에 따라 기존보다 평탄화 특성이 향상되어지는 결과를 보였다.

참 고 문 헌

[1] A.K. Kulkarni, K.H. Schulz, T.S. Lim, and M. Khan, "Electrical, optical and structural characteristics of indium-tin-oxide thin films deposited on glass and polymer substractes," Thin Solid Films, Vol. 270, p. 1, 1997.

[2] M. C. Pohl and D. A. Griffpphs, "The Importance of Particle Size to the Performance of Abrasive Particle in the CMP Process", Journal of Electric Materials, Vol.25, No.10, pp.1612-1616, 1996.

[3] T. Karasawa and Y. Miyata, "Eletrical and optical properties of ITO thin films deposited on unheated substrates by DC reactive sputtering", Thin Solid Films, Vol. 223, p. 135, 1997.

[4] Bi-Shiou Chiou, Shu-Ta Hsieh, and Wen-Fa Wu,"Deposition of indium tin oxide films on acrylic substrates by radio frequency magnetron sputtering", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 77, p. 1740, 1994.

[5] 김상용, "Chemical Mechanical Polish 공정변수의 이해", Journal of KIEEME, Vol.12, No.10, pp.9-18, 1999.

[6] A. Kulkarni, T. Lim, M. Khan, and K. Schulz, "Electrical, optical, and structural porperties of indium-tin-oxide thin films deposited on PET substrates by rf sputtering", J. Vac. Sci. Technol., Vol. A16. p. 1636, 1998.

[7] T. Karasawa and Y. Miyata, "Eletrical and optical properties of ITO thin films deposited on unheated substrates by dc reactive sputtering", Thin Solid Films, Vol. 223, p. 135, 1997.

[8] Modak, P. Monteith, and N. Parekh, "Components of within-wafer non-uniformity in a dielectric CMP process," CMP-MIC proceeding, pp. 169-172, 1997.

[9] B. Chiou and S. Hsidh, "RF magnetron sputtered indium-tin-oxide film on reactive ion etched acrylic substrate" , Thin Solid Films, Vol. 229,p. 146,1993.

[10] T.Minami, H. Sonohara, T. Kakumu, and S. Takata, "Physics of very thin ITO conducting films with high transparency prepared by dc magnetron sputteing", Thin Solid Films, Vol. 270,p. 37,1995.

[11] M. Bender, J. Trube, and J, Stollenwerk, "Depo-sition of transparent and conducting indium-tin-oxide films by the rf-superimposed dc sputtering technology",Thin Solid Films, Vol. 354,p. 100,1999.

[12] Han, Y., Kim, D., Cho, J.S., Koh, S.K.: 'Ultraflat indium tin oxide films prepared by ion beam sputtering', Thin Solid Films, 2005, 473, (2), pp. 218-223

[13] Heck, C., Seki, T., Oosawa, T., Chikamatsu, M., Tanigaki, N., Hiraga, T., Matsuo, J.: 'ITO surface smoothing with argon cluster ion beam', Nucl. Instrum. Meth. B, 2006, 242, (1-2), pp. 140-142

[14] 최권우, 김남훈, 서용진, 이우선, "CMP 패드 컨디셔닝온도에 따른 산화막의 연마특성", 전기전자재료학회, Vol. 18, No. 4, p.297, April 2005.

[15] S. Deleonibus, M. Heitzmanny, Y. Gobil and F. Martin, "A post gigabit generation flash memory shallow trench isolation shceme, the LATI-STI process using 100% CMP planarization," Solid State Device and Materials, pp.587-589, 1995.

[16] P. Sallagoity, F. Gaillard, M. Rivoire, M. Paoli and M. Haond, "STI process steps for sub-quarter micron CMOS," Microelectron. Reliab, vol. 38, No. 2, pp.271-276, 1998.

[17] 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 김창일, 장의구, “Chemical mechanical polishing (CMP) 공정을 이용한 multilevel metal 구조의 공역 평탄화에 관한 연구”, Journal of KIEEME, Vol.12, No.2, pp.1084-1089, 1998.

[18] 김상용, 서용전, 김태형, 김창일, 이우선, 장의구, “CMP 공정에 기인하는 소자 특성 열화를 방지하기 위한 PMD 구조에 대한 연구,” Journal of KIEEME, Vol.12, No.2, pp.111-117, 1999.

[19] 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 김창일, 장의구, “CMP 공정을 이용한 Multilevel Metal 구조의 평탄화 연구”, Proceeding of KIEEME, 추계학술대회, p.456, 1997.

[20] S. Nag and a. Chatterjee, "Shallow trench isolation for sub-0.25-㎛ IC technologies, Solid State Technolohy," pp. 129-136, 1997.

[22] B. Wihters, E. Zhao, W.Krusell, R. Jairath and S. Hosali, "Wide margin CMP for STI," Solid State Technology, pp. 173-179, 1998.

[23] K. Smekalin, "CMP dishing effets in shallow trench isolation," Solid State Technology, pp. 187-194, 1997.

[24] S. Y. Kim, M. K. Baek, C. I. Kim and E. G. Jang, "Study of chemical mechanical polishing on shallow trench isolation to obtain low defect," Electrochemical Society Proceedings.Vol. 99-2, pp.215-219, 1999.

[25] 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 정헌상, 김창일, 장의구, “STI(Shallow Trench Isolation) 공정에서 Torn Oxide Defect 해결에 관한 연구”, Proceedings of KIEE, 추계 학술 대회, p. 723, 1998.

[26] G-R. Yang, Y-P. Zhao, M. Neirynck, S. P. Murarka, R.J. Gutmann : “Chemical Mechanical Polish of Parylene N and Benzosyclobuthene Films”, Electrochem. Soc, 144(9), pp. 3249-3255, 1997.

감사의 글

오랜 시간 부족하기만 한 아들의 뒷바라지에 부족함이 없이 배려해 주시고, 지극히 사랑해 주신 아버님, 어머님의 은혜에 다소나마 보답하는 마음으로 이 논문을 드리게 되어 기쁩니다.

공사다망하신 중에도 미진한 연구결과에 빛을 더해주신 조선대학교 이우선 교수님 그리고 조금배 교수님께 감사는 마음과 더불어 보다 나은 학문 성취를 위해 부단히 노력하리라 다짐합니다.

지도교수처럼 오랜 시간을 곁에서 지켜봐 주시고, 지도해 주신 조선대학교 전기공학과 은사님이신 이상일 교수님, 정수복 교수님, 오금곤 교수님, 백형래 교수님께 감사를 드립니다.

또한 이 논문이 완성되기까지 모든 일에 자신의 일처럼 도움을 아끼지 않을 연구실의 최권우 선생님 그리고 송원대학 이정일 교수님께 감사드리며 언제든지 작으나마 도움을 줄 수 있는 기회가 오기를 바랍니다.

친자식처럼 아껴주시고, 격려해 주신 장인어른, 장모님 그리고 항상 따뜻한 사랑으로 가족의 정을 일깨워준 동생들과 매제, 처제, 처남들과도 이 기쁨을 같이 하고 싶습니다.

항상 시간에 쫓겨 매사를 함께 하지 못하고, 기다렸던 우리들의 기쁨을 같이 나누지 못한 남편에게 인내와 지극한 사랑으로 내조를 아끼지 않은 아내 이은경과 아들 성창이와 이 기쁨을 나누고, 영원히 변치 않을 사랑을 약속합니다.

2006년 12월 겨울

백민오

저작물 이용 허락서

본인이 저작한 학위논문에 대하여 다음과 같은 방법 및 조건하에 대학교에 저작권을 위임할 것을 서약합니다.

1. 인터넷 및 온라인 서비스와 아카이빙을 위하여 저작물의 내용을 변경하지 않는 편집상 혹은 포맷상의 변경을 통한 복제를 허락함
2. 저작물의 DB 구축과 인터넷을 포함한 정보통신망에 공개하여 논문 일부 또는 전부의 복제·배포 및 전송을 허락함
3. 저작물에 대한 이용 기간은 3년으로 하고 계약 종료 2개월 이내에 별도의 의사표시가 없는 경우 기간을 계속 연장함
4. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판 허락을 하였을 경우 1개월 이내에 소속 대학에 통보함
5. 배포, 전송된 학위논문은 이용자가 다시 복제 및 전송할 수 없으며 이용자가 연구 목적이 아닌 상업적 용도로 사용하는 것을 금함
6. 소속대학은 학위논문 위임 서약 이후 해당 저작물로 인한 타인의 권리 침해에 관하여 일체의 법적 책임을 지지 않을 것을 확인함
7. 소속대학의 협약기관 및 한국교육학술정보원에 논문 제공을 허락함

동의여부 : 동의(O) 조건부 동의( ) 반대( )

저작자 성명 : 백 민 오
주소 : 광주광역시 광산구 소촌동 555번지 (연락처 : 011-627-9621)

2006년 월 일

이름: 백 민 오 (인)

조선대학교 총장 귀하