

유기 전계 발광 디스플레이용 ITO 투명 전도성 박막의 CMP에 관한 연구

조성환* · 김형재** · 김경준** · 정해도†
(2001년 12월 3일 접수, 2002년 2월 4일 심사완료)

The Study on the CMP of Transparent Conductive ITO Thin Films for the Organic Electro-Luminescence Display

Sung-Hwan Cho, Hyoung-Jae Kim, Kyoung-Jun Kim and Hae-Do Jeong

Key Words: CMP(화학기계적 연마), ITO(Indium-Tin Oxide), IZO(Indium-Zinc Oxide), OELD(유기 전계 발광 디스플레이), ILD(층간 절연막)

Abstract

The purpose of this paper is that the roughness($R_{rms} = 31 \text{ \AA}$, $R_{p-v} = 270 \text{ \AA}$) of ITO thin film deposited by sputtering method for OELD is improved to $R_{rms} \leq 10 \text{ \AA}$, $R_{p-v} \leq 80 \text{ \AA}$ by chemical mechanical polishing(CMP). First, ITO thin films are polished with a variety of consumables (Pads, Slurries) to choose proper some for the roughness improvement and the CMP mechanism of ITO thin films is demonstrated on the ground of the experiment results. Henceforth, the CMP characteristics (Removal rate, Non-uniformity) of chosen consumables are evaluated according to processing conditions (Polishing pressures, Table velocities) and suitable conditions for ITO film CMP are selected. Finally, the electrical and optical properties (Sheet resistance, Transmittance) of ITO thin films are investigated to verify whether or not ITO thin film are still suitable for OELD after polished

1. 서 론

최근 정보화 사회의 급진적인 발전과 더불어 다양화하는 사회의 요구에 적합한 새로운 전자 디스플레이 장치가 계속 개발되고 있으며 이러한 추세와 더불어 평판 디스플레이의 비중이 점차 높아가고 있다. 특히 이런 평판 디스플레이들 중 유기 전계 발광 디스플레이(OELD)는 자체 발광, 경량박형, 저소비전력, 고응답속도 등의 장점을 가지기 때문에 차세대 평판 디스플레이로 주목받고 있으며 따라서 OELD의 저전압 구동, 고효율

발광, 다색화 등에 대한 연구가 광범위하게 진행되고 있고 최근 장기수명화에 대한 관심이 높아지고 있다.⁽¹⁻⁶⁾

현재 OELD용 ITO박막은 대면적 증착에 적합한 스퍼터링 방식에 의해 성막되며 ITO박막의 비저항과 광투과도는 스퍼터링시 In_2O_3 와 SnO_2 의 조성비, Ar:O₂의 분압비, 기판 온도, 타겟 밀도 등의 스퍼터링 조건에 영향을 받는다.⁽⁷⁻¹²⁾

OELD용 ITO박막의 요구사항은 면저항 $10\Omega/\square$ 이하, 광투과도 85% 이상이며 스퍼터링 조건을 적절히 조절하면 OELD용에 적합한 ITO박막의 면저항과 광투과율은 얻을 수 있지만 Fig. 1과 같이 박막의 표면에 거대 이상 성장 입자가 생성되는 문제점을 갖게 된다. 이런 거대 이상 성장 입자로 인해서 ITO박막의 표면 거칠기는 $R_{rms} 31 \text{ \AA}$, $R_{p-v} 270 \text{ \AA}$ 이 되며 이런 거대 이상 성장 입자는 OELD 구동시 전압이 균일하게 걸리지 않고 한 지점에 국부적으로 집중되게 하여 디스플레이

* 회원, 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부

E-mail : atommy@dreamwiz.com

TEL : (051)510-3210 FAX : (051)513-8442

의 열화를 유발, 심한 경우 쇼트를 발생시켜 수명을 단축시킨다. 그래서 OELD용 ITO박막은 면저항 $10\Omega/\square$ 이하, 광투과도 85% 이상을 유지하면서 동시에 표면 거칠기를 $R_{rms} 10\text{\AA}$ 이하, $R_p-v 80\text{\AA}$ 이하로 가공할 필요가 있다.

현재 ITO박막의 이러한 문제를 해결하기 위해서 OELD용 투명 전도성 박막을 IZO박막으로 대체하기 위한 연구가 미국, 일본 등에서 활발히 진행 중이며 ITO박막 자체의 표면 처리(플라즈마 처리 또는 CMP)를 통해서 박막의 표면거칠기를 향상하고자하는 연구도 진행되고 있다. 그 중 반도체 가공 공정에 안정적으로 적용되는 CMP 기술을 사용해서 ITO박막의 표면거칠기를 향상하려는 연구가 일본의 파이오니아사, 아사히 글래스, 국내의 삼성 코닝, (주)유아디 등에서 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 CMP기술을 도입하여 ITO박막의 표면 거칠기를 $R_{rms} 10\text{\AA}$ 이하, $R_p-v 80\text{\AA}$ 이하로 가공하고자 한다. 우선 ITO박막 CMP에 적합한 소모품(패드, 슬러리)을 설정하기 위해서 다양한 소모품으로 박막 CMP가 이루어졌으며 CMP결과를 바탕으로 CMP 메커니즘을 규명하고 ITO박막 CMP에 적합한 소모품을 선정하였다. 이후에 선정된 소모품을 이용, 각각의 가공 조건(가공 압력, 가공 속도)에 따른 CMP 특성(연마 제거율, 연마 균일도)을 평가하여 ITO박막 CMP에 적절한 가공 조건을 고찰하였다. 마지막으로 CMP를 통해 박막의 표면 거칠기는 향상되었지만 박막의 고유한 전기,광학적 특성이 여전히 OELD용으로 적합한지를 확인하기 위하여 CMP 전후 박막의 전기,광학적 특성에 대한 고찰이 이루어졌다.⁽¹³⁻¹⁸⁾

2. 패드 선정 실험

2.1 실험 방법

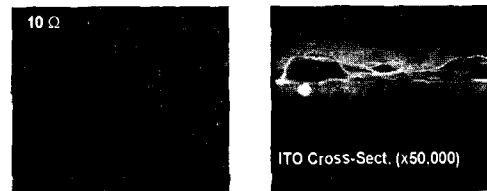
본 실험은 기존의 반도체 가공 공정에 많이 사용되는 ILD CMP용 슬러리인 ILD1300과 텅스텐 CMP용 슬러리인 MSW2000을 사용하여 Table 1에서와 같이 다양한 경도의 패드로 ITO박막을 가공하여 적절한 연마 제거율(RR : Removal rate)과 우수한 연마 균일도(Non-uniformity)를 가지는 패드를 선정하고자 실시되었다. 가공은 테이블 속도 40rpm, 가공 압력 $100\text{g}/\text{cm}^2$ 에서 실시되었으며

Table 1 The hardness of pads

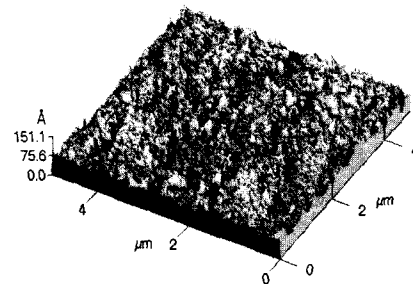
Pad	IC1400	NHS15A	Suba800	Suba400
Hardness	92(JIS-K)	85(JIS-A)	82(asker-c)	61(asker-c)

Table 2 The properties of slurries

Slurries	pH	Solid (wt%)	Median diameter(nm)	Chemical components
ILD1300	10.8	13	140	NH_4^+
A-Silica	11	15		NH_4^+
NALCO2355	10	4.5	50~70	Na
Ceria	10	1		NH_4^+
MSW2000	3.9	4.3	170	Organic acid
A-Alumina	4.2	15		Acetic acid



(a) SEM images



(b) AFM image

Fig. 1 The images of ITO surface after sputtering

각각의 패드와 슬러리에 대해 가공 시간을 늘려가면서 세 번 가공하여서 각각의 패드와 슬러리에 따른 CMP 특성(연마 제거율, 연마 균일도)뿐만 아니라 가공 안정성도 동시에 고찰했다.

실험에서는 $92.5 \times 100 \times 0.7\text{mm}$ 의 유리 기판위에 ITO박막이 $1850 \sim 2050\text{\AA}$ 두께로 스퍼터링 성막되어서 면저항이 약 $7.5 \sim 8.5\Omega/\square$ 인 삼성 코닝의 ITO박막을 시편으로 사용했다(Fig. 1). 또한 실험에서 사용한 ILD1300과 MSW2000 슬러리의 물성은 Table 2에 나타나 있으며 여기서 주목해야 할 것은 ILD1300의 pH는 알칼리 영역이며 MSW2000의 pH영역은 산성 영역이라는 것이다.

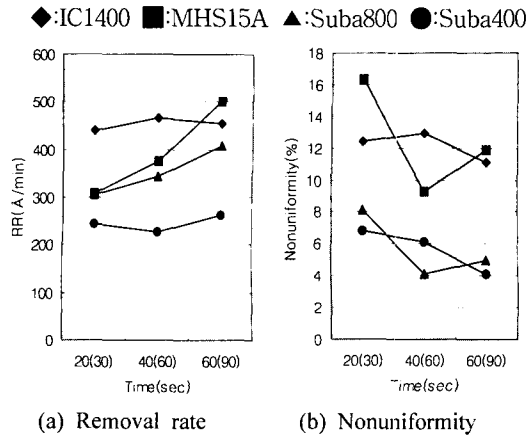


Fig. 2 The CMP characteristics of pads according to time(Using ILD1300)

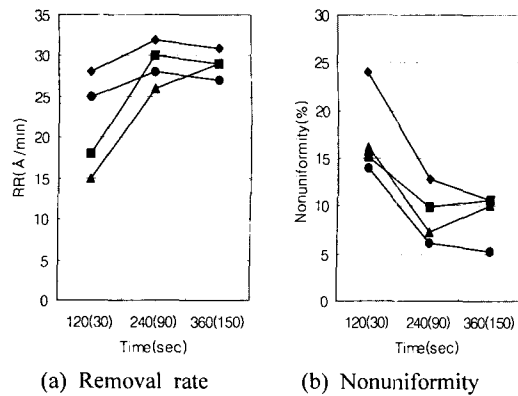


Fig. 3 The CMP characteristics of pads according to time(Using MSW2000)

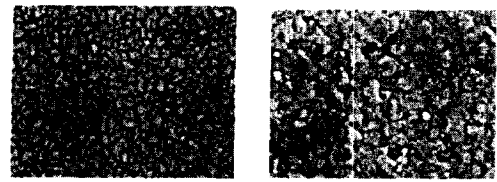
실험에서 ITO박막의 두께를 산출하기 위한 면저항 측정기는 창민사(Chang min corp.)의 표면 저항 측정기(4 point probe)인 CMT-SR2000N을 이용해서 측정했다.

2.2 실험 결과 및 고찰

ITO박막의 CMP 가공에 있어서 중요한 것은 CMP 이후에도 ITO박막의 면저항이 10 Ω /□ 이하, 광투과도가 85% 이상으로 유지되어야 한다는 것이다. 그래서 ITO CMP시 가장 바람직한 것은 작은 가공량(RA : Removal amount)으로 원하는 박막의 표면 거칠기를 달성해서 ITO박막 전반에 걸쳐서 면저항이 처음 성막시에 가깝게 유지되는 것이다. 따라서 ITO CMP시 연마 제거율이 너무 높아 박막 두께 제거가 어려운 것보다는 적당한

Table 3 The ITO surface by dipping test

pH	10min	20min	pH	10min	20min
Raw	Clear	Clear	7	Unclear	Unclear
1	Clear	Clear	8	Unclear	Unclear
2	Clear	Clear	9	Unclear	Unclear
3	Clear	Clear	10	Unclear	Unclear
4	Clear	Unclear	11	Unclear	Unclear
5	Clear	Unclear	12	Unclear	Unclear
6	Clear	Unclear	13	Unclear	Unclear



(a) Clear surface (b) Unclear surface

Fig. 4 ITO surface by dipping test(SEM \times 40000)

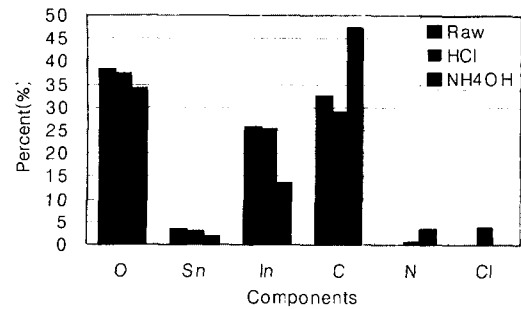


Fig. 5 Components of ITO surface by dipping tests

연마 제거율을 가지는 패드와 우수한 연마 균일도를 가지는 패드가 ITO CMP에 적합한 패드가 될 것이다.

Fig. 2와 Fig. 3은 가공 시간에 따른 패드의 CMP 특성을 나타낸다. 그림의 x축, 가공 시간에서 괄호 안의 시간은 IC1400의 가공 시간이며 괄호 밖의 시간은 나머지 세 가지 패드의 가공 시간이다. 그림에서 연마 제거율은 대체적으로 IC1400과 Suba400이 가공 시간에 관계없이 안정한 연마 제거율을 가짐을 알 수 있다. 또한 연마 균일도 측면에서는 Suba800과 Suba400이 우수한데 MSW2000 슬러리를 사용했을 때 Suba800이 불안정적인데 비해 Suba400은 시간이 지남에 따라 안정화되어가고 있음을 알 수 있다.

따라서 기존의 반도체 공정에서 안정적으로 담

이 사용되는 ILD CMP용 슬러리와 텅스텐 CMP용 슬러리를 사용해서 다양한 패드의 ITO CMP 특성을 평가한 결과, Suba400이 안정한 연마 제거율과 우수한 연마 균일도를 가지므로 ITO박막 CMP에 적합하리라고 생각된다.

3. 슬러리 선정 실험

3.1 pH에 따른 ITO박막 표면 반응 실험

3.1.1 실험 방법

이 실험은 CMP시 슬러리와 ITO박막이 어떤 화학반응을 일으키는지 알아보기 위해서 실시되었다. 실험은 염산(HCl)과 암모니아(NH₄OH)를 이용하여 pH를 1에서 13까지 변화시켜가면서 시편을 10분과 20분 동안 담근 후 SEM으로 4만배 확대하여 관찰하였다. 또한 반응 후 ITO박막의 구성물질을 분석하기 위하여 용액에 담그지 않은 시편과 pH 4, pH 13에서 10분간 담근 시편들의 XPS분석을 실시했다.

3.1.2 실험 결과 및 고찰

Table 3을 보면 ITO박막은 산성 용액보다는 알칼리 용액에서 더 빨리 반응하여 Fig. 4(b)와 같이 ITO 입자의 경계가 뭉개져서 경계선(Boundary)이 분명하지 않음을 알 수 있다. Table 2를 보면 10분 디핑시는 pH 7 이상에서, 20분 디핑시는 pH 4이상에서 입자 뭉개짐이 관찰된다. 일반적으로 ITO박막의 에칭액으로는 물에 염산, 질산을 일정한 비율로 희석한 액을 사용하며 에칭시 용액 온도를 60℃로 유지하는 것으로 되어 있다. 따라서 기존의 화학 상식으로는 ITO 박막이 알칼리 영역에서보다 산성 영역에서 더 잘 반응하리라고 예상되는데 위의 실험 결과는 반대의 결과를 나타낸다.

이 이유는 바카 라톤(Baca Raton)과 홀리(Hawley) 등이 편찬한 기존의 화학 핸드북^(16,19-21)에서 찾을 수 있다. 기본적으로 인듐 산화물(In₂O₃)은 비정질과 결정질의 두가지 종류가 있으며 그 중 비정질 박막은 뜨거운 에시드(Hot acid)에 용해되는 반면에 결정질은 에시드와 물에 반응하지 않는 것으로 되어있다. 또한 주석 산화물(SnO₂)은 물과는 반응하지 않지만 에시드와 강알칼리에 반응하며 심지어 KOH, NaOH 용액에서

는 분해가 되는 것으로 되어있다. 따라서 실험에서 사용한 ITO박막은 인듐 산화물과 주석 산화물의 비정질 복합물이므로 뜨거운 산용액에서는 인듐 산화물과 주석 산화물이 동시에 반응하여 분해될 것으로 보인다. 반면에 알칼리 영역에서는 인듐 산화물보다는 주석 산화물이 먼저 수화 반응하여 SnO₂·xH₂O의 형태가 되고 그 이후 분해 반응이 계속 일어나는 것으로 볼 수 있으며 인듐 산화물은 거의 반응하지 않을 것으로 생각된다. 즉 위의 실험에서 산성영역에서 반응이 상대적으로 늦게 일어난 것은 온도가 상온이었기 때문이며 알칼리 영역에서 반응이 빨리 일어난 것은 주석 산화물이 상대적으로 빠르게 반응, 분해되었기 때문이다. 이러한 ITO 표면 화학반응으로 인한 표면 화학 구성은 Fig. 5와 같다.

3.2 슬러리 선정 실험

3.2.1 실험 방법

본 실험은 패드 선정 실험에서 선정된 패드(Suba400)를 이용하여 여러 가지 종류의 슬러리로 ITO박막을 CMP하여 ITO박막의 표면 거칠기를 Rrms 10Å 이하, Rp-v 80Å 이하로 가공할 수 있는 슬러리를 선정하기 위해 실시되었다. 실험에서 사용한 슬러리는 Table 2에 나타나있으며 폼드 실리카 슬러리 두회사 제품,(Rodel사의 ILD1300, 국내 A사 제품), 콜로이드 실리카(NALCO2355)와 세리아 슬러리 각각 1종류, 알루미늄 슬러리 두회사 제품(MSW2000, 국내 A사 제품)을 사용했다. 실험에서 폼드 실리카와 알루미늄 슬러리를 두가지 사용한 이유는 폼드 실리카와 알루미늄 슬러리는 ILD 및 금속 CMP의 대표적인 슬러리들로 ITO박막 CMP의 메커니즘을 분석할 때 그 신뢰성을 높이기 위해서이다. 즉 ITO CMP 후 결과 고찰에서 슬러리 회사 고유의 제조 능력에 의한 영향을 최대한 배제하기 위함이다.

실험은 테이블 속도 40rpm, 가공 압력 100g/cm²에서 실시되었으며 각각의 슬러리마다 가공 시간을 일정하게 늘려가면서 연마 제거량(RA : Removal amount)을 늘려서 그 연마 제거량에 따른 표면 거칠기를 측정했다.

3.2.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 6은 ILD1300을 사용해서 ITO CMP를 실시

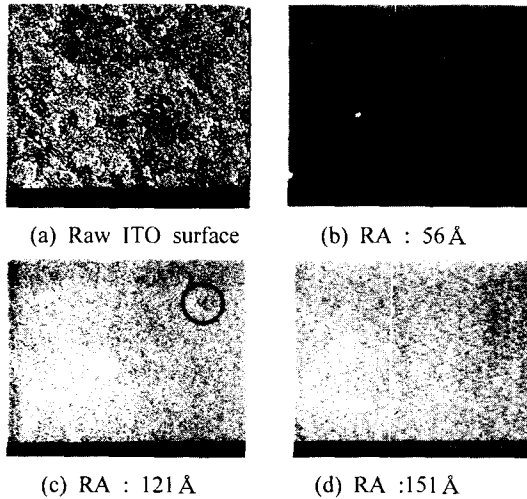


Fig. 6 The ITO surface according to Removal amount ($\times 50000$)

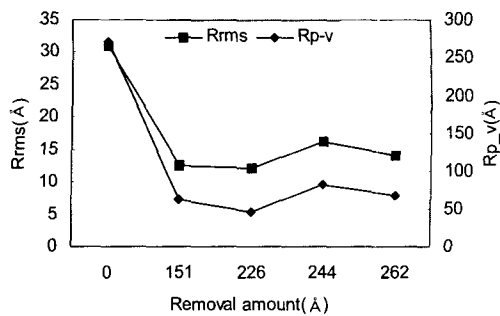


Fig. 7 The roughness of ITO film surface according to removal amount by AFM(Using ILD1300)

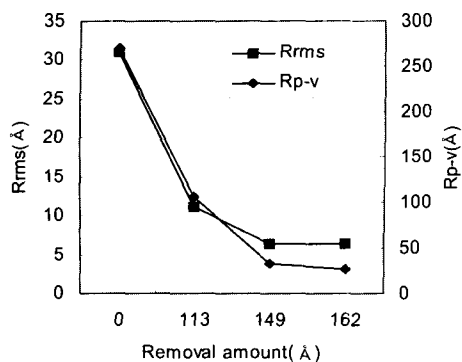


Fig. 8 The roughness of ITO film surface according to removal amount by AFM(Using MSW2000)

했을 때 연마 제거량(RA)에 따른 박막 표면은 SEM 분석한 사진이다. 연마 제거량이 증가함에 따라 박막 표면에 존재하는 거대 이상 성장 입자(요철)는 급격하게 감소하며 연마 제거량이 151Å에 이르면 더 이상의 거대 이상 성장 입자는 관찰되지 않고 평탄한 표면이 됨을 알 수 있다. 따라서 ITO CMP시 연마 제거량이 약 150Å 정도를 넘어서면 표면에 더 이상의 요철이 존재하지 않는 평탄한 면을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그런데 Fig. 7의 연마 제거량에 따른 표면 거칠기를 보면 SEM 분석에서는 더 이상 요철이 발견되지 않은, 연마 제거량이 151Å인 ITO박막의 표면 거칠기가 Rrms 12.6Å, Rp-v 62Å로 Rp-v는 80Å 이하로 내려갔지만 Rrms가 여전히 10Å 이하로 내려가지 않았음을 알 수 있으며 계속해서 연마 제거량이 늘어나도 더 이상 표면 거칠기가 향상되지 않음을 알 수 있다. 이것은 앞의 pH에 따른 ITO 표면반응 실험에서 살펴보았듯이 알칼리 영역에서 ITO박막은 주석 산화물이 인듐 산화물에 비해 먼저 반응, 분해되며 따라서 주석 산화물이 인듐 산화물 보다 더 쉽게 제거, 박막 표면에서

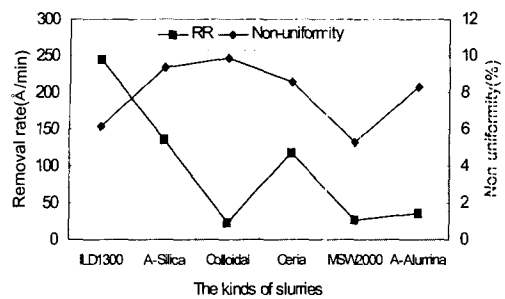


Fig. 9 The comparison of ITO CMP characteristics by the kinds of slurries

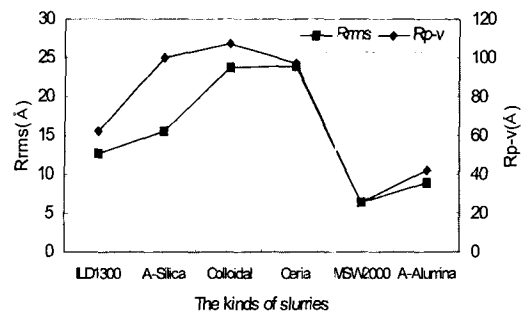


Fig. 10 The roughness comparison of ITO thin film according to slurries after CMP

불균일한 연마가 계속해서 일어나기 때문이다. 즉 박막 표면에서 요철이 모두 제거된 이후에도 불균일한 연마가 계속해서 일어나기 때문에 연마 제거량의 계속된 증가에도 불구하고 일정 수준 이상 표면 거칠기가 향상되지 않는 것이다.

Fig. 8은 MSW2000 슬러리로 가공한 ITO박막의 표면 거칠기를 나타내는데 ILD1300 슬러리의 결과와 달리 연마 제거량(RA)이 149Å인 시편의 표면 거칠기가 Rrms 6.4Å, Rp-v 32Å로 목표치 이하로 내려갔음을 알 수 있다. 또한, Fig. 9에서 MSW2000의 연마 제거율(RR)이 ILD1300 보다 훨씬 낮으며 따라서 앞의 pH에 따른 ITO 표면 반응 실험에서도 알 수 있었듯이 ITO박막이 MSW2000 슬러리의 산성 용액 속에서 아주 느리게 화학 반응을 했음을 알 수 있다. 이와같은 결과에 의해 MSW2000 슬러리의 CMP 가공 메커니즘은 ILD1300의 CMP 메커니즘과 다를 수 있다. 즉, 연마 제거량이 149Å인 시편에서 Rrms 6.4Å, Rp-v 32Å이며 그 이후는 연마 제거량에 상관없이 표면 거칠기가 계속 Rrms 10Å 이하, Rp-v 80Å 이하를 유지하기 때문에 ITO박막 표면상의 주석 산화물과 인듐 산화물은 느리지만 거의 비슷한 화학 반응 속도를 가져서 알루미늄 입자에 의해 비슷한 속도로 제거됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 각각의 슬러리로 가공하여 그 연마 제거량(RA)이 150±5Å인 시편의 표면 거칠기를 나타내었는데 표면 거칠기를 Rrms 10Å 이하, Rp-v 80Å 이하로 가공할 수 있는 슬러리는 알루미늄 슬러리 뿐임을 알 수 있다. 즉 제조 회사의 고유한 제조 능력에 상관없이 알칼리 영역의 폼드 실리카, 콜로이드 실리카, 세리아 슬러리로 표면 거칠기를 목표치 이하로 낮출 수 없음을 알 수 있고 산성 영역의 알루미늄 슬러리로만 표면 거칠기를 Rrms 10Å 이하, Rp-v 80Å 이하로 가공할 수 있음을 알 수 있다. 또한 두 가지 알루미늄 슬러리 중 MSW2000 슬러리의 연마 균일도와 표면 거칠기가 A사의 슬러리보다 상대적으로 우수하므로 MSW2000이 ITO CMP에 적합한 슬러리라고 생각된다.

4. ITO CMP 메커니즘 분석

4.1 폼드 실리카 슬러리의 ITO CMP 메커니즘

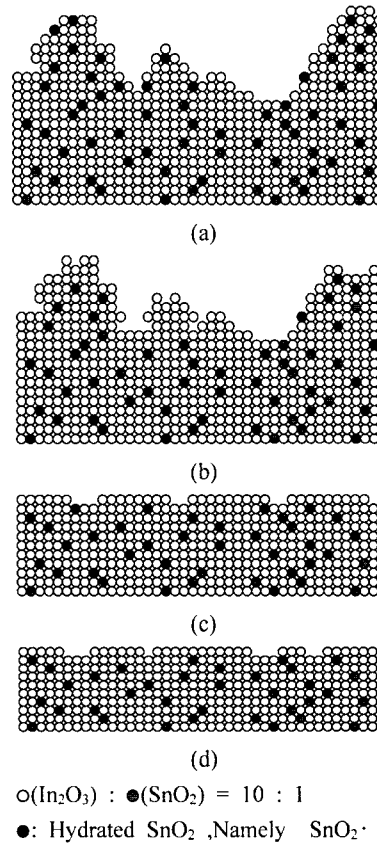


Fig. 11 The CMP mechanism of ITO film by fumed silica slurry

본 고찰에서는 앞의 패드 선정과 슬러리 선정 실험의 결과를 바탕으로 ITO CMP의 메커니즘을 규명하고자한다. 우선, 폼드 실리카 슬러리의 메커니즘을 정리하면 다음과 같고 Fig. 11에 나타내었다.⁽¹³⁻¹⁵⁾

(a) 슬러리 내의 연마 입자가 ITO박막을 소성 변형시키며 동시에 물이 산화막에 침투, 주석 산화물(SnO₂)이 수화반응을 일으켜 SnO₂ · xH₂O를 형성한다.

(b) SnO₂ · xH₂O가 수용액 속으로 분해되는 동시에 슬러리에 분산되어 있는 연마 입자의 기계적 제거 작용으로 ITO박막의 연마 제거율은 가속된다. 단 인듐 산화물(In₂O₃)은 주석 산화물에 비해 덜 연마 제거된다.

(c)(d) ITO박막에 존재하는 거대 이상 성장 입자는 모두 제거되었지만 인듐 산화물과 주석 산

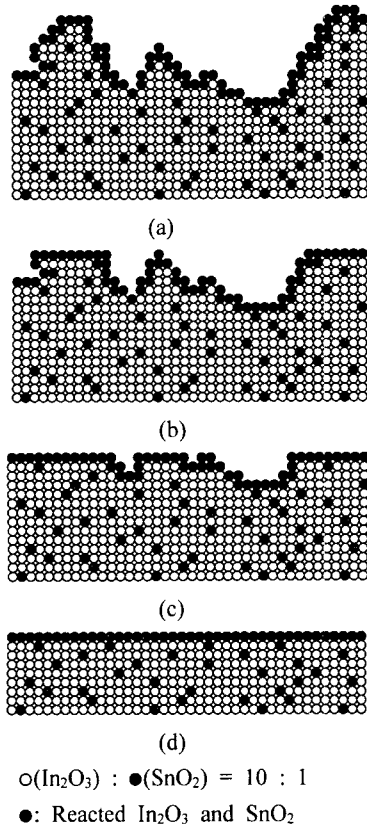


Fig. 12 The CMP mechanism of ITO film by MSW2000 slurry

화물의 화학 반응성이 다르므로 해서 박막 표면에서 연마는 여전히 불균일하게 이루어지며 따라서 표면 거칠기는 더 이상 향상되지 않는다.

4.2 알루미늄 슬러리의 ITO CMP 메커니즘

알루미늄 슬러리에서의 ITO CMP 메커니즘은 폼드 실리카와 다르며 정리하면 다음과 같고 Fig. 12에 나타내었다.

(a) ITO박막의 두 구성물인 인듐 산화물과 주석 산화물은 MSW2000 슬러리 수용액과 둘 다 화학반응을 진행하나 반응 속도가 느리다.

(b) 박막의 반응층을 알루미늄 연마 입자가 제거하는데 화학 반응 속도가 느리기 때문에 연마 제거율은 낮으며 화학 반응 요소보다는 연마 입자에 의한 기계적 제거 요소가 더 지배적이다. 단 박막을 구성하는 두 가지 산화물의 화학 반응성이 비슷하므로 그림과 같이 균일하게 연마 제거가 진행된다.

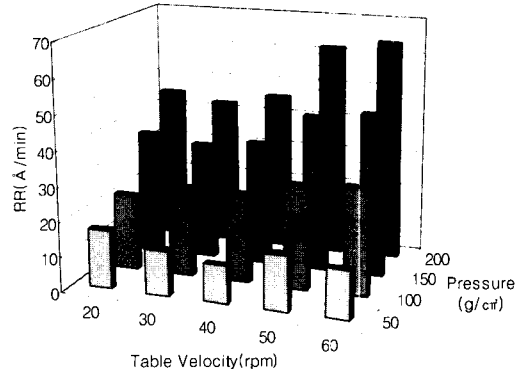


Fig. 13 The removal rate according to table velocity and pressure

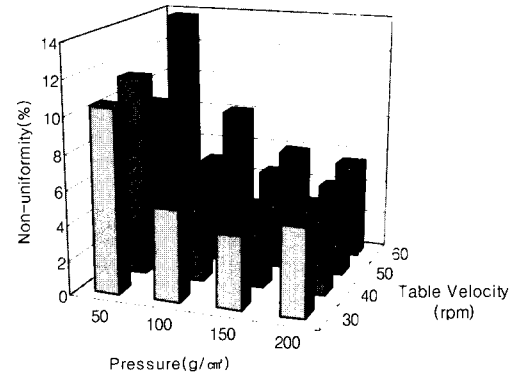


Fig. 14 The Non-uniformity according to table velocity and pressure

(c)(d) 연마 제거율이 낮지만 계속된 연마로 거대 이상 성장 입자는 모두 제거되고 박막 표면의 균일한 연마가 가능하기 때문에 표면 거칠기를 Rrms 10Å 이하, Rp_v 80Å 이하로 낮출 수 있다.

5. 가공 조건에 따른 CMP 특성 평가

5.1 실험 방법

본 실험은 앞에서 선정된 패드(suba400)와 슬러리(MSW2000)로 ITO CMP를 실시할 때 우수한 연마 특성(연마 제거율, 연마 균일도)을 가지는 가공 조건(테이블 속도, 가공 압력)을 선정하기 위해 실시되었다. 따라서 실험은 테이블 속도를 20, 30, 40, 50, 60rpm으로 올라가면서 각각의 속도에 대해 50, 100, 150, 200g/cm²의 가공 압력으로 가공해서 그 결과를 고찰했다.

5.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 13은 테이블 속도와 가공 압력에 따른 연마 제거율(RR)을 나타내며 Fig. 14는 테이블 속도와 가공 압력에 따른 연마 균일도(Non-uniformity)를 나타낸다. Fig. 13에서 테이블 속도와 가공 압력이 증가하면 연마 제거율이 증가하는 것을 알 수 있고 Fig. 14에서 압력이 증가할수록, 테이블 속도가 감소할수록 연마 균일도가 향상되는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 기존의 반도체 가공 공정에서와 일치한다.

앞의 패드와 슬러리 선정 실험에서 사용한 테이블 속도(40rpm)와 가공 압력(100g/cm²)에서의 연마 특성을 살펴보면, 연마 제거율이 27Å/min, 연마 균일도가 5%로 비교적 양호한 CMP 특성을 가짐을 알 수 있다. 즉, 압력을 더 올리면 연마 제거율이 높아져서 가공 시간을 단축할 수 있고 연마 균일도가 향상되기는 하지만 연마 결함(스크래치, 피팅 등)에 대한 위험이 따르고 압력을 50g/cm²으로 더 낮추면 연마 균일도가 많이 나빠지기 때문에 가공 압력은 100g/cm²가 적당하다고 생각한다. 또한 테이블 속도를 증가시키면 연마 제거율을 높여서 가공 시간을 줄일 수 있지만 연마 균일도가 나빠지므로 테이블 속도도 40rpm 정도가 적당하다고 생각되며, Fig. 14를 보면 50rpm, 100g/cm²에서도 연마 제거율이 30Å/min, 연마 균일도가 6%로 우수한 연마 특성을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 Suba400 패드와 MSW2000 슬러리를 사용하여 ITO박막을 연마할 때는 테이블 속도(상대 속도) 40~50rpm에 가공 압력 100g/cm²이 적당할 것을 알 수 있다.

6. CMP 후 ITO박막의 전기, 광학적 특성

앞에서도 언급했듯이 ITO박막은 CMP를 통해 표면 거칠기가 향상된 이후에도 여전히 박막 전반에 걸쳐서 면저항이 10Ω/□ 이하여야하며 광투과도는 가공하기 전의 ITO박막보다 나빠져서는 안된다. 따라서 여기서는 CMP 이후 ITO박막의 표면 면저항과 광투과도가 여전히 OLED에 적합한지를 고찰한다.

일반적으로 박막의 두께와 면저항은 아래 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d = \frac{\rho}{R_s} \tag{1}$$

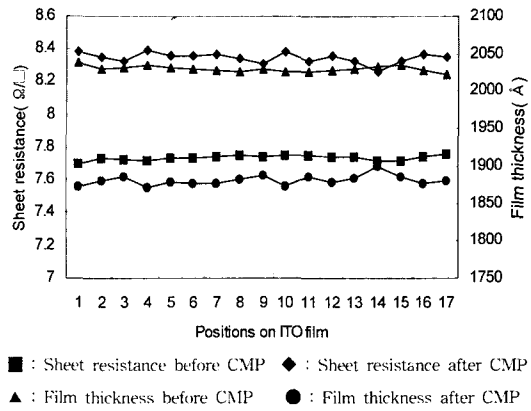


Fig. 15 The changes of film thickness according to sheet resistance

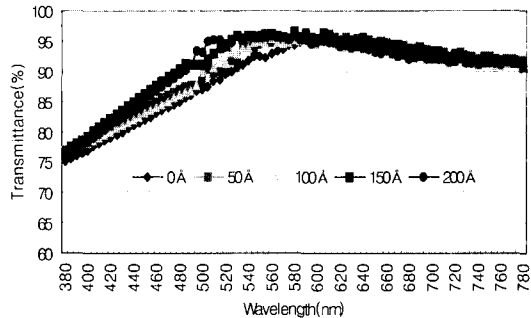


Fig. 16 The Transmittance of ITO film according to removal amount

여기서 d는 박막의 두께, R_s는 면저항, ρ는 비저항이다. 식 (1)에 따르면 비저항은 물질의 고유한 성질이므로 박막의 면저항과 두께는 서로 반비례함을 알 수 있다.

Fig. 15는 Suba400, MSW2000을 이용해서 40rpm, 100g/cm²으로 ITO박막을 149Å가공했을 때의 CMP 전후 박막 면저항과 두께를 나타낸 것이며 가공 전의 ITO박막의 평균 면저항은 7.73Ω/□, 평균 두께는 2030Å이다. 따라서 박막의 면저항이 OLED용 ITO박막의 요구 조건인 10Ω/□보다 훨씬 낮게 성막되었음을 알 수 있고 이는 박막의 표면 거칠기 향상을 위한 CMP시 제거될 연마 제거량을 염두에 둔 것이다. 실험에서 사용한 ITO박막의 비저항은 1.57μΩ·m이며 따라서 ITO박막 CMP시 목표로 하는 표면 거칠기를 얻기 위해 필요한 연마 제거량인 150Å의 두께를 제거하면 면저항은 8.351Ω/□로 높아지며 박막의 두께는 1880Å로 줄어든다.

Fig. 15에서는 연마 제거량이 149Å이므로 연마 후의 박막 평균 면저항은 $8.348\Omega/\square$ 이며 평균 두께는 1881Å이다. 또한 CMP시 박막 연마 균일도는 5.4%로서 우수하며 따라서 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 ITO박막 위의 어느 지점에서든 면저항이 $10\Omega/\square$ 를 넘어서는 지점은 발견할 수 없다. 단, 박막 표면 저항기의 특성상(탐침거리 1mm) 시편의 가장자리 10mm이내의 측정값은 신뢰할 수 없으므로 ITO박막 CMP시 가장자리에서 일어나는 과연마는 고찰되지 않았다. 어쨌든 실험에 사용된 시편은 CMP를 위해 과도하게 많은 여유 박막이 증착된 경우이며 따라서 연마 공정 특성이 우수하며 안정적으로 유지된다면 연마를 위한 여유 박막 두께가 줄어들어 경비절감에도 도움이 될 것이다.

Fig. 16은 가공하지 않은 ITO박막(0Å)과 연마 제거량이 50, 100, 150, 200Å인 ITO박막의 광투과도를 측정한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 연마 제거량에 관계없이 ITO박막의 광투과도가 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다. 단 실험에서 세정 정도에 의해 광투과도가 영향을 받으므로 CMP후 박막 표면에 남아있는 연마 오염 물질을 모두 제거해야만 한다. 결과적으로 ITO박막은 CMP 이후에도 광투과도가 크게 변하지 않으므로 ITO박막의 표면 거칠기 향상을 위해서 CMP를 적용할 수 있음을 알 수 있다.

7. 결 론

본 연구는 차세대 평판 디스플레이로 주목받고 있는 OLED의 화질 개선과 수명 연장을 위해 ITO박막의 표면 거칠기를 CMP를 통해 향상시키기 위해 실시되었으며 다음과 결론을 얻었다.

(1) 패드 선정 실험

현재 반도체 가공 공정에서 상용화되어 사용되는 경질에서 연질까지의 다양한 패드를 사용해서 ITO CMP가 이루어졌으며 기존의 반도체 가공 공정에서처럼 경질 패드보다는 연질 패드인 Suba800과 Suba400이 상대적으로 연마 균일도가 우수했다. 단 MSW2000 슬러리를 사용한 경우에는 Suba800이 약간 불안정적인데 비해 Suba400은 안정적이며 우수한 연마 균일도를 가졌기 때문에 ITO박막 CMP에는 Suba400이 적합함을 알 수 있다.

(2) 슬러리 선정 실험

패드 선정 실험에서 선정된 Suba400과 다양한 슬러리(폼드 실리카, 콜로이달 실리카, 세리아, 알루미나)를 이용하여 ITO CMP를 실시했으며 ITO 박막 표면 거칠기를 R_{rms} 10Å 이하, R_p-v 80Å 이하로 가공할 수 있는 슬러리는 산성영역의 알루미나 슬러리 뿐임을 알 수 있었다. 또한 연마 특성 중 ITO박막 표면 거칠기에 직접적으로 영향을 주는 것은 연마 제거량(RA)이며 연마 제거량이 150Å 이상이 되면 박막에 존재하는 모든 거대 이상 성장 입자가 제거되고 표면 거칠기가 목표치(R_{rms} 10Å 이하, R_p-v 80Å 이하)를 넘어섬을 알 수 있다. 결과적으로 실험에서 사용한 두 가지 알루미나 슬러리 중 상대적으로 CMP 특성이 우수한 MSW2000을 ITO박막 CMP용 슬러리로 선정했다.

(3) 가공 조건에 따른 ITO박막 CMP 특성

앞에서 선정한 Suba400 패드와 MSW2000 슬러리로 다양한 테이블 속도(20, 30, 40, 50, 60rpm)와 가공 압력(50, 100, 150, 200g/cm²)으로 ITO박막을 가공하여 연마 특성을 평가하였는데 그 경향은 기존의 반도체 공정에서의 경향과 비슷했다. 즉 압력이 증가하면 연마 제거율이 높아지며 연마 균일도가 향상되고 테이블 속도가 증가하면 연마 제거율은 증가하지만 연마 균일도는 나빠진다. 이런 CMP 특성을 고려할 때 ITO박막 연마시 가공 조건으로는 테이블 속도 40~50rpm에서 100g/cm²가 적합함을 알 수 있다.

(4) CMP후 ITO박막의 전기, 광학적 특성

기본적으로 OLED용 ITO박막은 면저항 $10\Omega/\square$ 이하, 광투과율 85%이상을 유지해야하는데 Suba400 패드, MSW2000 슬러리를 사용하여 40rpm, 100g/cm²으로 연마하여 149Å을 제거, 표면 거칠기를 목표치 이하로 맞추었을 때 그 면저항은 박막 전영역에서 $10\Omega/\square$ 이하를 유지했으며 광투과율은 연마 전 박막의 광투과율과 비슷함을 알 수 있었다.

따라서 OLED용 ITO박막 표면 거칠기는 기존의 반도체 가공 공정에서 안정적으로 사용되는 CMP 기술에 의해 R_{rms} 10Å 이하, R_p-v 80Å 이하로 가공 될 수 있으며 연마 후에도 박막의 면저항과 광투과도는 여전히 OLED에 적합함을 알 수 있다. 단 연마 후 연마 오염 물질은 박막의 표면 거칠기와 광투과도에 영향을 미치므로 차후

세정 방식을 개선하면 더 나은 표면 거칠기와 광 투과도를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) 김영관, 2001.08, "유기 EL 디스플레이의 현황과 전망," 월간 반도체, No. 162, pp. 97~100.
- (2) 장진, 2001.05, "평판 디스플레이의 현황과 전망," 기계저널, Vol. 41, No. 5, pp. 30~36.
- (3) 이창희, 2001.09, "유기 반도체를 이용한 전기 발광 디스플레이," 월간 반도체, No. 163, pp. 103~109.
- (4) 정호균, 권장혁, 2001.05, "유기 ELD의 개요 및 연구 동향," 기계저널, Vol. 41, No. 5, pp. 47~52.
- (5) 노봉규외 17인, 2000, 'LCD ENGINEERING,' 성안당, pp. 354~362.
- (6) 윤병삼, 2001.02, "특허로 본 유기 EL 소자 (II)," 월간 반도체, pp. 95~102.
- (7) Kentaro Utsumi, Osamu Matsunoga, Tsutomu Takahata, 1998, "Low Resistivity ITO Film Prepared Using the Ultra High Density ITO Target," *Thin Solid Films*, Vol. 334, pp. 30~34.
- (8) 황인철, 김석범, 1999, "ITO 투명도전막의 제조 조건에 따른 특성 변화," 산업기술종합연구소 논문집, Vol. 17, pp. 395~401.
- (9) 황효정, 1999, "반도체 공정 기술," 생능출판사, pp. 45~80.
- (10) 허창우, 2000, "스퍼터링 진공 증착 장비를 이용한 투명도전 박막 개발," 목원대학교논문집, Vol 38, No. 1, pp. 225~266.
- (11) 박종관, 오대성, 1998, "반응성 스퍼터링으로 증착한 ITO박막의 전기적, 광학적 성질," 과학기술논문집, Vol. 9, No. 2, pp. 809~823.
- (12) 최규만, 1994, "ITO 투명전극의 제조 및 그 특성," 관대논문집, Vol. 1994, No. 2, pp. 113~121.
- (13) M. Cook, 1990, "Chemical Processing in Glass Polishing," *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 120, pp. 152~171.
- (14) Shin Hwa Li, Robert O. Millier, 2000, "Chemical Mechanical Polishing in Silicon Processing," Vol. 63, pp. 89~92.
- (15) M. Tomozawa, 1997.07, "Oxide CMP Mechanisms," *Solid State Technology*, p. 171.
- (16) 이의호, 1999, "부식과 방식의 원리," 동화기술사, pp. 15~100.
- (17) Hsinchu, 1999, "Investigation of CMP Micro-scrach in the Fabrication of Sub-Quarter Micro VSI Circuits," CMP-MIC Conference, pp. 77~79.
- (18) Hyoung Jae Kim, Hae Do Jeong, Eung Suk Lee, Young Jae Shin, 2001, "Measurement of Wafer Scale Temperature Distribution in Chemical Mechanical Polishing," *Advances in Abrasive Technology VI*, KAME, pp. 279~284.
- (19) Baca Raton, 1987, "Handbook of Chemical and Physics," CRC Press, pp. 3.1~9.23.
- (20) Baca Raton, Robert C, 1988, "Handbook of Chemical and Physics," CRC Press, 1st Student Edition, pp. B.1~B.74.
- (21) Hawley, 1987, "Condensed Chemical Dictionary," *Van Nos Reinhold*, Vol. 1, pp. 635~1089.