

저압 화학증착에 의해 제조된 ZnO박막의 구조 및 음극발광특성

박일우 · 윤도영[†] · 유재수*

광운대학교 공과대학 화학공학과

*중앙대학교 공과대학 화학공학과

(1999년 4월 10일 접수, 1999년 10월 11일 채택)

Structure and Cathodoluminescence Characteristics of ZnO Films Prepared by Low-Pressure Chemical Vapor Deposition

Il-Woo Park, Do-Young Yoon[†] and Jae Soo Yoo*

Department of Chemical Engineering, Kwangju University, Seoul 139-701, Korea

*Department of Chemical Engineering, Chungang University, Seoul 156-756, Korea

(Received 10 April 1999; accepted 11 October 1999)

요 약

본 연구에서는 유기금속화학증착법을 이용하여 전계방출디스플레이에서 양극판의 형광막으로 사용될 수 있는 산화아연(ZnO)박막을 제조하였다. Diethyl zinc로부터 증착된 박막의 두께는 AFM과 SEM에 의해, 박막의 특성은 XRD, XPS, PL 및 CL 등에 의해 측정되었다. 한편 증착된 ZnO박막의 두께는 3,000-10,000 Å이었으며, 증착속도는 50-150 Å/min으로 측정되었다. 증착면의 균일도는 450 °C에서 제일 우수하였으며, 증착속도는 500 °C에서 제일 빠른 것으로 나타났다. 증착온도가 550 °C이상일 경우에는 기상에서의 입자형성 및 탈착속도의 증가로 인해 박막 표면이 열악하였으며, 350 °C이하일 경우에는 낮은 반응온도로 인해 반응이 거의 일어나지 않았다. 비록 측정된 음극선발광(CL)값이 낮게 나타났지만, 본 실험의 결과에 의하면 저압유기금속 화학증착공정에서 증착온도가 박막특성에 가장 큰 영향을 미치는 요인인 것으로 보여진다.

Abstract – ZnO thin film phosphor was deposited by MOCVD method for the applications of anode plate in a Field Emission Display. Atom-Forced Microscope, Scanning Electron Microscope, XRD, XPS, PL and CL were used for the examinations of the characteristics of the film deposited from diethyl zinc vapor. The film thickness ranges from 3,000 Å to 10,000 Å, and the rate of deposition was 50-150 Å/min. The surface of the thin film was the most uniform at 450 °C and the rate of deposition was fastest at 500 °C among various temperature conditions. Above the deposition temperature of 550 °C, the crystalline size was inhomogeneous because of the increased desorption rate, and the film was not deposited under 350 °C. Even though the measured value of Cathodoluminescence(CL) was relatively low, the deposition temperature was found to be the most influential factor in the low pressure metal organic chemical vapor deposition process.

Key words: ZnO Thin Film Phosphor, Field Emission Display, MOCVD Method

1. 서 론

디스플레이의 현재 추세는 경량화, 대형화, 화면의 평면화 구조를 지향하고 있다. 이를 위하여 액정디스플레이(LCD: Liquid Crystal Display), 플라즈마디스플레이(PDP: Plasma Display Panel), 전계방출디스플레이(FED: Field Emission Display) 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서도 FED는 기존의 음극선디스플레이(CRT: Cathode Ray Tube)의 장점을 고루 수용하면서 현재의 추세에도 부합되는 디스플레이로서 각광을 받고 있다.

Fig. 1은 FED의 단면도를 보여주고 있다. FED는 형광체가 도포된 면을 전계방사현상에 의해 방출된 전자가 때려주면 빛을 발하게 되

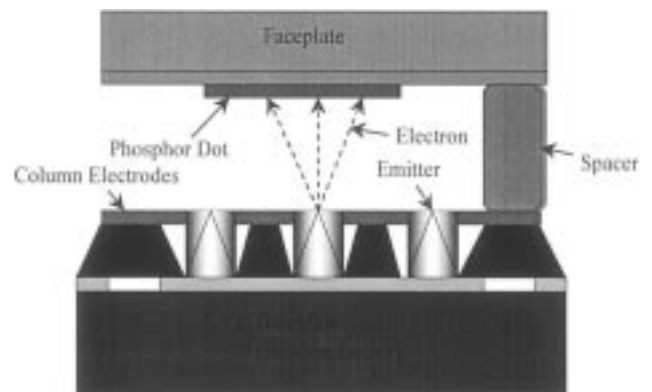


Fig. 1. Configuration of a Field Emission Display.

[†]E-mail: yoondy@daisy.kwangju.ac.kr

며, 형광체가 도포된 전면판(양극판), 수천만개의 전자총 배열을 갖는 후면판(음극판)과 스페이서(spacer) 등으로 이루어져 있다. 후면판은 수천만개의 전자의 방출을 위한 방출원으로서 날카로운 삼각뿔 배열구조로 이루어져 있으며, 이 삼각뿔들은 집적화된 공정에 의해 400 Å이하의 반경을 가져야만 효과적인 전자 방출이 이루어진다. 이 날카로운 전자방출원을 기저로 하고 이에 근접한 추출격자에 양극 바이어스를 가하면 날카로운 삼각뿔에 강한 전장이 형성되어 양자 역학적인 터널링효과에 의해 전자를 방출하게 되고 이때 방출된 전자는 진공상태를 이동하여 양극판의 형광체를 때려 빛을 냄으로서 디스플레이 패널로서 사용이 가능하다[1, 2]. 그러나 이의 상용을 위해서는 극복해야 할 문제점들이 많이 있는데 그 중에서도 형광체의 발광휘도는 많은 개선의 여지를 갖고 있는 분야이다. CRT와는 달리 저전압에서 발광해야 하는 FED용 형광체의 개발은 FED의 제품화를 위해서는 반드시 선행되어야 한다. 또한 FED의 경우 후면판(cathode plate)과 전면판(anode plate)의 간격이 매우 좁으므로 인해서 형광막의 두께가 얇으면서도 균일도(uniformity)가 매우 좋아야 한다[3].

FED용 형광막의 제한 조건을 만족하는 동시에 발광휘도가 좋은 형광체로 사용 가능한 물질로는 산화아연(ZnO)을 고려할 수 있다. 현재 n-type 반도체로서 산화아연의 발광에 대한 메커니즘은 잘 밝혀져 있지 않으나 벌크내의 결정결함으로 인해 생성된 전자와 정공의 재결합에 의해 나타난다고 추측되어진다[4]. 전기전도도가 높은 산화아연의 형광체는 매우 낮은 전자빔(약 5 eV)의 방사시에 음극선을 발광하므로, 녹색 결함에 있어서 발광세기가 저전압(e.g. 20 V)에서 작동하는 디스플레이기기로 사용하는데에 매우 적합하다[5]. Pfahnl[6]은 산화아연과 황화아연(5 wt%)의 혼합물을 질소분위기에서 1,100 °C의 고온으로 장시간 동안 소결함으로써 산화아연 형광체를 제조할 수 있었다. 이 방법에서 제조된 형광체는 알려진 산화아연의 발광특성과 유사하지만 소멸시간이 현저히 줄어드는 것으로 나타났다. 이와같은 기존의 형광체 제조방식을 이용하여 파우더형태의 형광체로 산화아연을 제조할 경우, 균일도에 있어서 문제가 있는 것으로 알려지고 있다. 이를 극복하기 위해 박막형태의 산화아연 형광체를 제조하는 것이 대안으로 제시되고 있다. Shealy 등[7]은 기존의 방법에서 나타난 제한들을 극복하기 위하여 유기금속화학증착(MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition)을 이용하여 산화아연의 박막을 제조하여 측정된 특성들을 보고하기도 하였다. 그들은 산화아연박막의 균일한 성장에 화학증착법이 효과적임을 보고하였으나, 저온에서 온도범위가 제한되고 가스의 유동량의 변화요인을 폭넓게 고려하지 못하였다. 저압 MOCVD법의 경우 저온 성장이 가능하고, 고순도의 결정생성물을 제조하기 쉬우며, 다양한 특성의 박막을 쉽게 얻을 수 있기 때문에, 현재 많은 박막제조공정에서 많이 사용되고 있는 매우 중요한 기술이다. 이와같이 화학증착법이 효과적임이 알려진 후, 반응기내의 유동장 및 반응과 관련된 이론적인 해석들이 수행되었다[8, 9]. 전반적으로 박막형태의 형광체의 경우 기존의 파우더 형태의 형광체에 비해 매우 낮은 휘도를 보이고 있으나 산화아연의 발광세기가 매우 높은 점을 고려하면 가능성이 있을 것으로 보여진다. 또한 파우더 형태의 형광체에 비해 표면적이 적어서 오염으로부터 안전하다는 장점이 있으며 균일도를 유지할 수 있다[10, 11].

본 연구에서는 저압의 유기금속화학증착법을 이용하여 박막형 산화아연 형광체를 제조하고 그 특성을 조사하였다. 이를 위하여 반응기 내에서 기상의 diethyl zinc, 산소 그리고 운반기체의 유량, 그리고 반응온도와 같은 공정조건들을 폭넓게 변화시키면서, ITO 유리면에서 산화아연의 박막을 성장시킨후 박막의 형광특성을 조사하였다. 본 연구의 결과들은 FED 관련 형광체의 개발공정은 물론 대양전지와 집열판들의 제조 및 설계에 활용될 수 있을 것이다.

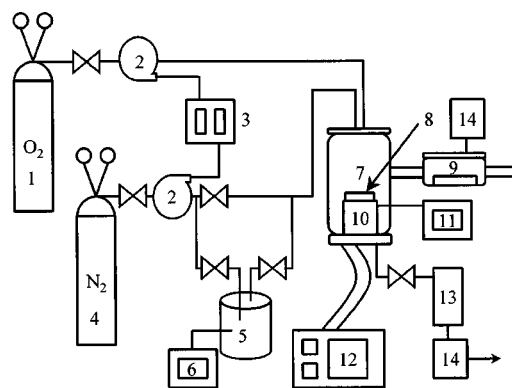


Fig. 2. Schematic diagram of MOCVD reactor.

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. O ₂ gas | 8. ITO glass |
| 2. MFC | 9. Loadlock chamber |
| 3. MFC readout | 10. RF heater |
| 4. N ₂ gas | 11. Temperature readout |
| 5. Bubbler | 12. Temperature controller |
| 6. Temperature readout | 13. Vacuum pump |
| 7. Main chamber | 14. Scrubber |

2. 실험

2-1. 실험장치

본 연구에서는 FED에서 형광박막으로의 사용을 목적으로 산화아연 박막 증착을 위하여 Fig. 2와 같은 저압 MOCVD 반응기를 제작하였다. 전구체는 약 8 °C의 기포발생기에서 운반기체에 의해 기포화되어 희석기체에 의하여 희석된 후 주반응로에 유입되면 350 °C이상의 반응온도에서 산소와 반응하여 산화아연 박막을 형성하고 반응가스는 반응기를 빠져 나가게 된다. 전구체의 용기는 기포발생기를 사용하여 ± 0.2 °C 이내의 오차로 온도를 일정하게 유지시켰다. 전구체(diethyl zinc, 순도>99.999%)는 액체형태로 밀폐된 용기에 보관되었다. 전구체의 운반 및 희석기체로는 질소(99.99%)를 사용하였다. 질소의 유량은 질량 유량 조절제(Bronghorst, TYPE F-221M-FA-88-P)에 의하여 조절되었다. 증착반응기는 스테인레스강 316으로 제작되었으며 수직냉각벽, 단일웨이퍼 증착용으로 구성되었다. 반응기의 구조는 직경 30 cm에 하단에 부착된 벨로우와 상하높이 조절기를 이용하여 가열판을 이동함으로써 높이를 자유로이 조절할 수 있는 원통형이며 반응기 상단부는 전체 직경 4인치, 홀직경 0.1 mm, 홀간의 간격 1 cm의 사위헤드가 부착되어 반응기로 유입되는 기체의 입구영향을 감소시키고, 반응기체를 균일하게 기관위로 이동하도록 하였다. 반응기 내부에는 4인치 기관을 놓을 수 있는 열판이 설치되어 있는데 표면온도를 1,000 °C 까지 올릴 수 있다. 가열판의 내부 및 표면에는 열전지를 각각 부착시켜 증착온도의 측정과 조절에 이용하였다. 반응기의 하단은 반응기 내부의 가스손실 방지를 위해 부착된 밀봉물질의 보호를 위해 냉각수관이 설치되어 있다. 한편 주반응기의 진공도를 유지시켜 주기 위해서 부반응기를 설치하여 기관의 출입시 생길 수 있는 진공도의 저하를 감소시켰다. 산화아연 증착에 이용되는 시편은 ITO(Indium Tin Oxide) glass를 사용하였다.

2-2. 실험방법

본 연구에서 사용한 시편은 diamond pencil을 사용하여 ITO glass를 잘라 3×3 cm 크기로 만든 다음, H₂SO₄:H₂O₂:H₂O(vol% 1:1:5)용액에서 10분간 세척한 후, NH₄OH:H₂O₂:H₂O(vol% 1:1:5)에서 10분간, 그리고 HCl:H₂O₂:H₂O(vol% 1:1:5)에서 10분간을 다음으로 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O(vol% 1:1:5)에서 10분간, 또한 각 단계별

Table 1. Experimental conditions for deposition of ZnO film

Item	Description
Precursor	Diethyl zinc
Substrate	ITO glass
Carrier gas, Dilution gas	N ₂
Reaction gas	O ₂
N ₂ gas flow rate	80-330 sccm
O ₂ gas flow rate	10-180 sccm
Bubbler temperature	5-20 °C
Bubbler pressure	600-680 torr
Deposition pressure	1-2 torr

세척후 이온교환기를 통과한 DI water로 세척을 하며 마지막으로 질소 purge하여 수분을 제거하였다. 세척을 완료한 시편은 오염방지를 위해 즉시 반응기에 투입하였다.

산화아연 증착 실험은 다음과 같이 실시하였다. 부반응기를 이용하여 시편을 주반응기까지 이동시킨 후 반응기의 압력을 조절하여 1시간가량 압력을 안정화시킨다. 동시에 열판의 온도를 서서히 원하는 증착온도까지 올려주고 안정화시킨다. 압력 및 온도가 안정화되면 온도가 제어되고 있는 기포발생기에 MFC를 통해 제어된 질소를 버블링시킨다. 동시에 회석기체와 반응기체를 투입하여 안정한 상태에서 반응이 일어나도록 하였다. 박막을 증착시키는 데에는 보통 한 시간이 소요되었다. 한 시간정도의 시간이 지난 후 온도가 낮아지면 시편을 주반응기에서 부반응기로 이동시켜 시편을 꺼낸다. 시편을 질소건으로 purge한 후 분석을 위해 밀봉하여 보관한다. 본 연구에서 사용한 증착 조건은 Table 1과 같다.

2-3. 박막분석

증착된 산화아연박막의 두께는 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 측정하였으며 균일도(uniformity)는 AFM(Atom-Forced Microscope), 박막의 결정구조분석을 위하여 XRD(X-ray Diffraction)를, 음극선 발광 특성을 위하여 CL(Cathodoluminescence)측정 장비를 각각 이용하였다.

3. 결과 및 검토

본 연구에서 실시한 산화아연박막 증착 실험에서는 온도에 대한 영향, 회석기체에 대한 영향, DEZ와 산소의 몰비에 따른 영향에 대해 중점을 두고 실험을 하였다. 먼저 온도에 대한 영향을 살펴보기 위하여 박막의 밀도 변화에 대하여 알아보았다. 박막의 두께는 SEM을 통하여 측정하였다. 온도에 따른 밀도변화는 Fig. 3에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 온도에 따라 밀도가 증가하다가 450 °C이상의 온도에서는 밀도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 반응물인 DEZ와 반응기체인 산소와의 반응이 완전히 일어나기 때문으로 보이며 저온에서 나타나는 금속 아연(metal zinc)이 고온으로 가면서 점점 없어지는 현상으로 알 수 있다. Fig. 4는 반응압력 1 torr, 운반기체유량 25 sccm, 반응기체유량 180 sccm, 회석기체유량 300 sccm, 기포발생기의 온도 8 °C에서 증착온도에 따른 증착속도를 도식한 것이다. 증착온도에 따라서 증착량이 증가하다가 그 이상의 온도에서는 증착량이 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 3과 4를 종합하여 보면 증착온도가 450 °C이상에서 밀도의 변화는 거의 없으나, 증착속도는 400 °C이상의 온도가 되면 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 반응은 완전히 일어나고 있으나 증착량은 감소하고 있다. 이는 증착량을 결정해 주는 결합계수(sticking coefficient)가 고온으로 갈수록 더 낮아지는 것이 원인으로 보여진다. 결합계수는 흡착계수와 탈착계수에 의해

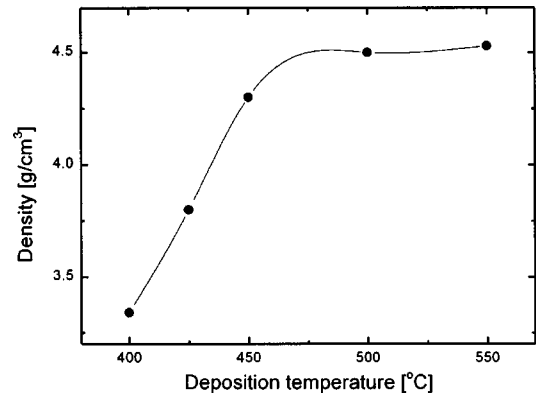


Fig. 3. Effect of deposition temperature on the density of ZnO film.

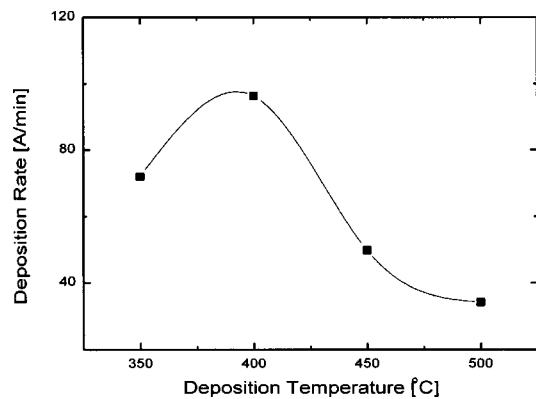


Fig. 4. Effect of deposition temperature on the deposition rate of ZnO film.

결정되어지는데 450-550 °C의 경우에는 탈착계수의 증가로 인하여 증착량이 감소한 것으로 보인다. 증착속도가 감소하는 원인은 위에서 나타난 탈착계수의 증가외에도 두 가지를 더 고려할 수 있는데, 첫째로 기상에서의 균일계반응을 지적할 수 있다. 이는 기판 표면 온도 증가에 따라 그 위에 존재하는 기체의 온도증가로 인하여 기체내부에서의 핵생성 및 생성핵 성장이 초래되어 상대적으로 박막증착속도를 감소시키는 결과를 낳게 되며 본 실험과 같이 분해에너지가 매우 작은 유기 금속화합물을 반응원료로 사용하는 반응기의 경우에 두드러지게 나타난다. 두번째로는 부력효과(buoyancy effect)를 들 수 있는데, 이는 반응기내의 유체의 양이 매우 적은 상태에서 높은 증착온도로 인한 기체의 상승효과에 의해 나타나는 것으로 보여진다. 반응기내의 유동장을 해석하게 되면 부력의 효과는 정량적으로 조사할 수 있을 것이다.

Fig. 5는 온도에 따른 SEM에 의해 관찰된 표면 형상을 나타내고 있는데 온도가 증가함에 따라 입자의 크기가 커지는 것을 보여주고 있다. 550 °C의 경우에는 입자크기가 매우 불균일함을 알 수 있는데, 이는 기판에 도달하기 전에 이미 반응이 일어난 후 기판에 도달하게 되면서 나타나는 현상으로 추측되어진다. 또한 온도가 높아지면 기판 표면에서의 입자들의 이동도, 즉 표면 이동도가 높아지게 되어 반응이 왕성해지고 이에따라 입자크기가 불규칙하게 나타나는 것으로 보여진다. 이는 반응온도가 550 °C의 경우 반응기 벽면에 반응물이 결합되는 현상으로 그 근거를 찾을 수 있다. 일반적으로 증착온도가 450 °C에서 가장 높은 증착속도를 보이고 있으며, 균일도 역시 450 °C에서 가장 좋은 것으로 나타났다. 한편 Fig. 6은 원자력 현미경(AFM)으로 관찰한 온도에 따른 박막의 표면 변화를 보여 주고 있다. 증착량

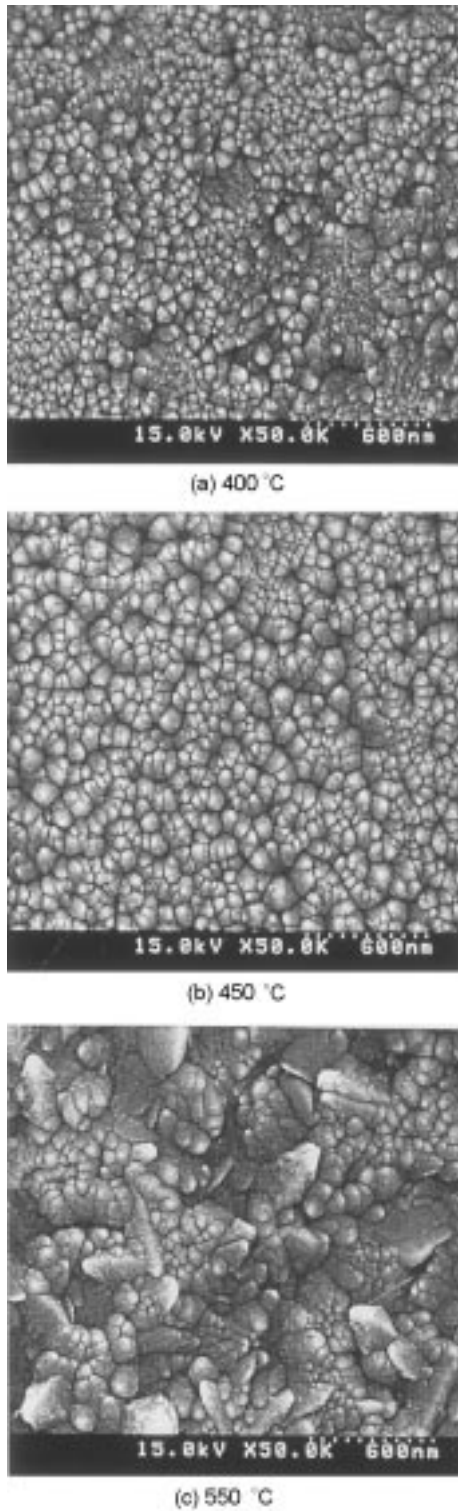


Fig. 5. SEM images of ZnO film at various deposition temperature.

이 350 °C에서는 1,044 Å, 450 °C에서는 1,400 Å, 500 °C에서는 381 Å의 두께로 나타났다. 그러나 전체 두께 대비 균일도의 측면에서는 온도가 높을수록 균일도가 나빠지는 것을 확인할 수 있었다. 그림에서 보면 350 °C의 경우는 전 면적에 걸쳐서 고르게 나타나는 반면에 450 °C, 500 °C로 갈수록 최대값과 최소값의 차이가 매우 커짐을 알 수 있다. 이는 증착온도에 따른 반응속도의 변화와 반응기내의 이동 현상에 관계되어 나타나는 것으로 보여진다. Fig. 7은 온도에 따른 x

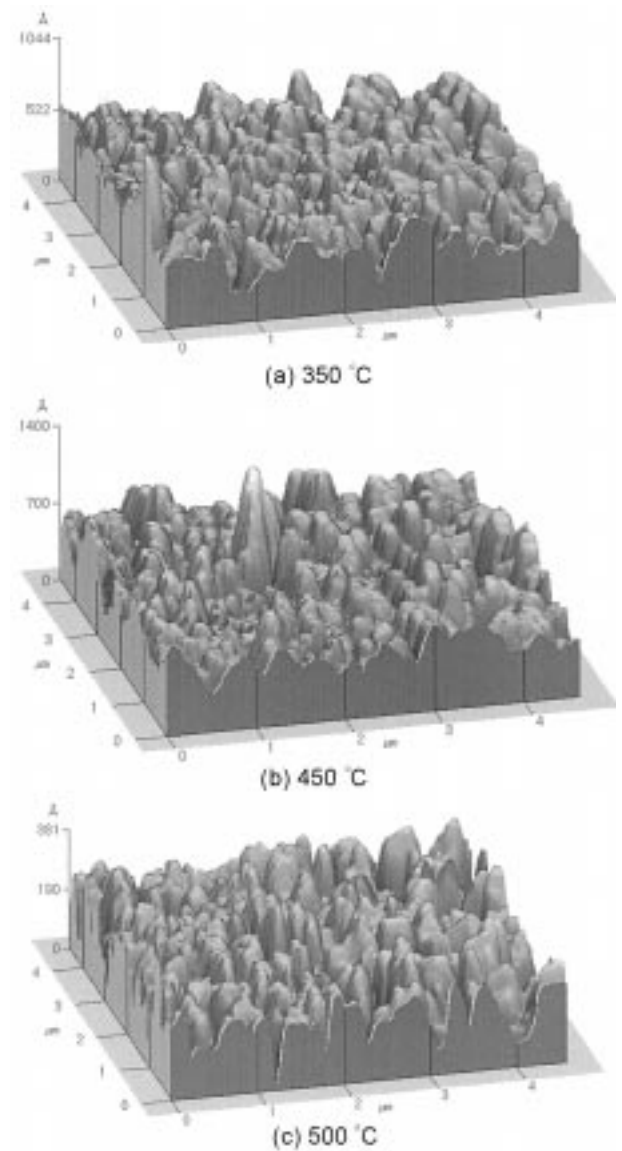


Fig. 6. AFM images of ZnO film at various deposition temperature.

선 회절분석(XRD)데이터를 나타낸 것이다. 여러 회절 피크가 나타나는 분말형 형광체와는 달리 모두 (002) 회절 피크가 나타난다. 따라서 기질 표면에 수직인 c-축 배향성을 갖는 것으로 알 수 있다. 또한 증착온도 500 °C에서 최대의 결정피크가 얻어졌으며 400 °C이하에서는 비정질이 나타났는데 이는 결정화 에너지의 부족에 기인한다.

Fig. 8은 반응기체의 조성, 즉 DEZ와 산소의 몰비에 따른 증착속도의 영향을 나타낸 것이다. 이 실험은 증착온도 500 °C, 운반기체 유량 25 °C, 희석기체의 유량 300 sccm, 기포발생기의 온도 8 °C의 조건에서 수행되어졌다. 위의 실험조건의 경우 몰비에 따라 일정하게 증착속도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 산소와 DEZ의 몰비가 2:1정도로 유지될 때 증착속도가 가장 좋으며 그 이상의 산소공급은 반응을 저해하는 것을 알 수 있다. 이는 반응에 필요한 양이외의 산소는 희석기체의 역할을 하는 것으로 고려된다. Fig. 9는 앞의 실험조건에서 희석기체(dilute gas)인 질소의 유량에 따른 XRD 분석 결과이다. 본 연구에서는 희석기체의 유량이 적을 경우인 100 sccm인 경우에 제일 좋은 결정성을 보이고 있다. Fig. 8에서는 증착량이 높을수록 결정성이 낮아짐을 보여주었고 있지만, Fig. 9의 XRD 결정성 분석 결과에 따르면 전체 유량중에 산소의 몰비가 커질수록 결정성이 향

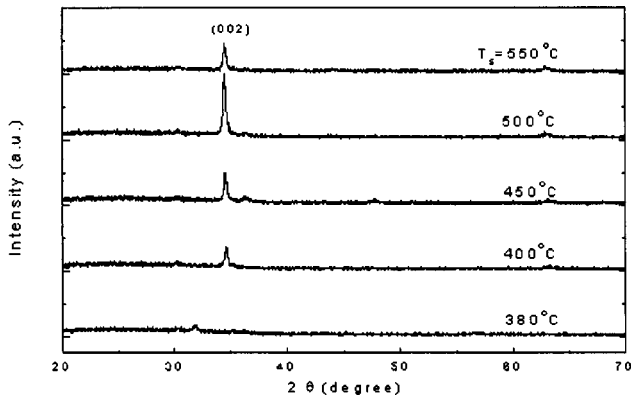


Fig. 7. Effect of deposition temperature on XRD patterns.

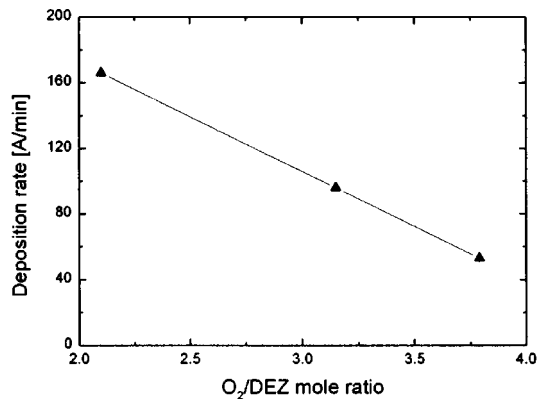
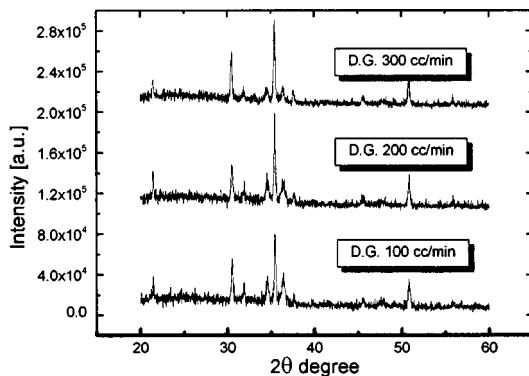
Fig. 8. Effect of O₂/DEZ mole ratio on the deposition rate of ZnO film.

Fig. 9. Effect of the flow rate of dilution gas on XRD patterns.

상됨을 보여주고 있다. 즉, 질소의 유량이 줄어들수록 상대적 산소의 몰비는 증가하고 있다. 결국 산소가 충분히 공급될 때 막의 결정성이 더 좋아진다는 것을 보여주는 결과라고 말할 수 있다.

마지막으로 산화아연의 FED응용을 위한 음극선 발광(CL: Cathodoluminescence)을 측정하였다. Fig. 10은 온도에 따른 음극선 발광 세기를 보여주고 있다. 측정은 0.2 μ A 발광 전류와 13 keV 가속전압에서 수행되었고 10^{-7} ton로 유지되었다. 일반적으로 본 실험에서 제조된 산화아연박막의 경우, 450 nm와 540 nm에서 넓은 발광 피크를 보여주고 있다. CL발광은 1.2 keV 가속전압 이하에서는 관찰되지 않았다. 증착 온도가 500 °C일 경우가 가장 높은 CL강도를 보여주었다. 본 연구에 있어서 CL강도는 FED에 적용하기에 매우 낮은 측정값을 갖는 것으로 나타났다. 이에 대한 원인을 분말형 형광체와 비교해 보면 분말형 형광

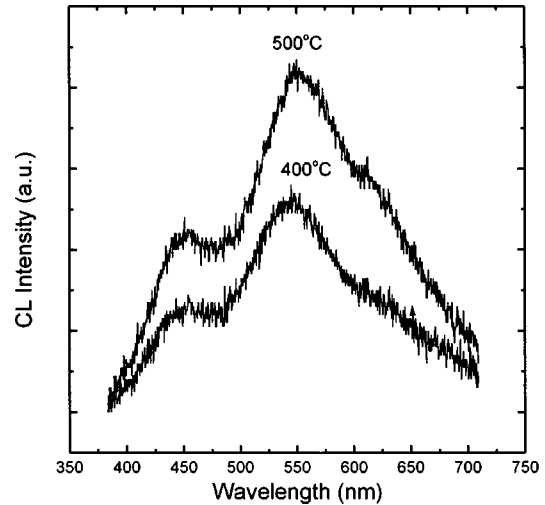


Fig. 10. Cathodoluminescent spectra of ZnO thin film phosphor.

체는 다중분산(multiscattering)으로 인해 발광의 세기가 증가하는 반면에 본 실험에서 제조된 박막형 형광체의 경우는 그에 따른 효과가 없기 때문에 보여진다. 분말형 형광체는 분말 사이에 dead layer라는 비발광층이 존재하므로 인해서 각각의 분말간에 발광이 일어난 후 서로의 간섭에 의해서 다단계로 발광이 일어나는데 반해 박막형 형광체의 경우에는 이러한 dead layer 역할을 하는 층이 없음으로 인해서 다중분산이 일어나지 못한다. 이를 극복하기 위해서는 박막의 제조시 다층막을 구성하도록 막의 특성을 변화하면서 실험조건을 조절하는 것이 박막형 형광체에서 다중분산효과를 갖게 하는 대안으로 보여진다.

4. 결 론

본 연구에서는 FED의 양극판에서의 사용을 위하여 MOCVD 방법을 이용하여 diethyl zinc과 산소를 이용하여 산화아연박막을 350 °C에서 550 °C사이의 온도에서 증착하였다. 박막의 특성분석을 위하여 온도에 대한 영향, 희석기체에 대한 영향, DEZ와 산소의 몰비에 따른 영향에 대해 중점을 두고 실험을 하였으며 이에 따른 증착속도와 박막의 특성을 조사하였다. 증착된 산화아연박막의 두께는 3,000-10,000 Å이 있으며 증착속도는 50-150 Å/min이었다. 박막의 특성을 결정짓는 가장 큰 요소는 증착온도인 것으로 나타났다. 온도의 증가에 따라 증착속도가 증가하다가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 온도에 따른 탈착속도의 변화에 기인한 것으로 나타났다. 증착온도가 550 °C이상일 경우에는 기상에서의 입자형성 및 탈착 속도의 증가로 인해 박막 표면의 상태가 열악하였으며 350 °C이하일 경우에는 낮은 반응온도로 인해 반응이 거의 발생하지 않았다. 음극선발광 측정결과 FED에 사용하기에는 낮은 것으로 나타났다. 이에 대한 이유는 분말형광체에서 발생하는 빛의 다중분산을 일으킬 수 있는 dead layer가 존재하지 않기 때문으로 보이며 이를 극복하기 위해서는 다층 방식으로 박막을 제조하는 것이 하나의 대안으로 보여진다. 보다 지속적인 연구를 통하여 실제 FED에 응용할 정도의 박막제조공정의 조건들이 도출되어야 할 것으로 기대된다.

감 사

이 논문은 1999년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

참고문헌

1. Samsung Advanced Institute of Technology: Proc. 2nd Workshop on Advanced Technologies for Flat Panel Displays-Demand Forecasting for FED Technology/Market, 91(1997).
2. Curtin, C. and Infante, C.: SID Short Course S-3, Boston(1997).
3. Spindt, C. A., Brodie, I., Humphrey, L. and Westerberg, E. R.: *J. Appl. Phys.*, **47**, 5248(1976).
4. Shrader, R. E. and Leverenz, J. W.: *J. Opt. Soc. Am.*, **37**, 934(1947).
5. Pennebaker, W. B. and O'Hanlon, J. F.: *J. Appl. Phys.*, **45**, 1315(1974).
6. Pfahnl, A.: *J. Electrochem. Soc.*, **109**, 502(1962).
7. Shealy, J. R., Baliga, B. J., Field, R. J. and Ghandhi, S. K.: *J. Electrochem. Soc.*, **128**, 558(1981).
8. Lee, P., Mckenna, D., Kapur, D. and Jensen, K.F.: *J. Crystal Growth*, **77**, 120(1986).
9. Kim, E. J. and Gill, N.: *J. Electrochem. Soc.*, **141**, 3462(1994).
10. Hirata, G. A., Mckittrick, J. and Lopez, O. A.: 1st Int. Conf. on the Science and Technology of Display Phosphor, Extended Abstracts, 167(1995).
11. Lee, Y. H., Song, M. H., Ju, B. K. and Oh, M. H.: 9th Int. Vacuum Microelectronics Conf., 619(1996).