

## 전면발광 유기광소자용 박막 봉지를 위한 유도결합형 화학 기상 증착 장치

### Inductively Coupled Plasma Chemical Vapor Deposition System for Thin Film Ppassivation of Top Emitting Organic Light Emitting Diodes

김한기<sup>1,a</sup>  
(Han-Ki Kim<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

We report on characteristics of specially designed inductively-coupled-plasma chemical vapor deposition (ICP-CVD) system for top-emitting organic light emitting diodes (TOLEDs). Using high-density plasma on the order of  $10^{11}$  electrons/cm<sup>3</sup> generated by linear-type antennas connected in parallel and specially designed substrate cooling system, a 100 nm-thick transparent SiN<sub>x</sub> passivation layer was deposited on thin Mg-Ag cathode layer at substrate temperature below 50 °C without a noticeable plasma damage. In addition, substrate-mask chucking system equipped with a mechanical mask aligner enabled us to pattern the SiN<sub>x</sub> passivation layer without conventional lithography processes. Even at low substrate temperature, a SiN<sub>x</sub> passivation layer prepared by ICP-CVD shows a good moisture resistance and transparency of  $5 \times 10^{-3}$  g/m<sup>2</sup>/day and 92 %, respectively. This indicates that the ICP-CVD system is a promising method to substitute conventional plasma enhanced CVD (PECVD) in thin film passivation process.

**Key Words :** Inductively-coupled-plasma chemical vapor deposition, Top-emitting organic light emitting diodes, SiN<sub>x</sub>, Passivation, Linear-type antenna

#### 1. 서 론

미국 Eastman Kodak사의 Tang과 VanSlyke에 의해 고휘도 유기발광소자 (Organic Light Emitting Device)가 처음 발표된 1986년 이후 유기발광소자는 평판디스플레이(FPD) 분야에서 차세대 디스플레이로 각광을 받고 있으며 전 세계적인 기술 개발이 활발히 진행 되고 있다[1]. 이는 LCD와는 달리 자체 발광에 의한 고효율, 저전압 구동, 넓은 시야각, 간단한 공정, 그리고 빠른 응답속도 등의 특징을 가지고 있어 고화질의 동영상 표현할 수

있는 장점을 가지고 있기 때문이다. 또한 유기물의 유연한 특성을 이용한 플렉서블 디스플레이 및 유기물 전자소자에 대한 응용도 기대되고 있다[2,3]. 그러나 유기발광소자에 사용되는 유기물은 불순물, 산소 및 수분에 매우 민감하여 외부 노출 및 수분/산소 침투에 의해 특성이 쉽게 열화 되는 문제를 가지고 있다[4-6]. 흑점으로 대표되는 유기물의 열화 현상은 유기발광소자 구동 시 발광특성에 영향을 미치고 소자 수명을 저하시킨다[7]. 따라서 고품위의 유기발광소자를 제작하기 위해선 수분 및 산소의 침투에 의한 소자열화 현상을 방지할 수 있는 봉지 공정이 (encapsulation process) 필수적이다. 현재 유기발광소자에 사용되는 봉지 공정은 투명흡습제가 도포된 0.7 mm 두께의 유리 또는 금속 캔을 유기발광소자 상부에 접착시키는 방식을 사용하고 있다[7]. 이 공정을 통한 소자 제작은

1. 국립금오공과대학교 신소재시스템공학부  
(경북 구미시 양호동 1)  
a. Corresponding Author : hkkim@kumoh.ac.kr  
접수일자 : 2006. 1. 10  
1차 심사 : 2006. 4. 3  
심사완료 : 2006. 4. 5

소자의 단가 증대뿐만 아니라 소자의 두께를 증가시키는 문제가 있어 향후 유기발광소자의 휴대용 표시소자 응용 및 플렉서블 디스플레이 실현화를 위해서는 새로운 봉지 공정과 봉지용 물질개발이 필수적이다[8]. 특히 최근 고휘도 유기발광소자로 각광 받고 있는 전면발광 유기발광소자 (TOLED)의 경우 그 특성상 대부분의 빛이 상향으로 발광하기 때문에 투명한 박막형 봉지 공정 및 재료의 개발이 필요하다. 이러한 투명 박막형 봉지 제작 공법으로는 PECVD, ALD(Atomic Layer Deposition) 그리고 IBAD (Ion Beam Assist Deposition) 등이 기대되고 있으며, 금속(Al), 무기물(SiN<sub>x</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiON<sub>x</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등), 유기물 그리고 이들을 이용한 복합층등이 가능성 있는 박막 봉지 재료로 보고되고 있다[9-15]. 그러나 이들 무기물 박막을 성막할 때 주로 사용하는 PECVD 방식은 유기발광소자가 성막 공정 시 플라즈마에 노출되어 유기물 특성에 영향을 주는 단점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 기판 온도의 상승으로 인해 유기발광소자의 유기물층 결정화가 일어나 수명에 영향을 주기 때문에 유기발광소자의 특성에 영향을 주지 않는 새로운 무기물 성막 공법 개발이 절실한 상황이다. 특히 기판과 금속 마스크를 정렬함으로써 박막 봉지층을 패터닝 하고, 동시에 플라즈마를 사용함에 있어서 그 영향을 최소화 할 수 있는 유기발광소자 전용의 무기물 성막 시스템이 필요하다.

본 논문에서는 전면발광 유기발광소자의 투명 박막 봉지로 기대되고 있는 SiN<sub>x</sub> 박막을 성장시키기 위한 유기발광소자용 유도결합 플라즈마 화학 기상장치를 개발하여 그 특성에 관하여 논하였다. 본 장치는 유기발광소자의 사각형 유리 기판의 특성을 고려하여 외장형 선형 안테나 및 사각 타입 가스 주입 시스템을 갖추고 있으며, 유기발광소자의 공정을 고려하여 시스템 내에 마스크 정렬기구 및 저온 냉각 장치가 포함된 칩을 도입하였다. 이를 통하여 유기발광소자용 고품질의 저온 SiN<sub>x</sub> 박막을 성장시킬 수 있었으며 전면발광 유기발광소자의 필수 요소인 고품위 투명 박막 봉지를 구현하였다.

## 2. 실험

그림 1은 본 연구에서 개발된 유도결합 플라즈마 화학기상장치의 개략도를 나타낸다. 크게 플라즈마를 형성시키는 선형안테나, 반응 가스를 주입

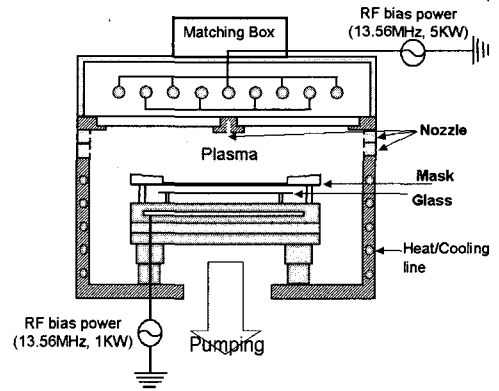


그림 1. 유기발광소자의 박막 봉지용 유도 결합 플라즈마 화학 기상 증착 장치.

Fig. 1. Inductively coupled plasma chemical vapor deposition (ICP-CVD) system for thin film passivation of OLEDs.

시키는 사각 타입의 노즐, 저온 공정을 가능케 하는 기판 냉각부, 그리고 기판과 금속 마스크를 정렬하는 얼라인 부로 나뉜다. 370×400 mm 사이즈의 2세대 기판 사용이 가능하며 클러스터 타입의 시스템과 연결이 가능한 시스템이다.

### 2.1 대면적 기판 상에 균일한 플라즈마 형성하기 위한 선형 안테나

그림 2는 유도결합 플라즈마 화학기상 성막장치의 상부에 장착된 선형 유도결합 안테나의 구조를 개략적으로 나타내었다.

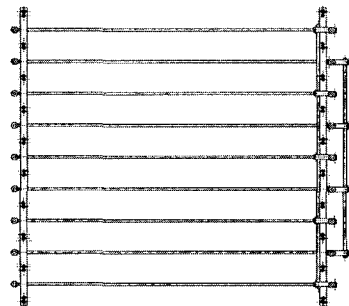


그림 2. 유기발광소자용 유도결합 플라즈마 화학 기상증착 장치의 선형안테나의 구조.

Fig. 2. Schematic structure of linear antenna in ICP-CVD for OLEDs.

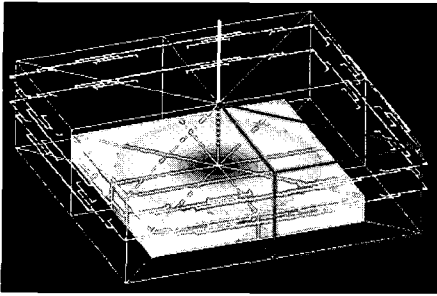


그림 3. 유기발광소자용 유도결합 플라즈마 화학 기상증착 장치의 사각 타입 가스 노즐 구조.  
Fig. 3. Square type gas nozzle structure of ICP-CVD for OLEDs.

플라즈마가 형성되는 외부에 장착되는 외장형 안테나이며, 원형 기판을 사용하는 Si 공정과 달리 사각형 기판을 사용하는 유기발광소자의 특성을 고려하여 선형의 안테나 구조를 채택하였다. 안테나의 재질은 파이프형 구리로 이루어 졌으며 내부는 온도 상승을 막기 위해 냉각수를 흘려줄 수 있다. 또한 안테나 외부는 은(Ag)도금을 통해 표면저항을 낮춰 고주파의 흐름을 원활히 하였다. 이와 같은 선형 구조의 유도결합 안테나는 플라즈마 균일도 시뮬레이션 결과에서 1.4 %이하의 높은 플라즈마 균일도를 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 안테나간의 간격 및 안테나의 높이를 자유롭게 조절할 수 있어 플라즈마 균일도 및 박막 균일도 최적화에 유리한 구조를 채택하였다. 그림 2에 나타내듯이 전체 9개의 선형 안테나로 플라즈마 소스를 구성하며 이중 5개의 안테나에 RF power가 입력된다. 인가된 RF power가 국부적인 영역에서 소모되어 나타나는 non-uniformity capacitive field 효과를 상쇄하는 구조의 안테나이다.

## 2.2 사각 Glass 기판을 고려한 양방향 독립 가스 분포

그림 3은 유도결합 플라즈마 화학기상 성막장치의 가스 주입 경로 및 사각타입 가스 노즐의 원리를 나타낸 것이다. 대면적 기판에 증착 균일도를 확보하기 위해 소스 가스(source gas)는 중앙 및 테두리 두 영역으로 주입된다.

중앙 영역의 가스는 기판의 가운데 부분에 주입되는 반면, 테두리 영역의 가스는 챔버 둘레 4개의 면을 통해 분리되어 이중으로 주입된다. 플라즈마 특성 및 SiN<sub>x</sub> 박막의 균일도 최적화 시 중앙부의

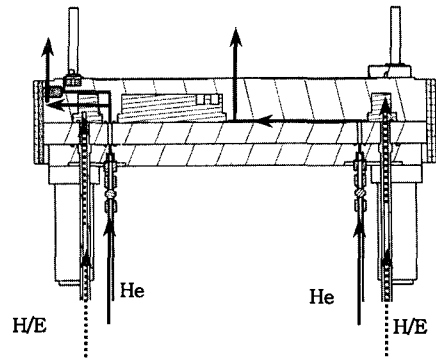


그림 4. 유기발광소자용 저온 냉각척의 단면도.  
Fig. 4. Cross sectional image of cooling chuck system of ICP-CVD for OLEDs.

노즐과 사이드의 노즐의 가스 주입을 적절히 조절하여 균일도 및 박막의 특성 조절이 가능하다. 그림 3에 나타내듯이 각각의 테두리 가스 노즐은 중심을 기준으로 같은 기판 면적을 차지하며 가스를 분사하기 때문에 사각타입의 유리 기판에 성막을 할 경우 박막의 균일도를 향상시키기 유리한 구조이다. 특히 각각의 노즐이 동일한 유리 기판 면적을 담당하게 하여 성막 시 균일도를 극대화 할 수 있는 구조를 채택하였다.

## 2.3 저온 증착이 가능하도록 기판 및 마스크 냉각이 가능한 기판 저온 냉각척

그림 4에 저온 냉각척 장치의 모식도를 나타내었다. 고밀도 플라즈마를 사용하는 유도결합 플라즈마 화학기상 성막장치는 일반적으로 플라즈마 형성 시 이온 충돌 및 플라즈마 복사에 의해 기판의 온도가 상승되는 것으로 알려져 있다.

따라서 유기물 특성상 저온 증착이 필수인 유기발광소자 공정에 유도결합 플라즈마 화학기상 성막 장치를 적용하기 위해서는 기판을 냉각할 수 있는 장치가 필수적이다. 본 유도결합 플라즈마 화학기상 성막 장치는 박막 성막 시 플라즈마를 통해 발생하는 기판 온도 상승 현상을 저온 냉각척을 이용하여 기판을 냉각시켜 유기물을 보호할 수 있는 구조를 채택하였다. 특히 유기발광소자 공정에서 SiN<sub>x</sub>의 패터닝을 위해 사용되는 금속 마스크의 냉각 역시 동시에 이루어져야 하기 때문에 기판과 금속 마스크 프레임에 He 가스를 직접적으로 공급하여 냉각효과를 극대화하였다. 그림 4에 나타

넨 바와 같이 척의 중앙에서 공급되는 He 가스는 기관하부로 주입되어 He 통로를 따라 기관에 전달되어 냉각척의 냉각효과를 극대화하며, 기관의 테두리 영역에서 공급되는 He 가스는 사이의 He 통로를 따라 이동하여 마스크를 지지하는 마스크 프레임에 공급되어 마스크의 냉각효과를 유도하게 되어 있다. 또한, 척의 온도를 일정하게 유지하기 위해 열교환기를 사용하였으며 이는 기관의 온도 상승을 간접적으로 방지하는 효과를 기대할 수 있다.

### 2.4 유리 기관-마스크 정렬을 위한 정렬장치

유기발광소자는 현재 통상적으로 금속 마스크를 이용하여 각 셀을 패터닝하기 때문에 유도결합 플라즈마 화학기상 성막장치 내에 SiN<sub>x</sub>를 패터닝하기 위한 별도의 금속 마스크의 정렬 장치가 필요하다. 이를 위하여 본 유도결합 플라즈마 화학기상 성막장치 내에는 그림 1에 나타내듯이 별도의 외부 정렬 장치 없이 챔버 내부에서 기관 정렬이 가능한 척을 설계하였다. 금속 마스크를 통하여 기관과 마스크를 정렬하기 위해선 먼저 기관의 정렬이 필요한데 이를 위해 중앙부에 He 가스주입 및 기관의 테두리를 밀어줄 수 있는 정렬 시스템을 고안하였다. 정렬 시 중앙부에서 He 가스가 주입되면 약간 기울어져 있는 척 구조에 의해 한쪽으로 기관이 이동을 하게 되고 동시에 테두리에서 기관을 밀어주어 기관의 정렬 오차를 최소화 하였다. 이 방법에 의한 정렬 장치는 구성이 간단하며 구동부 자체가 플라즈마에 노출되지 않기 때문에 플라즈마를 이용하는 공정에 유리한 특징을 가지고 있다.

### 2.5 SiN<sub>x</sub> 박막 증착

전면 발광 유기발광소자의 투명 박막 봉지를 위한 SiN<sub>x</sub> 박막의 성장을 위해 SiH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, Ar 그리고 He 가스를 유도결합 플라즈마 화학기상 성막장치의 반응 가스로 사용하였다. 유도결합 플라즈마를 통한 SiN<sub>x</sub> 박막 형성을 위해 소스 가스는 주로 SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> 혹은 SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>가 일반적으로 사용되어 왔으나 NH<sub>3</sub> 가스를 사용한 증착의 경우 박막내의 수소 함량이 증가하여 고유 특성을 저하시키는 문제가 있어 이를 대신하여 N<sub>2</sub> 가스를 사용할 경우 특성이 더 우수한 것으로 알려져 있다[16]. 특히 투명 봉지용 SiN<sub>x</sub>의 경우 NH<sub>3</sub>사용에 따른 박막의 유기물 혹은 금속층과 접착력 문제가 발생하기 때문에 N<sub>2</sub>가스를 반응가스로 선택하였다. 기관은 370 × 400 mm 크기의 2세대 유리 기관을 사용하였으

며 성장된 SiN<sub>x</sub> 두께 측정은 Ellisometer (SOPRA社, SE-5 FPD)와 알파스텝을 이용하였다. 유도결합 플라즈마 화학기상 성막장치에 의한 SiN<sub>x</sub> 성막 공정 시 플라즈마에 의한 소자 특성 손상 검증을 위해 HIL/HTL/EML/ETL/LiF/Mg-Ag 구조의 테스트용 유기발광소자에 SiN<sub>x</sub> 박막을 증착하여 이를 SiN<sub>x</sub> 박막이 증착되지 않은 시편과 전기적, 광학적 특성을 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

유도적인 특성을 가지고 있는 안테나에 고주파 신호(RF)를 인가하면 안테나의 내부에는 빠른 속도로 교차하는 전자기장이 형성되고 이때 전자와 같은 하전 입자가 챔버 내부에 있으면 전자기장의 변화에 따라 운동을 하게 된다. 이와 같이 외부 안테나의 전자기장 변화에 의해 하전된 입자가 영향을 받아 플라즈마가 형성되고 이를 유도형 플라즈마(Inductively Coupled plasma)라 한다. 유도형 플라즈마 방법을 이용할 경우는 코일형, 선형 그리고 원형 등으로 대표될 수 있는 안테나의 형태를 선정하는 것이 제일 중요하다.

이에 본 실험은 제작이 용이하고 대면적 플라즈마 균일도 확보가 유리하다고 알려진 선형의 안테나를 선택하였다. 구체적인 안테나 모양을 결정하기 위해 안테나에 인가되는 RF power 분포 분석을 통해 유도되는 플라즈마의 밀도를 예측하였다.

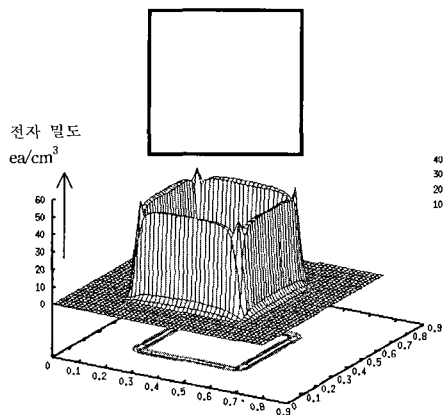


그림 5. 사각 구조를 가진 선형 안테나의 RF power 밀도 시뮬레이션 결과.

Fig. 5. RF power density simulation result of simple square type antenna.

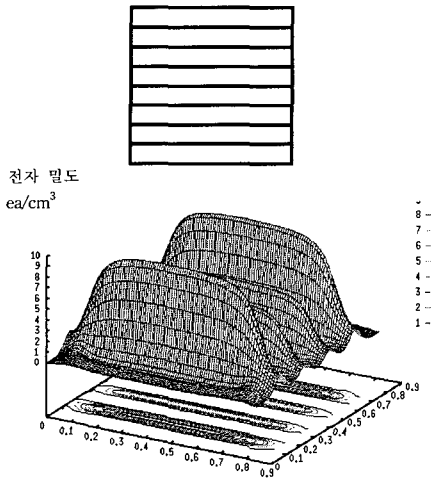


그림 6. 선형 안테나가 첨가된 선형 안테나의 RF power 밀도 시뮬레이션 결과.  
 Fig. 6. RF power density simulation result of linear type ICP antenna.

RF power 분포를 시뮬레이션 하기 위해 안테나가 장착되어 있는 상부를 안테나영역, 세라믹 윈도우에 의해 분리되어 진공상태에서 플라즈마가 형성되는 곳을 플라즈마 영역이라 정의하였다. 그림 5와 그림 6은 안테나 모양에 따른 챔버내 RF power의 밀도 분포 시뮬레이션 결과이다. 그림 5는 단순한 사각 형태의 안테나에서 나타나는 RF power의 밀도 분포는 경계영역에서만 밀도가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이에 비해 그림 6은 사각형 내부에 여러 개의 안테나를 구성할 때 RF power의 균일한 분포를 얻을 수 있었다. 또한 사각형 내부에 구성된 안테나의 간격에 따른 RF power 분포가 달라지는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

상기의 시뮬레이션 결과를 통해 챔버 크기와 기판크기(370 × 400 mm)를 고려한 안테나 구조를 도출하였다. 이를 이용하여 형성시킨 플라즈마 시뮬레이션 결과를 그림 7에 나타내었다. RF power를 5개의 안테나로 인가할 경우가 RF power 불균일 및 안테나 상호작용을 고려한 최적의 조건인 것으로 나타났다. 전체적으로 균일한 전자밀도를 나타내었으며, sheath가 형성되는 경계영역에서는 전자밀도가 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션을 통한 플라즈마 내의 이온 균일도는 1.4%를 나타내었다.

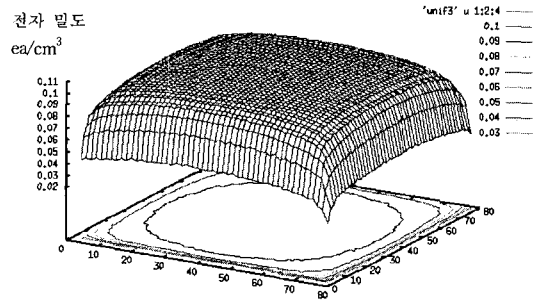


그림 7. 시뮬레이션 결과로 도출된 안테나를 이용한 플라즈마 내의 전자 밀도.  
 Fig. 7. Electron density in plasma calculated based on simulation result.

그림 8은 상기의 결과를 바탕으로 실제 제작된 선형 안테나를 사용하여 형성된 플라즈마 내의 전자밀도를 Langmuir probe를 이용하여 측정한 결과이다. 플라즈마 발생조건은 Ar 가스를 중앙과 테두리 노즐에서 각각 30 sccm 흘려주었으며, 압력은 5 mTorr로 유지 시켰다. 플라즈마 내 전자의 밀도는 공정 변수에 따라  $10^{10} \sim 10^{11}$  ea/cm<sup>3</sup> 값을 나타내었으며, 플라즈마의 중앙을 기준으로 대칭적인 분포를 나타냄을 알 수 있었다.

RF power 2000 W 조건에서 5.9 %의 플라즈마 균일도를 나타내었으며, 모든 조건에서 10 % 이내

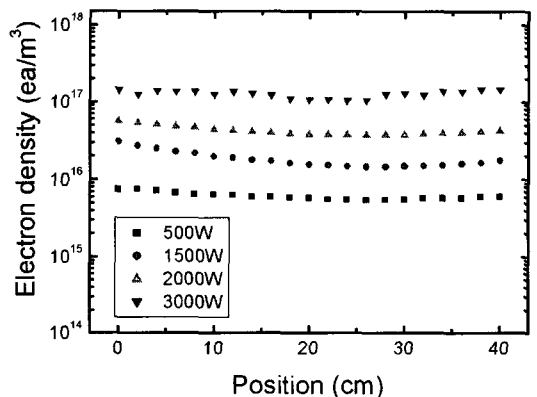


그림 8. Langmuir probe방법으로 측정된 RF power 변화에 따른 플라즈마 내의 전자밀도의 변화.  
 Fig. 8. Electron density measured by Langmuir probe as a function of RF power.

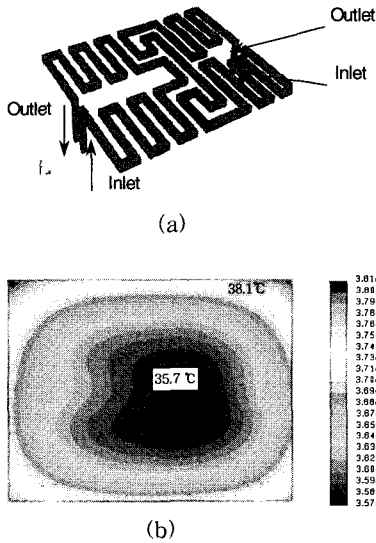


그림 9. (a)유도결합플라즈마 화학기상 장치의 저온 냉각적 내부 냉각수 공급 경로와 (b) 플라즈마 발생시 기판의 온도 분포(열교환기 온도 20 °C 유지).

Fig. 9. (a) Heat exchanger lines in cooling chuck system in ICP-CVD (b) temperature distribution at substrate during plasma generation.

의 균일한 밀도를 나타내었다. 그림 8에 나타내듯이 RF power가 500 W에서 3000 W로 증가함에 따라 플라즈마 내의 전자 밀도가 증가함을 발견할 수 있는데 이는 챔버내에 유도되는 전자기장의 세기가 증가함에 따라 플라즈마 생성효율이 증가하기 때문이다. RF power 증가에 따른 플라즈마 밀도의 증가는 E. L. Tsakadze 등의 결과와 일치한다[17]. 또한, 플라즈마 발생 시 기판온도는 50 °C 이하로 유지되는 것을 thermo-tape를 이용한 온도 측정 결과에서 알 수 있었는데 이는 플라즈마에 의해 생성된 입자가 기판과 충돌하면서 발생하는 열이 척의 냉각장치에 의해 효과적으로 제거 되는 것을 의미한다.

그림 9는 냉각적 내부 열교환기에 의해 냉각수가 이동하는 경로와 이에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 유기물의 경우 플라즈마의 노출에 아주 민감하기 때문에 플라즈마를 사용하는 공정의 경우 50 °C이하의 기판 온도를 유지시켜야 한다. 냉각수가 공급되는 경로는 사각 (12 × 10 mm) 형태로 냉각척의 하부를 가공하는 방법으로 제작되

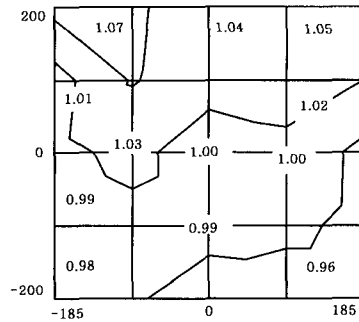


그림 10. 유기발광소자용 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 장치에 의해 증착된 저온 SiNx 박막의 두께 분포.

Fig. 10. Thickness distribution of the SiNx films grown by ICP-CVD for OLEDs.

었다. 또한 대면적의 기판에 원활한 냉각을 위해 두 영역으로 분리되어 냉각수가 공급되었다. 그림 11에 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 경계조건은 냉각수 유속 0.5 m/s, 온도 20 °C, 그리고 플라즈마에 의한 분위기 온도를 120 °C로 각각 설정하였다. 기판에 온도는 테두리 영역에서 38.1 °C로 가장 높게 나타났다. 상기에서 설명 했듯이 실제 기판 온도를 측정해 본 결과 5 % 이내의 온도 균일도를 나타내었으며 열교환기를 이용하여 균일도 5 %이내에서 50 °C 이하의 온도를 유지할 수 있었다.

그림 10은 유도결합 플라즈마 화학기상 증착장치를 이용하여 370×400 mm 사이즈의 유리 기판에 성장시킨 SiNx 박막의 균일도 결과를 나타낸 것이다. 기판크기는 370×400 mm에서 테두리 5 mm 안쪽으로 일정간격 지점의 두께를 측정하였다.

중앙부위의 두께를 기준으로 0.07 범위의 두께 분포를 보였으며, 균일도는 5.86 %를 나타내었다. SiNx 박막의 굴절률은 모든 영역에서 1.8의 값을 나타내었다. SiNx 증착 시 기판온도 측정결과 역시 50 °C 이하의 값을 나타내었다. 따라서 본 유도결합 플라즈마 화학기상 증착장치를 80 °C 이하 온도가 요구되는 유기발광소자기 공정에 응용이 가능함을 기대할 수 있다.

그림 11은 유도 결합 화학 기상 증착 장치를 이용하여 성막한 SiNx 박막의 투과율을 나타낸다. 1000 W의 소스 파워와 100 W의 바이어스 파워를 인가해 SiH4/N2 분위기내에서 100 nm 두께의 SiNx 박막을 유리 기판 상에 성막하였다. 낮은 온

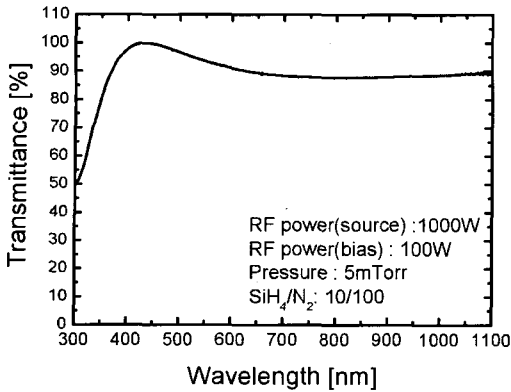


그림 11. 전면발광 유기발광소자용 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 장치에 의해 성막된 저온 SiNx 박막 투과도.

Fig. 11. Transmittance of the SiNx films grown by ICP-CVD for TOLEDs.

도에서 성막한 박막임에도 불구하고 조건에 따라 550 nm의 파장에서 85~92 %의 높은 투과도를 나타내었다. 이때 SiNx의 굴절률은 1.78~1.89사이의 값을 조건에 따라 나타내었다. Si와 N의 조성비에 따라 SiNx 박막의 투과율이 결정되는데 본 실험에서는 SiH4에 비해 N2가스가 많이 주입되기 때문에 상대적으로 N-rich의 SiNx 박막이 형성되어 일반적인 결정질 SiNx 보다 낮은 굴절률을 나타내게 된다.

플라즈마 노출에 의한 소자의 열화 특성을 분석하기 위해 HIL/HTL/EML/ETL/LiF/Mg-Ag구조의 테스트 셀 상에 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 장치로 SiNx 박막을 봉지막으로 증착한 후 전기적 특성을 측정하였다. 이때 SiNx 박막이 증착 되지 않은 시편을 비교 샘플로 정하고 SiNx가 증착된 시편과 전류-전압 특성을 비교하여 그림 12에 나타내었다. 일반적으로 플라즈마 공정을 이용하여 유기발광소자를 제작할 경우 플라즈마의 에너지에 의해 유기물의 구조가 파괴되거나, 전극이나 전극과 SiNx 사이에 계면층이 형성되어 유기발광소자의 구동 전압이 상승하며, 전극의 계면에 전류의 누설을 일으킬 수 있는 전도층이 형성될 경우 역방향 전압 영역에서의 누설 전류가 증가하는 것으로 알려져 있다[18,19]. 그림 12에서 알 수 있듯이 SiNx가 증착된 테스트 셀과 비교 샘플이 유사한 특성의 전류-전압 특성을 나타내고 있는데 이는 본 유도결합 플라즈마 화학기상 증착장치를 이용한 SiNx 성막 공정 시 플라즈마에 노출에 의한 소자 열화 현상이 나타나지 않음을 말해준다.

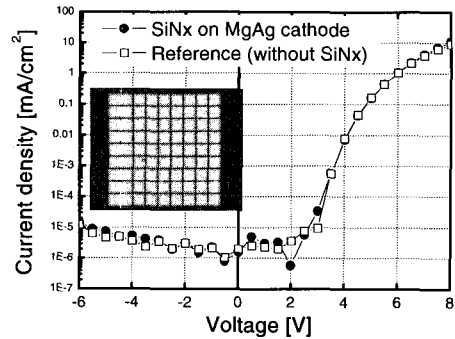
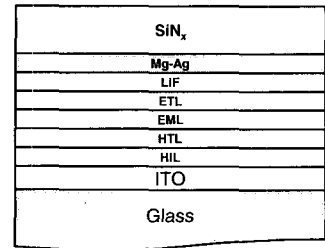


그림 12. 테스트의 구조와 SiNx 박막의 증착 여부에 따른 유기발광 소자의 전기적 특성과 SiNx가 성막된 테스트셀의 발광 사진.

Fig. 12. Structure of test cell and comparison of electrical properties of SiNx passivated OLED and unpassivated OLED with a inset of EL image.

일반적으로 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 장치의 경우 고밀도 플라즈마 형성 영역이 세라믹 윈도우 아래 영역에서 일어나기 때문에 PECVD에 비해 플라즈마 노출에 의한 영향을 상대적으로 작게 받게 된다. 또한 SiNx 박막을 성장시킨 테스트 셀은 비교 샘플과 같은 구동 전압을 나타내는데 이는 본 유도결합 플라즈마 화학기상 증착장치에 의한 플라즈마 공정이 계면 층의 형성에 영향을 주지 않는다는 것을 나타낸다. 뿐만 아니라 역방향 전압에서도 누설 전류가 발생하지 않는데 이는 스퍼터링 공법과 비교해 볼 때 상대적으로 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 공정에는 기판으로 가속되어 유기광전소자의 전기적 특성에 영향을 주는 높은 에너지를 가진 입자의 수가 상대적으로 적다는 것을 말해준다[19]. 따라서 높은 에너지를 가진 입자의 충돌에 의한 유기물의 변성이 상대적으로 작기 때문에 유도 결합 플라즈마 화학기상 증착 장치를 이용하여 유기발광소자 상에 SiNx 박막

을 성장시킨 테스트 셀은 성막 공정 후에도 안정적인 전류-전압 특성 나타내고 있다. 또한 그림 12에 삽입된 발광 이미지에서도 알 수 있듯이 SiN<sub>x</sub>가 증착된 전면발광 유기발광소자의 경우 플라즈마의 노출에도 불구하고 흑점이 발생하지 않은 깨끗한 이미지를 나타내고 있다. 이는 플라즈마에 노출에 유기물이 특성이 영향을 받지 않았다는 것을 나타내고 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 전면 발광 유기발광소자의 투명 박막 봉지의 적용을 위해 저온 SiN<sub>x</sub> 박막을 성장시킬 수 있는 유기발광소자용 유도결합 플라즈마 화학기상 증착장치를 개발하여 그 특성을 연구하였다. 플라즈마 및 박막의 균일도 확보를 위해 시물레이션을 통한 최적의 안테나 구조를 도출하여 유도결합 플라즈마용 선형 안테나를 제작하였으며 370 × 400 mm 유리 기판 기준 6%이하의 SiN<sub>x</sub> 박막 균일도 조건을 확보하였다. 또한, 유기발광소자 공정에서 필수 요소인 저온 공정을 확보하기 위해 마스크 정렬 기능이 내장된 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 장치용 저온 냉각축을 개발하여 SiN<sub>x</sub> 성장 시 기판의 온도를 50 °C이하로 유지시킬 수 있었다. 이러한 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 장치를 이용해 증착된 SiN<sub>x</sub> 박막을 유기발광소자에 박막 봉지막 층으로 적용하여 전류-전압 특성을 측정된 결과 플라즈마에 노출에 의한 손상이 일어나지 않음을 확인할 수 있었다. 상기의 결과들을 종합할 때 본 연구를 통해 개발된 유기발광소자 제작용 유도결합 플라즈마 화학기상 증착 장치를 이용하여 SiN<sub>x</sub> 박막 봉지막을 전면 발광 유기발광소자에 적용할 경우 유기발광소자의 성능 및 수명 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

#### 참고 문헌

[1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 51, p. 913, 1987.  
 [2] 김한기, "유기 EL 디스플레이", *한국소성가공학회지*, 14권, 9호, p. 731, 2005.  
 [3] G. P. Crawford, "Flexible flat panel display", John Wiley & Sons LTD, p. 163, 2005.

[4] H. Aziz, Z. Popovic, C. P. Tripp, N. Hu, A. Hor, and G. Xu, "Degradation processes at the cathode/organic interface in organic light emitting devices with Mg:Ag cathodes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 72, No. 21, p. 2642, 1998.  
 [5] B. H. Cumpston, I. D. Parker, and K. F. Jensen, "In situ characterization of the oxidative degradation of a polymeric light emitting device", *J. Appl. Phys.*, Vol. 81, No. 8, p. 3716, 1997.  
 [6] K. K. Lin, S. J. Chua, and S. F. Lim, "Influence of electrical stress voltage on cathode degradation of organic light-emitting devices", *J. Appl. Phys.*, Vol. 90, No. 2, p. 976, 2001.  
 [7] P. E. Burrows, V. Bulovic, S. R. Forrest, L. S. Sapochark, D. M. McCarty, and M. E. Thompsons, "Reliability and degradation of organic light emitting devices", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 65, No. 23, p. 2922, 1994.  
 [8] K. M. Kim, B. J. Jang, W. S. Cho, and S. H. Ju, "The property of encapsulation using thin film multi layer for application to organic light emitting device", *Curr. Appl. Phys.*, Vol. 5, p. 64, 2005.  
 [9] H. Kubota, S. Miyaguchi, S. Ishizuka, T. Wakimoto, J. Funaki, Y. Fukuda, T. Watanabe, H. Ochi, T. Sakamoto, T. Miyake, M. Tsuchida, I. Ohshita, and T. Tohma, "Organic LED full color passive-matrix display", *J. of Luminescence*, Vol. 87-89, p. 56, 2000.  
 [10] S. J. Yun, Y. W. Ko, and J. W. Lim, "Passivation of organic light-emitting diodes with aluminum oxide thin films grown by plasma-enhanced atomic layer deposition", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 85, p. 4896, 2004.  
 [11] S. M. Jeong, W. H. Koo, S. H. Choi, S. J. Jo, H. K. Baik, and S. M. Lee, "Passivation properties of OLEDs with aluminum cathodes prepared by ion-beam-assisted deposition process", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 241, p. 352, 2005.



- [12] G. H. Kim, J. Y. Oh, T. S. Yang, L. M. Do, and K. S. Suh, "Lamination process encapsulation for longevity of plastic-based organic light emitting devices", *Thin Solid Films*, Vol. 467, p. 1, 2004.
- [13] G. H. Kim, J. Y. Oh, Y. S. Yang, L. M. Do, and K. S. Suh, "Encapsulation of organic light-emitting devices by means of photo-polymerized polyacrylate films", *Polymer*, Vol. 45, p. 1879, 2004.
- [14] Kwong R. C., Nugent M. R., Michalski L., Ngo T., Ragan K., Tung Y. J., Weaver M. S., Zhou T. X., Hack M., Thompson M. E., Forrest S. R., and Brown J. J., "High operational stability of electrophosphorescent devices", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 81, p. 162, 2002.
- [15] A. B. Chwang, M. A. Rothman, S. Y. Mao, R. H. Hewitt, M. S. Weaver, J. A. Silvermail, K. Rajan, M. Hack, J. J. Brown, X. Chu, L. Moro, T. Krajewski, and N. Rutherford, "Thin film encapsulated flexible organic electroluminescent display", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, p. 413, 2003.
- [16] H. Mackel and R. Ludemann, "Detailed study of the composition of hydrogenated SiNx layers for high-quality silicon surface passivation", *J. Appl. Phys.*, Vol. 92, No. 5, p. 2602, 2002.
- [17] E. L. Tsakadze, K. N. Ostrikov, S. Xu, R. Storer, and H. Sugai, "Inductively coupled plasmas sustained by an internal oscillating current", *J. Appl. Phys.*, Vol. 91, No. 4, p. 1804, 2002.