

# 유기 트랜지스터 제작을 위한 Soluble Pentacene 박막의 특성연구

임현승\*, 공수철\*, 신익섭\*, 장호정\*

\*단국대학교 전자·컴퓨터공학과

e-mail: lhs129@nate.com

## A Study of Soluble Pentacene Films for Organic Transistors

Hun-Seong Lim\*, Su-Cheol Gong\*,

Ik-Sub Shin\*, Ho-Jung Chang\*

\*Dept of Electrical and Computer Engineering,  
Dankook University

### 요 약

본 연구에서는 유기박막트랜지스터 (OTFT, Organic Thin film Transistor) 제작을 위한 채널막으로 pentacene의 soluble 공정과 insoluble 공정을 통하여 제작된 pentacene 박막의 특성을 분석하여 유기박막트랜지스터에 적용 여부를 조사하였다. Pentacene을 용해시키기 위한 용제로는 toluene과 chloroform을 사용하였으며, 각각의 용제에 대하여 열처리를 하여 pentacene 용액을 준비하였다. Spin-coating 법으로 pentacene 유기 박막을 제작하여 각 박막의 결정화 특성을 관찰하였다. XRD 회절 분석 결과 chloroform을 이용한 pentacene 박막에서만 결정화가 된 것이 확인이 되었다. Hall effect measurement 분석 결과 chloroform을 이용한, pentacene 박막의 전하농도 (Carrier Concentration)는  $-3.225 \times 10^{14} \text{ (c} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$ 를 나타내었고, 이동도 (Mobility)는  $3.5 \times 10^{-1} \text{ (cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{S}^{-1}\text{)}$ 를 각각 나타내었다.

### 1. 서론

트랜지스터의 개발 이후 반도체를 이용한 전자산업은 급속도로 발전되어왔다. 근래에 이르러 무기물을 이용한 Si를 기반으로 한 무기물 반도체 외에 반도체 성질을 갖는 유기물을 이용한 반도체 개발에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.[1-3] 유기물을 이용한 반도체는 최근의 전자산업의 기술방향에 맞게 경량화, 박형화가 가능하고, TFT-LCD, OLED, E-paper 등의 디스플레이 소자에 적용이 가능할 뿐만 아니라 휘성 디스플레이 구동소자로서 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 스마트카드, RFID tag, 착용 컴퓨터 등 응용분야가 상당히 광범위하여 많은 연구가 진행중이다. 이러한 유기물 반도체 중에서 현재 가장 관심을 갖는 물질이 pentacene이다.[4,5] Pentacene은 P-type 반도체 물질로서 현

재 알려진 유기반도체 재료 중에서 가장 높은 전계 이동도를 갖는 것으로 알려져 있다. 현재까지 pentacene을 이용한 유기반도체 제작에는 진공증착을 통하여 제작이 되어왔으며 그 성능도 a-Si 트랜지스터에 버금갈 만한 수준으로 발전되어왔다. 그러나 진공증착 공정은 대량화 및 대형화 산업화 특면에서 공정의 복잡하고 제조비용이 많이 든다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 pentacene을 유기용매에 용해하여 solution process를[6,7] 이용하여 pentacene 박막의 전기적 특성을 관찰함으로써 soluble화된 pentacene이 유기박막트랜지스터 제작에 채널막으로 적용이 가능한지 여부를 조사하고자 한다. Pentacene은 저분자 물질로서 기상 증착법에 의하여 증착되어왔으나 Diels-Alder reaction에 의해 적정 열을 주게 되면 벤젠 고리 계열의 용매에 녹게 된다. 이점을 이용하여 유기용매

(solvent)에 녹여 액상으로 만들어 spin-coating이나 printing방법을 사용하여 간단한 방법으로 증착할 수 있다. Pentacene을 용해하기 위한 용해제로는 chloroform과 toluene을 사용하였으며 각각의 용매에 대하여 pentacene의 농도와 용해 조건을 다르게 하여 pentacene 박막의 결정화 특성을 관찰하여 이것이 pentacene 박막의 전기적 특성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

**2. 실험 방법**

**2.1 Pentacene 용액의 준비**

Chloroform은 트리클로로메탄의 약전명(藥典名)이다. 화학식 CHCl<sub>3</sub>, 분자량 119.38, 녹는점 -63.5℃, 끓는점 61.2℃, 비중 1.498(15℃)이다. Pentacene 유기 물질을 chloroform 용매에 0.1, 0.5, 1 wt%의 농도로 용해한 직후의 용액은 검은색을 나타내었으며 온도를 증가하여 110℃에서 30분 교반 하였을 때 진한 자주색으로 변화되었다. 용해 후 상온에서 방치시 다시 진한 갈색의 색을 띠었다. 또한 200℃에서 50분 교반 하였을 때 연한 자주색으로 변화하였고 상온에서 연한 갈색의 빛을 띠었다.

Toluene은 메틸벤젠이라고도 한다. 화학식 C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>. 특이한 냄새가 나는 무색 액체이며, 분자량 92.14, 녹는점 -95℃, 끓는점 110.8℃, 비중 0.87 (15℃)이다. Toluene에 pentacene을 0.1 wt%, 0.5 wt%, 1.0 wt% 3가지 농도로 섞은 직후의 색은 검은색이었으며 110℃에서 30분 교반 하였을 때 연한 자주색의 변화를 보였고 상온에서 연한 갈색의 색을 띠었다. 110℃에서 50분 가열 하였을 때는 더욱 연한 자주색으로의 변화를 보였다.

**2.2 Pentacene 박막의 증착**

Chloroform과 toluene 용매를 사용하여 교반된 pentacene 용액을 1500, 2000, 2500 rpm의 회전속도로, 20초간 spin-coater를 사용하여 유기반도체 박막을 형성하였다. 2500 rpm의 최대 회전속도로 코팅(coating)하였을 때 ITO/Glass 기판의 각 모서리 부분에서 증착되지 않는 결함이 발견되었고 이에 따라 증착 rpm을 1500 rpm과 2000 rpm으로 설정하여 코팅한 후 특성평가를 실시하였다. 저온 열처리인 annealing은 chloroform과 toluene을 사용하여 교반

된 pentacene 용액을 120℃ 온도에서 진행하였으나 toluene을 사용한 용액의 경우 부분적인 pentacene막의 증발을 발견하게 되었고 증발을 최소화하기 위해 annealing온도를 낮추어 60℃에서 30분 annealing조건을 재설정하였다. 표 1은 각각의 용매에 대한 박막 형성 조건을 나타낸다.

Table 1. Preparation conditions of pentacene solution and thin films by spin coating method.

	Chloroform	Toluene
농 도( wt%)	0.1, 0.5, 1	0.1, 0.5, 1
Spin-coating (rpm)	1500,2000,2500 rpm 20 sec	1500,2000,2500 rpm 20 sec
Annealing	120℃, 30 min at vacuum oven	60℃, 30 min at vacuum oven

**3. 실험 결과 및 고찰**

**3.1 Pentacene 박막의 형상학적 특성**

Chloroform과 toluene 용매를 사용하여 교반된 pentacene 용액으로 증착된 pentacene 박막의 결정을 알아보기 위하여 XRD(X-ray diffraction) 회절 분석을 이용하였다. XRD 분석결과, toluene을 이용한 pentacene 박막의 경우 어떠한 결정화 피크(peak)도 발견되지 않아 비정질(amorphous)상태의 박막임을 확인할 수 있었다. 한편, chloroform 용매를 이용하여 용해 후 형성한 pentacene 박막의 경우는 회절각도 약 36도(degree)에 결정 피크가 나타나 pentacene 박막이 부분 결정화 가능성을 보여주고 있다. 결국 본 실험 결과 pentacene 유기물의 용해시 용매의 종류에 따라 용해 온도와 박막의 결정화 특성에 영향을 미치고 있음을 제시하고 있다 그림 1은 chloroform과 toluene 용매에 용해 후 코팅한 pentacene 박막의 XRD 회절 분석 결과를 보여주고 있다.

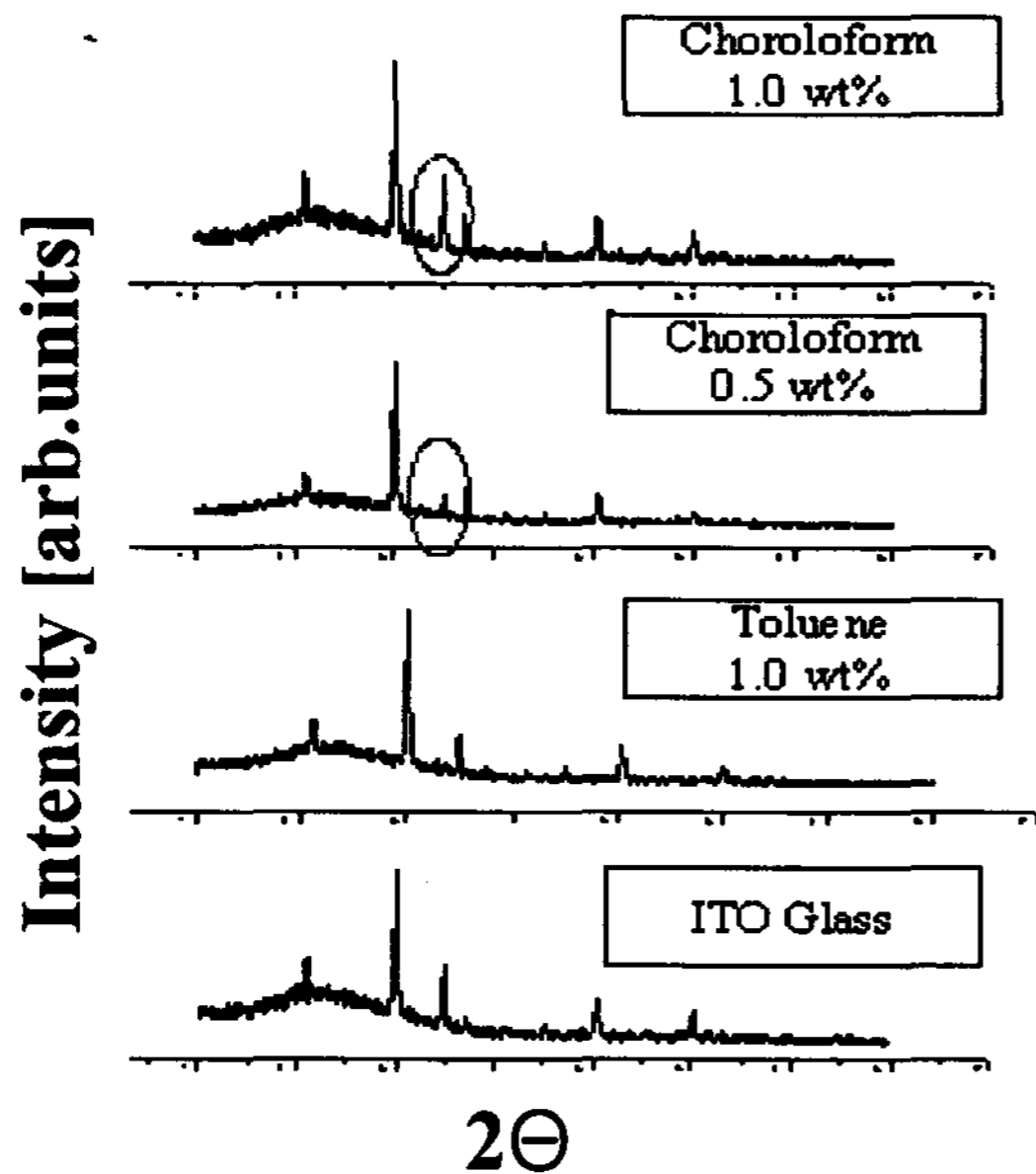


Fig. 1. XRD patterns of pentacene film dissolved in the chloroform and toluene.

### 3.2 Pentacene 박막의 전기적 특성

Chloroform과 toluene 용매로 교반된 pentacene 용액으로 코팅된 pentacene 박막의 전기적 특성을 조사하기 위해 hall effect 측정을 실시하였다. Toluene 용매를 사용한 pentacene 코팅 박막은 전기적 특성에 대해 결과가 얻어지지 않았다. 이는 박막의 결함과 비정질의 결정성 등에 원인이 있을 것으로 판단된다. 한편 chloroform 용매를 사용한 pentacene 박막의 경우 비교적 양호한 전기적 특성을 나타내었다. 즉, 캐리어 농도 (carrier concentration)은  $-3.225 \times 10^{14} \text{ (c} \cdot \text{cm}^{-3})$ 를 나타내었고, 이동도 (mobility) 값은 약  $3.5 \times 10^{-1} \text{ (cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{S}^{-1})$  얻을 수 있었다.

### 4. 요약

본 연구에서는 OTFT (organic thin film transistor) 제작을 위하여 pentacene 용액을 합성한 후 코팅된 박막의 결정성 및 전기적 특성에 대하여 조사, 연구하였다.

유기 반도체 물질로서 pentacene의 각 solvent별로 용해 온도를 조사한 결과 chloroform의 경우 200°C에서 50분 교반하여 완전히 용해시켰다. Spin-coater에서 1500 rpm으로 coating 하였을 때 가장 좋은 결정화 특성을 나타내었다.

Chloroform을 사용하여 pentacene 박막을 제작하였을 때 pentacene 박막의 전하농도 (Carrier

Concentration)는  $-3.225 \times 10^{14} \text{ (c} \cdot \text{cm}^{-3})$ 를 나타내었고, 이동도 (Mobility)는  $3.5 \times 10^{-1} \text{ (cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{S}^{-1})$ 를 각각 나타내었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정목적기초 프로그램 (과제번호: R01-2005-000-10058-0)에 의해 수행된 연구의 일부이며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] Chris D. Sheraw, Thomas N. Jackson, Dave L. Eaton, John E. Anthony., "Functionalized Pentacene Active Layer Organic Thin Film Transistors", *Adv. Mater.* 4, No 23, 2009-2011, 2003.
- [2] S. H. Kim, Y. S. Yang, H. Lee, J. I. Lee, H. Y. Chu, H. Y. Lee, J. Y. Oh, L. M. Do, T. Zyung., "Organic field-effect usinh perylene", *Optical Mat.*, 21, 439-443, 2002.
- [3] Y. S. Lee, J. H. Park, J. S Choi., "Electrical Charateristics of pentacene-based Schottky diodes", *Optical Mat.*, 21, 433-437, 2002.
- [4] J. Puigdollers, C. Voz, A. Orpella, I. Martin, M. Vetter, R. Alcubilla., "Pentacene thin-films obtained by thermal evaporation in high vacuum", *Thin Solid Films*, 427, 367-370, 2003.
- [5] Takashi Minakata, Hideaki Imai, Masaru Ozaki, Kentaro Saco., "Structural studies on highly ordered and highly conductive thin film of pentacene" *J. Appl. Phys*, 72(11), 5220-5225, 1992.
- [6] Peter T. Herwing, Klaus Müllen., "A soluble Pentacene Precursor: Synthesis, Solid-State Conversion into Pentacene and Application in a Field-Effect Transistor", *Adv. Mater*, 11, No 6, 480-483, 1999.
- [7] K. S. Kim, K. S. Chung, Y. H. Kim, J. I. Han., "Investigation of Solvent Effect on the Electrical Properties of TIPS Pentacene Organic Thin-Film Transistor", *IMID/IDMC '06 Digest*, 1150-1153, 2006.