

## 증착조건 및 열처리 온도에 따른 유기 TFT의 활성층용 펜타센 박막의 전기적 특성 연구

구본원, 정민경, 김도현, 송정근  
동아대학교 전기전자컴퓨터공학부  
Tel : 051-200-6775, Fax : 051-200-7712

The Electrical Characteristics of Pentacene Thin-Film for the active  
layer of Organic TFT deposited at the Various Evaporation conditions  
and the Annealing Temperatures

B. W. Koo, M. K. Jung, D. H. Kim, C. K. Song  
School of Electronics, Electrical and Computer Engineering Dong-A University  
E-mail : cksong@daunet.donga.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 유기물 전자소자 개발을 위한 기초 연구로서 증착시 기판의 온도, 증착비, 열처리 온도에 따른 펜타센 박막의 수평방향 전기전도도, 접촉저항, 면저항 등 전기적 특성을 측정 하였다. 시료는 분말형 펜타센을 유기분자선 성장장치(OMBD)를 이용하여 성막 하였다. 전도도 계산을 위한 두께의 측정은  $\alpha$ -step을 이용 하였으며, TLM(transfer length method)으로 접촉저항, 면저항 등 전기적 특성을 측정 하였다. 전극은 Au를 사용하여 진공 증착법으로 제작 하였다. 기판의 온도는 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 100°C 일곱 종류로 하여 증착비를 달리 하였고, 열처리에 의한 효과는 100°C에서 증착한 시료를 100°C, 140°C에서 각각 10초간 열처리를 실시 하였다. 기판 온도에 따른 막의 형상은 AFM을 이용하여 관찰하였다. 기판의 온도가 상승할수록 박막의 결정화가 활발히 진행되었으며 최대단일결정은 4 $\mu$ m였다. 전기전도도는  $7.40 \times 10^{-7}$  S/cm ~  $0.778 \times 10^{-5}$  S/cm의 값을 나타내었으며, 접촉저항은 100°C에서 증착하고 140°C에서 10초간 열처리 한 경우 2.5324M $\Omega$ 으로 가장 작았으며, 면저항은 약간의 차이는 있으나 전체적으로  $\approx 10^9 \Omega/\square$ 의 값을 보였다.

### Abstract

In this work we deposited Pentacene thin film by OMBD at the various substrate temperatures, deposition rate and the various annealing temperatures for the fabrication of organic TFT and investigated the electrical and film surface characteristics such as sheet resistance, contact resistance and conductance. Film thickness were measured by  $\alpha$ -step and the sheet resistance, contact resistance and conductance were extracted from the relation between the distance of the contacts and the resistance. During the film deposition the substrate temperature was held at 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 80°C and 100°C, respectively. After the film deposition, Au contact was deposited by thermal evaporation. For the effect of annealing, the thin film was annealed in the nitrogen environment at 100°C and 140°C for 10 seconds, respectively. Film surface characteristics at the various substrate temperatures were measured by AFM. The crystallization of thin film was improved as the substrate temperatures were increased and the maximum grain size was 4 $\mu$ m. The conductivity of thin film was found to be  $7.40 \times 10^{-7}$  ~  $7.78 \times 10^{-6}$  S/cm and the minimum contact resistance was 2.5324 M $\Omega$ .

### I. 서 론

1970년대 후반에 단순한 공액성 유기 분자인 폴리

아세틸렌이 반도체 특성을 나타내고, 도핑하면 금속의 전기전도도를 가질 수 있다는 연구 결과가 보고 되면서 새로운 전기전자재료로서 유기물 반도체에 대한 연구가 시작 되었다. 유기물 반도체의 특성

은 합성 방법의 다양함, 섬유나 필름 형태로의 성형의 용이함, 경량성, 유연성, 전도성, 저렴한 생산성 등으로 알려져 있다. 현재 유기물을 이용한 연구는 여러 분야에서 활발히 진행되고 있는 실정이며 펜타센(그림1)은 이러한 목적에 적합한 물질중 하나로 많은 연구가 진행되고 있다. 초기의 펜타센 박막의 증착 방법으로는 TE(Thermal evaporation) 방법이 주로 사용 되었고 현재는 PLD(Pulsed laser deposition)법과 OMBD(Organic molecular beam deposition)법이 주로 사용되고 있다.

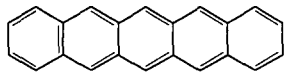


그림1. 펜타센의 화학적 구조

본 논문에서는 유기물을 이용하여 TFT를 제작하는 것을 목표로 하고 그 기초 연구로서 펜타센 박막의 증착시 기판의 온도와 증착비, 열처리에 따른 전기적 특성을 조사 하였다. 기판의 온도에 따른 펜타센 박막의 전기적 특성은 발표된 바가 있었으나 [1-4] 본 논문은 발표된 특성을 기초로 하여 첫째, TFT 제작시 활성층으로 사용되는 펜타센 박막의 성막에 있어 기판온도 외에 증착비와 열처리 효과에 대한 박막의 전기적 특성을 비교함으로써 박막의 성질을 결정하는 지배적인 요인을 밝혀 최적의 성막 조건을 찾는 것을 목표로 하였고, 둘째, TE법과 PLD법으로 성막한 경우의 전기적 특성과 본 연구에서 사용한 OMBD법의 전기적 특성을 비교하는 것을 목표로 하였다.

II. 실험

전기적 특성과 막의 형상을 측정하기 위하여 유리기판(corning2948)에 OMBD법으로 펜타센 박막을 성막하였으며, 전극은 금(Au)을 진공 증착 법으로 증착 하였다.  $\alpha$ -step을 이용하여 박막의 두께를 측정 하였으며 표1에 증착 조건과 그 결과를 나타내었다.

표1. 펜타센 박막 및 전극의 증착 조건

	펜타센(OMBD)		전극(진공증착)
기판온도 (°C)	30,50,70	40,60,80,100	R.T
증착비	5Å/sec	0.1~0.3 Å/sec	-
진공도	$1.3 \times 10^{-7}$ torr		$6 \times 10^{-5}$ torr
막의두께	1000~3000Å		

막의 특성은 AFM을 이용하여 관찰 하였으며, 수평 방향의 전기전도도와 접촉저항, 면저항등의 전기적 특성 측정을 위해 TLM 구조를 사용 하였다. 그림2에 사용한 TLM [5] 구조를 나타내었다.

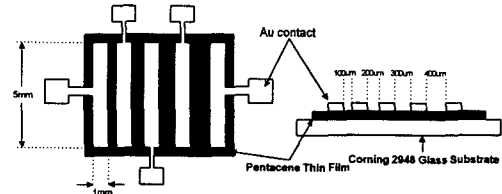
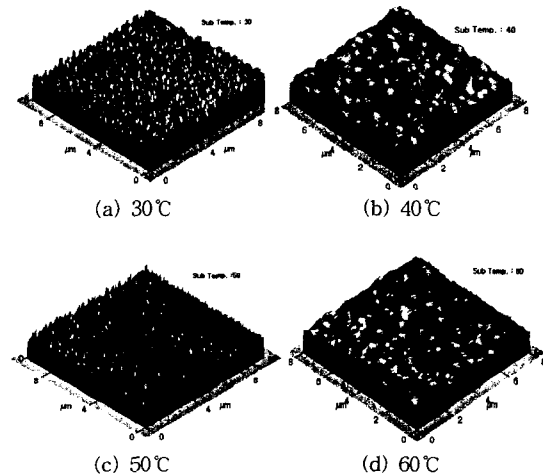


그림2. 사용한 TLM 구조

I-V 측정은 HP4155를 사용하여 0~10V 사이를 100ms 간격으로 0.1V씩 전압을 인가한 후 측정 하였으며, 그 때 나타나는 I-V 관계에서 전기적 특성을 계산하였다.

III. 결 과

각 온도에 대한 막의 특성을 그림 3 에 나타 내었다. 증착시 기판의 온도가 높고 증착비가 낮을수록 결정화가 활발히 일어나고 있고, 100°C에서 가정 큰 형태의 결정이 형성 되었다. 단일 결정의 크기는 100°C에서 성막한 경우 최대 크기가 4µm 정도로 나타 났다. 80°C, 0.08Å/sec 조건에서 [2] 성막한 경우 약 13µm의 수치와 비교하여 성막이 성공적으로 수행 되었음을 알 수 있다. 성막된 표면 특성은 기판의 온도가 높을 수록, 증착비가 낮을 수록 그 결정의 크기와 전기적 특성은 향상 되었다.



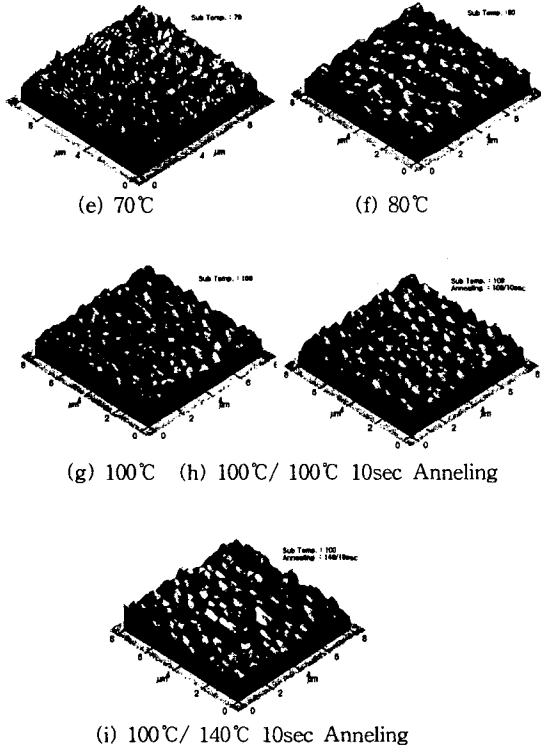


그림3. 기판의 온도에 따른 박막의 표면특성

40°C와 60°C에서 형성된 박막은 50°C, 70°C에서 형성된 박막을 비교해 보면 기판의 온도는 낮지만 증착율이 낮다. 하지만 결정의 크기를 비교해 볼 때 낮은 증착비를 가지고 성장한 경우 결정의 크기가 더 큰 것으로 보아 막의 결정화에 지배적인 영향은 증착비에 있다는 것을 알 수 있었다. 발표된 바에 [2] 의하면 단일 결정의 최대 크기는 약 13 $\mu\text{m}$  정도로 알려져 있으며 이는 증착시 기판 온도의 영향뿐 아니라 증착비와도 밀접한 관계가 있다는 주장에 근거를 둘 수 있다. 본 실험에서는 0.3A/sec, 5A/sec의 증착비를 사용 하였다. 막의 결정화는 우수 하였으나 비교적 높은 증착비로 거칠기에서는 다소 높은 수치를 보였다. 각 조건에 따른 전기적 특성은 증착비가 낮고 기판의 온도가 증가할 때 접촉저항은 감소하고, 전기전도도는 증가 하였다. 이것은 시료 분자들이 낮은 증착비와 기판의 온도에 의해 충분한 시간과 에너지를 가지고 결정화를 진행하여 결정의 크기가 커지고 이렇게 커진 결정은 전극 증착시 전극과의 접촉이 좋아져서 접촉저항의 감소와 전기전도도의 증가를 가져 왔다. 막의 특성은 단일 결정의 크기에 의해서만 결정되는 것이 아니라 막의 거칠기가 낮을수록 좋은 막의 특성을 갖는다. 따라서 좀 더 세분된 단계의 증착비와 기판 온도의 관계를 규명하여 우수한 성질의 박막을 형성하는

조건을 찾는 것이 가장 큰 과제이다.그림4 에 기판 온도와 증착비, 열처리 효과에 따른 전기전도도의 변화를 나타내었다. 낮은 증착비에서 기판의 온도가 증가할 수록 전도도는 증가 하였고 증착비가 낮은 전도도 또한 증가 하였다. 앞의 AFM 사진과 비교 해볼 때 증착비가 높은 경우 기판의 온도가 높을수록 결정의 크기가 증가하는 현상이 뚜렷하나 증착비가 낮은 경우는 결정의 크기에 있어 증가 현상이 뚜렷하지는 않다. 이것은 성막시 결정의 크기를 결정하는 지배적 요인은 기판의 온도 보다는 증착비에 있다는 것으로 생각된다. 또한 기판의 온도는 막의 형성시 분자들의 결정화에 필요한 에너지를 공급한다. 그림에서 같은 증착비에서 기판온도 80°C 이상에서는 뚜렷한 전기전도도의 증가가 발생하지 않았다. 하지만 열처리를 한 결과 전도도의 증가가 발생 하였다. 이상의 결과에서 볼때 펜타센 박막의 형성시 막질을 결정하는 가장 큰 요인은 증착비임을 알 수 있었다.

거리 대 저항 그래프에서 계산한 펜타센 박막의 전기적 특성을 표 2 에 나타 내었고 근사한 조건에서 OMBD법으로 성막된 경우와 TE, PLD법으로 성막된 경우의 [1][3] 전기전도도를 표 3에 비교 하였다. OMBD법으로 성막한 경우의 전도도가  $10^3$ 배 정도 향상되었음을 알 수 있으며, 본 연구에서 사용한 성막법이 우수한 성질의 박막을 형성 하는데 유리함을 알 수 있다.

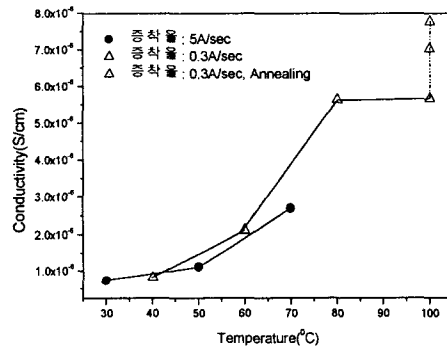


그림4. 기판온도와 증착비, 열처리 효과에 따른 전기전도도의 비교

그림 5에 기판온도와 증착비, 열처리 효과에 따른 접촉저항의 변화를 나타내었다. 증착비가 낮은 경우 접촉저항은 거의 일정 하였으나 열처리 후 그 값은 현저히 감소 하였다. 따라서 성막후 열처리를 통해 박막과 전극의 접촉저항을 감소 시킬수 있다.

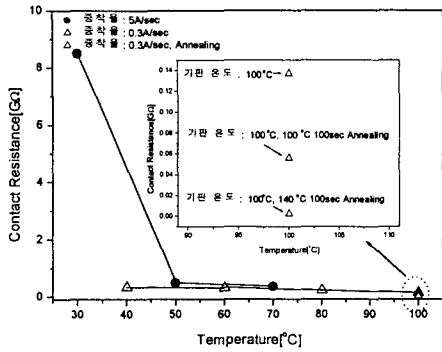


그림5. 기판온도와 증착비, 열처리 효과에 따른 접촉저항의 비교

표 2. 각 온도에서의 박막의 전기적 특성

기판의온도 (°C)	면저항 (GΩ/□)	접촉저항 (GΩ)	전기전도도 (S/cm)	
30	54	8.5	7.4075E-7	
40	80.7	0.34	8.2612E-7	
50	29.7	0.472	1.1223E-6	
60	16.8	0.309	2.1292E-6	
70	14.2	0.357	2.7028E-6	
80	6.33	0.222	5.641E-6	
100	normal	9.04	0.137	5.671E-6
	annealing @100°C/10sec	9.8	0.0561	7.0355E-6
	annealing @140°C/10sec	9.89	0.0025	7.7804E-6

표 3. 성막법에 따른 전기 전도도 비교

기판온도(°C)	전기전도도(S/cm)		
	OMBD film	TE film	PLD film
30	7.4075E-7	6E-11	4E-10
70	2.7028E-6	-	-
80	5.641E-6	-	-
100(annel @140)	7.78074E-6	-	-
200	-	9E-10	4E-9

#### IV. 결 론

펜타센 박막의 최적 성막 조건을 찾기 위하여 중요한 요소중의 하나인 증착시 기판 온도의 변화와 증착비, 열처리에 따른 막의 특성과 전기적 특성을 연구 하였다. 기판의 온도가 증가하고 증착비가 낮음에 따라 막의 특성은 단일 결정의 크기가 증가하여 막질이 향상 되었으며, 열처리를 함으로써 접촉저항의 감소와 전기전도도의 증가 등 전기적 특성도 향상 되었다. 이는 증착시 기판의 온도, 증착

비가 박막의 성장에 중요한 요소라는 것을 증명하고 있다. 더우기 기판온도와 증착비에 따른 전기전도도의 그래프에서 볼 때 기판온도 보다는 증착비가 성막시 지배적 요인이라는 결과를 얻었다. 또한 열처리를 함으로써 전기전도도의 다소 향상되었고 접촉저항이 많이 감소하는 것으로 보아 증착후 열처리의 과정을 거치는 것이 전극 형성시 소자의 성능을 향상 시키는데 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 5Å/sec, 0.3Å/sec의 비로 증착 하였으나 현재 증착비와 기판 온도, 열처리 조건에 따른 박막의 특성 연구를 계속 수행중에 있으며, 이러한 조건이 충족되어야 실제 소자에 응용할 수 있는 최적의 박막형성이 가능하다.

#### 감사의 글

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학부설 연구소과제 연구비에 의하여 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. J. Salih, J. P. Lau, P. M. Marshall, J. M. Maud, W. R. Brown, N. Hilal, R. W. Loviff, and P. M. Williams, Appl. Phys. Lett. 69(15), pp 2231~2233, 1996.
- [2] I. P. M. Bouchoms, W. A. Schoonveld, J. Vrijmoeth and T. M. Klapwijk, Synthetic Metals 104, pp 175~178, 1999
- [3] A. J. Salih, J. M. Marshall, and J. M. Maud, Journal of Non-Crystalline Solids, 227-230, pp 1240~1244, 1998.
- [4] T. Jentzsch, H. J. Juepner, K. W. Brzezinka and A. Lau, Thin Solid Films 315, pp 273~280, 1998.
- [5] Bhattacharya, Semiconductor optoelectronic devices, PRENTICE HALL, 1994