

# 전극 구조에 따른 유기 트랜지스터 특성

이봉주\*

## Organic Transistor Characteristics with Electrode Structures

Boong-Joo Lee\*

### 요약

본 논문에서는 유기박막트랜지스터용 절연막에 활용코자 플라즈마 중합방법을 이용하여 PMMA 절연막을 제작하였다. 유기트랜지스터 성능향상을 위해 전극구조에 따른 특성을 파악하고자 트랜지스터의 이동도 및 출력특성을 본결과, 상부전극구조의 경우 최대 이동도는  $8 \times 10^{-3}$  [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]을 보이고 하부전극구조의 경우  $2 \times 10^{-4}$  [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]의 낮은 이동도 값을 얻었으며, 하부전극구조의 경우 off current값이 증가되는 특성을 볼 수 있다. 그러므로 유기트랜지스터의 전극구조는 상부전극 방식이 좋은 것 알 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, We have fabricated PMMA thin films by plasma polymerization method for organic thin film transistor's insulator layer. For improving the characteristics of organic transistor, we tested transistor's mobility and output values with organic transistor's electrode structures. As a results, the mobility of top contact was  $8 \times 10^{-3}$  [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ], that of bottom contact was  $2 \times 10^{-4}$  [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]. Also, off current of bottom contact was increased. Therefore, we recommend the top contact electrode structure of organic transistor.

### 키워드

plasma polymerization method, MMA, OTFT(organic thin film transistor), electrode structure  
플라즈마 중합법, 메틸메타크릴레이트, 유기박막 트랜지스터, 전극구조

## 1. 서론

정보산업의 발달과 함께 기억소자의 개발이 요구되어 현재 초고집적화시대를 맞이하고 있다. 여러 전자소자의 중요성이 커지고 있고 이를 집적화 하기 위한 박막소자에 대한 연구가 진행되고 있다[1-3]. 특히 재료적인 측면을 고려할 때, 저비용 대량생산측면에서 유기물재료에 대한 관심이 집중되고 있는 시점이다[4,5].

유기전자소자는 일반적으로 습식방식에 의해 연구

되어지고 있으나, 향후 소자특성향상 및 제조공정개발을 고려할 때, 건식법의 중요성이 대두되고 있는 상황이다. 건식공정 중 플라즈마 중합기법(plasma polymerization deposition)은 통상적인 화학적 중합법에 의한 박막과 비교하여 내열성, 내마모성 및 내약품성 등 우수한 특성을 가지고 있어, 층간 절연막, 반도체 보호막, 고분자 특수코팅 소재 등 기능성 박막 응용 개발에 관심이 집중되는 분야이다. 플라즈마 중합은 유기물 및 유기 금속의 가스 상태 모노머들이 플라즈마 방전 상태에서 반응하여 기판 표면에 가교밀도가

\* 남서울대학교 전자공학과(bjlee@nsu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 10. 15

심사(수정)일자 : 2013. 01. 15

게재확정일자 : 2013. 01. 21

매우 높은 박막형태로 합성되는 공정을 이야기 한다. 플라즈마 상태에 주입되는 단량체 분자들은 플라즈마 에너지에 의해 활성화 입자 상태로 존재하며 주입 단량체의 부분적인 화학적 구조만 보존되고 강력한 가교결합특성과 불규칙적인 구조를 가지게 된다. 형성된 플라즈마 고분자의 구조 및 물성은 공정압력, 모노머 가스유량, 모노머 종류, 기관 온도, 방전 전압 및 기관 바이어스 전압 등의 플라즈마 공정 인자에 의해서 정밀조절이 가능하며 여러 가지 변수로 조절 가능하다. 그러나 플라즈마 중합법은 글로우 방전 하에서 이온, 원자, 라디칼 활성화된 여기 분자 등 활성종의 생성과정과 이들 활성종의 중합반응이 매우 복잡하고 동일한 중합장치를 이용해도 반응기내의 압력, 모노머 유량 및 방전 전류의 크기에 따라 중합 막의 형태와 분자구조가 달라지기 때문에 분자 구조나 고체 구성에 밀접한 관계를 가진 유전 특성의 해석에 대하여는 아직 불명확한 점이 많이 남아 화학적 증착방법중에서도 어려운 공정으로 분류되고 있다[5-9].

유기트랜지스터 성능은 주로 유기 활성 박막의 결정도에 좌우된다. 결정도는 유기박막의 성장공정과 유기박막이 성장될 게이트 절연층의 표면상태에 큰 영향을 받기 때문에 박막 성장공정, 구조변화 및 표면상태의 최적화에 연구가 집중되고 있다.

본 연구에서는 유기트랜지스터 소오스와 드레인 전극형성후 펜타센 박막을 증착하는 하부전극 구조와 박막증착후 전극을 성형하는 상부전극 구조의 유기트랜지스터 소자를 제작하고 이에 대한 성능을 비교하여 각각의 전극구조에 대한 특성을 파악하고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 ICP용 플라즈마중합박막 제조 장비

플라즈마 중합막을 제작하기 위해 사용되어진 진공장비는 그림 1에 나타내었다[6]. 플라즈마를 발생시키는 전원은 유도결합형 플라즈마(ICP: Induced Couple Plasma)를 활용하였다. 안정적 플라즈마 형성을 위해 플라즈마 인덕터 코일은 몇가지 형태로 제작하여 안정적 플라즈마 형성을 위한 코일의 구조를 개발하였다. 그 결과 본 장비의 최적 인덕터 코일의 전체길이는 1[m] 이내로 2회 형식을 선택하여 플라즈마 매칭

을 하여 최적화 시켰다. 진공시스템은 로터리 및 터보 펌프를 활용하여 초기 base 압력을  $10^{-7}$  [torr]유지시킨 후 유량조절기(MFC: Mass Flow Controller)을 이용하여 최적의 공정압력에서 박막을 제조하였다.

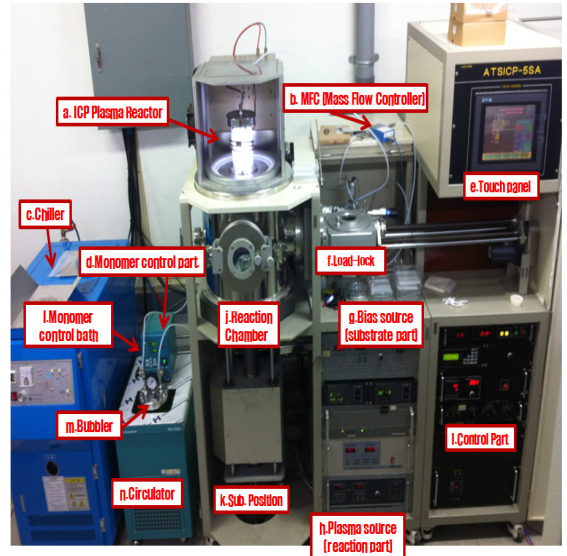


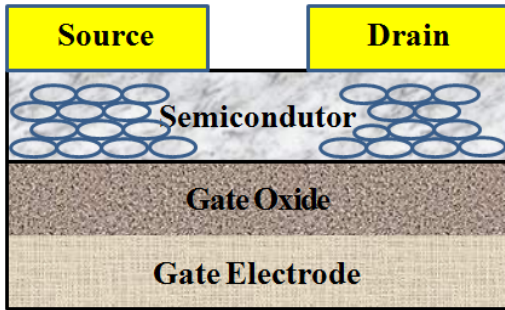
그림 1. 유도결합형 플라즈마 중합장치  
Fig. 1 ICP-plasma polymerization equipment  
(ATS ICP-5SA ; A-tech system co.)

플라즈마 생성을 위한 캐리어 가스는 방전관 위쪽에서 유입되며, 효과적인 모노머 주입을 위하여 방전관 아래쪽으로 유입하여 안정적 플라즈마 형성과 모노머특성을 플라즈마중합박막에 유지시키고자 하였다. 안정적인 모노머주입을 위하여 Bubbler를 활용하였다. Bubbler의 내부 또한 진공상태로 유지시킨 후 정량화된 모노머 주입을 위하여 20[sccm]의 아르곤가스를 bubbler 입구 쪽에 유량 조절기를 활용하여 주입시킨 후 일정 모노머를 반응조에 주입시켰다. 여기서 좀 더 세밀한 모노머 조절을 위하여 bubbler전체를 항온조에 담아서 온도에 대한 기화조건을 일정하게 하고자 항온조를  $-10[^\circ\text{C}]$ 로 유지하였다. 이처럼 모노머 조절을 매우 민감하며 중요한 실험조건이기에 정량화 조절을 위한 노력을 많이 하였다. 또한 기관에 인가되는 self-bias를 제거하여 박막증착 효율을 증가시키기 위해 기관에 RF 바이어스를 인가하였다. 박막의 특성향상을 위한 기관의 증착위치 및 기관온도조절이 가능

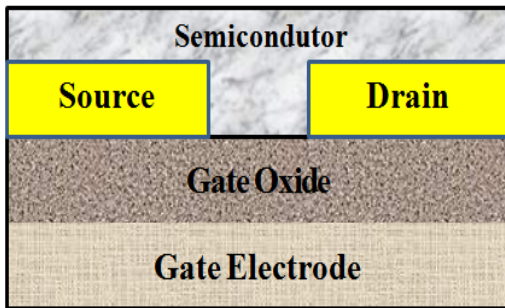
하도록 시스템을 구성하였다.

2.2 전극위치변화에 따른 유기박막 트랜지스터

본 연구에서는 전극의 위치변화에 따른 특성을 보고자 한다. 일반적으로 유기전자 트랜지스터의 소스와 드레인의 전극은 Au를 사용하는데, 이것은 Au의 일함수(5.1eV)와 펜탄센의 HOMO(High Occupied Molecular Orbital)준위(5.2eV)가 유사하여 사용되고 있다. 하지만 상부전극 및 하부전극의 구조적인 차이에 대한 명확한 연구가 필요할 것으로 생각되어 그림 2와 같은 구조의 트랜지스터에 대해 연구하였다.



(a) 상부전극 구조  
(a) top contact electrode



(b) 하부전극 구조  
(b) bottom contact electrode  
그림 2. 유기 트랜지스터의 구조  
Fig. 2 Structure of organic transistor

2.3 유기박막 트랜지스터 측정방법

전기적 특성을 파악코자 전류-전압 측정 장비로 Source Measurement Unit (SMU : Keithly. Model 2400 및 236)을 사용하였고, 정전용량-전압 측정장비

로 Keithly 590을 사용하였다. 유전율측정에 따른 유전상수는 일반적인 박막측정법과 동일하게 적용하였다[5]. 측정시스템 구성은 PC와 LabVIEW 프로그램을 이용하여 GPIB 인터페이스를 통해 측정장비의 제어로 성공적으로 데이터를 취득하였고, 그림 3은 측정 프로그램 화면이다.

표 1은 유기전자 트랜지스터 제작에 있어 중요하게 판단되는 절연막의 공정조건을 정리한 것이다. 공정조건은 최적의 플라즈마 형성을 기준으로 최적의 공정조건으로 설정하였다.

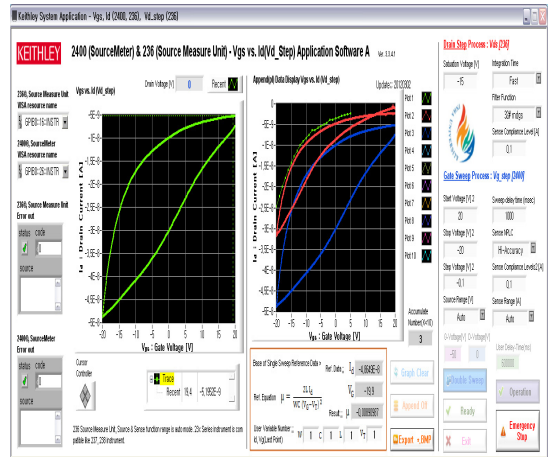


그림 3. I-V 측정 프로그램  
Fig. 3 Measuring system for I-V characteristics

표 1. 실험조건

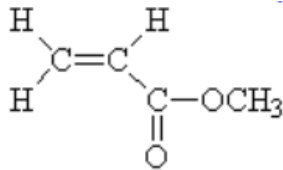
Table 1. Experimental conditions

Title	Condition
RF Power	100 [W]
Pressure	5 [mtorr]
Depo. time	5, 10, 20, 30 [min]
Substrate position	100, 150 [mm]
Carrier gas	Ar 20[scm]
Monomer	MMA
Bubbler gas	Ar 20[scm]
Bias	RF20[W]

III. 실험결과

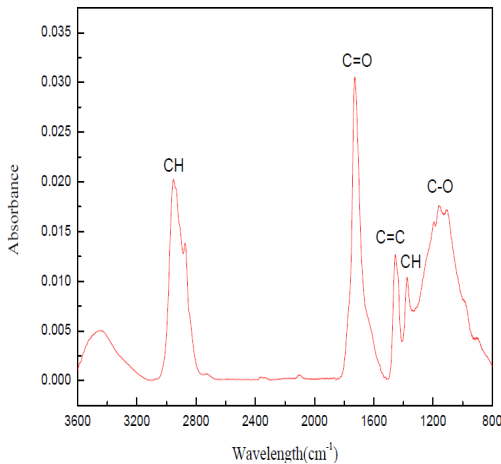
### 3.1 플라즈마 중합박막의 형성

안정적인 플라즈마 중합막 형성을 위해 일정두께조절은 중요한 조건이 될 수 있다. 사용되어진 절연막의 재료는 상온에서 증발특성을 볼수 있는 모노머인 MMA(methyl methacrylate)을 사용하여 플라즈마 중합법에 의하여 중합박막을 형성하였다. 이때의 증착된 플라즈마 중합박막의 분자구조를 분석하기 위해 FT-IR을 측정하였다. 측정한 장비는 FT-IR 분석기(VERTEX 80V, Bruker Co.)를 사용하였고, 진공중 측정이 가능하기 때문에 수분에 의한 영향도를 최소화 시켜 얻어진 결과는 그림 4와 같다



(a) MMA 분자구조

(a) structure of MMA thin film



(b) FT-IR 분석

(b) FT-IR analysis

그림 4. ppMMA 플라즈마 중합박막의 분자구조 분석

Fig. 4 FT-IR of plasma polymerized MMA thin film

그림 4에서 보는 것과 같이 MMA의 특성 peak가 모두 보이는 것을 알수 있기에 플라즈마중합법에 의

해 제작된 ppMMA의 분자구조를 확인할 수 있었다.

### 3.2 플라즈마 중합박막이 적용된 유기트랜지스터의 전기적 특성

유기 트랜지스터의 전기적 특성을 알아보기 위하여 소자의 전달특성(transfer characteristic)과 출력특성(output characteristic)을 각각 측정하였다. 반도체 막으로는 Pentacene은 p형 반도체 특성을 가지고 다수 캐리어는 정공이 되고, 유기박막트랜지스터는 측정모드에서 동작하기 때문에 소스전극을 공통전극으로 하고 게이트 전극과 드레인 전극에 음의 전압을 인가하여 전기적 특성을 가하여 측정하였다. 출력특성곡선에서 각 게이트전압에 대해서 드레인 전압이 증가함에 따라 드레인 전류가 증가하고, 포화되는 특성을 얻을 수 있었고, 전계효과 이동도는 다음과 같은 수식들을 이용하여 얻어질 수 있다. 식 (1)은 선형영역에서 드레인 전류를 나타내고, 식 (2)는 포화영역에서 드레인 전류를 각각 나타내었다.

$$I_d = \frac{W}{L} \times C_i \times \mu \left[ (V_G - V_t) \times V_d - \frac{V_G^2}{2} \right] \quad (1)$$

$$I_d = \frac{W}{2L} \times C_i \times \mu [(V_G - V_t)^2] \quad (2)$$

이때, 수식에서  $\mu$ 는 전계효과 이동도이고  $W$ 는 채널의 폭,  $L$ 은 채널의 길이를 나타낸다. 또한  $C_i$ 는 단위면적당 절연체의 캐패시턴스 성분이며,  $V_t$ 는 문턱전압,  $V_G$ 는 게이트 전압,  $V_d$ 는 드레인 전압을 각각 나타낸다[10].

이와 같은 트랜지스터의 특성을 고려하여 I-V측정을 하였다. 상부전극 구조 방식과 하부전극 구조 방식의 차이에 따른 트랜지스터 특성곡선은 그림 5에 나타내었다. 이때, 플라즈마 중합된 MMA의 중합박막의 두께가 200[nm]를 기준하여 펜탄센 두께가 60[nm]일 때 각각의 트랜지스터의 특성을 본 것이다.

즉, 전극의 구조변화를 그림 2와 같이 상부전극 및 하부전극 구조로 제작하여 트랜지스터 특성을 본 결과, 상부전극 구조의 경우 최대 이동도는 0.008 [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ],을 보이고 하부전극 구조의 경우 0.0002 [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ]의 낮은 값을 얻을 수 있었다.

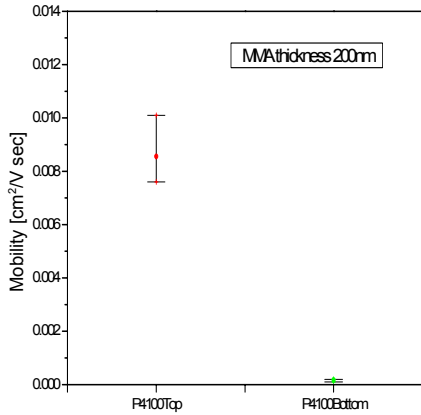
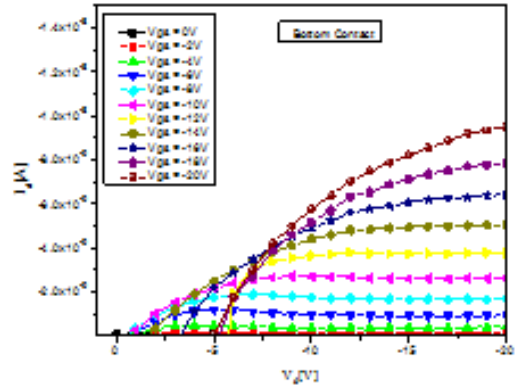


그림 5. 전극구조에 따른 트랜지스터 이동도  
Fig. 5 Transistor mobility with electrode structures

이는 금속의 표면은 전하가 자유롭게 이동하기 때문에 어떤 분자든지 쉽게 흡착하여 그래인이 커질 것 같으나 펜타센의 경우는 다르다. 펜타센은 기관으로부터 반발력이 있어야 분자정렬이 양호해 지므로 금속 위에서는 그래인이 오히려 작아진다[11]. 금속위에서는 펜타센 분자가 옆으로 누워 위치하기 때문에 측면으로 정렬되지 못하여 결정도가 떨어진다. 따라서 Au 전극 표면과 주변에서 펜타센 박막의 그래인이 작아지고, 이것은 전계이동도를 감소시키는 원인이 된다[12]. 이러한 이유로 상부구조 대비 하부구조의 트랜지스터의 이동도가 작아지는 현상을 해석할 수 있었다.



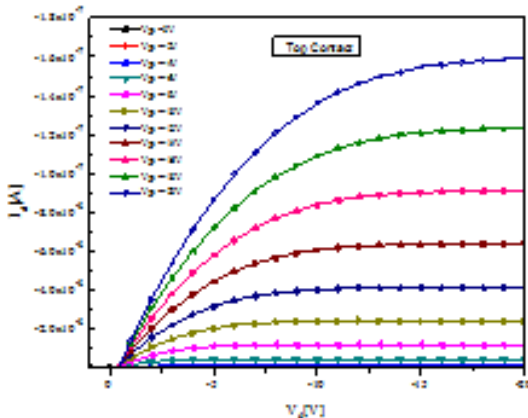
(b) 하부전극 구조의 출력특성

(b) output characteristic of bottom contact electrode

그림 6. 전극구조에 따른 트랜지스터 출력특성

Fig. 6 Transistor output characteristic with electrode structures

또한 그림 6은 전극구조에 따른 트랜지스터의 출력 특성을 본 결과이다. 그림 6(a)의 상부전극 구조의 경우 off current값의 변화가 거의 없으나, 그림 6(b)의 하부전극 구조의 경우 off current의 값이 증가되고 있는 것을 볼수 있다. 이처럼 상부전극대비 하부전극의 경우 트랜지스터의 off current 특성이 안좋아 지는 것을 알 수 있다. 즉, 유기전자 트랜지스터의 전극 구조는 상부전극 구조를 하는 것이 출력특성 및 이동도 측면에서 좋아짐을 알 수 있었다.



(a) 상부전극 구조의 출력특성

(a) output characteristic of top contact electrode

## VI. 결론

건식공정중 플라즈마 중합법을 이용하여 제작된 절연막을 활용하여 유기트랜지스터를 제작하였다. 이때 사용되어진 모노머는 MMA이며 분자구조 분석을 통해 플라즈마 중합된 박막임을 확인하였다.

유기트랜지스터 성능향상을 위해 전극구조에 따른 특성을 파악하고자 트랜지스터의 이동도 및 출력특성을 본결과, 상부전극 구조의 경우 최대 이동도는  $0.008 \text{ [cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}\text{]}$ 을 보이고 하부전극 구조의 경우  $0.0002 \text{ [cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}\text{]}$ 의 낮은 이동도 값을 얻었으며, 하부전극 구조의 경우 off current값이 증가되는 특성을 볼 수 있다.

이처럼, 유기전자 트랜지스터의 전극구조는 상부전

극 구조를 하는 것이 출력특성 및 이동도 측면에서 좋아짐을 알 수 있었다.

**감사의 글**

“이 논문은 남서울대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었음”

**참고 문헌**

[1] 최병상, “Pt 나노입자와 Hybrid Pt-SiO<sub>2</sub> 나노입자의 합성과 활용 및 입자박막 제어”, 한국전자통신학회논문지, 4권, 4호, pp. 302-305, 2009.

[2] 박용욱, “집중 소자를 이용한 다이플렉서 설계 및 제작”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 1호, pp. 9-14, 2012.

[3] 박용욱, 나상엽, “탄소나노튜브 트랜지스터 특성 연구”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 1호, pp. 88-92, 2010.

[4] H. Y. Choi, S. H. Kim, J. Jang, "Self-Organized Organic Thin-Film Transistors on Plastic", *Advanced materials*, Vol. 16, No. 8, pp. 732, 2004.

[5] C. Zhang, J. Wyatt, D.H, "Carbon dioxide sorption in conventional and plasma polymerized methyl methacrylate thin films", *Polymer*, Vol. 45, No. 22, pp. 7665 - 7671, 2004.

[6] Y. Vickie Pan, Ernesto Z. Barrios, Denice D. Denton, "In situ FTIR investigation of MMA plasmas, plasma-polymerized films, and reaction mechanism", *Polym. Sci., Part A : Polym. Chem.* Vol. 36, pp. 587 - 602, 1998.

[7] S. Morita, J. Tamano, S. Hattori, M. Ieda, "Plasma polymerized methyl-methacrylate as an electron-beam resist", *J. Appl. Phys.* Vol. 51, No. 7, pp. 3938-3941, 1980.

[8] 이봉주, 신현용 “CVD로 제작된 SiO<sub>2</sub>산화막의 투습특성”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 1호, pp. 81-87, 2010.

[9] 이봉주, “공정압력 및 기판바이어스 인가유무에 따른 PMMA 플라즈마 중합박막의 전기적 특성”, 한국전자통신학회논문지, 6권, 5호, pp. 697-702, 2011.

[10] Se-hyun Lee, Boong-Joo Lee, Young-taek Lim, Jae-Sung Lim, Sunwoo Lee, Shizuyasu Ochiai,

Jun-Sin Yi and Paik-kyun Shin, “Process condition considered preparation and characterization of plasma polymerized methacrylate thin films for organic thin film transistor application”, *Japanese journal of applied physics*, Vol. 51, No. 2, pp. 021602, 2012.

[11] I.Kymissis, C.D.Dimitrakopoulos, and S.Purus-hothaman, “High-performance bottom electrodeorganic thin-film transistors” *IEEE Tran. Elect. Dev.*, Vol. 48, p. 1060, 2001.

[12] R.B.Campbell, J.M.Robertson, and J.Trotter, “The crystal and molecular structure of pentacene” *Acta Crystal*, Vol. 14, Part 7, pp. 705, 1961.

**저자 소개**



**이봉주(Boong-Joo Lee)**

1996년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사)  
1998년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

2003년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)  
2004년~2007년 LG전자 디지털디스플레이연구소  
2007년 남서울대학교 전자공학과 교수  
※ 관심분야 : 유기소자(트랜지스터,메모리), 태양전지, 발광소자(OLED, LED), 조명, 디스플레이