

논문 98-7-1-10

## PbTe/CuPc 이층박막의 광전 특성

이 해연\*, 강 영수\*, 박 종만\*\*, 이 종규\*\*, 정 중현\*\*

## Photoelectric Properties of PbTe/CuPc Bilayer Thin Films

Hea-yeon Lee\*, Young-soo Kang\*, Jong-man Park\*\*, Jong-kyu Lee\*\*,  
and Jung-hyun Jeong\*\*

## 요 약

Plused ArF excimer laser ablation과 열증착법에 의해 p형 Si 기판위에 PbTe/CuPc 박막을 증착하였다. 성장된 박막의 구조적, 전기적 특성은 XRD, 전류-전압 곡선등의 분석으로 행하였다. XRD 분석으로부터 PbTe박막과 CuPc 박막은 a 축의 배향성을 지닌 박막으로 성장하였음을 알 수 있었다. PbTe/CuPc/Si 박막의 광전특성을 조사하기 위하여 빛을 조사했을 때와 빛을 조사하지 않았을 때의 수직방향의 전류-전압 (I-V) 특성을 CuPc/Si, PbTe/Si 단층막의 특성과 비교 관찰하였다. PbTe/CuPc/Si 박막에서 단축 광전류 ( $J_{sc}$ )가  $25.46 \text{ mA/cm}^2$ , 개회로 광전압 ( $V_{oc}$ )이 170 mV인 커다란 광기전력 특성을 나타내었다. 또한 양자효율 (QE)은 15 %, 광전변환효율 ( $\eta$ )은  $3.46 \times 10^{-2}$ 로 측정되었다. QE와  $\eta$ 를 기초로 한 PbTe/CuPc/Si 접합의 광전류 과정은 CuPc 층에서의 광캐리어 생성, PbTe/CuPc 계면에서의 광캐리어 분리 그리고 PbTe층에서의 광캐리어 운송 역할이 효율적으로 수행된 결과임을 알 수 있었다.

## Abstract

The crystallized CuPc and PbTe films are formed by thermal evaporation and plused ArF excimer laser ablation. Structural and electrical properties of thin film is observed by XRD and current-voltage(I-V) curves. From XRD anagnosis, both PbTe and CuPc thin films show a-axis oriented structure. For the measurement of photovoltaic effect, the transverse current-voltage curve of CuPc/Si, PbTe/Si and PbTe/CuPc/Si junctions have been analyzed in the dark and under illumination. The PbTe/CuPc/Si junction exhibits a strong photovoltaic characteristics with short circuit current( $J_{sc}$ ) of  $25.46 \text{ mA/cm}^2$  and open-circuit voltage( $V_{oc}$ ) of 170 mV. Quantum efficiency and power conversion efficiency are calculated to be 15.4% and  $3.46 \times 10^{-2}$ , respectively. Based on the results of QE and  $\eta$ , the photocurrent process of PbTe/CuPc/Si junction can be explained as following three effective steps: photocarrier generation in the CuPc layer, carrier separation at PbTe/CuPc interface, and finally a transportation of electrons through the PbTe layer.

## I. 서 론

\* 부경대학교 자연과학대학 화학과 (Pukyong National University, College of Natural Sciences, Department of Chemistry Physics)

\*\* 부경대학교 자연과학대학 물리학과 (Pukyong National University, College of Natural Sciences, Department of Physics)

<접수일자 : 1997년 12월 4일>

높은 캐리어 이동도를 가진 안정적인 무기물질과 고유 흡수스펙트럼을 가진 유기분자와의 혼합 구성은, 개개의 물질의 특성뿐 아니라 물질간의 계면 특성을 이용한 새로운 광전소자의 창조를 기대할 수 있다. 따라

서 최근 신소재연구로서 유기/무기 디바이스의 연구가 주목받고 있다.<sup>[1-5]</sup>

CuPc는 전형적인 p형 유기반도체중 하나로 분자내 전하이동구조를 취하기 때문에 가시영역에서의 흥미있는 전자적, 광학적 특성이 연구되어져 있다.<sup>[6,7]</sup> CuPc는 강한 광흡수력( $10^5 \text{ cm}^{-1}$ )을 가지지만 이동도는  $10^{-3}$ - $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 에 불과하다.<sup>[6]</sup> 반면 전기적, 자기적 특성으로 광범위하게 연구되어져 있는<sup>[8,9]</sup> 무기반도체인 n형 PbTe박막의 이동도는  $16 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 측정되었다. 또한 두 물질의 특성을 충분히 발휘하기 위해서는 두 물질 모두 결정화된 박막이 필요하다. 따라서 PbTe와 CuPc는 같은 온도에서 박막성장을 하므로 위의 관점으로부터 유기/무기 디바이스에 적당한 시스템이다.

무기/유기(PbTe/CuPc) 디바이스의 메카니즘을 명확하게 하고 그 성능을 향상시키기 위해서는 무기/유기 디바이스 계면의 전자구조 이해가 중요하다. 그러나 이러한 계면의 전자 구조를 실험적으로 정리하여 연구한 예는 거의 없다. 본 논문에서는 에너지 밴드 다이어그램을 만들어 계면에서의 전자준위의 접촉을 Fermi level의 일치와 밴드의 굴곡을 기초로 한 전자구조의 변화를 고찰한다. 그리고 이러한 접합의 광기전력 특성은 수직방향의 전류-전압 곡선으로 측정한다. 전류-전압의 정성적인 특성은 단축 광전류 ( $J_{sc}$ ; short-circuit photocurrent)와 개회로 광전압 ( $V_{oc}$ ; open circuit photovoltage)으로, 정량적인 특성은 양자효율 (QE; quantum efficiency), 광전변환 효율 ( $\eta$ ; energy conversion efficiency), 곡선인자 (FF; fill factor)에 의해 논의한다. 또한 캐리어 생성 및 운송과정의 광전류과정을 QE와  $\eta$ 를 기초로 하여 에너지 밴드 다이어그램의 굴곡을 통하여 토의한다.

## II. 실험

PbTe/CuPc 이층 박막은 그림 1에 나타난 기상증착법으로 진공도  $1 \times 10^{-6}$  Torr에서 성장시켰다. 일단 대기 증으로 나온 박막은 대기중의 먼지나 기타의 성분들을 흡착하게 되므로 이로 인한 PbTe/CuPc 계면의 불순물들이 디바이스의 전기적 특성저하를 가져오게 된다. 따라서 이층 박막의 성장은 진공을 깨지 않고 행하였다. 먼저 CuPc 박막을 열증착법으로 성장시켰다. 그리고 PbTe 박막은 193 nm ArF excimer laser ablation법으로 제작하였다. 기판( $10 \times 5 \times 0.4 \text{ mm}^3$ )은 p형

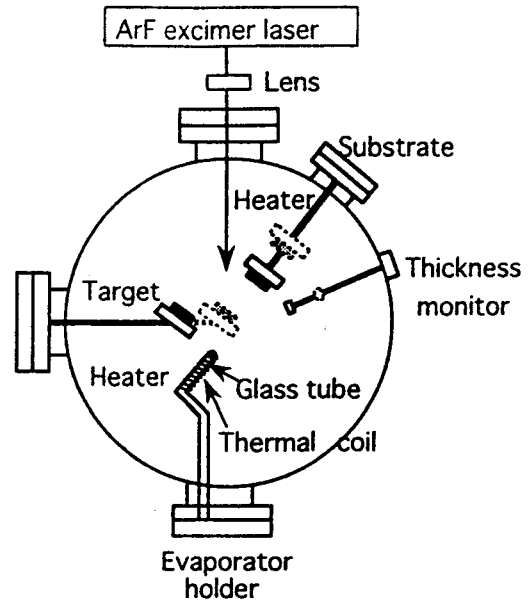


그림 1. PbTe/CuPc 이층 박막의 제작을 위한 열증착과 pulsed ArF excimer laser ablation의 실험장치(----: laser ablation 위치, —: 열증착법 위치)

Fig. 1. Experimental apparatus of thermal evaporation and pulsed ArF excimer laser ablation for the preparation of PbTe/CuPc bilayer thin film(----: laser ablation position, —: thermal evaporation position)

<100> Si 웨이퍼를 사용하여 성장시켰는데, CuPc 박막을 증착시키기 전에 Si 웨이퍼 표면의 자연 산화막을 제거하기 위하여 묽은 HF용액으로 에칭하였다. 성장시킨 박막의 결정구조는  $\text{CuK}\alpha$  파장의 XRD (X-Ray Diffraction)분석에 의해 관찰하였다. PbTe/Si, CuPc/Si, PbTe/CuPc/Si 박막의 광전특성을 관찰하기 위하여 Al/PbTe/Si, Au/CuPc/Si, Al/PbTe/CuPc/Si 접합을 형성하였다. 저항성 접촉을 형성하기 위하여 Al 전극을 PbTe 박막 표면위에, Au 전극을 CuPc 박막 표면 위에 증착시켰다. 이러한 접합에 대한 전류-전압 (I-V) 특성은 빛을 조사하지 않은 경우와 빛을 조사한 경우에 대해 4단자법으로 측정하였다. 광전특성은 Xe 램프를 사용하여 600 nm(2 eV) cutoff 필터와 함께 빛의 최대 강도가  $160 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 로 되도록 하여 측정하였다. 양자효율은 600 nm에서 측정하였고, 광전변환효율

은 빛의 강도  $160 \text{ mW/cm}^2$ 에서 측정하였다. 이 때 광 흡수계수( $\alpha$ )는 Lambert-Beer법으로 측정하였다. 또한 Hall 측정은 자기장 3KG에서 Van der Pauw 법을 사용하여 행하였다.

### III. 결과 및 고찰

그림 2는 Plused excimer ArF laser ablation법과 열 증착법에 의해 Si 기판 위에 성장시킨 PbTe/CuPc 이층 박막의 XRD 패턴을 나타낸다. 이 때 기판 온도는  $300^\circ\text{C}$ 에서 행하였고, 각 물질의 두께는  $500\text{\AA}$ 이다. XRD 패턴으로부터 CuPc박막에서  $2\theta=6.8^\circ$ 의 하나의 피크 그리고 PbTe박막에서  $2\theta=27.5^\circ$ 의 하나의 피크가 관찰된다. 이것은 CuPc박막과 PbTe박막이 a축 배향으로 성장하였음을 나타낸다. 따라서 PbTe과 CuPc 둘 다 결정화 박막으로 성장되었음을 알 수 있다.

그림 3(a)는 CuPc/Si 접합의 빛을 조사하지 않았을 때와 빛을 조사하였을 때의 수직방향의 전류-전압 곡선과 에너지 준위 다이어그램이다. 모든 접합의 전류-전압 측정은 대기중에서 행하였다. 대기중에서는  $\text{O}_2$  분순물들이 CuPc내에서 전자 수송체로서의 역할을 하기 때문에 CuPc는 p형 반도체를 형성한다.<sup>[7]</sup> CuPc는 2.0 eV의 에너지 밴드 갭과 3.1 eV의 전자친화도, 5.8 eV의 일함수<sup>[6,10,11]</sup>를 갖는다. 따라서 CuPc/Si 접합은 그림 3(a)의 에너지 밴드 다이어그램에서 보여 주듯이 계면에 장벽을 형성하지 않는다. 빛을 조사하지 않았을 때

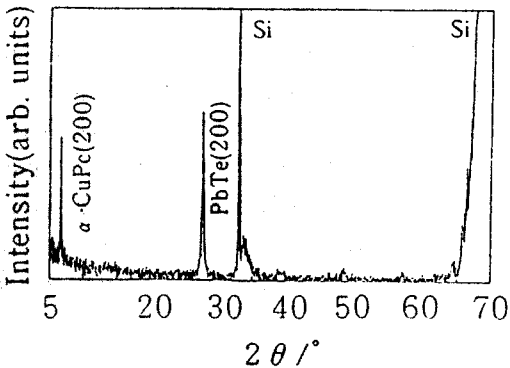


그림 2. 기판온도  $300^\circ\text{C}$ 에서 기판  $\langle 100 \rangle$  Si 위에 성장시킨 PbTe/CuPc 이층 박막의 XRD 패턴  
Fig. 2. XRD pattern of PbTe/CuPc bilayer thin film on  $\langle 100 \rangle$  Si at substrate temperature of  $300^\circ\text{C}$

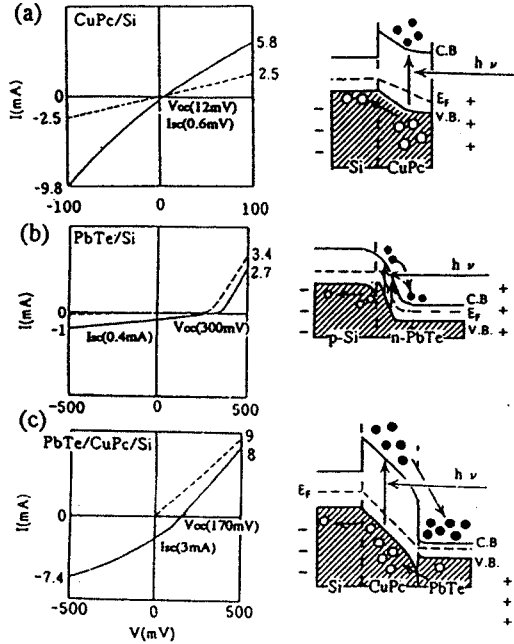


그림 3. (a) CuPc, (b)PbTe/Si, and (c) PbTe/CuPc/Si 접합의 수직방향에서의 전류-전압 특성과 에너지 준위 다이어그램 모식도. 왼쪽의 직선은 빛을 조사하지 않았을 때의 측정치이고, 점선은 빛을 조사하였을 때의 측정치이다. 오른쪽에서의 점선은 페르미 준위를 나타낸다. 에너지 준위 다이어그램은 빛을 조사하고 전압을 걸었을 때를 나타낸다. Au의 일함수는 5.2 eV, Al의 일함수는 4.2 eV, Si의 일함수는 4.68 eV, p-형 CuPc의 4.7 eV, 그리고 n-형 PbTe의 일함수는 4.52 eV이다.

Fig. 3. Current-voltage curve in the transverse direction and the schematic energy-level diagram of (a) CuPc, (b)PbTe/Si, and (c) PbTe/CuPc/Si junctions . In the left, solid line is measured in the dark and dashed line under red illumination. In the right side, dashed line is indicated fermi level( $E_f$ ). Energy-level digram is represented at applied bias(negative bias to Si) under illumination. The work function of Au is 5.2 eV, Al is 4.2 eV, Si is 4.68 eV, p-type CuPc is 4.7 eV, and n-type PbTe is 4.52 eV.

의 CuPc/Si 박막의 전류-전압 특성은 저항성 접촉을 나타낸다. 빛을 조사하였을 때는 CuPc/Si 접합의 광전류는 Si 웨이퍼보다 크게 증가한다. 이것은 CuPc 층이 600 nm 파장의 붉은 빛을 현저하게 흡수하여, 이로 인한 광여기로 다량의 광캐리어를 형성하기 때문이다. CuPc/Si 접합에서  $J_{sc}$ 는  $4.29 \text{ mA/cm}^2$  그리고  $V_{oc}$ 는 12 mV의 광기전력 특성을 보여준다.

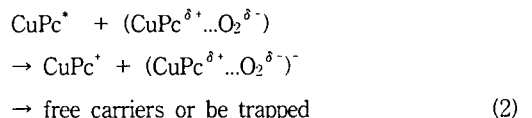
그림 3(b)는 PbTe/Si 접합의 빛을 조사하지 않았을 때와 빛을 조사하였을 때의 수직방향의 전류-전압 곡선과 에너지 준위 다이어그램이다. PbTe는 0.3 eV의 에너지 밴드 갭과 4.5 eV의 전자친화도, 4.53 eV의 일함수<sup>[12,13]</sup>를 갖는다. Hall 측정으로부터 PbTe 박막은 n형 반도체임이 관찰되었다. 따라서 페르미 준위가 원자가 전자대 위로 0.27 eV 임을 알 수 있었다. 빛을 조사하지 않았을 때, 역방향 전압에서의 전류는 아주 작고 순방향 전압에서의 전류는 280 mV에서 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 이것은 전형적인 p-n 접합에서의 특성임을 알 수 있다. 즉, 계면의 장벽이 접합을 따라 흐르는 순방향 전류와 역방향 전류의 흐름을 제한하고 있는 것이다. 반면, 빛을 조사하였을 때는 PbTe/Si 접합의  $J_s$ 는  $2.06 \text{ mA/cm}^2$  그리고  $V_{oc}$ 는 300 mV의 광기전력 특성을 보여준다.  $V_{oc}$ 의 값은 CuPc/Si 접합보다 상당히 크다. 이것은 PbTe/Si 접합의 p-n 계면의 경사가 전하 분리에 기여하였음을 나타낸다. 이러한 결과로부터 CuPc 층을 삽입시킨 PbTe/CuPc/Si 접합은 큰 광기전력 특성이 기대된다. 즉, p-n 계면 효과를 가지고 있는 PbTe/Si 접합에 광여기 특성을 가지고 있는 CuPc 층을 삽입시킴으로서 효율적인 광캐리어의 발생과 전하분리가 예측된다.

그림 3(c)는 PbTe/CuPc/Si 접합의 빛을 조사하지 않았을 때와 빛을 조사하였을 때의 수직방향의 전류-전압 곡선과 에너지 다이어그램이다. 빛을 조사하지 않았을 때의 PbTe/CuPc/Si의 접합은 p-n 특성을 나타낸다. 빛을 조사하였을 때의 PbTe/CuPc/Si 접합에서  $J_{sc}$ 는  $25.46 \text{ mA/cm}^2$  그리고  $V_{oc}$ 는 170 mV의 광기전력 특성을 보여준다. PbTe/CuPc/Si 접합의 광기전력 효과가 PbTe/Si 접합보다 큰 것은 CuPc ( $10^5 \text{ cm}^{-1}$ )과 PbTe ( $10^3 \text{ cm}^{-1}$ )와의 광흡수력의 차이 때문이다. 더욱이 역방향으로의 광전류는 크게 증가되었다. 이러한 움직임은 포톤이 CuPc 층에서 전자-정공대를 효율적으로 발생시키고 p-n 접합의 급격한 경사를 따라 전자는 접합의 n-방향(PbTe 층)으로, 정공은 p-방향(CuPc 층)으로 흐르고 있음을 나타낸다.

Table 1. Photovoltaic properties of CuPc/Si, PbTe/Si and PbTe/CuPc/Si junction. Where,  $J_{sc}$ : short circuit photocurrent,  $V_{oc}$ : open circuit photovoltage, FF: Fill Factor, QE: Quantum efficiency,  $\eta$ : power conversion efficiency

Junction	$J_{sc}$ ( $\text{mA/cm}^2$ )	$V_{oc}$ (mV)	FF	$\eta$	QE (%)
CuPc/Si	4.29	12	0.07	$1.40 \times 10^{-3}$	6.2
PbTe/Si	2.06	300	0.22	$0.94 \times 10^{-3}$	2.7
PbTe/CuPc/Si	25.46	170	0.33	$3.46 \times 10^{-2}$	15.4

Table 1은 CuPc/Si, PbTe/Si, PbTe/CuPc/Si 접합의 정성적, 정량적인 광전 특성을 보여준다. PbTe/CuPc/Si 접합의  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , QE,  $\eta$  그리고 FF의 광기전력 특성이 CuPc/Si, PbTe/Si 접합의 특성보다 높음을 알 수 있다. PbTe/CuPc/Si 접합의 증가된 양자효율의 증가는 전압을 걸지 않았을 때 광흡수에 의해 생성된 광캐리어와 포획층의 낮은 밀도에 의한 것이다. 또한 광전변환 효율의 증가는 인가된 전압에 의해 보다 효율적인 전하 분리와 낮은 재결합 확률에 의한 것이다. 광전류의 캐리어 생성 및 운송과정의 메커니즘을 이해하기 위해서는 먼저 빛을 흡수한 CuPc 층에서의 전자 전달과정을 고려하여야 한다. 유기소자에서의 광전류의 가능한 메커니즘은 이미 많은 보고가 있었다.<sup>[14-17]</sup> 일반적으로 에너지 갭보다 큰 에너지를 가진 광이 조사되면 유기박막 층의 전자-정공쌍 (exciton; 엑시톤)가 형성된다. 대기중에서의  $O_2$ 는 전자 수용체 역할을 하며 광캐리어 생성을 유발시키는 중요한 역할을 한다. 그리고 전하 운송은 CuPc 엑시톤으로부터 기저상태의 복합체 ( $\text{CuPc}^{\delta+} \dots \text{O}_2^{\delta-}$ )로 발생한다. 이 때 자유 정공은 CuPc 층에 남고 전자는 기저상태의 복합체에 남는다. 그리고 엑시톤은 자유 캐리어로 분리되거나 포획당한다. 즉 이러한 광캐리어 생성은 Onsager 이론<sup>[18,19]</sup>을 기초로 유도하면 다음과 같이 표현될 수 있다.



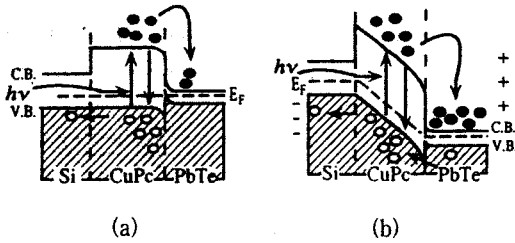


그림 4. 수직방향에서의 PbTe/CuPc/Si 접합의 광전류 다이아그램: (a) 빛을 흡수한 CuPc층에서의 광전류 과정- 이 현상은 높은 양자효율을 설명하고 있다. (b) PbTe/CuPc 계면의 급격한 경사와 PbTe의 커다란 이동도에 의한 광전류 수송과정- 이 현상은 높은 광전변환 효율을 설명하고 있다.

Fig. 4. Digram for photocurrent process of PbTe/CuPc/Si junction in the transverse indirection: (a) the effective photogeneration in CuPc layer which explains high quantum efficiency, (b) the photocurrent transporation through CuPc layer to PbTe/CuPc interface and by large mobility of PbTe which explains high power conversion efficiency.

즉 포톤은 그림 4(a)에서 보여 주듯이 CuPc층에서 광캐리어를 발생시킨다. 그리고 CuPc 층에서 발생한 광캐리어들은 계면을 통하여 이동된다. 그러므로 PbTe/Si 접합에 비하여 급격한 경사를 가지고 있는 PbTe/CuPc/Si 접합의 계면은 전하 분리에 중요한 역할을 하고 커다란 광전류를 흐르게 한다. 이것은 CuPc/Si, PbTe/Si 접합보다 큰 양자효율이 이 결과에 대응된다. 두 번째 단계로 커다란 광전류의 흐름을 그림 4(b)에서 보여준다. CuPc 층에서 발생한 광캐리어들은 인가된 전압에 의해 더욱 급격한 경사를 이룬 밴드는 커다란 광전류를 유도한다. 이것은 효율적인 전하 분리와 재결합의 낮은 확률에 의한 결과이다. PbTe/CuPc/Si 접합의 커다란 광전변환 효율은 CuPc/Si, PbTe/Si 접합보다 급격한 계면을 형성함에 기인한 것이다. 세 번째 단계로 높은 이동도의 PbTe 층은 전하 수송 역할을 담당한다. 이러한 효과로 인하여 PbTe/CuPc/Si 접합의 QE의 15.4% 와  $\eta$ 의  $3.46 \times 10^{-2}$  은 이미 보고된 유기/무기 디바이스, 예를 들어 Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgTPP/Au<sup>[20]</sup> 디바이스에서의 QE의 4.3 % 그리고  $\eta$ 의  $7 \times 10^{-4}$  보다 크다.

IV. 결 론

Pulsed ArF excimer laser ablation법과 열증착법에 의해 HF 처리한 <100> Si기판 위에 PbTe/CuPc/Si 이층 박막을 제작하였다. 이 때 기판 온도는 300°C에서 행하였다. XRD 측정으로부터 CuPc 박막과 PbTe 박막 모두 a 축 배향으로 결정화되어 있음을 알 수 있었다. PbTe/CuPc/Si 접합의 광전 특성을 토의하기 위하여 수직방향의 전류-전압 (I-V) 특성을 PbTe/Si, CuPc/Si 단층 박막과 비교 관찰하였다. PbTe/CuPc/Si 접합은 PbTe/Si 접합과 CuPc/Si 접합에 비하여 커다란 광전 특성이 측정된다. 이것은 PbTe/CuPc 계면의 효율적인 전하분리와 CuPc/Si의 광흡수력으로부터 기인한 것이다. 양자효율과 광전변환효율을 기초로 하여 광전류의 캐리어 생성 및 운송 과정의 메카니즘은 CuPc층에서의 광캐리어 발생과 PbTe/CuPc계면의 전하분리 효과 그리고 PbTe 층의 전자 수송 역할이 각각 효율적으로 수행된 결과에서 비롯됨을 알 수 있다.

감사의 글

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 박사후 연구 과정 연수비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] Y.Ohimori, A.Fujii, M.Uchida, and K.Yoshino, Appl.Phys.Lett., 62, 3250(1993).
- [2] S.Tokito, J.Sakata, and Y.Tagata, Appl.Phys.Lett., 64, 1353(1994).
- [3] J.Takada, H.Awaji, M.Koshika, A.Nakajima, and W.A.Nevin, Appl.Phys.Lett., 61, 2184(1992).
- [4] J.Takata, H.Awaji, M.Koshioka, W.A.Nevin, M.Imankshi, and N.Fukada, J.Appl.Phys., 75, 4055(1994).
- [5] V.L.Colvin, M.C.Schlamp, and A.P.Alivisators, Nature, 370, 354(1994).
- [6] A. K. Hassan, and R. D. Gould, Int. J. Electronics, 69, 11(1990).
- [7] Michel Martin, Jean-Jacques Ansres, and Jacques Simon, J. Appl. Phys., 54, 2792(1983).
- [8] T.V.Ichiguchi, S.Nishikawa, and K.Murase, Solid

- State Commun., 34, 309(1980).
- [9] H.Lehmenn, G.Nimtz, L.D.Hass, and T.Jakobus, Appl.Phys., 25, 291(1981).
- [10] G.A.Cox and P.C.Knight, J.Phys.Chem.Solids, 43, 1665(1973).
- [11] N.N.Usov and V.A.Benderskii, Phys.Status Solid B 37, 535(1970).
- [12] R.S.Allgaier and B.B.Houston, J.Appl.Phys. 37, 302(1966).
- [13] N.V.Kolomotes, M.N.Vinogradova and L.M.Sysoeva, Sov.Phys.Semicond. 1, 1020 (1968).
- [14] P.J.Melz, J.Chem.Phys., 57, 1694(1972).
- [15] D.M.Pai and R.C.Enck, Phys.Rev., B11, 5163(1975).
- [16] P.M.Borsenberger and A.I.Ateya, J.Appl.Phys., 49, 4035(1978).
- [17] M.Yokoyama, Y.Endo, A.Matsubara, and H.Mikawa, J.Chem.Phys., 75, 3006(1981).
- [18] L.Onsager, J.Chem.Phys., 2, 599(1934).
- [19] L.Onsager, Phys.Rev., 54, 554(1938).
- [20] J.Mort and G.Pfister, eds., Electronic properties of polymers(Wiley, New York, 1982).

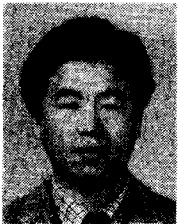
---

著 者 紹 介

---

**이 해연**

「센서학회지 제6권 제5호」 논문 97-6-5-09, p. 413 참조  
현재 부경대학교 자연과학대학 화학과 국내 POST-DOC.



**강 영수**

1961년 3월 5일생. 1983년 부산대학교 화학교육과 졸업(이학사). 1986년 부산대학교 대학원 화학교육과 졸업(이학석사). 1992년 Univ. of Houston 화학과 졸업(이학박사), 1995년~현재 부경대학교 조교수. 관심분야 : 고분자박막, 유기/무기혼합박막, nano composite.



**박 종만**

1957년 9월 9일생. 1985년 2월 부경대학교 물리학과 졸업(이학사). 1988년 2월 부경대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사). 1994년 2월 부경대학교 대학원 물리학과 박사과정 수료. 1996년~현재 부경대학교 물리학과 시간강사. 관심분야: 반도체 박막, 유기/무기 적층박막.

**이 종규**

「센서학회지 제6권 제5호」 논문 97-6-5-09, p. 413 참조  
현재 부경대학교 자연과학대학 물리학과 부교수

**정 중현**

「센서학회지 제3권 제2호」 논문 94-3-2-02, p.15 참조  
현재 부경대학교 자연과학대학 물리학과 교수