

## CdTe 나노입자를 이용한 광전류 특성

김진형, 조경아, 김현석, 이준우, 박병준, 김상식  
고려대학교 전기공학과

## Photocurrent Characteristic of CdTe nanoparticles

Jinhyong Kim, Kyoungah Cho, Hyunsuk Kim, Joonwoo Lee, Byoungjun Park, Sangsig Kim  
Department of Electrical Engineering, Korea University

### Abstract

CdTe nanoparticles were synthesized in aqueous solution by colloidal method. The absorption and photoluminescence(PL) spectrum of the synthesized CdTe nanoparticles revealed the strong excitonic peak in the visible region. Photocurrent of CdTe nanoparticles were observed in the structure of Al/CdTe/ITO that was fabricated by spin coating of CdTe nanoparticles. The wavelength dependence of photocurrent was very similar to the absorption spectrum, indicating the charges generated by the absorption of photons give direct contribution to photocurrent. This study suggests that CdTe nanoparticles are very prospective materials for optoelectronics

**Key Words** : CdTe nanoparticles, Photocurrent, photoluminescence(PL)

### 1. 서론

최근 나노기술의 발전으로 나노입자를 이용한 광소자 및 전자소자에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 반도체 나노입자를 광소자의 소재로써 주목하고 있는 것은 입자크기에 따른 에너지갭의 변화에 의한 발광 및 수광 파장의 변화와 에너지 상태밀도의 불연속성에 의한 발광 및 수광 효율을 증가시킬 수 있기 때문이다. 현재 나노입자를 이용한 광전류 특성에 대한 연구는 CdSe[1], CdS[2] 나노입자등 2-6족 반도체 물질을 이용한 광전류 생성 및 carrier 전달 특성에 대한 연구가 보고되고 있다.[5-6] CdTe는 solar cell, 방사선 수광소자 등의 소재로 활발한 연구가 진행되었고 열분해법으로 합성된 CdTe 나노입자를 이용해서 온도에 따른 광전류 특성에 대한 연구가 보고 되고 있다.[3-4] 본 실험에서는 콜로이드 합성법으로 CdTe 나노입자를 합성하고 광전류 특성 측정을 위해 Al/CdTe/ITO의 수직 구조로 필름화해서 샘플을 제작하였다. x-ray diffraction (XRD),

photoluminescence (PL) 와 absorption 측정을 통해서 CdTe 나노입자의 광학적, 구조적 특성을 분석하였다.

### 2. 실험

CdTe 나노입자는  $CdTe(ClO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (Aldrich, 98%)와  $Al_2Te_3$ (Cerac, 99.5%)를 사용하여 수용액 속에서 합성되었으며, 나노입자의 안정제로써 1-Thioglycerol(Aldrich, 95%)이 사용되었다. CdTe 나노입자 합성방법은 다음과 같다. 초순수 125mL에  $Cd(ClO_4)_2 \cdot 3H_2O$  0.985g(2.35mmol)과 1-thioglycerol 0.5mL(5.77mmol)를 첨가한 용액에 1M NaOH를 적가하여 용액의 pH(=11.63)를 조절하였다. 이 용액을 세 개의 가지가 달린 플라스크에 넣고 질소 가스 분위기에서 30 분동안 버블링을 한후,  $Al_2Te_3$  0.6g과 0.5M  $H_2SO_4$  30mL를 반응시켜 발생한  $H_2Te$  가스를 질소 가스와 함께 용액에 통과시켰다. 반응이 완료된 후 CdTe 나노입자 용액은 농축시켜 사용하였다.

CdTe 나노입자의 광전류 측정을 위해 ITO 기판에 CdTe 나노입자 용액을 spin coating 후 hot-plate를 이용하여 60°C로 baking하여 필름을 제작하였다. cathode 전극으로 사용된 알루미늄은 열증착기를 이용하여 증착하였다.

합성된 CdTe 나노입자 발광 특성 분석을 위하여 He-Cd 레이저(여기파장: 325nm,)를 이용하여 Photoluminescence(PL)을 측정하였으며, 흡광도 측정을 위해서 UV-VIS spectrophotometer를 이용하였다. 콜로이드 방법에 의해 합성된 CdTe 나노입자의 구조적 특성을 확인하기 위해 XRD를 측정하였다. 광전류 측정의 여기광원으로 Ar 이온 레이저와 Xenon lamp를 이용하였다. 제작된 샘플의 전기적인 특성을 알아보기 위하여 Keithley 237를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 CdTe 나노입자 분말의 XRD를 보여주고 있다. cubic 구조의 CdTe bulk의 회절패턴과 일치하는 것을 볼 수 있다. 입자의 크기가 작아짐에 따른 XRD 피크의 폭이 넓어지는 현상을 관찰할 수 있다.

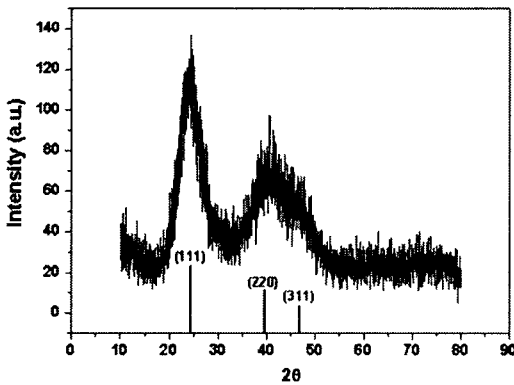


그림 1. 1-thioglycerol이 캡핑된 CdTe 나노입자의 XRD 패턴.

었다. XRD 피크의 반치폭과 입자의 크기 사이의 관계적인 Scherrer식을 이용하여 CdTe 나노입자의 크기가 약 2nm의 크기를 갖는 것을 확인하였다. 그림 2는 합성된 CdTe 나노입자를 이용한 필름의 absorption과 PL 스펙트럼을 나타내고 있다.

absorption 스펙트럼을 보면 약 500nm에서 흡수가 시작되어서 450nm에서 강한 엑시톤 피크를 보여주고 있다. 이를 통해서 합성된 CdTe 나노입자는

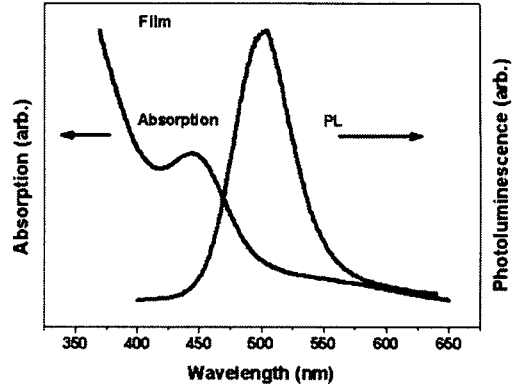


그림 2. CdTe 나노입자의 PL과 absorption 스펙트럼.

강한 엑시톤 결합을 가지는 것을 보여주며 이는 광소자의 소재로서의 가능성을 보여주고 있다. PL 스펙트럼에서는 약 500nm 부근에서 강하고 좁은 반치폭을 가지는 PL 피크가 나타난다.

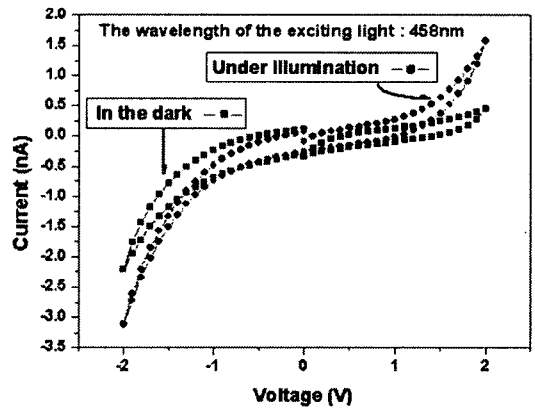


그림 3. 진공상태에서의 I-V곡선.

용액의 CdTe 나노입자의 PL과 비교해 볼 때, CdTe 나노입자를 이용하여 제작된 필름의 경우에는 PL 피크의 위치는 변함이 없으나, 그 반치폭이 증가함을 보였다. 그림 3은 여기광원을 조사할 때와 조사하지 않았을 때의 IV 곡선을 보여주고 있다. 여기광은 458nm의 파장을 갖는 Ar 이온 레이저를 사용하였다.

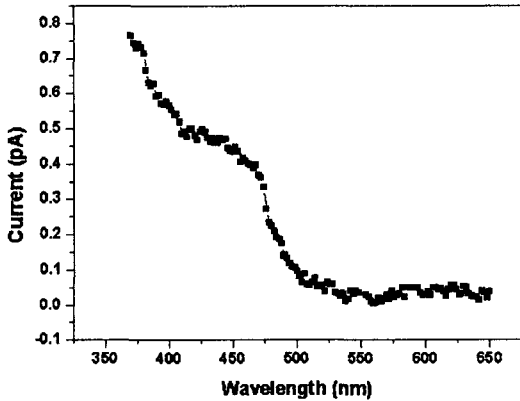


그림 4. 여기광원의 파장에 따른 광전류의 크기.

2V의 전압을 인가한 후, 여기광원을 조사했을 때와 조사하지 않았을 때의 전류를 비교하였을 때

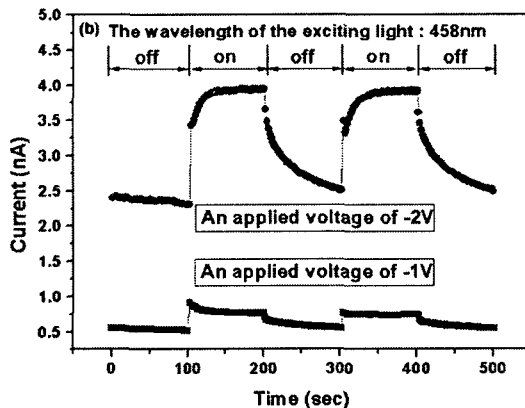
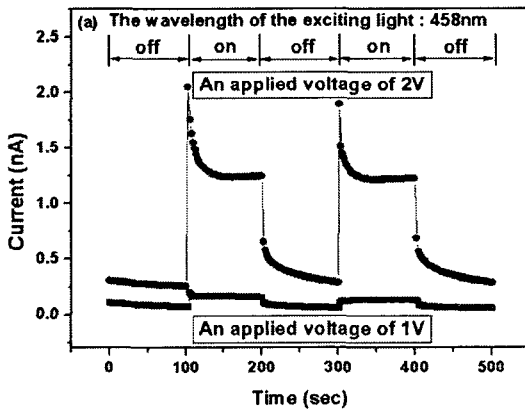


그림 5. (a) 1V, 2V, (b) -1V, -2V일 때 여기광원의 on-off에 대한 광전류 반응.

여기광원을 조사했을 때 전류가 약 4배정도 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.

IV곡선의 hysteresis 특성은 electron charging effect에 의한 광전류의 감소를 나타내고 있다. IV곡선의 비대칭성은 양쪽전극의 일함수 차이에 의한 현상으로 볼 수 있다.

그림 4는 여기광원으로 xenon lamp를 사용하여 360nm에서부터 650nm까지 여기광의 파장을 변화시키면서 광전류 변화를 보여주고 있다. 이것은 CdTe 나노입자의 필름 흡광도와 부합되는 곡선의 모양을 볼 수 있다. 이를 통해서 광전류는 CdTe 나노입자에서 생성됨을 확인할 수 있다.

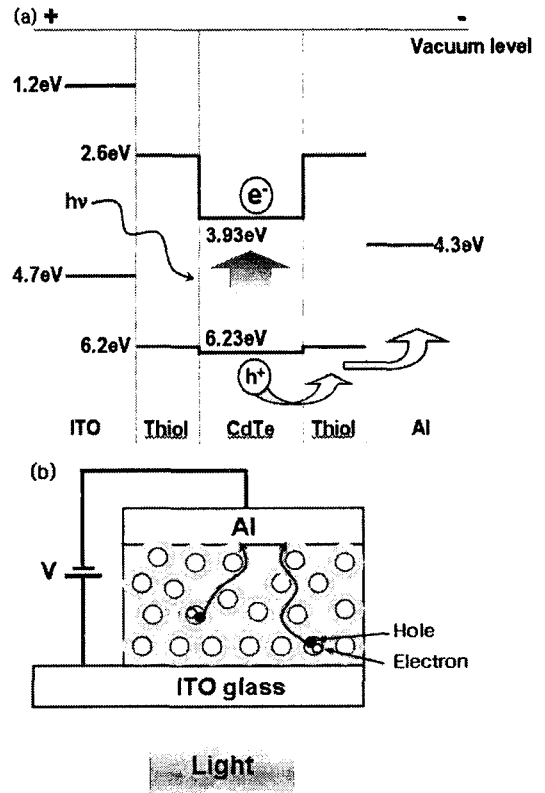


그림 6. (a) 1-thioglycerol 이 캡핑된 CdTe 나노입자의 에너지 준위 (b) 여기광원에 의해 생성된 전하의 수송에 대한 메카니즘.

그림 5(a)는 1V, 2V의 전압을 각각 인가하고, 458nm의 파장을 갖는 여기광원을 on, off 했을 때의 광전류 반응을 보여주고 있다. 인가하는 전압에

따라 광전류의 양은 증가하는 것을 볼 수 있다. 여기광원을 on 하는 순간 매우 빠르게 광전류는 생성되고 off 하는 순간 광전류는 decay time을 갖으면서 감소하는 것을 볼 수 있다. CdTe 나노입자의 안정제로 사용된 1-thioglycerol의 defect에 의해서 trap들의 영향으로 광전류 감소가 일어나는 것으로 생각되어진다. 그림5 (b) -1,V -2V의 전압을 인가했을 경우도 전압에 따른 광전류의 증가와 여기광의 on-off에 따른 광전류의 증가와 감소를 확인하였다.

그림 6 (a)은 광전류의 생성과 전달과정을 에너지 준위로 설명하고 있다. CdTe 나노입자의 밴드 갭보다 큰 여기광원의 에너지를 받은 CdTe 나노입자에서 전자-정공 쌍이 흐르게 된다. 여기서 전자는 깊은 양자 우물에 구속되어 있기 때문에 광전류에는 기여하지 못하고 정공 형성되고 음의 전압을 Al에 인가함으로써 1-thioglycerol을 통해 정공이 Al로 전달되면서 광전류 이 광전류에 지배적인 역할을 하게 된다.

#### 4. 결 론

용액상에서 콜로이드 방법에 의해 CdTe 나노입자를 합성하였다. 소자를 Al/CdTe/ITO의 구조로 만들고 PL 과 absorption 스펙트럼을 통하여 CdTe 나노입자의 가시광선영역에서의 발광 및 수광특성을 확인하였다. 여기광원을 조사할 때와 조사하지 않을 때의 IV곡선을 통해서 광전류의 증가 확인하였다. 여기광원으로 Xenon lamp를 사용하여 파장에 따른 CdTe 나노입자의 광전류 특성과 absorption이 일치함으로써 광전류가 나노입자에서 생성됨을 알 수 있었다. 여기광원의 on-off에 따른 광전류의 반응은 여기광원이 on 되는 순간 빠른 응답 속도를 보이며 증가하고 여기광원을 off하면 decay time을 갖고 감소하는 것을 확인하였다. 소자의 구조와 에너지 준위를 통해서 정공이 광전류의 carrier로써 작용하는 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어연구개발사업(이산화탄소저감 및 처리 기술개발)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] D. S. Ginger and N. C. Greenham "Charge injection and transport in films of CdSe nanoparticles", J. Appl. Phys. Vol. 87, No. 3, p. 1361, 2000.
- [2] J. Nanda, K. S. Narayan, Beena Annie Kuruvilla, G. L. Murthy, and D. D. Sarma, "Sizable photocurrent and emission from solid state devices based on CdS nanoparticles", Appl. Phys. Lett. Vol. 72, No. 11, p. 1335, 1998.
- [3] Nikolai P. Gaponik, Dmitri V. Talapin, and Andrey L. Rogach, Kathrin Hoppe, Elena V. Shevchenko, Andreas Kornowski, Alexander Eychmuller, and Horst Weller, "Thio-capping of CdTe Nanocrystals: An Alternative to Organometallic Synthetic Routes", J. Phys. Chem. B, Vol. 106, p. 7177, 2002.
- [4] M. Y. Shen, M. Oda, and T. Goto, "Direct Evidence for photoionization in CdTe Nanocrystals Embedded in Trioctylphosphine Oxide", Phys. Rev. Lett. Vol. 82, No. 19, p. 3915, 1999.
- [5] Hyunsuk Kim, Kyoungah Cho, Hyunwoo Song, Byungdon Min, Jong-soo Lee, Gyu-Tae Kim, Sung Hyun Kim, Taeyong Noh, and Sangsig Kim, "Photocurrent mechanism in a hybrid system of 1-thioglycerol-capped HgTe nanoparticles", Appl. Phys. Lett. Vol. 83, No. 22, p. 4619, 2003.
- [6] 김현석, 송현우, 조경아, 김상식, 김성현, "CdTe 양자점 합성과 물리적 특성 분석", J. KIEEME., Vol. 16, No. 8, p. 663.