Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 21, No. 10, p. 930, October 2008.

논 문 21-10-11

전극에 따른 CuPc Field-effect Transistor의 전기적 특성

Electrical Properties of CuPc Field-effect Transistor with Different Electrodes

이호식[1,a], 박용필[1], 천민우[2]
(Ho-Shik Lee[1,a], Yong-Pil Park[1], and Min-Woo Cheon[2])

Abstract

Organic field-effect transistors (OFETs) are of interest for use in widely area electronic applications. We fabricated a copper phthalocyanine (CuPc) based field-effect transistor with different metal electrode. The CuPc FET device was made a top-contact type and the substrate temperature was room temperature. The source and drain electrodes were used an Au and Al materials. The CuPc thickness was 40 nm, and the channel length was 50 ㎛, channel width was 3 mm. We observed a typical current-voltage (I-V) characteristics in CuPc FET with different electrode materials.

Key Words : Organic FET, CuPc, Current-voltage characteristics

1. 서 론

최근 유기물을 이용한 박막 트랜지스터(Thin film transistor; TFT)와 발광 다이오드 소자 (Light-emitting diode)에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 유기물을 이용한 소자제작은 무기물에 비하여 공정이 간단하고, 또한 저온에서의 소자 제작이 가능하기 때문에 무기물 반도체 소자에 비하여 많은 장점들을 가지고 있다[1].

또한 최근에 많은 연구 주제로 부각되고 있는 유연성 (flexibility)이 있고 가벼운 플라스틱 기판 (plastic substrate)의 사용이 가능해지고, 간단한 공정으로 소자를 제작할 수 있어서, 소자를 제작하는 비용의 절감 효과가 극대화 되고 있다.

특히 pentacene 등을 이용한 유기 박막트랜지스터 (Organic thin-film transistor; OTFT) 혹은 유기 전계효과트랜지스터 (Organic field-effect transistor; OFET)의 경우는 이동도가 2 cm^2/Vs 정도까지 보고되고 있다. Pentacene을 이용한 연구가 활발하게 진행되어 온 이유는 pentacene 물질이 비정질 실리콘 (amorphous silicon)과 비슷한 운반체 이동도를 가질 수 있는 물질로 알려져 있기 때문인 것으로 보고가 되었기 때문이다. Pentacene 이외에 많은 유기물들이 또한 OFET 연구에 사용되어 오고 있다[2,3].

본 연구에 사용한 CuPc는 유기 발광 소자 (Organic Light-emitting diode; OLED)의 정공 주입층, 태양광 소자 (Solar cell)의 정공 주입층 등에 널리 사용되고 있는 물질 중의 하나로 알려져 있다. 특히 OFET의 연구는 1964년에 CuPc를 처음으로 사용하여 소자가 처음으로 제작되었으나, 기대할 만한 특성이 나오지 않고, 그 이후 1983년에 polyacethylene을 사용하여 약 10^{-5} 정도의 이동도가 보고되면서 OFET 연구의 새로운 전기가 시작되었다. 특히 전계효과트랜지스터 (Field Effect transistor; FET)에서는 금속 (Metal)과 절연층 (Insulator) 그리고 반도체 (Semiconductor)로 이루어진 MIS 캐패시터가 그 중요한 기본 구조로 되어있다. 이 MIS는 절연층을 사이에 두고 금속전극 (게이트 전극)에 양 전압을 인가하면 반대쪽의 반도체에 음 전하 (전자) 혹은 음전압을 인가하여 양 전하 (정공)를 절연체와 반도체 계면에 끌어당겨 전하 층을 만들 수 있고, 또한 전하량도 전압의 크기로 조절이 가능한 소자로 알려져 있다. 또한

1. 동신대학교 병원의료공학과
(전남 나주시 대호동 252)
2. 조선대학교 의학과
a. Corresponding Author : hslee@dsu.ac.kr
접수일자 : 2008. 7. 25
1차 심사 : 2008. 8. 27
심사완료 : 2008. 9. 23

FET 소자의 특성 개선을 위한 중요한 인자중의 하나는 소스 전극 (Source electrode)과 드레인 전극 (Drain electrode) 사이에 형성되는 채널 (Channel)의 길이, 즉 채널 길이 (Channel length; L)와 채널 폭 (Channel width; W)의 적절한 값이다. 이 두개의 중요한 인자 즉, 채널 길이와 채널 폭의 값을 적절히 변화해 가면서 FET 소자로서의 특성을 살피는 것도 매우 중요한 연구 중의 하나이다[4,5].

따라서 본 연구에서는 copper phthalocyanine (CuPc) 물질을 활성층으로 사용하고, source와 drain 전극의 물질을 Au와 Al을 사용하여 FET 소자를 제작하고 이에 대한 전기적 특성을 알아보고자 한다. 특히 CuPc FET 소자의 전압-전류 특성 (I-V), 그리고, 주파수 변화에 다른 전압-캐퍼시턴스 (C-V) 특성을 측정하여, CuPc FET 소자의 특성을 연구하였다.

2. 실 험

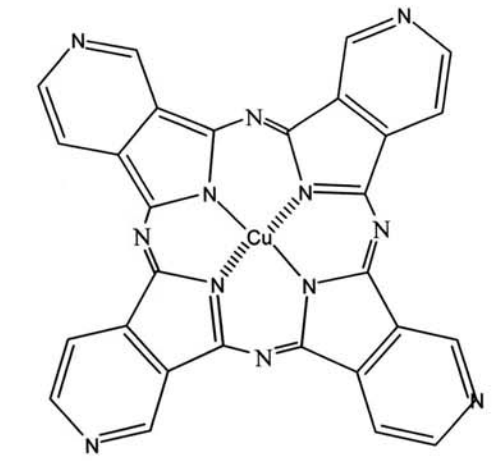
그림 1은 본 연구에서 사용한 물질의 구조 및 OFET 소자의 구조를 나타낸 것이다.

본 연구에 사용한 소자는 top-contact 형태의 구조를 가지고 있으며, 절연층으로 Si-wafer위에 열 증착법으로 형성된 SiO_2를 500 nm의 두께로 사용하였다. 게이트 전극은 Au를 사용하였고, 소스 전극, 그리고 드레인 전극은 Au와 Al을 사용하여 각각 소자를 제작하였다.

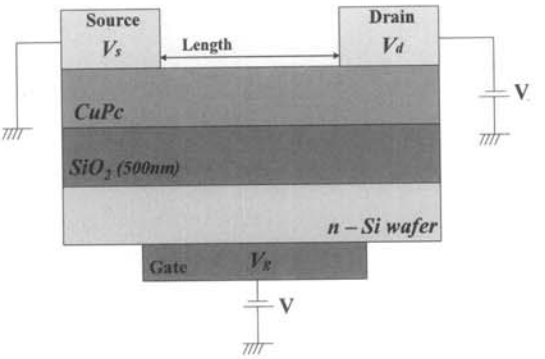
전극 형성은 열 증착 방법을 이용하여 형성하였다. 활성층으로 사용한 CuPc 물질은 TCI (Tokyo Chemical Industry Co., Japan)로부터 구입을 하였으며, 역시 열 증착 방법을 이용하여 박막을 형성하였다.

박막 형성시의 진공도는 약 10^{-6} [torr]였으며, 증착 속도는 0.5 [Å/s]의 속도를 유지하면서 증착하였다. 또한 기판으로 사용한 Si-wafer는 CuPc 물질을 증착하기 전에 기판의 세척을 위하여 30분 동안 UV/ozone 처리를 하여 사용 하였다[5].

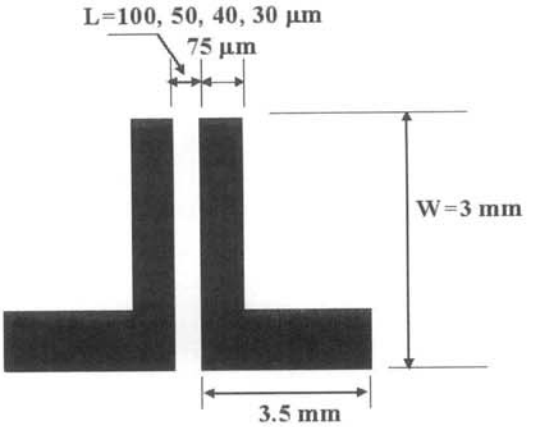
또한 OFET의 전기적 특성 측정은 Keithley type-2400을 이용하여 SMU (Source measure unit) 방법을 이용하여 측정을 하였다. 또한 유기 활성층의 표면의 특성은 AFM (Atomic force microscopy) 방법으로 측정하였다.



(a) CuPc 분자 구조



(b) 소자 구조 (Side view)



(c) 소자 구조 (Top view)

그림 1. CuPc 분자 구조 및 OFET 소자 구조.

Fig. 1. Device structure of the OFET and molecular structure of the CuPc materials.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 CuPc 물질의 표면 특성을 알아보기 위하여 AFM 측정을 하였다.

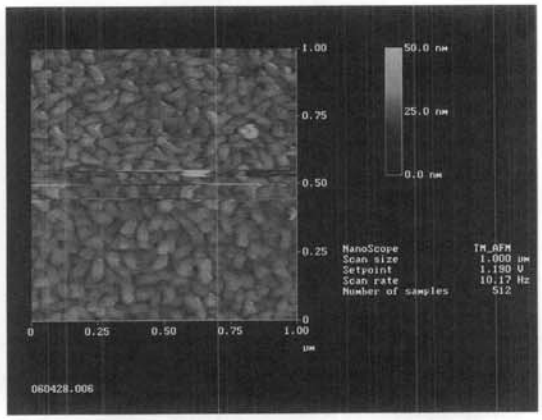
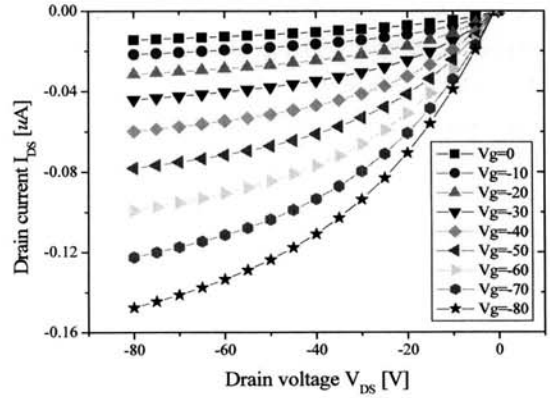


그림 2. CuPc 박막의 AFM 이미지.
Fig. 2. AFM image of the CuPc thin film.

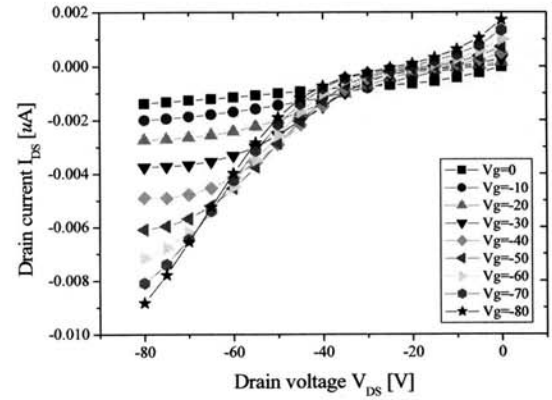
실리콘 기판위에 40 nm 두께의 CuPc 박막을 증착 기법으로 형성하고, 상온에서의 CuPc 박막의 AFM 이미지를 측정하였다. 그림에서 보면, CuPc 분자들의 대부분이 기판에 평행하게 누워 있는 것을 알 수 있으며, 또한 CuPc 입자들을 확실하게 볼 수 있다. 이는 기판 위에 CuPc 분자들이 일정한 크기로 잘 배열되어 있는 것으로 판단된다[5].

Au와 Al을 source와 drain 전극으로 사용한 CuPc FET 소자의 전기적 특성을 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)에서 보면 Au를 전극으로 사용한 소자의 전기적 특성을 나타낸 것으로 전형적인 FET 소자의 특성을 보이고 있으며, 그림 3(b)에서 보면 Al을 사용한 소자에서는 gate 전압에 따라 다른 형태의 곡선을 보여주고 있다.

특히 gate 전압이 감소할수록 높은 drain 전압에서 전류의 방향이 바뀌는 전류의 역전 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 CuPc 물질과 Au, Al 전극간의 에너지 레벨의 관계에서 알 수 있다. 그림 4에서 CuPc 물질과 Au 금속간의 에너지 차는 0.95 eV 이며, Al 금속간의 에너지 차는 0.05 eV 이다. 이는 Al 금속을 전극으로 사용하였을 때 누설 전류가 흐른다는 것을 알 수 있다. 그림 5에서는 Au와 Al을 전극으로 사용한 CuPc FET의 전압-캐패시턴스 특성 곡선을 보여주고 있다[6].



(a) Au를 사용한 CuPc FET 소자



(b) Al를 사용한 CuPc FET 소자

그림 3. Au와 Al를 사용한 CuPc FET 소자의 전압-전류 특성 곡선.
Fig. 3. Current-voltage characteristics of the CuPc FET device using Au and Al electrodes.

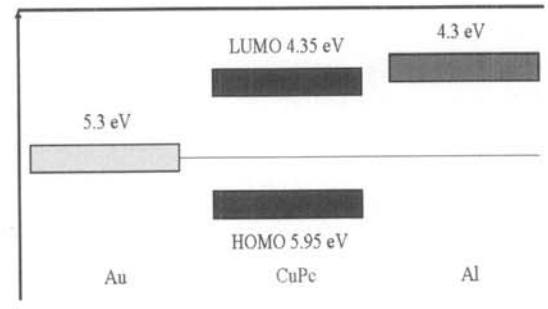
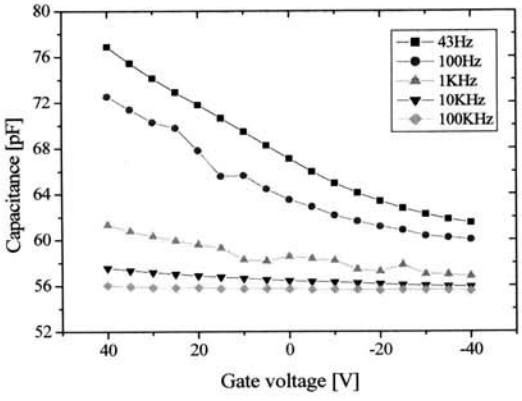
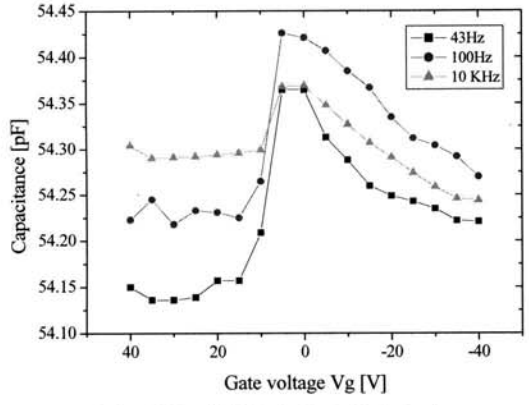


그림 4. 에너지 레벨.
Fig. 4. Energy levels.



(a) Au를 사용한 CuPc FET 소자



(b) Al를 사용한 CuPc FET 소자.

그림 5. CuPc FET의 C-V 특성 곡선

Fig. 5. Capacitance-voltage characteristics of the CuPc FET devices.

Au 전극을 사용한 CuPc FET에서는 게이트 인가 전압이 증가 할수록 캐패시턴스 값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 인가 주파수의 값이 작을 수 록 전극과 유기물 사이에 많은 양의 캐패시턴스가 축적되는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 Maxwell-Wagner 모델을 적용하면 인가된 바이어스 전압에 의한 채널의 형성과 캐패시턴스의 증가에 대해 이해하는데 도움을 얻을 수 있다[7].

4. 결 론

본 연구에서는 CuPc를 활성층으로 사용하고, source와 drain 전극 물질을 Au와 Al을 사용하여 FET 소자를 제작하였다. 그 결과 Au를 전극으로 사용한 FET 소자에서는 전형적인 FET 소자의 전압-전류 특성 곡선을 얻을 수 있었으나, Al 전극을 사용한 CuPc FET 소자에서는 gate 전압이 증가 할수록 누설 전류 현상이 보이는 것을 알 수 있다.

또한 캐패시턴스-전압 특성 측정에서도 Au 전극을 사용한 소자에서는 gate 전압이 증가 할수록 충전 용량이 증가하는 모습을 볼 수 있으나, Al 전극을 사용한 소자에서는 gate 전압의 극성이 음에서 양으로 바뀌면서 충전된 캐패시턴스가 반대로 방전되는 현상을 확인 할 수 있었다.

참고 문헌

[1] 장성근, "쌍극 폴리-금속 게이트를 적용한 CMOS 트랜지스터의 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 3호, p. 233, 2002.

[2] 황한욱, 황성수, 김용상, "LDD 구조의 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 특성", 전기전자재료학회논문지, 11권, 7호, p. 522, 1998.

[3] 김윤명, 표상우, 김준호, 심재훈, 김영관, 김정수, "Photoacryl을 게이트 절연층으로 사용한 유기 박막트랜지스터의 전기적 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 110, 2002.

[4] 송정근, "유기박막트랜지스터; 유기전자 공학의 핵심소자", 물리학과 첨단기술, 14권, 7/8호, 2005.

[5] 이호식, "CuPc 두께 변화 및 채널 길이 변화에 따른 전계 효과 트랜지스터의 전기적 특성 연구", 전기전자재료학회논문지, 20권 1호, p. 47, 2007.

[6] R. Ye, M. Baba, Y. Oishi, K. Mori, and K. Suzuki, "Air-stable ambipolar organic thin-film transistors based on an organic homostructure", Applied Physics Letters, Vol. 86, p. 253505, 2005.

[7] H.-S. Lee, S.-H. Yang, Y.-P. Park, and E.-J. Lim, and M. Iwamoto, "Copper phthalocyanine field-effect transistor analysis using an maxwell-wagner model", Trans. EEM, Vol. 8, No. 3, p. 139, 2007.