

## 알루미나 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자-PVP 나노복합 절연체층을 이용한 연성 유기박막 트랜지스터(OTFT) 제작 및 전기적 특성 연구

노화영, 설영국, 김선일, 이내응  
성균관대학교, 신소재공학과

**초 록 :** 최근에는 휴대성과 유연성이 뛰어난 다목적 디스플레이의 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이러한 기술의 핵심 능동소자로서 저비용, 대면적의 응용, 휘어짐 등의 장점을 가지는 유기박막 트랜지스터(Organic Thin Film Transistors)가 널리 연구되고 있다. 본 연구에서는 기존에 문제시 되는 유기 절연체의 저유전상수와 높은 누설전류를 보완하기 위하여 나노복합 (nanocomposite) 게이트 절연체에 대한 연구를 수행하였다. 기존의 유기물 절연체가 가지는 문제점인 높은 누설전류 특성을 보완하기 위하여 높은 전기적 절연성과 고유전상수를 가지는 알루미나 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 나노입자와 유기절연체의 나노복합체 박막을 형성시키고 이를 적용한 결과 게이트 누설전류를 억제시키어 소자의 특성을 향상시킬 수 있었다.

시 분산시킨다.

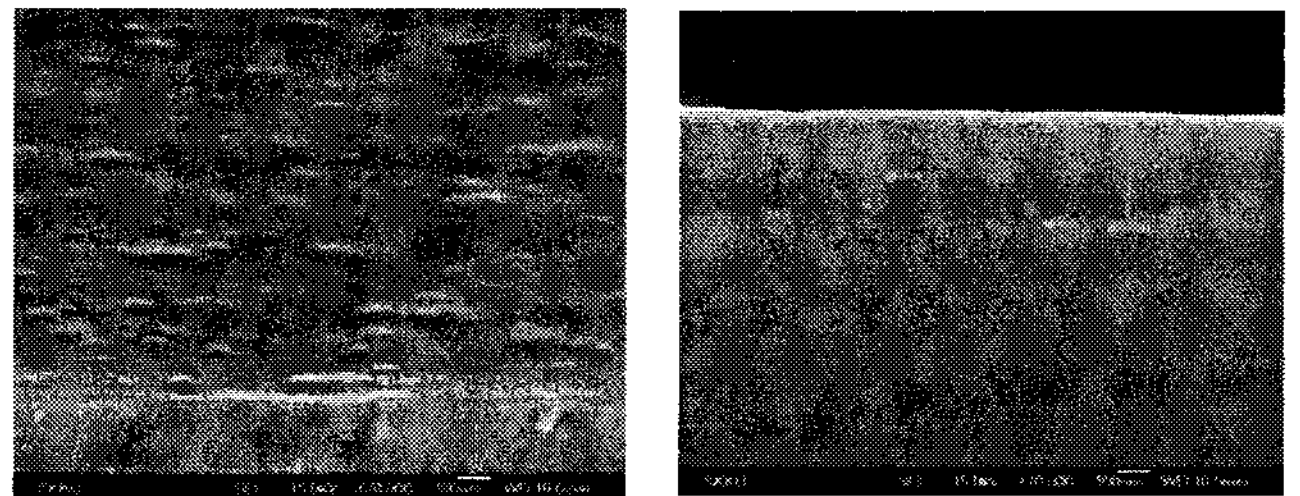


그림 1. PVP-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (22 wt%) 나노복합 게이트 절연막의 SEM 이미지

### 1. 서 론

유기 박막 트랜지스터 소자 연구는 초기에는 전하이동도를 중심으로 연구가 진행되었으나 현재는 금속 전극과 유기 반도체 사이의 접촉저항 감소 및 게이트 절연체 분야로 연구가 확대되고 있다. 본 연구에서는 게이트 절연체를 전기적 및 기계적 성능을 향상시켜 기존의 유기물 게이트 절연체가 갖는 문제점을 보완하여 향상된 전기적 특성을 갖는 연성 유기박막 트랜지스터를 제작하고자 하였다. 유기 절연체 층이 가지는 가장 큰 문제점은 절연막이 얇을 경우 누설전류 증가라 할 수 있다. 이를 보완하기 위하여 나노복합 (nanocomposite) 절연체 박막의 제조 및 소자 적용에 대한 실험을 진행하였다. 나노복합 절연체 박막의 경우 순수한 유기박막에 비하여 낮은 누설전류 및 유전상수 증가 등을 얻을 수 있을 것으로 기대되며 또한 무기 산화물 게이트 절연막 (SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등)에 비하여 기계적 연성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 유전상수가 높은 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자를 포함한 유기 나노복합 절연체 박막을 이용하여 누설전류를 억제시켜 높은 전류 점멸비를 가지는 유기박막 트랜지스터 (OTFT)를 제작할 수 있었다.

### 2. 본 론

**2.1 알루미나 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-PVP 나노복합절연체 박막의 형성**  
먼저 알루미나 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자간의 응집현상 (agglomeration)을 방지하기 위하여 적절한 coupling agent와 함께 ball milling과 centrifuging 공정을 통하여 알루미나 나노입자의 표면처리를 실시하였다. 본 실험에서는 나노복합 절연체의 형성을 위하여 용매에 알루미나나노입자를 혼합한 후 stirring을 하면서 silane 계통의 coupling agent를 첨가하여 알루미나 나노입자 표면에 functional group을 형성시켰다. 그 후 ball milling을 통하여 잘 분산시키고, centrifuging을 이용하여 알루미나 나노입자를 분리, 용매를 증발시켜 표면처리 된 알루미나 나노입자를 얻는다. 그 후 PGMEA에 10wt%의 PVP를 혼합하여 만든 유기 절연체 용액에 각각의 다른 wt%로 알루미나 나노입자를 잘 혼합한 후 ultra-sonication을 통해 다

### 2.2 나노복합절연체의 소자 적용

PI(Polyimide) 기판은 금속과의 접착력을 향상시키기 위하여 유도 결합 플라즈마를 이용하여 산소(O<sub>2</sub>) 플라즈마로 표면처리를 하였다. 표면처리 된 PI위에 도금 공정을 위하여 DC magnetic sputtering을 이용하여 Cr과 Cu를 얇게 증착한다. Cr은 유기물 기판과의 접착성 향상을 위하여 사용하였고, Cu 경우 도금 공정을 위한 seed layer로 이용된다. 게이트 전극의 패턴 형성은 negative 감광제와 함께 통상적인 포토리소그래피 (Photolithography)를 사용하고, 패턴 이외에 남은 감광제와 Cr, Cu,는 습식식각(wet etching)을 이용하여 제거한다. PI 기판위에 형성된 게이트 전극 위에 스펀코팅 방법으로 PVP 와 PVP-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-composite 게이트 절연체 층을 wt% 별로 여러 가지 조건으로 코팅하였다. 유기물 반도체인 pentacene과 Au 소스-드레인 전극은 shadow mask를 이용하여 thermal evaporator에 의해 각각 70nm, 80nm의 두께로 증착하였다. 제작된 유기 박막 트랜지스터(OTFT) 소자의 전기적 특성 평가는 HP4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 분석하였다.

### 2.3 결과 및 토의

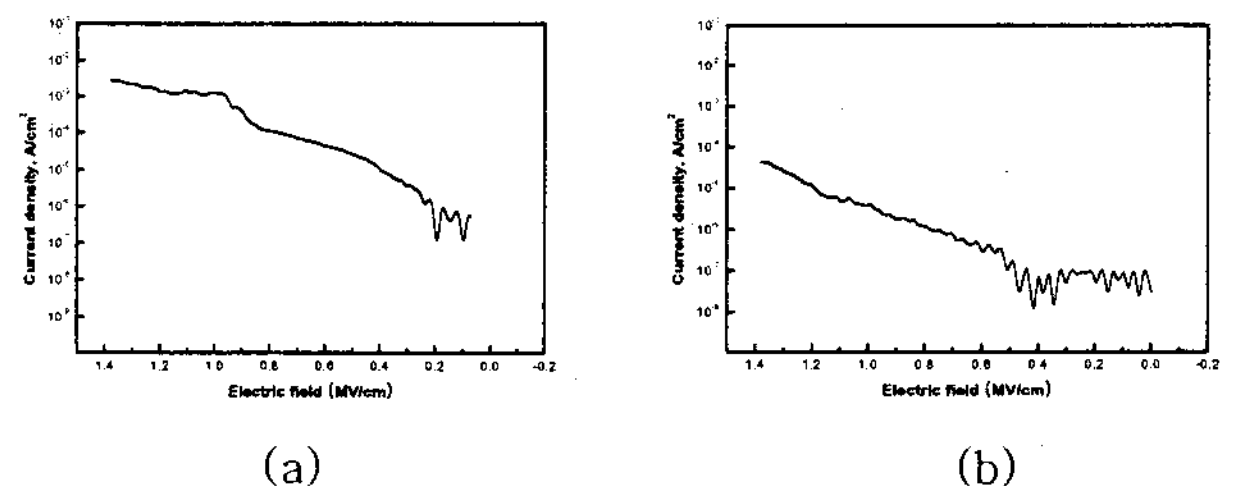


그림 2. 전계장에 대한 누설전류밀도; (a) Pure PVP, (b) PVP-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (22 wt%) 나노복합 게이트 절연막

제작된 나노복합 절연체의 누설전류 특성을 분석하기 위하여 순수한 PVP 및 나노복합 절연체를 290nm 두께로 형성시키고 MIM (Metal Insulator Metal) 구조를 제작하여

전기적 특성을 비교하였다. 나노복합체 절연막의 경우 순수한 PVP의 경우와 비교했을 때 누설전류가 현저히 감소함을 그림 2를 통하여 알 수 있다. 이는 기존 유기 절연체 내에 존재하는 pin-hole 같은 결함을 알루미늄 나노입자 첨가로 인해 감소되었음을 의미한다.

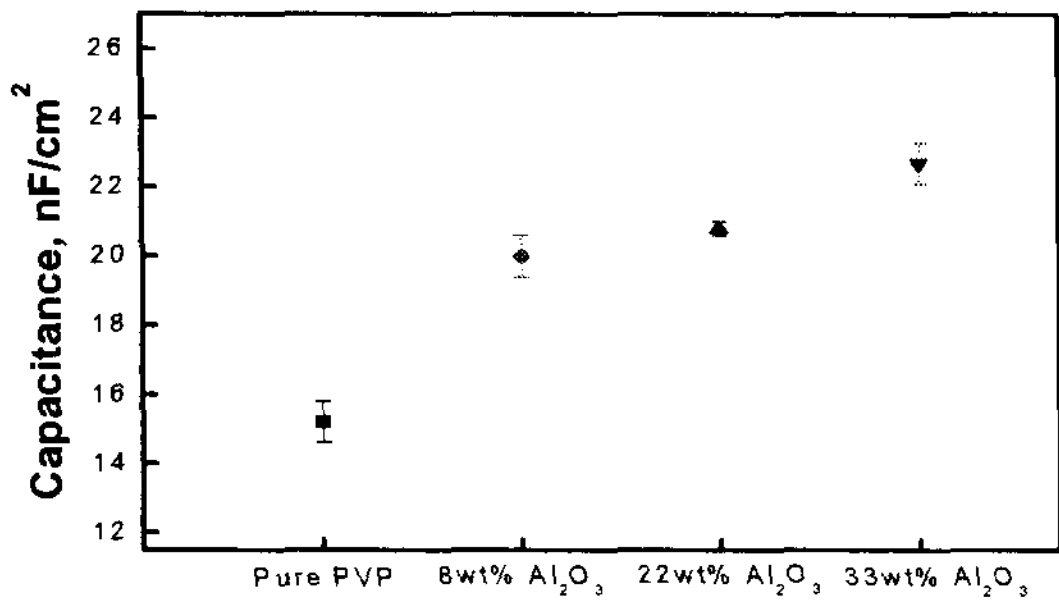


그림 3. 알루미늄 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자 첨가량에 따른 캐패시턴스 값

그림 3에서는 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자의 첨가량에 따른 단위 면적당 캐패시턴스(capacitance)를 측정된 값이다. 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자의 첨가량이 증가할수록 단위 면적당 캐패시턴스 증가하는 경향을 보였다.

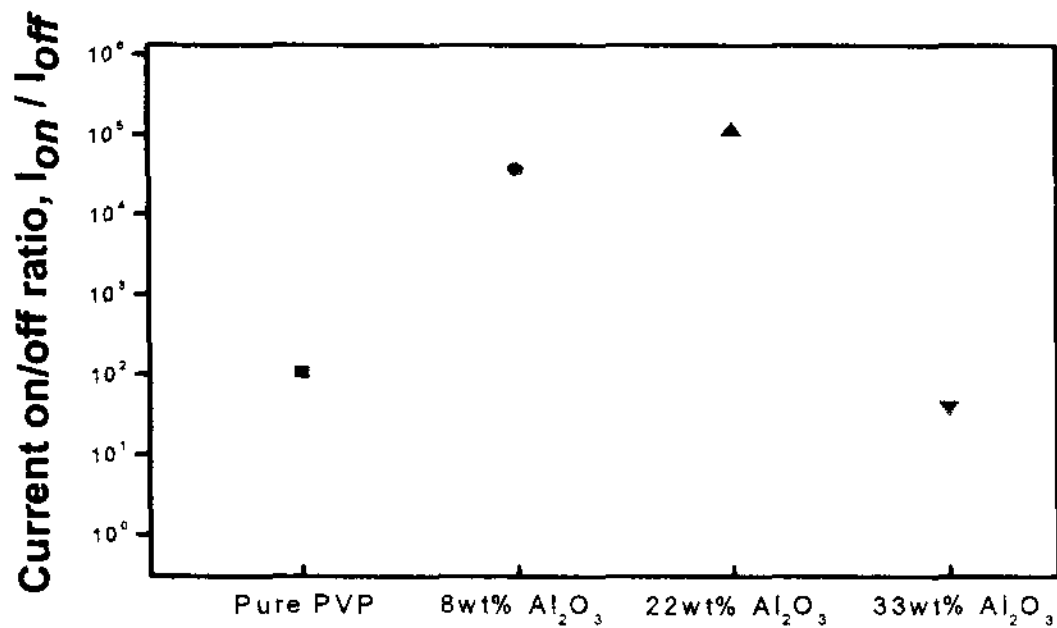


그림 4. 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 질량비에 따른 전류점멸비 (current on/off ratio).

이를 토대로 나노입자 첨가량에 따라 유기 박막 트랜지스터(OTFT) 소자를 제작하여 전류 점멸비(current on/off ratio)를 분석하였을 때, pure PVP보다 알루미늄 나노입자의 첨가량이 증가할수록 전류 점멸비도 증가하는 경향을 그림 4에서 확인할 수 있었다. 그러나 33wt%의 알루미늄 나노입자를 첨가 하였을 경우 입자 간의 응집현상과 함께 게이트 절연층의 표면 거칠기의 증가로 인하여 전류 점멸비가 크게 감소함을 확인할 수 있었다.

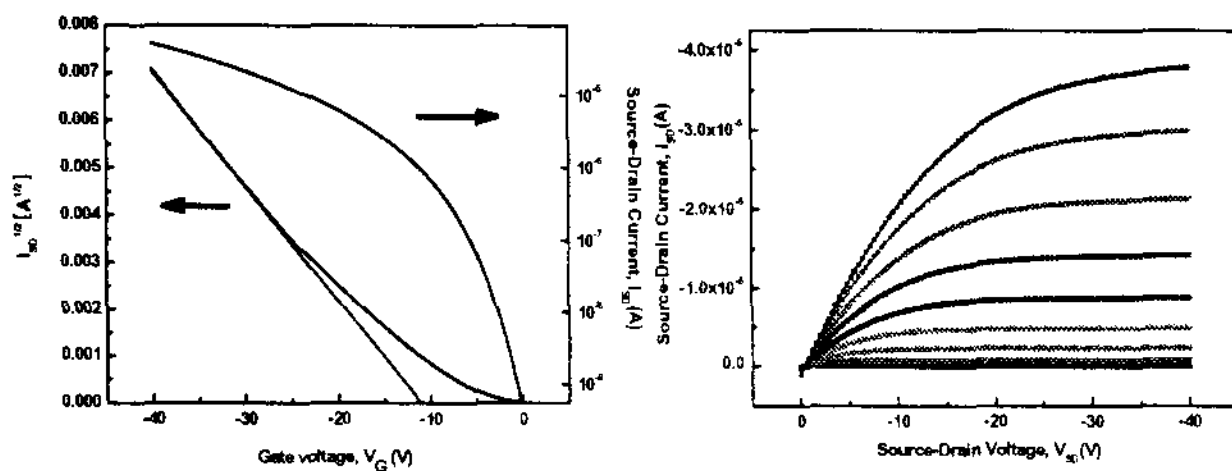


그림 5. 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자의 첨가량이 22wt% 일 때의 transfer 및 output 특성.

그림 5는 22wt%의 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자가 첨가된 나노복합게이트 절연체를 이용하여 제작된 유기 박막 트랜지스터(OTFT) 소자의 전기적 특성을 나타내었다. 이 유기

박막 트랜지스터의 field-effect mobility는 0.94cm<sup>2</sup>/V·s이고, 포화된 영역에서 current on/off ratio는 >10<sup>5</sup>이고, threshold voltage는 -11.5V이다.

### 3. 결 론

본 연구는 유기 절연체 층이 가지는 가장 큰 문제점인 낮은 유전율과 높은 누설전류 특성을 보완하기 위하여 유기물과 무기물의 나노복합절연체를 알루미늄 나노입자의 첨가량에 따른 전기적 특성을 연구하였다. 알루미늄 나노입자의 첨가량이 증가함에 따라 좋은 전기적 특성이 나타남을 관찰하였다. 그러나 질량비가 일정 이상이 되었을 때는 절연층의 표면 거칠기의 증가와 입자간의 응집에 의해 누설전류가 다시 증가하여 전류점멸비가 다시 감소함을 알 수 있었다. 따라서 유기 박막 트랜지스터(OTFT) 소자의 기계적 유연성과 전기적 특성 향상을 위하여 유기물 내에 알루미늄 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자의 분산 방법의 향상을 통한 게이트 절연층의 물성 향상 연구와 cyclic bending 테스트를 통한 기계적 유연성에 대한 연구가 필요하다.

### 감 사 의 글

- 본 연구는 한국 학술 진흥 재단의 지원으로 이루어졌습니다.
- 본 연구는 플라즈마 응용 표면기술 연구센터(CAPST)의 지원으로 이루어졌습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Mei Zhang, Raman P. Shin,; Mater Lett 2004. 408-412
- [2] Ash, B. J.; Schadler, L.S. Siegel, R. W.; Mater Lett 2002, 55, 83-87
- [3] S. H. Byun, Y. Xu., C. K. Song; Thin Solid Films 2005, 493, 278-281
- [4] Hai Dong, Lianhua Fan, C. P. Wong,; IEEE 2005, 2, 1451-1454
- [5] Facchetti, A, Yoon, M. H, Marks, T. J.; Adv. Mater, 2005, 17, 1705