

포토리소그래피를 이용한 P3HT 활성층의 패터닝에 의한 OTFT 특성 연구

박경동, 한교용
영남대학교

Study on characterization of OTFT for patterned active layer P3HT using conventional photolithography

Kyeong-Dong Park, Kyo-Yong Han
Yeungnam Univ.

Abstract : The patterning for the active layer of organic semiconductors is important to attain completely organic-based OTFTs(Organic Thin Film Transistors). We studied on possibility of the application of the conventional photolithography technique to pattern the organic active layer poly(3-hexylthiophene)(P3HT). Patterned P3HT-based OTFTs with Bottom Contact(BC) configuration were fabricated using the conventional photolithography. We achieved field-effect mobilities in the saturation regime $\sim 1.2 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on/off}}$ ratios $\sim 10^5$ in the subtractive method, $\sim 8.5 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on/off}}$ ratios $\sim 10^3$ in the additive one.

Key Words : OTFTs, P3HT, photolithography, patterning

1. 서론

수 십 년간의 유기박막트랜지스터(OTFT)에 대한 끊임없는 연구와 발전은 현재 그 성능이 수소화된 비정질 실리콘 박막트랜지스터(a-Si:H TFT)의 그것을 능가하는 연구 결과를 낳았다.^[1] 이러한 OTFT와 관련된 연구 분야 중 유기물의 패터닝(patterning)에 대한 가능성은 완전히 유기화된 OTFT의 실현을 위해 중요한 연구이다.

지금까지 유기반도체의 패터닝은 새도우 마스크(shadow mask)를 이용한 진공증착방법이 일반적으로 사용되었으며, imprint lithography, ink-jet printing, micro-contact printing 등의 다양한 방법^[2] 또한 연구되어 왔다. 하지만 이러한 방법들은 '대면적이고 저렴하며, 전유기화 된 OTFT'의 실현을 위해서는 아직까지는 한계가 있다.

한편 포토리소그래피(photolithography)는 오랜 역사를 가진 실리콘 산업과 더불어 기술적인 노하우와 장비들이 잘 갖춰져 있는 패터닝 기술이지만, 대부분의 유기물이 화학약품에 민감한 특성으로 인해, 이것의 패터닝을 위한 포토리소그래피 기술은 거의 사용되지 않고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해, 포토리소그래피 기술을 사용한 몇몇 논문에서는 polyene-C[poly(para-xylylene)]막의 도포^[3]나 유기반도체의 화학적인 조작(chemical modification)^[4]을 가하는 방법이 있으나, 이들 방법 또한 추가적인 번거로운 공정이 필요함으로 포토리소그래피 그 자체의 장점을 살릴 수 없다.

따라서 본 논문에서는 선택적 식각방법(subtractive patterning)과 lift-off 방법(additive patterning)의 전통적인 포토리소그래피 공정을 이용하여 P3HT 유기 활성층을 패터닝한 OTFT를 제작하고 그 특성을 연구하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용된 BC구조의 OTFT^[5]의 제작 순서는 다음과 같다. 높은 농도의 붕소로 도핑된 p-type 실리콘에 1000Å의 SiO₂가 건식산화로 성장된 기판을 구입하여, 기판 뒷면을 BOE로 식각한 후, 공통게이트 전극으로 알루미늄 2000Å을 진공 증착시킨다. 소스와 드레인의 전극을 형성하기 위해 lift-off 방법으로 800Å의 금을 진공 증착시킨 후, HMDS를 스프인코팅으로 도포하였다. 활성층은 regioregular P3HT를 사용하고, 용액 공정을 위한 P3HT 용매로서 무수의 클로로포름(CHCl₃)을 정제 없이 사용하였다. 클로로포름에 P3HT를 무게 백분율로 용해시키고, 유공도가 0.2μm인 PTFE 시린지 필터를 사용하여 진공입자를 제거하였다. 활성층의 박막은 P3HT용액(0.134wt%)을 2000rpm에 60초 동안 스프인코팅으로 얻었고, 120°C에서 1시간 동안 어닐링 시키고, 천천히 대기온도까지 냉각시켰다.

P3HT 유기 활성층의 패터닝은 일반적인 선택적 식각 방법(subtractive patterning)과 lift-off 방법(additive patterning)을 이용하여 이루어 졌다.^[6]

3. 결과 및 고찰

그림1.는 활성층이 패터닝되지 않은 소자의 다양한 게이트 전압에 따른 드레인 전압(V_{ds})에 대한 드레인 전류(I_{ds})의 그래프를 나타낸다. 그림1.에서 소스와 드레인의 전위차가 없을 때 (V_{ds}=0), 게이트 절연층(SiO₂)을 통한 누설 전류(leakage current)가 나타났으며, 이 값은 게이트 전압(V_g)이 커질수록 증가하는 현상을 보였다. 따라서 off-current의 증가는 낮은 전류정밀비(I_{on/off} ratio)의 결과를 보였다. 이는 제작된 OTFT 소자가 반전층(inversion layer)에서 전도채널이 형성되는 MOSFET과 달리 축적층(accumulation layer)에서 그것이 형성되며^[7], 공통 게이트 전극을 사용하기에 게이트 전압을 인가하였

을 때 활성층(채널영역) 뿐만 아니라 디바이스 전체에 홀이 축적되어 소스와 드레인의 확장효과를 가져와서 게이트 절연층을 통한 누설 전류가 증가되었다고 설명되어 진다.^[8]

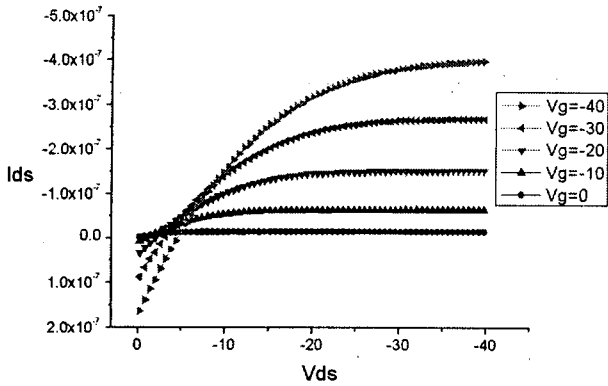


그림1. P3HT 활성층이 패터닝 되지 않은 소자의 I-V 특성. (W: 2mm, L: 60 μ m) $V_{th}=3.24V$, $\mu_{fet}=-4.3 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{on/off}$ ratio=56

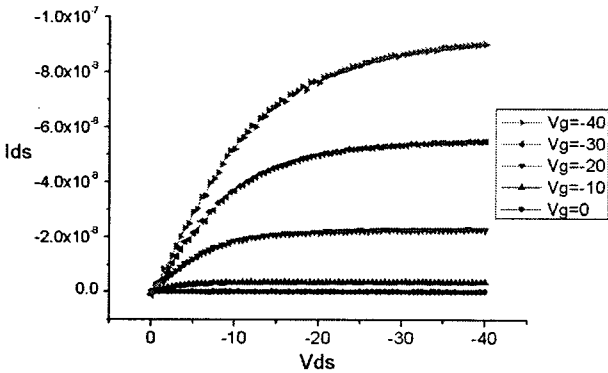


그림2. 선택적 식각 방법을 이용하여 활성층을 패터닝한 소자의 I-V 특성. (W: 2mm, L: 75 μ m) $V_{th}=1.35V$, $\mu_{fet}=-9.6 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{on/off}$ ratio= 1.85×10^5

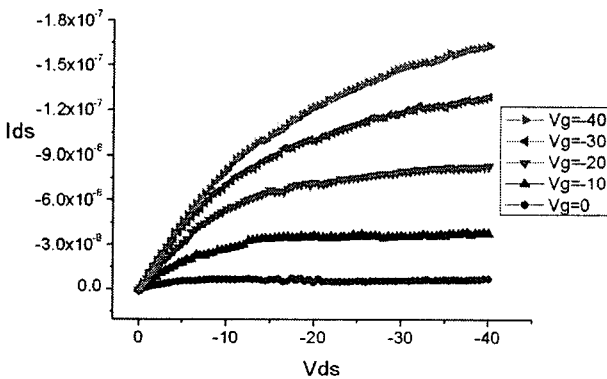


그림3. lift-off 방법을 이용하여 활성층을 패터닝한 소자의 I-V 특성. (W:2mm, L:45 μ m) $V_{th}=5.35V$, $\mu_{fet}=-4.1 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{on/off}$ ratio= 1.5×10^2

그림2와 그림3은 각각 선택적 식각 방법 과 lift-off 방법으로 활성층을 패터닝한 P3HT-OTFT 소자의 I-V 특성을 나타낸다. 활성층을 패터닝한 소자는 그렇지 않은 소자에 비해 전류점멸비($I_{on/off}$ ratio)가 최고 $\times 10^3$ 까지 증가하였다. 이는 활성층의 패터닝으로 인해 유기 반도체의 채널을 제외한 나머지 부분의 누설 전류가 제거되었기 때문이다. 전계효과 이동도(μ_{fet})의 경우는 패터닝한 두 소자에서 차이를 보였다. 선택적 식각 방법의 경우 μ_{fet} 가 최대 $\times 10$ 배 까지 증가하는 현상을 보였으나, lift-off 방법을 사용한 경우는 μ_{fet} 의 큰 변화가 관찰되지 않았다.

4. 결론

활성층이 패터닝된 P3HT-OTFT 소자는 그렇지 않은 소자에 비해, 전류점멸비가 $\times 10^3$ 배, 전계효과이동도가 $\times 10$ 배 까지 증가 하였다. 따라서 본 연구에서는 공정 중에 발생할 수 있는 화학약품에 의한 P3HT 유기반도체의 성능저하(degradation)없이 전류차단상태(off-state)에서의 게이트 절연층을 통한 누설전류(leakage current)를 줄임으로써, 전통적인 포토리소그래피 기술을 이용하여 활성층이 패터닝된 P3HT-OTFT 소자를 성공적으로 제작하였다.

참고 문헌

- [1] D.J. Gundlach, Y.Y. Lin, T.N. Jackson, S.F. Nelson and D.G. Schlom, IEEE Electron Device Letters, Vol.18, NO.3, pp.87-89 (1997)
- [2] "Alternative Lithography: unleashing the potentials of nanotechnology", Clivia M. Sotomayor Torres, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York (2003)
- [3] I. Kymissis, C.D. Dimitrakopoulos, S. Purushothaman, J. Vac. Sci. Technol. B vol.20, pp.956 (2002)
- [4] C.D. Müller, A. Falcou, N. Reckefuss, M. Rojahn, V.Wiederhirn, P. Rudati, H. Frohne, O. Nuyken, H. Becker, K. Meerholz, Nature vol.421, pp.829(2003)
- [5] "Thin-Film Transistors", Cherie R. Kagan, Paul Andry, Marcel Dekker, Inc. Chapter.6 (2003)
- [6] "Semiconductor Manufacturing Technology", Michael Quirk, Julian Serda, Prentice Hall (2001)
- [7] Gilles Horowitz, J. Mater. Res., vol 19, no 7 pp.1946-1962 (2004)
- [8] Huiping Jia, Gaurang K. Pant, Erick K. Gross, Robert M. Wallace, Bruce E. Gnade, Organic Electronics vol.7, pp.16-21 (2006)