

## 자기조립 단분자막의 알킬사슬 길이에 따른 고분자 박막 트랜지스터의 전하트랩 밀도 제어

박준화 · 최유라\* · 민보연\* · 문준영\* · 이재원\* · 장현수\* · 박영돈†

인천대학교 에너지화학공학과, \*세종과학고등학교

(2019년 2월 27일 접수, 2019년 4월 22일 수정, 2019년 4월 23일 채택)

## Control of Charge Trap Density in Polymer Thin Film Transistor Using Self-assembled Monolayer with Different Alkyl Chain Length

Jun Hwa Park, Yu Ra Choi\*, Bo Yeon Min\*, Jun Young Moon\*, Jae Won Lee\*,  
Hyun Soo Jang\*, and Yeong Don Park†

Department of Energy and Chemical Engineering, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Korea

\*Sejong Science High School, 79 Ori-ro 21-gil, Guro-gu, Seoul 08258, Korea

(Received February 27, 2019; Revised April 22, 2019; Accepted April 23, 2019)

**초록:** 본 연구에서는 게이트 절연체 위에 표면개질된 자기조립 단분자막이 고분자 박막의 전하이동 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. SiO<sub>2</sub> 게이트 절연층에 CH<sub>3</sub>의 작용기를 가지는 자기조립 단분자막을 형성하였을 경우 반도체/절연층 계면에 존재하는 전하트랩 양이 감소됨을 보였다. 자기조립 단분자막의 알킬사슬의 길이가 C1, C8, C18로 길어질수록 전하트랩이 더욱 감소하여 트랜지스터의 전하이동도가 증가하였다. 그리고 본 연구에서 사용된 고분자 반도체인 poly(3-hexylthiophene) 박막의 결정화도가 높은 경우에는 박막 내부의 전하트랩과 계면에서의 전하트랩이 동시에 줄어들어 결정화도가 낮은 poly(3-hexylthiophene) 박막보다 더 높은 전하이동 특성을 보였다.

**Abstract:** In this paper, influence of a surface-modified self-assembled monolayer onto a gate insulator on charge transport properties in polymer films was systematically investigated. Charge trap density at the interface between a semiconductor and an insulator drastically decreased by using CH<sub>3</sub> functionalized self-assembled monolayer. We found that the longer alkyl chain length in the self-assembled monolayer (i.e., C1, C8, and C18) further reduced the charge trap, and thereby increased the field-effect mobility of the transistors. Moreover, poly(3-hexylthiophene) thin films with high crystallinity show better charge transport properties than that of polymer films with lower crystallinity due to the reduced charge trap density both in the polymer thin films and at the interface between semiconductor and insulator.

**Keywords:** organic thin film transistors, poly(3-hexylthiophene), self-assembled monolayer, charge trap density.

## 서 론

고분자 반도체를 활용한 고분자박막 트랜지스터는 무기물 반도체 기반으로는 구현이 어려운 유연 인쇄소자의 핵심기술이다.<sup>1-4</sup> 최근에 고분자박막 트랜지스터는 고분자 물질 자체의 유연한 특성과 함께 간단한 공정으로 인한 낮은 생산비로 인해 전세계적으로 플렉서블, 웨어러블 기기와 폴더블 기기에 대한 관심이 증가함에 따라 활발히 연구가 진행되고 있다.<sup>5-7</sup> 박막형 트랜지스터에서는 반도체/절연체 계면에서 전하가 이

동하는 채널이 형성되기 때문에 채널영역에서 고분자 반도체와 절연체의 화학적 물리적 특성에 따라 소자 성능이 크게 달라진다.

용액공정을 이용해 제조된 고분자 반도체 층은 높은 분자 규칙성을 가지기 어려워 무기물 반도체 소자들에 비해 현저히 낮은 성능을 나타낸다. 고분자 박막은 긴 사슬들이 얽혀 있는 구조를 이루고 있어, 박막 내에 자유부피가 광범위하게 존재한다. 이러한 낮은 분자 규칙성으로 인해 전하이동이 원활하지 못하고 반도체 층 내부의 수많은 전하트랩이 존재하여 소자성능을 저하시킨다. 그리고 고분자 반도체 층 내부의 결함뿐만 아니라 게이트 절연층과의 계면에서도 전하트랩이 발생해 전하이동 특성에 악영향을 주게 된다. 고분자 트랜지스터에서 많이 사용되는 SiO<sub>2</sub>, 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 같은 무기

†To whom correspondence should be addressed.  
ydpark@inu.ac.kr, ORCID<sup>®</sup>0000-0002-1615-689X  
©2019 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

게이트 절연체 물질은 표면에 친수성인 OH 작용기로 인하여 쌍극자 힘이 작용해 전하이동을 방해하는 트랩사이트 역할을 한다.<sup>8-11</sup>

따라서 반도체/절연층 계면에서의 전하트랩에 의한 유기 전자소자의 성능 저하를 해결하기 위해 자기조립 단분자막을 이용해 무기 게이트 절연체를 표면처리하는 방법이 사용되고 있다. 자기조립에 의한 단분자막 제조기술은 알맞은 무기금속 기판을 계면활성 분자가 녹아있는 용액에 일정시간 동안 침지시키면 자발적으로 기판 위에 유기 활성분자가 결합하여 단분자막을 형성하는 것으로 알려져 있다.<sup>12,13</sup> 자기조립 단분자막 제조에 사용되는 계면활성 유기분자는 기판과 화학적으로 결합하는 머리부분, 유기분자간 van der Waals 인력으로 상호작용하는 알킬사슬 부분, 마지막으로 작용기 역할을 하는 말단부분으로 나뉘어져 있다. 말단부분의 작용기는 자기조립 단분자막의 표면특성을 결정하는 가장 중요한 요소이기 때문에, 지금까지는 자기조립 제조기술을 전자소자에 적용하였을 경우 자기조립 단분자막의 말단기를 변화시켜 소자의 전기적 특성변화를 관찰하여 왔다.<sup>14-17</sup> 하지만, 단순 말단 작용기 변화가 아닌 유기분자간 van der Waals 인력으로 상호작용하는 알킬사슬에 관한 체계적인 연구는 이루어지지 못하고 있다.

본 연구에서는 게이트 절연체 표면에서의 전하트랩을 줄이고 고분자 트랜지스터 소자의 전기적 특성을 향상시키기 위해, CH<sub>3</sub>의 말단 작용기를 가진 자기조립 단분자막을 적용하여 SiO<sub>2</sub> 게이트 유전체의 표면특성을 개질하였다. CH<sub>3</sub>의 말단 작용기를 가지며 알킬사슬 길이가 서로 다른(n=1, 8, 18) 3가지 유형의 자기조립 단분자막을 제조하여 전하트랩 밀도의 변화를 비교 분석하여 살펴보았다. 아울러 스핀코팅 시 주 용매의 끓는점을 달리하여 poly(3-hexylthiophene)(P3HT) 고분자 박막의 결정화도를 변화시켰으며, 이를 통해 계면에서의 트랩밀도 변화뿐만 아니라 고분자 박막 내에서의 트랩밀도 변화를 체계적으로 분석하였다.

## 실 험

**자기조립 단분자막 제조.** SiO<sub>2</sub>/Si 기판(2×2 cm)을 아세톤과 에탄올 용매에서 30분간 초음파를 사용하여 세척을 진행한 후 UV/O<sub>3</sub>에 15분간 노출하였다. 그 후 hexamethyldisilazane(C1, Aldrich)을 2500 rpm의 속도로 60초 동안 스핀코팅한 뒤 오븐에서 150 °C에서 1시간 동안 열처리를 진행하였다. 알킬사슬의 길이가 서로 다른 octyltrichlorosilane(C8, Aldrich)과 octadecyltrichlorosilane(C18, Aldrich)의 두 종류의 자기조립 단분자막을 표면처리하기 위하여 SiO<sub>2</sub>/Si를 황산과 과산화수소를 2:1로 혼합한 piranha에 30분간 침지시켜 세척을 진행하였다. 이후 증류수를 이용해 충분히 세척한 뒤 톨루엔 용액(C8, C18, 3 mmol)에 1시간 동안 침지시켜 자기조립 단분자막을 제조하였다. 이후 130 °C에서 열처리를 진행하여 결

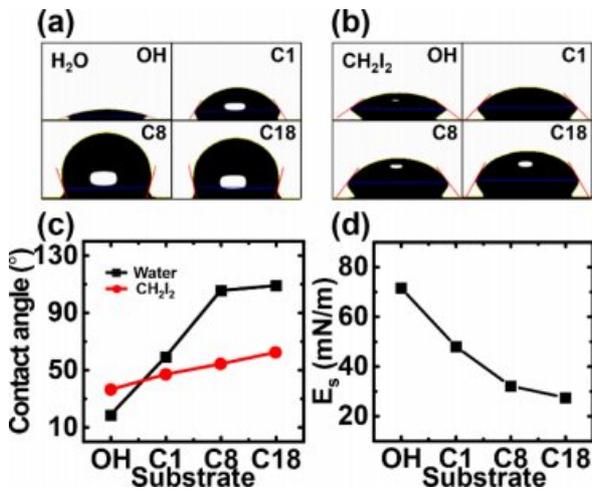
합을 단단하게 하였다. 3종류의 자기조립 단분자막 제조 후 톨루엔 용매 상에서 초음파 처리하여 잔류 유기분자들을 제거하였다.

**고분자 트랜지스터 제작.** 고분자박막 트랜지스터의 기판으로 highly-doped n-type Si wafer를 사용하였고, 300 nm 두께의 SiO<sub>2</sub>(10.8 nF/cm<sup>2</sup>)를 절연층으로 사용하였다. 300 nm SiO<sub>2</sub> 절연층을 piranha 용액으로 세척한 OH 기판과 C1, C8, C18 자기조립 단분자막을 처리한 SiO<sub>2</sub> 절연층, 총 4종류의 표면 특성을 가진 절연층을 사용하였다. Poly(3-hexylthiophene)(Rieke metals)을 클로로벤젠(CB), 클로로포름(CF)의 두 가지 용매를 이용하여 각각 10 mg/mL의 용액을 1500 rpm의 속도로 60초 동안 4종류의 절연층 위에 스핀코팅하였다. 박막을 형성한 뒤 진공 보관하여 잔류 용매를 제거하였다. 이후 P3HT 박막 위에 채널 길이 100 μm, 채널 너비 2000 μm의 shadow mask를 이용해 Au 소스/드레인 전극을 증착하여 bottom-gate, top-contact의 소자를 제조하였다.

**고분자 박막 및 트랜지스터 전기적 특성 분석.** 자기조립 단분자막의 알킬사슬 길이에 따른 표면특성 변화를 관찰하기 위하여 접촉각 측정기(S.E.O. Co. Ltd, Phoenix-MT)를 이용하여 접촉각을 측정하였다. 극성용매인 증류수와 비극성 용매 CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>를 사용하여 각각 접촉각을 측정한 후 측정된 접촉각 값을 이용하여 Owens-Wendt 방법으로 표면에너지를 계산하였다. 기판의 표면처리에 따른 P3HT 박막의 결정성 차이를 확인하기 위하여 UV-visible spectrometer(Perkin Elmer, LAMBDA365)와 X-ray diffraction(XRD, Smart Lab, Rigaku)을 이용하여 비교 분석하였다. 그리고 atomic force microscopy(AFM, Bruker, Multimode 8)를 이용하여 P3HT 박막의 표면 모폴로지를 분석하였다. 마지막으로 진공 상온 조건하에서 Keithley 4200-SCS를 이용하여 P3HT 박막 트랜지스터의 전기적 성능변화를 분석하였다.

## 결과 및 토론

**접촉각 측정 및 표면에너지 계산.** 본 연구에서는 게이트 절연체인 SiO<sub>2</sub>의 표면을 C1, C8, C18 세 종류의 자기조립 단분자막을 이용하여 표면처리하였고, 표면개질에 따른 특성 비교를 위하여 표면세척만 진행한 OH 기판을 함께 비교 분석하였다. Figure 1은 4종류 기판의 접촉각을 측정한 결과이다. 먼저 기판의 표면처리에 따른 물 접촉각 변화를 관찰하였다. OH 기판의 경우 물 접촉각이 18.41°로 매우 낮았으나 알킬사슬 길이가 C1에서 C18로 변화함에 점차 증가하여 최대 108.95°의 값을 가졌다. 자기조립된 알킬사슬의 길이가 길어짐에 따라 소수성이 증가하는 것을 확인하였다. 무극성 용매인 CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>를 이용하여 접촉각을 한 번 더 측정하였고, 물 접촉각과 CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub> 접촉각 결과를 식 (1)을 이용하여 표면에너지를 계산하여 Table 1에 정리하였다.<sup>18</sup>



**Figure 1.** Contact angles on four kinds of substrates using (a) water; (b) CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>. Results of (c) contact angles; (d) calculated surface energy (E<sub>s</sub>).

**Table 1. Contact Angles for Water and CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub> on Four Kinds of Substrates and Surface Energy Calculated from Contact Angles**

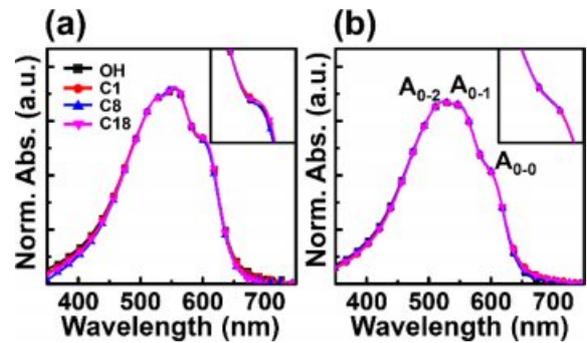
Substrate	H <sub>2</sub> O (degree)	CH <sub>2</sub> I <sub>2</sub> (degree)	E <sub>s</sub> (mN/m)
OH	18.41	36.08	71.56
C1	59.08	46.70	47.93
C8	105.46	54.01	32.04
C18	108.95	62.08	27.41

$$(1 + \cos(\theta))\gamma_{LV} = 2\sqrt{\gamma_S^D \gamma_L^D} + 2\sqrt{\gamma_S^P \gamma_L^P} \quad (1)$$

여기서,  $\theta$ 는 contact angle,  $\gamma_{LV}$ 는 free energy of water,  $\gamma_S^D$ 는 dispersive component of the surface energy of the solid,  $\gamma_L^D$ 는 dispersive component of the surface energy of the wetting liquid,  $\gamma_S^P$ 는 polar component of the surface tension of the solid,  $\gamma_L^P$ 는 polar component of the surface tension of the wetting liquid이다.

Table 1에서 보는 바와 같이 OH 기판에 비해 CH<sub>3</sub> 작용기로 표면개질된 기판의 경우에 표면에너지가 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 알킬사슬 길이가 증가할수록 표면에너지가 27.41 mN/m로 감소하는 것을 확인하였다. 친수성인 SiO<sub>2</sub> 절연층이 CH<sub>3</sub> 작용기로 표면개질됐을 때 소수성을 띠게 되었으며, 자기조립 유기분자의 알킬사슬 길이가 길어질수록 알킬사슬간 van der Waals 인력이 강해져 더 강한 소수성을 가지는 것을 확인하였다.

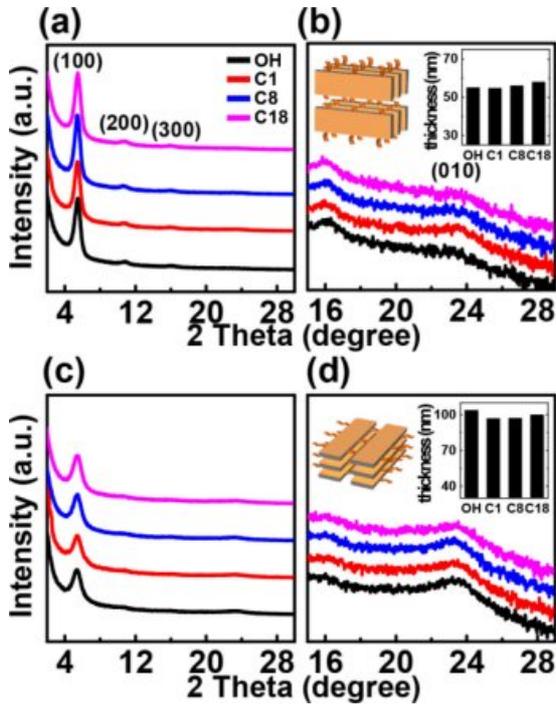
**P3HT 박막의 결정성 비교.** 기판의 표면특성 변화에 따른 P3HT 박막의 분자구조에 미치는 영향을 확인하기 위하여



**Figure 2.** Normalized UV-vis absorption spectra corresponding to the A<sub>0-2</sub> transition in the P3HT thin films spin-cast using (a) CB; (b) CF on four kinds of substrate. The inset shows magnified intensities of the A<sub>0-0</sub>.

UV-Vis, 분광학과 XRD 분석을 진행하였다. 4종류의 서로 다른 표면특성을 가지는 기판 위에 각각 끓는점이 상이한 용매인 CB, CF를 사용하여 스핀코팅 방법으로 P3HT 박막을 제조하였다. Figure 2는 4종류의 기판 위에 각각 CB, CF 용액을 이용하여 스핀코팅한 P3HT 박막의 UV-Vis 스펙트럼의 결과이다. UV-Vis 스펙트럼에서 보는 것과 같이 P3HT의 intrachain  $\pi-\pi^*$ 에 의한 A<sub>0-2</sub> 흡수피크가 524 nm 부근에서 나타나고, interchain  $\pi-\pi$  인력에 의한 A<sub>0-1</sub>, A<sub>0-0</sub> 흡수피크가 556, 605 nm 각각 나타나는 것을 확인하였다.<sup>19</sup> P3HT 박막의 스펙트럼을 확인하였을 때 기판의 표면특성이 다른 4종류의 기판에서 흡수피크의 변화가 나타났다. 따라서 기판의 표면개질은 후처리공정 없이 단순 스핀코팅된 P3HT 박막의 구조적인 변화를 유도하지 않는다는 것을 알았다. 하지만, CB를 이용하여 스핀코팅된 P3HT 박막의 스펙트럼은 CF로 제조된 P3HT 박막 스펙트럼보다 A<sub>0-1</sub>, A<sub>0-0</sub> 흡수피크가 높게 나타났다. 이는 주용매의 끓는점이 높아 용매의 느린 증발속도로 인하여 P3HT 분자의 결정형성을 유도한 것이다.<sup>20</sup> UV-Vis 스펙트럼 분석결과 용매가 같다면 기판의 종류에 상관없이 P3HT 박막의 결정성은 동일하였다.

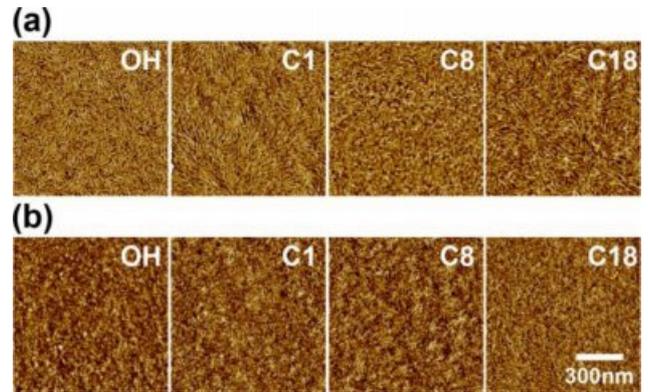
상이한 표면특성을 가지는 기판 위에 제조된 P3HT 박막 결정성의 변화를 XRD를 이용하여 분석하였다(Figure 3). CB를 용매로 한 고분자 박막에서는 P3HT 라멜라에서 주사슬간의 거리인 5.5°에서 (100) 피크가 크게 나타났고, 11°, 15.7°에서 각각 (200), (300) 피크가 관찰되었다(Figure 3(a)). CF 용액으로 코팅된 P3HT의 경우에는 용매의 낮은 끓는점으로 인한 빠른 증발속도로 인하여 박막의 두께가 90~100 nm로 CB보다 약 두 배 정도 두꺼우에도 불구하고 (100) 피크가 상대적으로 작게 나타났고, (200), (300) 피크는 거의 관찰되지 않았다(Figure 3(c)). 이를 통해 CB를 용매로 사용하였을 경우에 용매의 느린 증발속도로 인하여 P3HT 박막에서 높은 결정성장이 이루어 졌음을 확인하였다. 그리고 CF로 제조된 P3HT 박막의 경우에는 23.8° 부근에서 P3HT 분자의  $\pi-\pi$



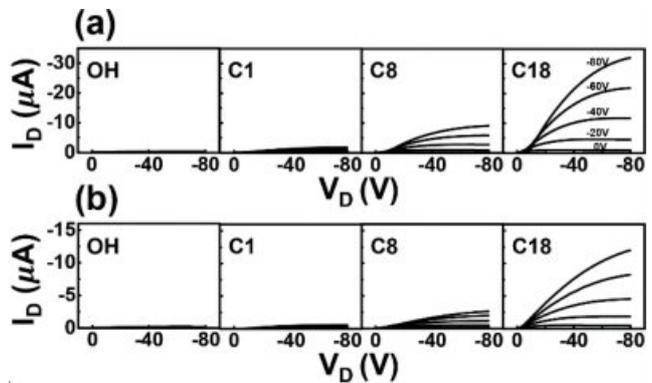
**Figure 3.** XRD patterns of P3HT films spin-cast using (a) CB; (c) CF on four kinds of substrate. Magnified XRD intensities of (010) peaks using (b) CB; (d) CF. The inset shows schematic of face-on and edge on structure of P3HT films (left) and the thickness of P3HT thin films with different substrate (right).

stacking 거리인 (010) 피크가 상대적으로 크게 나타났다. CF로 제조된 P3HT는 스핀코팅 시 빠른 회전과 용매의 낮은 끓는점으로 인하여 증발속도가 빨라서 일정 부분이 face-on 구조를 가지고 있었다(Figure 3(d)).<sup>21</sup> 하지만, 기판의 표면특성에 따른 변화를 확인하였을 때 각 용매별로 피크의 크기나 위치의 변화가 없음을 확인하였다. 앞선 UV-Vis 스펙트럼의 결과와 동일하게 XRD를 이용하여 기판의 표면처리를 통해 표면에너지 조절하여도 절연층 위에 형성되는 고분자 박막의 구조적인 변화가 없었다.

4종류의 서로 다른 표면특성을 가지는 SiO<sub>2</sub> 기판 위에 스핀코팅된 P3HT 박막의 표면 모폴로지를 AFM을 이용하여 분석하였다(Figure 4). 먼저 CB를 사용하여 제조된 P3HT 박막의 경우에 두껍고 긴 형태의 nanofibril을 가지는 모폴로지를 확인하였다. 이는 CB 용매의 높은 끓는점으로 인하여 박막형성 시 증발 속도가 느려져 P3HT 분자들의 상호인력이 향상된 것으로 보인다(Figure 3(a)). CF를 사용하여 제조된 P3HT 박막은 용매의 낮은 끓는점으로 인하여 nanofibril이 짧고 얇은 형태의 모폴로지를 나타내었다.<sup>22,23</sup> 하지만, 기판의 표면특성에 따른 모폴로지 차이는 미비하여 UV-Vis와 XRD 결과와 마찬가지로 기판특성에 따른 P3HT 박막의 구조적인 변화는 없었다.

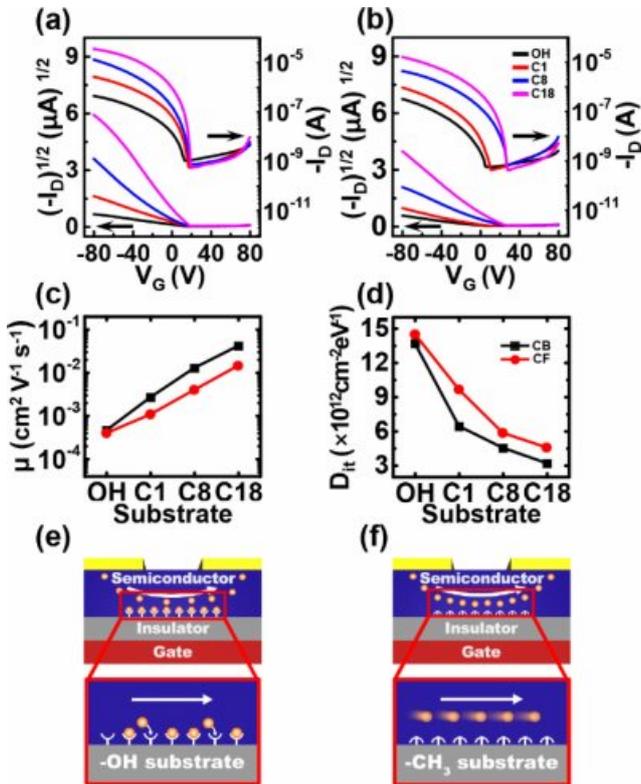


**Figure 4.** AFM images of P3HT films spin-cast using (a) CB; (b) CF on different substrate.



**Figure 5.** The output curves of the P3HT films prepared from (a) CB; (b) CF solution. Plot of the drain current as a function of the drain voltage at gate voltages ranging from 0 to -80 V.

**P3HT 소자 특성 분석.** 절연층의 표면특성과 주용매에 따른 P3HT 박막의 전기적 특성 변화를 살펴보기 위하여 트랜지스터 소자를 제조해 I-V 특성을 조사하였다. 게이트를 0에서 -80 V까지 -20 V 간격으로 변화시키며 소자의 출력(output) 특성을 측정하였다(Figure 5). 이때 기판이 친수성인 OH에서 C1, C8, C18로 알킬사슬 길이가 길어질수록 전하가 원활히 이동하여 높은 드레인 전류가 흐르는 것을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 CB와 CF를 이용한 고분자 박막 모두 동일하게 나타났다. Figure 6(a), (b)는 게이트 전극에 전압을 +80 ~ -80 V로 sweep하여 트랜지스터의 전달(transfer) 곡선을 측정하였고 식 (2)를 이용하여 전계효과 이동도를 계산해냈다.<sup>24,25</sup> OH 기판을 사용한 P3HT 박막의 경우 CB, CF 용매에서 각각  $4.58 \times 10^{-4}$ ,  $3.92 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/Vs의 매우 낮은 전하 이동도를 보였다. 이후 C1, C8 표면처리를 통하여 전하 이동도가 점차 증가함을 보였으며, C18 표면처리된 절연체를 이용한 경우, CB, CF 용매에서 각각  $4.15 \times 10^{-2}$ ,  $1.44 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/Vs으로 기존 OH의 기판에 비해 약 90배, 36배 향상됨을 확인하였다(Figure 6(c), Table 2).



**Figure 6.** Transfer characteristic ( $I_d$ - $V_g$ ) of transistors ( $V_D=-80$  V) fabricated with P3HT thin films spin-cast using (a) CB; (b) CF on different substrate. (c) Field-effect mobilities ( $\mu$ ); (d) Interface trap densities ( $D_{it}$ ) calculated from the P3HT transistors. Schematic of charge transport process at the interface between semiconductor layer and insulator layer (e) OH substrates; (f) surface treatment substrates.

**Table 2. Field-effect Mobilities and Interface Trap Densities ( $D_{it}$ ) Obtained from the P3HT Transistors**

Substrate	Mobility [ $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ]		$D_{it}$ [ $\times 10^{12} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ ]	
	CB	CF	CB	CF
OH	$4.58 \times 10^{-4}$	$3.92 \times 10^{-4}$	13.7	14.5
C1	$2.67 \times 10^{-3}$	$1.07 \times 10^{-3}$	6.4	9.7
C8	$1.28 \times 10^{-2}$	$3.96 \times 10^{-3}$	5.5	5.8
C18	$4.15 \times 10^{-2}$	$1.44 \times 10^{-2}$	3.2	4.6

$$I_{DS} = \frac{WC_i}{2L} \mu (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (2)$$

여기서,  $I_{DS}$ 는 드레인 전류,  $W$ 는 채널 두께,  $L$ 는 채널 길이,  $C_i$ 는 게이트 유전체의 커패시턴스,  $\mu$ 는 장 효과이동도,  $V_{GS}$ 는 게이트 소스전압,  $V_{th}$ 는 문턱전압이다.

이와 같은 표면 특성에 따른 전계효과 이동도의 향상은 절연체와 반도체 계면에서 발생하는 트랩현상 때문이다. 전달 곡선 subthreshold swing의 값으로부터 계면에서의 전하트랩 밀도( $D_{it}$ )를 식 (3)을 이용하여 계산하였다.<sup>26,27</sup>

$$D_{it} = \left[ \frac{S_q}{KT \ln(10)} - 1 \right] \frac{C_i}{q} \quad (3)$$

여기서,  $D_{it}$ 는 interface trap density,  $S_q$ 는 subthreshold swings,  $K$ 는 boltzman constant,  $T$ 는 temperature,  $C_i$ 는 dielectric constant,  $q$ 는 electronic charge이다.

계면에서의 트랩밀도는 표면처리에 사용한 자기조립 단분자막의 알킬사슬 길이가 길어질수록 감소하는 경향을 보였다 (Figure 6(d), Table 2). 이는 자기조립 단분자막의 알킬사슬 길이가 길수록 더 큰 van der Waals 인력이 작용하여  $\text{SiO}_2$  표면을 더욱 조밀하게 소수성으로 표면개질되었기 때문이다. 이는 앞선 출력곡선과 동일한 결과로써  $\text{CH}_3$ 의 작용기를 가진 표면처리가 전하 수송을 방해하는 전하트랩 밀도를 효과적으로 감소시킨 것을 확인하였다(Figure 6(e), (f)). 또한 CB를 주 용매로 사용하였을 경우에는 P3HT 박막이 높은 결정성을 가지므로 박막 내부의 전하트랩 또한 효과적으로 줄어들어 CF 보다 더 낮은 전하트랩 밀도 값을 가지는 것을 확인하였다 (Table 2).

## 결론

본 연구에서는 절연층의 표면처리 물질로 알킬사슬 길이가 다른 자기조립 단분자막을 이용하여 반도체/절연체 계면에서의 전하트랩 밀도를 조절하였다. 이때 절연층 표면처리에 따라 표면에너지가 다르더라도 고분자 박막의 결정성은 UV-Vis. 스펙트럼, XRD, AFM을 통해 변화가 없는 것을 확인하였다. 소자의 전기적 특성을 확인하였을 때 절연층 표면처리에 사용한 자기조립 단분자막 알킬사슬의 길이가 길어질수록 전하트랩 밀도가 감소하여 전하이동도가  $4.15 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 로 측정되어 OH 기판대비 최대 90배 정도 증가한 것을 확인하였다. 이후 전달 곡선에서 계면에서의 전하트랩 밀도를 계산해 자기조립 단분자막의 알킬사슬 길이가 길어질수록 기판 표면의 전하 트랩 밀도가 감소함을 확인하였다. 또한 고분자박막 제조에 사용한 용매의 끓는 점이 높은 용매에서 고결정성 고분자 박막이 형성되었고, 낮은 전하트랩 밀도를 나타내었다. 본 실험을 통해 절연층 표면처리시 자기조립 단분자막의 알킬사슬 길이에 따른 특성변화를 확인하여 비교하였고, 이는 고성능 유기박막 트랜지스터 제조를 위한 기술로써 응용 가능성이 높을 것으로 기대된다.

**감사의 글:** 이 논문(저서)은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국과학창의재단(과학영재양성사업)의 지원을 받아 수행된 연구임.

**저자역할:** 박영돈은 과제 책임자로서 본 연구의 아이디어를 제안하였고, 박준화의 지도 하에 실험을 진행하였다. 최유라, 민보연, 문준영은 고분자 박막 제조 및 박막 특성을 분석하였고, 이재원, 장현수는 소자제조 및 소자 특성분석을 진행하였다. 박영돈과 박준화는 본 논문을 작성하였다. 모든 저자는 본 연구결과에 대해 충분한 토의를 하였다.

## 참 고 문 헌

- N. Cho and J. H. Kim, *Polym. Korea*, **40**, 818 (2016).
- T. Y. Chu, Z. Zhang, A. Dadvand, C. Py, S. Lang, and Y. Tao, *Org. Electron.*, **51**, 485 (2017).
- C. Lee, S. Chung, Y. Hong, S. O. Kim, and S.-K. Kwon, *IEEE Electron Device Lett.*, **32**, 1134 (2011).
- E. Sowade, K. Y. Mitra, E. Ramon, C. Martinez-Domingo, F. Villani, F. Loffredo, H. L. Gomes, and R. R. Baumann, *Org. Electron.*, **30**, 237 (2016).
- C. M. Chou, C. W. Chang, K. H. Wen, and V. K. S. Hsiao, *Surf. Coat. Technol.*, **320**, 554 (2017).
- Z. Liu, Z. Yin, J. Wang, and Q. Zheng, *Adv. Funct. Mater.*, **29**, 1 (2019).
- T. Sekine, D. Kumaki, and S. Tokito, *Materials*, **10**, 18 (2017).
- F. Arca, S. F. Tedde, M. Sramek, J. Rauh, P. Lugli, and O. Hayden, *Sci. Rep.*, **3**, 1324 (2013).
- A. Bolognesi, M. Berliocchi, M. Manenti, A. Di Carlo, P. Lugli, K. Lmimouni, and C. Dufour, *IEEE Trans. Electron Devices*, **51**, 1997 (2004).
- T. T. Dao, T. Matsushima, R. Friedlein, and H. Murata, *Org. Electron.*, **14**, 2007 (2013).
- E. Itoh and K. Miyairi, *Thin Solid Films*, **499**, 95 (2006).
- Y. Wang, T. Hasegawa, H. Matsumoto, T. Mori, and T. Michinobu, *Adv. Mater.*, **30**, 1 (2018).
- H. Zheng, F. Zhang, N. Zhou, M. Sun, X. Li, Y. Xiao, and S. Wang, *Org. Electron.*, **56**, 89 (2018).
- D. H. Kim, Y. Jang, Y. D. Park, and K. Cho, *Macromolecules*, **39**, 5843 (2006).
- D. H. Kim, Y. D. Park, Y. Jang, H. Yang, Y. H. Kim, J. I. Han, D. G. Moon, S. Park, T. Chang, C. Chang, M. Joo, C. Y. Ryu, and K. Cho, *Adv. Funct. Mater.*, **15**, 77 (2005).
- K. P. Pernstich, S. Haas, D. Oberhoff, C. Goldmann, D. J. Gundlach, B. Batlogg, A. N. Rashid, and G. Schitter, *J. Appl. Phys.*, **96**, 6431 (2004).
- U. Zschieschang, M. Brunnbauer, G. Schmid, F. Stellacci, F. Effenberger, S. Maisch, H. Klauk, M. Halik, C. Dehm, and M. Schütz, *Nature*, **431**, 963 (2004).
- G. Bonfante, S. Chevalliot, B. Toury, B. Berge, and M. Maillard, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **19**, 3214 (2017).
- J. H. Park, O. J. Kwon, T. H. Kim, J. Mun, and Y. D. Park, *Org. Electron.*, **62**, 394 (2018).
- J. Y. Na, M. Kim, and Y. D. Park, *J. Phys. Chem. C*, **121**, 13930 (2017).
- J. Y. Na, B. Kang, S. G. Lee, K. Cho, and Y. D. Park, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **9**, 9871 (2017).
- S. Kim, B. Kang, M. Lee, S. G. Lee, K. Cho, H. Yang, and Y. D. Park, *RSC Adv.*, **4**, 41159 (2014).
- B.-J. Chae, J. H. Park, H. J. Song, S. H. Jang, K. Jung, Y. D. Park, and T. Yim, *Electrochim. Acta*, **290**, 465 (2018).
- A. R. Aiyar, J. I. Hong, R. Nambiar, D. M. Collard, and E. Reichmanis, *Adv. Funct. Mater.*, **21**, 2652 (2011).
- B. Park, A. Aiyar, J. I. Hong, and E. Reichmanis, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **3**, 1574 (2011).
- B. Gunduz and F. Yakuphanoglu, *Sens. Actuators A*, **178**, 141 (2012).
- W. L. Kalb and B. Batlogg, *Phys. Rev. B: Condens. Matter*, **81**, 1 (2010).