

잉크젯 방식으로 PVP बैं크와 TIPS-펜타센 반도체 층을 제작한 유기박막트랜지스터

Organic TFTs using PVP Bank and TIPS-Pentacene Semiconductor Layer patterned by Ink Jet Printing

김세민¹, 박종승², 송정근^{1,a}
(Se Min Kim¹, Jong Seung Park², and Chung Kun Song^{1,a})

Abstract

We investigated the influence of organic solvents on the droplet properties of 6,13-bis(triisopropylsilylethynyl) pentacene (TIPS-pentacene), which was used for semiconductor of organic thin film transistors (OTFTs) and deposited by ink jet printing. From the result of the investigation, the conditions of a suitable solvent is that boiling point should be above 200°C to reduce coffee stain and the surface tension above 32 dyn/cm to decrease the droplet size. Consequently, we selected tetralin which have a high boiling point (207°C) and high surface tension (34.3 dyn/cm) as the solvent for TIPS-pentacene, and applied it to OTFTs. In fabrication process the conventional bank process employing photolithography and etching process was replaced by ink jet printed bank process, resulting in simplifying the process. Especially, polyvinylphenol was used for the bank, and the high hydrophobicity could improve the confinement of TIPS molecules inside the bank, enhancing the performance over the conventional hydrophilic polyvinylalcohol bank. The mobility was 0.18 cm²/Vs, current on/off ratio 2.09×10⁵, subthreshold slope 0.42 V/dec, and off state current 0.049 pA/μm.

Key Words : Inkjet printing, OTFT, Bank layer, TIPS pentacene, PVP

1. 서론

최근까지 능동 구동형 전유기 디스플레이 구현을 위한 Organic Thin Film Transistors (OTFTs)의 공정 기술은 이미 많은 연구 개발이 진행되어 왔으며 단위 소자 수준에서는 기존의 비정질 실리콘 TFT와 유사한 수준 혹은 그 이상의 수준에 이르렀다. 최근에는 OTFT의 최대 장점인 플라스틱 기판에 적용하기 위한 저온 및 저가격 공정을 구현하기 위하여 인쇄공정에 대한 연구가 활발히 진

행되고 있다. 인쇄공정으로 잉크젯 프린팅, 스크린 프린팅, 마이크로컨택 프린팅, 그라비아 프린팅, 플렉소 프린팅 등이 일반적으로 사용되고 있다[1,2].

OTFT의 반도체층은 채널의 작은 영역에만 형성되므로 재료의 손실을 최소화할 수 있는 잉크젯이 많이 사용되고 있다. 반도체 잉크는 토출 후 건조되면서 결정이 형성되는데, 사용하는 용매에 따라 그 특성이 크게 달라진다[3]. 따라서 적합한 용매를 선정하는 것이 우수한 성능의 OTFT를 제작하는데 중요한 요소이다. 용액 반도체로서 Bis(triisopropylsilylethynyl) pentacene (TIPS-펜타센)이 널리 사용되고 있고[4], TIPS를 용해시키는 용매로서 다양한 유기용매가 사용되고 있으나 용매의 영향에 대한 체계적인 분석이 이루어지지 않았기 때문에 TIPS-펜타센에 적합한 용매를 결정할 수 없는 상태이다.

1. 동아대학교 전자공학과
(부산시 사하구 하단2동 840)

2. 동아대학교 섬유산업학과

a. Corresponding Author : cksong@dau.ac.kr

접수일자 : 2009. 10. 2

1차 심사 : 2009. 10. 15

심사완료 : 2009. 10. 21

또한 잉크젯은 속성상 방울(droplet)의 퍼짐성 때문에 채널 영역에 반도체를 형성하기 어렵다. 채널 영역에 반도체를 형성하는 패턴공정으로 일반적으로 채널 영역을 산소 플라즈마 처리하여 소수성을 이용하든지[5], 혹은 뱅크를 사용한다[6]. 소수성을 이용하는 방식은 방울을 제한하는 데 한계가 있으므로 뱅크층을 사용하는 경우가 많으나 기존의 뱅크층은 polyvinyl alcohol (PVA)를 스펀코팅 한 후 포토 리소그라피와 에칭으로 형성되므로 공정이 복잡한 단점이 있다.

본 논문에서는 TIPS-펜타센에 적합한 용매를 선정하기 위하여 다양한 물성을 사용하여 물성이 특성에 미치는 영향을 분석하였고, 뱅크를 리소그라피와 에칭이 아닌 잉크젯으로 형성하여 단순화된 공정을 개발하였으며, 특히 소수성 polyvinylphenol (PVP)를 뱅크 재료로 사용하여 성능을 개선하였다.

2. 실험

2.1 TIPS-펜타센의 용매 선정

그림 1(a)의 TIPS-펜타센은 펜타센 분자에 결사슬을 부착하여 유기용매에 용해될 수 있도록 한 단분자이다. TIPS-펜타센의 결정은 펜타센의 헤링본 구조[7]와 달리 그림 1(b)와 같이 분자들이 겹겹이 포개지므로 π -전자의 충첩도가 증가하여 이동도가 우수한 것으로 알려져 있다[8]. 그러나 유기용매에 따라서 다양한 성능을 보임으로써 용매가 결정에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

TIPS-펜타센에 사용되는 유기용매로서 클로로벤젠[9], 톨루엔[9], 아니솔[10]등이 있다. 본 실험에서는 화학적으로 유사한 구조를 가진 용매들을 이용하여 용매의 비점과 표면장력이 방울과 결정성에 미치는 영향을 비교분석하였다.

용매들은 표 1과 같이 톨루엔과 아니솔 유사 용매를 사용하였다. 이들은 기본적으로 방향성 분자를 가지므로 TIPS-펜타센을 용해시키는 동일한 특성을 가지지만, 결사슬(side chain)의 길이가 증가함에 따라 비점이 증가하므로 화학적 영향은 최소화하면서 비점의 차이에 따른 영향을 분석할 수 있다.

톨루엔의 유사구조 용매는 결사슬의 수가 길어질수록 비점은 높아지지만 표면장력의 차이는 표 1(a)와같이 크지 않았다. 아니솔의 유사구조 용매 역시 표 1(b)와 같이 결사슬이 길어질수록 비점이 높아졌으며, 표면장력은 톨루엔 유사구조의 용매보다 증가하였다. 표 1의 다양한 용매를 사용하여

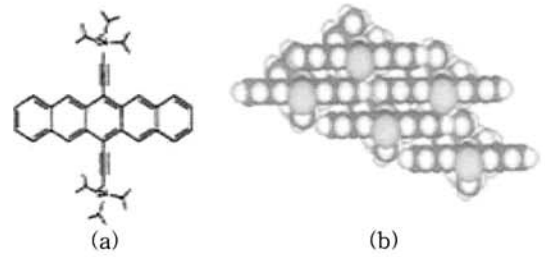


그림 1. TIPS-펜타센의 (a) 화학 구조 및 (b) 결정의 분자배열.

Fig. 1. (a) The chemical structure and (b) the molecular ordering in crystal of TIPS-Pentacene.

표 1. 유사구조 용매의 결사슬 길이에 따른 물성 비교 (a) 톨루엔 유사구조 용매, (b) 아니솔 유사구조 용매.

Table 1. Comparison of material properties according to the side chain length of the various solvents with similar chemical structures such as (a) Toluene derivatives and (b) Anisole derivatives.

(a)

용 매	분자식	화학구조	비점 [°C]	표면장력 [dyn/cm]
Toluene	C ₇ H ₈		111	28.5
Ethyl benzene	C ₈ H ₁₀		136	29.29
Propyl benzene	C ₉ H ₁₂		158	28.98
Butyl benzene	C ₁₀ H ₁₄		183	29.23
Pentyl benzene	C ₁₁ H ₁₆		205	n/a
Hexyl benzene	C ₁₂ H ₁₈		226	n/a

(b)

용 매	분자식	화학구조	비점 [°C]	표면장력 [dyn/cm]
Anisole	C ₇ H ₈ O		154	35.7
Ethoxybenzene	C ₈ H ₁₀ O		170	32.96
Butoxybenzene	C ₁₀ H ₁₄ O		210	N/A

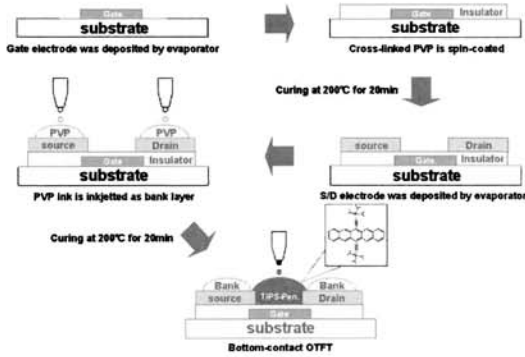


그림 2. OTFT의 제작 공정; 잉크젯 프린팅을 이용한 PVP बैं크층과 TIPS-펜타센 반도체층의 형성 공정이 포함되어 있음.

Fig. 2. Fabrication processes of OTFTs involving ink jet printing for bank and TIPS-pentacene semiconductor layer.

TIPS-펜타센 잉크를 제작하고 비점과 표면장력이 방울의 크기와 결정성에 미치는 영향을 분석하였다. 여기서 비점과 표면장력의 수치는 씨그마 알드리치사의 데이터를 참고하였다.

2.2 잉크젯을 이용한 PVP बैं크층과 TIPS-펜타센 반도체층 형성

전술한 실험 1의 결과로 선정된 유기용매를 사용하여 TIPS-펜타센 잉크를 제조하였고, 이를 사용하여 그림 2의 공정으로 소스/드레인 전극이 반도체층 아래에 위치하는 하부 전극구조의 OTFT를 제작하였다.

먼저 세척된 유리 기판에 알루미늄을 3 Å/sec의 증착 속도로 1000 Å의 두께로 진공 증착 한 후, 포토레지스트를 스핀 코팅으로 도포한다. 마스크를 이용하여 게이트 형태의 패턴을 형성한 후 알루미늄을 식각하여 게이트 전극을 제작하였다.

게이트 절연층은 분말 형태의 PVP에 propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA)와 가교제인 poly (melamine-co- formaldehyde)를 섞어서 제작하였고, 제작된 PVP 용액을 스핀 코팅 방식으로 도포하여 110°C와 200°C에서 2차에 걸쳐서 열 경화 하였다[11,12].

소스/드레인 전극은 포토레지스트를 스핀 코팅하여 패턴을 형성한 후 450 Å 두께의 금(Au)을 진공 증착 하고 lift-off 공정으로 제작하였다. 반도체층은 TIPS-펜타센 잉크를 2 wt% 농도로 제조하여 잉크젯 프린팅 방식으로 형성하였다. 이때 사

용된 잉크젯 장비의 노즐은 마이크로 펌프사의 50 μm 크기의 헤드를 가진 노즐을 사용하였다[13].

TIPS-펜타센 반도체는 게이트 절연층 표면상태의 영향을 분석하기 위하여 표면처리를 하지 않은 경우와 UV Ozone 처리를 한 경우, 그리고 잉크젯 프린팅 방식으로 PVP 잉크를 이용해 बैं크층을 형성한 후 बैं크층 안에 TIPS-펜타센 잉크를 토출하는 경우로 나누어 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

용매의 비점은 반도체층 성막 형성 시 용매의 증발 시간과 연관이 있기 때문에 TIPS-펜타센의 결정성에 큰 영향을 끼친다. 그림 3은 유사구조의 용매들의 비점과 방울의 크기의 관계를 나타낸 것이다.

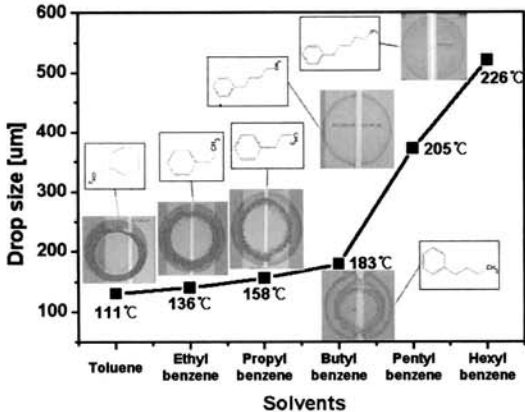
톨루엔 유사구조 용매들의 방울의 모양은 그림 3(a)와 같이 비점이 높아질수록 커피스테인 현상이 방울의 안쪽으로 이동하였다. 특히 200°C 이상의 비점을 가진 펜틸벤젠 (Pentylbenzene)부터 커피스테인 현상이 나타나지 않았다.

아니솔 유사구조 용매 역시 그림 3(b)와 같이 비점에 따라 비슷한 현상을 보였으며 210°C의 비점을 가진 부톡시벤젠 (Butoxybenzene)을 용매로 사용했을 때 커피스테인 현상이 발견되지 않았다. 그러나 방울의 크기는 급격하게 커지며 현미경으로 결정의 형태를 볼 수 없었다.

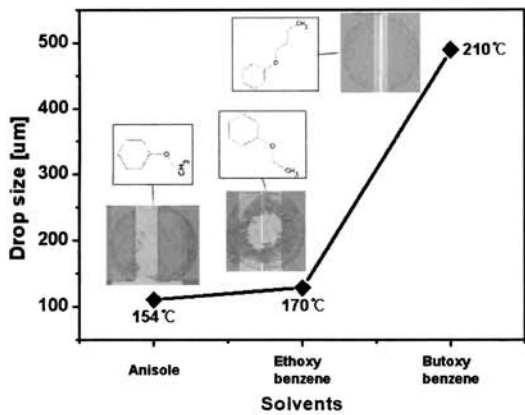
비점이 낮은 용매의 경우, 방울의 테두리 부분부터 용매의 증발이 빠르게 진행된다. 기판 표면에 도출된 방울이 퍼져나가기 전 테두리 부분부터 증발이 시작되기 때문에 테두리에 분자가 침착하여 커피스테인 현상이 나타난다. 또한 용매의 증발 속도가 빨라서 방울이 퍼지기 전에 건조되므로 방울의 크기가 작아진다.

반면에 비점이 증가 할수록 용매의 증발은 천천히 진행되며, 방울의 테두리 부분이 증발되어 용매의 흐름이 멈출 때까지 퍼져나가기 방울의 크기는 증가한다. 그리고 비점이 높을 수록 분자들이 방울의 중심부로 이동할 수 있는 충분한 시간이 주어지므로 커피스테인 현상은 감소한다. 표 1에서 보면 커피스테인이 생기지 않는 비점은 약 200°C 이상인 것으로 판단된다.

그림 4는 비점은 비슷하지만 표면장력이 다른 용매의 영향을 방울 크기로 비교한 것이다. 톨루엔 유사구조 용매 중 비점이 158°C인 프로필벤젠 (Propylbenzene, 표면장력; 28.98 dyn/cm)과 비점은 154°C로서 이와 유사하나 표면장력이 이 보다 큰 아니솔(35.7 dyn/cm)을 비교하였다. 방울의 크



(a)



(b)

그림 3. 유사구조 용매의 비점에 따른 잉크 방울의 크기 및 결정 모양. (a) 톨루엔 유사구조 용매, (b) 아니솔 유사구조 용매

Fig. 3. The size and crystallinity of ink jet droplet with respect to boiling point of various solvents such as (a) Toluene derivatives, (b) Anisole derivatives.

기는 프로필벤젠은 155 μm 이었고, 아니솔은 110 μm 로 표면장력이 큰 아니솔의 방울의 크기가 더 작았다. 톨루엔 유사구조인 부틸벤젠(183°C)과 아니솔 유사구조인 에톡시벤젠(170°C)의 경우 표면장력은 각각 29.23 dyn/cm와 32.96 dyn/cm 이었으며, 방울의 크기는 각각 180 μm 와 128 μm 로 표면장력이 더 큰 에톡시벤젠의 방울 크기가 더 작았다.

이것은 표면장력이 큰 용매 일수록 방울의 내부로 향하는 인력이 더 크기 때문에 잉크가 기판 표면 위에서 퍼지지 않게 된다. 따라서 표면장력이 클수록 방울의 크기는 작아지는 것을 알 수 있다.

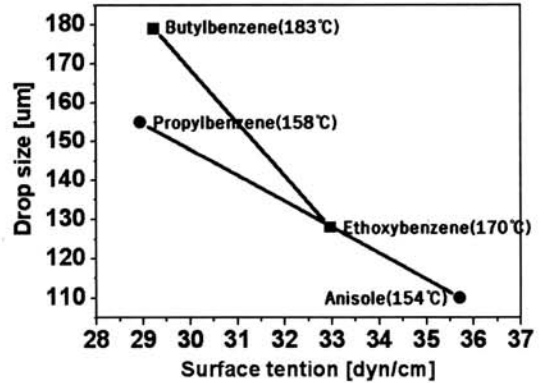


그림 4. 비슷한 비점의 용매의 표면장력에 따른 방울의 크기 비교.

Fig. 4. The size of droplet depending on surface tension.

비점과 표면장력이 방울과 결정모양에 미치는 영향에 대한 연구 결과, 잉크로 사용하기에 좋은 용매의 조건은 커피스테인 현상을 낮추기 위한 약 200°C 정도의 높은 비점과 32 dyn/cm 이상의 표면장력이라고 할 수 있다.

하지만 톨루엔과 아니솔 유사구조 용매들은 이러한 조건에 적합하지 않았다. 톨루엔 유사구조인 펜틸벤젠과 헥실벤젠 (Hexylbenzene)은 높은 비점을 가지고 있으나 표면장력이 작기 때문에 방울의 크기가 약 400 μm 이상 이었으며, TIPS-펜타센의 결정이 형성되었다고 보기 힘들다. 또한, 아니솔 유사구조인 부톡시벤젠의 경우도 약 500 μm 의 방울 크기를 가졌다.

따라서 톨루엔과 아니솔 계열은 아니지만 비점과 표면장력이 동시에 큰 유기 용매인 테트라린 (Tetralin)을 TIPS-펜타센의 용매로 선정하였다. 테트라린은 높은 비점(207°C)과 큰 표면장력 (34.3 dyn/cm)을 가지고 있고, TIPS-펜타센에 대한 용해성도 가지고 있다.

간단한 실험으로 테트라린의 적합성을 알아보기 위해 TIPS-펜타센의 연구에 주로 사용되는 대표적 용매인 톨루엔, 클로로벤젠, 아니솔을 소자에 토출하여 그림 5와 같이 비교해 보았다. 테트라린의 경우 비점이 높기 때문에 커피스테인 현상이 발견되지 않았으며, 큰 표면장력으로 인해 높은 비점임에도 불구하고 방울의 크기는 130 μm 로 작았기 때문에 타 용매와 비교하여 TIPS-펜타센의 용매로 적합한 것으로 판단된다.

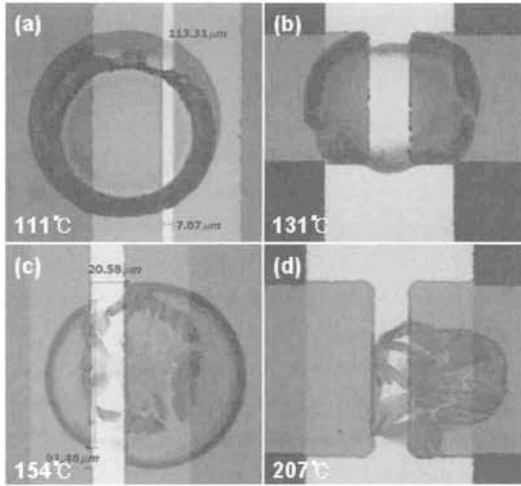


그림 5. 용매별 TIPS-펜타센 결정 모양. (a)톨루엔, (b)클로로벤젠, (c)아니솔, (d)테트라린
 Fig. 5. The optical microscope images of TIPS-Pentacene crystals with the different solvents: (a)Toluene, (b)Chlorobenzene, (c)Anisole, and (d)Tetralin.

테트라린 용매를 사용한 TIPS-펜타센 잉크로 OTFT를 제작하여 기판의 표면상태에 따른 TIPS-펜타센의 결정 형태와 전기적 특성을 비교하였다.

소스/드레인 전극 및 반도체층이 형성 될 채널 부분에 표면 처리를 하지 않고 TIPS-펜타센의 잉크를 젯팅 한 경우 용매가 증발한 후 형성된 TIPS-펜타센 결정은 그림 6(a)와 같이 채널부분을 완전히 충전하지 못 하였다. 이것은 테트라린의 높은 비점 때문에 용매 증발에 오랜 시간이 소요되며, 따라서 용매가 증발하는 동안 잉크는 채널부분의 PVP 표면보다 친수성(hydrophilicity)이 높은 소스/드레인의 금 전극으로 이동하였기 때문이다.

따라서 채널 부분과 소스/드레인 전극 부분 둘 다 친수성을 가지도록 표면에 UV 오존 처리를 해주었다. 표면처리를 하지 않았을 때의 TIPS-펜타센 결정 모양과 비교해 보면, 표면처리를 함으로써 그림 6(b)와 같이 채널 부분에 좀 더 균일하게 결정이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 여전히 용매의 높은 비점으로 인한 방울의 움직임이 있었고, 채널 부분의 TIPS-펜타센의 결정성 확보에 어려움이 있었다.

TIPS-펜타센 잉크 방울이 채널에 토출되었을 때 용매가 증발되는 동안 소스/드레인 전극부분으로

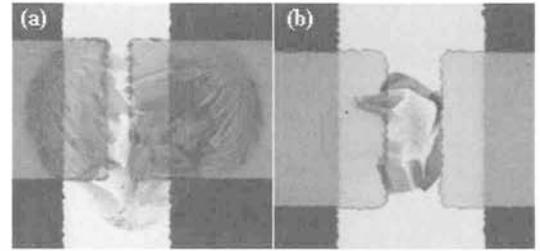


그림 6. 소자의 표면처리 따른 TIPS-펜타센의 결정 형성 모양. (a)표면처리 안함, (b)UV ozone 처리
 Fig. 6. The opticla microscope images of TIPS-pentacene drop on the surface of (a) the bare PVP (b) the UV ozone treated PVP.

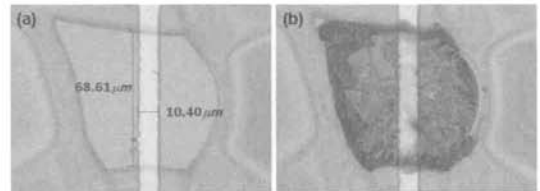


그림 7. (a)PVP बैंक층과 (b)형성된 बैंक층 안의 TIPS-펜타센 결정 모습.
 Fig. 7. (a) The images of PVP bank made by ink jet printing and (b) TIPS-pentacene confined in the PVP bank.

퍼지는 것을 방지하기 위해 채널 부분에 잉크젯으로 PVP बैंक층 형성하였다. 반도체층 역시 잉크젯으로 TIPS-펜타센 잉크를 बैंक층 안에 떨어뜨려서 형성하였다. 그림 7은 채널부분에 बैंक층을 형성한 모습과 बैंक층 안에 TIPS-펜타센 잉크를 토출하여 결정이 형성된 모습이다.

기존 연구는 PVA 용액을 사용하여 포토리소그라피 공정으로 बैंक층의 패턴을 형성하였다. PVA는 물을 용매로 사용하기 때문에 친수성을 가지고 있으나, 본 실험에 사용한 PVP의 경우 PVA보다 소수성이기 때문에 TIPS-펜타센 잉크를 बैंक층 안에 더 확실하게 가두어 줌으로써 채널부분의 결정성과 균일성을 확보할 수 있었다. 또한, 비접촉식인 잉크젯 프린팅 방식으로 PVP बैंक층을 형성하였기 때문에 현상액 및 잔존물에 의한 성능 저하의 가능성을 최소화할 수 있었다.

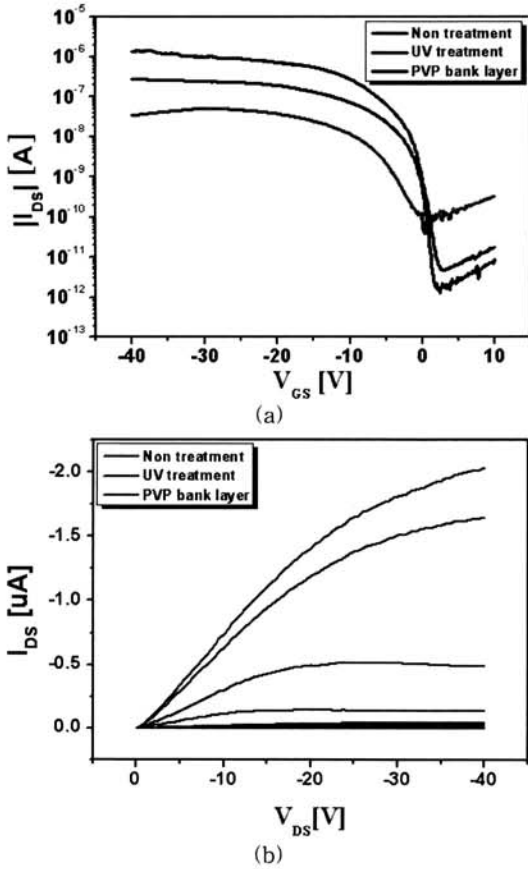


그림 8. 제작된 OTFT의 전기적 특성 그래프. (a) 전달특성곡선, (b) 출력특성곡선
 Fig. 8. (a) The transfer characteristics and (b) output characteristics of OTFTs.

그림 8은 표면 처리를 하지 않은 소자와 UV 오존 처리를 한 소자, PVP बैं크층을 이용한 소자의 전기적 특성인 전달 특성 그래프와 출력 특성 그래프를 나타낸 것이다. 그리고 표 2에서는 위의 세 가지 방법으로 제작된 OTFT의 성능을 비교하였다.

표면처리하지 않은 소자의 이동도는 $0.012 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 전류 점멸비는 1.51×10^3 , 문턱전압은 -0.94 V , 부 문턱전압 기울기는 0.84 V/dec , 오프 전류는 $0.78 \text{ pA}/\mu\text{m}$ 이었다. UV 오존 표면 처리를 한 소자는 이동도는 $0.07 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 전류 점멸비는 1.66×10^5 , 문턱전압은 0.97 V , 부 문턱전압은 0.64 V/dec , 오프 전류는 $0.017 \text{ pA}/\mu\text{m}$ 이었다. 표면처리를 함으로써 채널 부분의 TIPS-펜타센 결정 형성이 더 나은 모습을 보였기 때문에 표면처리를 하지 않은 소자보다 성능이 개선되었다.

표 2. 각 소자별 OTFT의 전기적 특성 파라메타 비교.

Table 2. The summary of performance parameters of OTFTs.

	채널 (W/L)	이동도 ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	전류 점멸비	문턱전압 (V)	부 문턱전압 기울기 (V/dec)	오프전류 ($\text{pA}/\mu\text{m}$)
기본소자	100/20	0.012	1.51×10^3	-0.94	0.84	0.78
UV Ozone	53/40	0.07	1.66×10^5	0.97	0.64	1.7×10^{-2}
PVP बैं크층	68/10	0.18	2.09×10^5	-0.14	0.42	4.9×10^{-2}

PVP를 잉크젯으로 बैं크층 형성한 OTFT의 경우 이동도는 $0.18 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 전류 점멸비는 2.09×10^5 , 문턱전압은 -0.14 V , 부 문턱전압은 0.42 V/dec , 오프 전류는 $0.049 \text{ pA}/\mu\text{m}$ 이었다. 표면처리를 하지 않았음에도 불구하고 बैं크층 안에 TIPS-펜타센 잉크를 가두어 줌으로써 균일한 결정을 확보할 수 있었기 때문에 성능을 2배 이상 향상시킬 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 TIPS-펜타센 반도체의 적합한 용매를 선정하고 잉크젯으로 बैं크와 반도체층을 형성하여 OTFT의 성능을 개선하였다.

비점과 표면장력이 방울과 결정도양에 미치는 영향을 분석하여 도출한 적합한 용매의 조건은 커피스테인 현상을 낮추기 위하여 비점이 약 200°C 이상이어야 하고, 표면장력은 32 dyn/cm 이상이어야 한다. 따라서, TIPS-펜타센의 용매로서 높은 비점(207°C)과 큰 표면장력 (34.3 dyn/cm)을 가진 테트라린을 선정하였다. 테트라린을 사용한 TIPS-펜타센 잉크에서는 큰 표면장력에 의한 중심방향의 인력 때문에 TIPS-펜타센의 방울의 크기는 약 $130 \mu\text{m}$ 이었고, 높은 비점 때문에 커피스테인이 형성되지 않았다.

테트라린을 용매로 사용한 TIPS-펜타센 잉크를 잉크젯으로 반도체층을 형성하였고, 채널 영역의 결정성을 향상하기 위하여 PVP बैं크층을 사용하여 OTFT를 제작하였다. PVP बैं크는 잉크젯으로 형성하여 기존의 리소그래피 공정을 배제할 수 있었다. PVP의 TIPS-펜타센에 대한 소수성은 채널에 더 많은 TIPS-펜타센 분자들이 모여들게 함으로써 성능을 개선할 수 있었다. 이동도는 $0.18 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 전류 점멸비는 2.09×10^5 , 문턱전압은 -0.14 V , 부 문턱전압 기울기는 0.42 V/dec , 오프 전류는 $0.049 \text{ pA}/\mu\text{m}$ 으로서 사용하지 않았을 때와 비교하여 약 2배의 성능 개선이 있었다.

감사의 글

본 논문은 2009년 동아대학교 교내 연구비의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] T. Kawase, "Inkjet printed via-hole interconnections and resistors for all-polymer transistor circuits", *Adv. Mater.*, Vol. 13, Iss. 21, p. 1601, 2001.
- [2] Z. Bao, "High-performance plastic transistors fabricated by printing techniques", *Chem. Mater.*, Vol. 9, No. 6, p. 1299, 1997.
- [3] J. H. Park, "Control of colloidal particle deposit patterns within picoliter droplets ejected by ink-jet printing", *Langmuir*, Vol. 22, p. 3506, 2006.
- [4] Marcia M. Payne, "Robust, soluble pentacene ethers", *Organic Letters*, Vol. 6, No. 10, p. 1609, 2004.
- [5] 김재현, "직접인쇄회로기술 동향", *공학기술논문집*, 17권, p. 77, 2008.
- [6] S. H. Lee, "High-performance thin-film transistor with 6,13-bis(triisopropylsilylethynyl) pentacene by inkjet printing", *Org. Electr.*, Vol. 9, Iss. 5, p. 721, 2008.
- [7] M. T. Lloyd, "Photovoltaic cells from a soluble pentacene derivative", *Org. Electr.*, Vol. 7, p. 243, 2006.
- [8] S. K. Park, "High mobility solution-processed OTFTs", *IEEE Internat. Electron. Dev. Meet.*, Vol. 4, p. 106, 2005.
- [9] C. S. Kim, "Solvent-dependent electrical characteristics and stability of organic thin-film transistors with drop cast bis(triisopropylsilylethynyl) pentacene", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 93, p. 103302, 2008.
- [10] 안석근, "완전 용액 공정으로 제작된 OTFT", *대한전자공학회 2007하계학술대회논문집*, 30권, 1호, p. 731, 2007.
- [11] 변현숙, "PVP게이트 절연체의 농도에 대한 펜타센 TFT의 특성변화", *대한전자공학회 2004하계학술대회논문집*, 27권, 1호 II, p. 375, 2004.
- [12] Y.-X. Xu, "Organic integrated circuits based in pentacene TFTs", *IMID 2007*, Vol. 7, Book. 2, p. 1680, 2007.