로 변화함에 따라 전류는 비교적 높은 수준을 유지하게 된다. 커브1 측정 이후에, 반대의 8 V의 전압펄스에 대한 응답이 측정됐다(커브2). 순방 향 스캔에서, 낮은 전도성 상태의 전류는 -1 V의 전압에서 약 40배 정 도 작고, 전류의 점진적인 증가를 갖는 스위칭 특성은 -2.2~-3.5 V의 범위 내에서 변화할 때 관찰되었다. 역방향스캔에서 전류는 다시 높은 전 도성 상태를 갖고, 처음의 스캔과 같은 수준의 전류를 갖는다. 관찰된 스 위칭 특성은 P(VDF-TrFE)층을 통해 향상된 전자 전달 확률 때문인 것으로 분석된다. 연구진은 두 반도체 폴리머 사이에 폴리머 강유전체를 삽입한 소자 구조에서 전기적 스위칭 특성을 확인할 수 있었다. 이 결과 는 유전체를 통한 전류의 제어를 통해 전달 확률과 관련이 있는 편극의 중요성을 입증하고, 두 터미널 저 항성 소자 실현과 최적화를 위해 기초 가 되는 연구라 할 수 있다.



그림 6. AFM 이미지.



그림 7. 열처리된 샘플의 전류-전압 특성. <*Applied Physics Letters*, DOI: 10.1063/1.3584854>

유기 반도체를 위한 금속 컨택 증착법

유기 소자에 금속의 top 전극을 증착하는 공정은 기술적인 어려움 이 있다. 안정적이고, 저렴하면서도, 비파괴적 프린팅 공정을 이용하여 rubrene 단일 결정위에 컨택을 하는 공정방법이 발표되었다. 잘 휘어지 는 기판, 불소가 참가된 자기 정렬 단일층, 나노 임프린트 공정, 표면 화학 처리법을 접목하여 매우 부드러운 금속 컨택과 유기 결정 사이에 등각의 (conformal) 컨택을 만들 수 있었다. 공간 전하 제한된 전류(SCLC-Space Charge Limited Current)측정을 통하여 플립칩 적층 공정된 컨택에서 전자빔 증발된 컨택보다 더 좋은 접합면 특성을 갖는 것으로 평가됐다.

그림 8은 플립칩 적층(FCL-Flip Chip Lamination)을 이용하여 rubrene 단일 결정위에 금속 컨택을 만드는 과정을 보여준다. 먼저, 그림 8(a)의 화학구조를 갖는 자기정렬 단일층(SAM-Self Assembled Monolayer) RL1을 실리콘 웨이퍼 위에 준비한다. 화학 표면 처 리법은 실리콘 표면의 자유 에너지를 낮추고, 실리콘과 금 사이의 접착 력을 줄이기 위해 필요하다. 100 nm의 금 전극을 RL1-Si 기판위에 증착한 후(그림 8b)). 불소화된 thiol SAM. RL2와 약하게 접착된 금 전극을 다룬다(그림 &c). RL2는 플라스틱 기판위에 금 레이어의 전사 를 돕는 기능을 한다. Si/Au의 접착력이 Au/PET의 접착력 보다 작지 만, 금(Au)레이어가 전사되기에 충분할 정도로 약하게 접착된다(그림 8(d)). CF3에 의해 중단된 표면의 에너지는 순수 Au보다 작기 때문에 Si으로부터 PET로 RL2/Au의 전사는 상업용 임프린트 도구를 사용하 여 90도, 250 psi, 5분간의 공정조건을 필요로 한다. 이 순차적인 공정 은 매우 부드러운 Au표면을 만들어내고 이는 rubrene 단일 결정과 등 각의 컨택을 만들도록 직접적 도움이 된다(그림 8(e)). Rubrene결정들 은 균일하게 금속 표면에 적충된다(그림 &f). 마지막으로 rubrene/Au 이 소자 기판위에 전사된다(그림 8(g)).



그림 8. FCL공정 개략도.

<측정 결과>

FCL을 사용하여, 우수한 특성의 전기적 컨택을 휘어지면서도 투명 한 기판위에 rubrene 단일 결정들을 위해 만든다(그림 9(a), (b)). 이 공 정의 가능성을 입증하기위해, 연구진은 다양한 크기와 모양의 금 패턴을 테스트했다. 그림 9(c)는 휘어지는 기판위에 바늘과 같은 rubrene 단일 결정들 위에 100 nm 두께의 FCL 컨택이 형성됨을 보여준다. 그림 9(d) 는 rubrene 결정과 크고, 넓은 컨택을 보여줌으로서, FCL이 유기 전자 재료를 위한 금속성 컨택을 만들기 위한 매우 유망한 공정법임을 제시 한다. 그림 10은 다른 공정방법으로 증착된 두개의 금 전극 사이의 rubrene 단일 결정의 공간 전하 제한 전류 (SCLC)의 측정 결과를 비 교하여 보여준다. 두 소자 모두에서, 결정들은 bottom Au 컨택 위에 적 층되었고, bonded contact을 이룬다. Top 컨택은 두 샘플의 경우 다르 게 공정되었다. 그림 10(a)에 나타난 샘플은 top 컨택이 전자빔 증발법 으로 공정되었고, 그림 10(c)에서 보여진 결정을 위한 top 컨택은 FLC 테크닉이 사용하였다. 그림 10(b)에 나타난 전류-전압특성은 top 컨택 을 통해 유입된 전하와 bottom 전극을 통해 유입된 전하의 양의 차이 가 매우 큰 것을 보여주는 반면, **그림 10(d)**는 FCL 컨택을 통해 유입된 전하가 bottom 컨택을 통해 유입된 전하와 비슷한 것으로 나타나 우수 한 유기-금속 접합면임을 제시한다. 또한 전하가 bottom 전극을 통해 유입될 때, 낮은 전압 범위에서는 전류-전압의 관계가 Ohmic 특성을 갖고, 높은 전압 영역에서는 Mott-Gurney 법칙을 따르는 것으로 분 석했다. 전하 주입이 top 전자범 증발법으로 공정된 컨택을 통해 측정 된 전류-전압 특성은 공간 전하 제한 전류의 특성과는 큰 차이가 있는 것으로 관찰됐다. 공정시 높은 에너지의 전자들과 표면의 X-ray에 의 해 손상된 결정과 그로 인해 증가된 표면 트랩 밀도가 원인인 것으로 분석했다. Bottom 적층된 컨택과 top 증발법에 의한 컨택 시이, 표면 트랩 밀도의 차이는 같은 결정에 대한 다른 전류-전압 특성을 설명해 준다. 전하가 bottom 컨택을 통해 유입되면, 전류는 크고, top 컨택을 통해 유입되면(전자범 증발법), 전류는 약 10,000배 정도 감소하게 된 다. 비교적 높은 전압 영역에서 전압과 함께 전류가 증가하는 것은 트랩 핑상태 에너지의 연속적인 분포에 의한 것으로 분석했다.



그림 9. 금속 컨택 증착된 ruburene 단결정.



그림 10. 금속 컨택공정이 다른 rubrene 단결정소자의 IV 특성.

그림 10(d)는 FCL 컨택에서의 공간 전하 제한 전류를 보여준다. 전류-전압 특성은 대칭적이며, 이는 곧 매우 낮은 표면 트랩 밀도를 의미한다. FCL 테크닉은 접합면에서 결정 퀄러티를 유지시켜 줄뿐 아니라, 우수한 전기적 특성을 갖도록 해준다. 결론적으로, 연구진은 유연한 플라스틱 기 판위, rubrene 단일 결정위에 금속 컨택을 FCL 테크닉으로 증착하여 양질의 top 금속 컨택을 형성할 수 있었다.

<Applied Physics Letters, DOI: 10.1063/1.3584854>

본 기술 뉴스는 KISTI 미리안의 글로벌동향브리핑(GTB)에서 발췌 하였습니다.

<가톨릭대학교 강인남, e-mail: inamkang@catholic.ac.kr>