

## 웨어러블 소자 응용을 위한 신축성 트랜지스터의 제작 및 특성

정순원\*, 구재본\*, 구경완\*\*  
 한국전자통신연구원\*, 호서대학교\*\*

### Fabrication and characterization of stretchable transistor for wearable device application

Soon-Won Jung\*, Jae Bon Koo\*, Kyung-Wan Koo\*\*  
 Electronics and Telecommunications Research Institute\*, Hoseo University\*\*

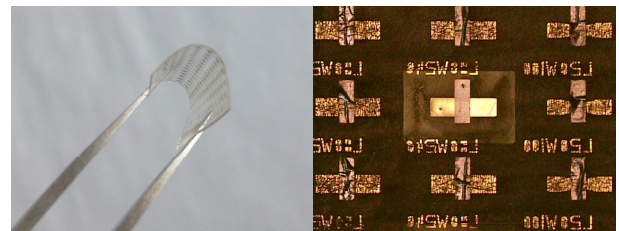
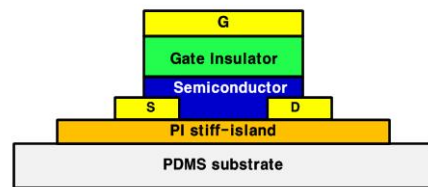
**Abstract** - 신축성 및 웨어러블 전자소자 응용을 위하여 엘라스토머 기관 상에 박막 트랜지스터를 제작하여 그 전기적 특성을 확인하였다. 제작된 트랜지스터의 신축성 향상을 위하여 엘라스토머 기관 상에 일반적인 포토리소그래피 공정과 습식식각 공정을 이용하여 국부적 단단한 폴리이미드 영역을 형성하여 사용하였다. 트랜지스터 특성 확인 결과 약 30 % 이상의 신축에서도 정상적인 트랜지스터 동작이 가능함을 확인하였다.

다수 형성된 것을 확인할 수 있다. 즉, 엘라스토머 상에 직접 형성시킨 박막 트랜지스터의 경우 보고된 것과 같이 약 1 % 이하의 인장에서도 메탈층이 인장을 견디지 못하고 단락되는 현상이 발생됨을 의미하는 것이며, 국부적으로 단단한 폴리이미드 층을 사용한 경우에는 국부적 폴리이미드층과 엘라스토머가 강한 접착력으로 인하여 상당한 인장에서도 변형없이 특성을 유지한다는 것을 의미한다.

### 1. 서 론

그림 2는 제작한 박막 트랜지스터의 인장 전/후의 전달특성을 보인 것이다. 그림에서는 검은색은 인장하기 전에 평가한 전달특성이고, 녹색은 30 % 이상 인장시켰을 때의 전달특성이며, 붉은색은 다시 원상태로 돌아왔을 때 평가한 전달특성이다. 그림에서 보이는 것처럼 인장 전후 전달특성의 차이가 크지 않음을 확인할 수 있다. 이는 향후 신축성 전자소자나 웨어러블 전자소자로의 응용이 가능하다는 것을 뒷받침하는 결과라 할 수 있다.

유연하고 접을 수 있는 휴대용 전자기기에 대한 소비자들의 새로운 요구로 인하여 유연하고 신축 가능한 전자회로, 인체 부착 가능한 디스플레이, 부드럽고 인간 친화적인 전자소자에 대한 개발 필요성이 강하게 대두되고 있다. 그 결과 미래 전자소자들은 구부러지고, 접히고, 꼬이고, 인장이나 수축이 가능한 형태에서도 안정적인 성능을 유지하는, 인체의 복에 부착 가능한 다기능의 전자시스템이 될 것으로 예상된다. 이러한 다양한 환경 속에서도 안정적인 성능을 갖는 전자시스템을 구현하기 위해서 꼭 필요한 것은 접히고 신축 가능한 상태에서도 정상적인 동작이 가능한 신축성 트랜지스터의 개발이다. 일반적인 실리콘이나 글래스 위에 제작된 트랜지스터나 집적회로의 경우 약 1%의 인장 변형에서도 그 성능을 발휘하기 어렵다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 엘라스토머 기관 상에 전자소자를 제작하고자 하는 시도들이 나타나고 있다. 예를 들어 PDMS 상에 diamond-like carbon 영역을 국부적으로 형성할 경우, 이 국부적 영역은 25%의 신축율에서도 안정적인 특성을 나타내는 보고가 있다. 또한 in-situ strain relief 기판을 이용하여 진공공정을 이용한 13% 신축율을 갖는 유기 박막 트랜지스터에 대한 보고도 있다. 본 논문에서는 PDMS 기관상에 일반적인 포토리소그래피 공정과 습식식각 공정을 이용하여 국부적인 단단한 폴리이미드 영역을 형성하고, 이 국부적인 단단한 폴리이미드 영역 상에 박막 트랜지스터를 형성하여 신축성을 갖는 박막 트랜지스터를 성공적으로 구현하였으며, 그 결과에 대하여 기술한다.



〈그림 1〉 소자 구조도 및 제작된 트랜지스터 사진

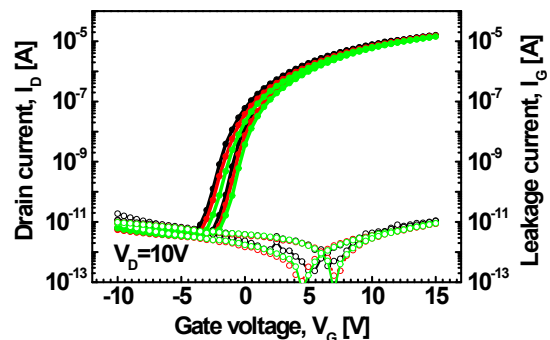
### 2. 본 론

#### 2.1 실험방법

본 연구에서는 널리 사용되고 있는 Dow Corning사의 Sylgard 184 PDMS 엘라스토머를 사용하였다. 경화제와 실리코넨을 1:10의 비율로 섞어서 사용하였으며, 진공 펌프를 이용하여 1시간 동안 기포를 제거하였다. 이렇게 준비된 엘라스토머를 60 °C에서 2 시간 동안 열처리를 통하여 경화시켰다. 엘라스토머의 두께는 제조 공정에 따라 조절이 가능하다. 이렇게 준비된 엘라스토머 기관 상에 폴리이미드(VTEC PI-1388)를 스핀 코팅법을 이용하여 형성하고 저온 열처리를 통하여 경화시켰다. 경화된 폴리이미드는 일반적인 포토 리소그래피 공정과 습식식각 공정을 통하여 패터닝하였다. 이렇게 제작된 패터닝 된 폴리이미드는 200 °C 이상의 온도에서 장시간 후속 열처리를 통하여 추가 경화시켰으며, 두께는 약 4.5 μm 이다. 국부적 폴리이미드가 형성된 엘라스토머 기관을 가지고 박막 트랜지스터를 제작하였다. 트랜지스터 제작에는 게이트 절연체로 유기물 박막을 사용하였으며, 반도체층으로는 유기물반도체와 산화를 받도체인 IGZO를 사용한 두 종류의 박막 트랜지스터를 제작하였다.

#### 2.2 실험결과

그림 1은 제작된 박막 트랜지스터 구조도 및 실제 제작된 소자의 사진을 보인 것이다. 그림에서 보이는 것과 같이 엘라스토머의 성질로 인하여 투명하며 유연한 것을 확인할 수 있다. 또한 실제 제작된 소자 사진에서 볼 수 있듯이 가운데 국부적 폴리이미드 영역 상에 제작된 트랜지스터의 경우 신축성 테스트 후에도 변형이 전혀 없음을 알 수 있고, 그 외의 엘라스토머 상에 직접 형성된 트랜지스터의 경우 메탈 크랙이



〈그림 2〉 제작된 트랜지스터의 특성

### 3. 결 론

본 논문에서는 엘라스토머 기관 상에 국부적 단단한 영역을 구현하기 위하여 폴리이미드를 패터닝하여 복합 기판을 제작하고, 박막 트랜지스터를 제작하였다. 제작된 트랜지스터에서는 30 % 이상의 신축에서도 정상적인 트랜지스터 동작이 이루어졌다. 이는 향후 최적화 과정을 거친다면 신축성 전자소자나 웨어러블 전자 소자로의 응용이 가능한 수준의 트랜지스터 특성이라고 판단된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] S.-W. Jung, J.-S. Choi, J. B. Koo, C. W. Park, B. S. Na, J.-Y. Oh, S. C. Lim, S. S. Lee, H. Y. Chu, and S.-M. Yoon, "Flexible nonvolatile organic ferroelectric memory transistors fabricated on polydimethylsiloxane elastomer", *Org. Electron.* 16, 46, 2015.
- [2] S.-W. Jung, J.-S. Choi, J. H. Park, J. B. Koo, C. W. Park, B. S. Na, J.-Y. Oh, S. S. Lee, and H. Y. Chu, "Oxide Semiconductor-Based Flexible Organic/Inorganic Hybrid Thin-Film Transistors Fabricated on Poly(dimethylsiloxane) Elastomer", *J. Nanosci. Nanotechnol.* Accepted.
- [3] S.-W. Jung, J. B. Koo, C. W. Park, B. S. Na, J.-Y. Oh, and S. S. Lee, "Flexible Organic Thin-Film Transistors Fabricated on Polydimethylsiloxane Elastomer Substrates", *J. Nanosci. Nanotechnol.* Accepted.
- [4] S.-W. Jung, J.-S. Choi, J. B. Koo, C. W. Park, B. S. Na, J.-Y. Oh, S. S. Lee, and H. Y. Chu, "Stretchable Organic Thin-Film Transistors Fabricated on Elastomer Substrates Using Polyimide Stiff-Island Structures", *ECS Solid State Lett.* 4, P1, 2015.
- [5] S.-W. Jung, B. S. Na, K.-J. Baeg, M. Kim, S.-M. Yoon, J. Kim, D.-Y. Kim, and I.-K. You, "Nonvolatile Ferroelectric P(VDF-TrFE) Memory Transistors Based on Inkjet-Printed Organic Semiconductor", *ETRI J.* 35, 734, 2013.
- [6] S.-W. Jung, K.-J. Baeg, S.-M. Yoon, I.-K. You, J.-K. Lee, Y.-S. Kim, and Y.-Y. Noh, "Low-voltage-operated top-gate polymer thin-film transistors with high capacitance poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene)/poly(methyl methacrylate) dielectrics", *J. Appl. Phys.* 108, 102810, 2010.