

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**

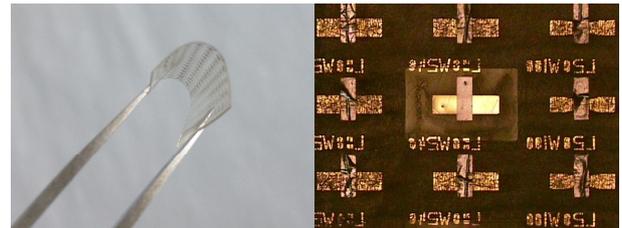
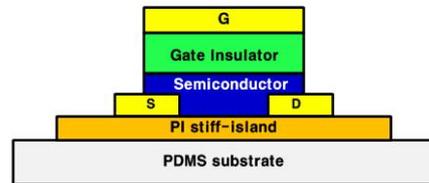
Abstract - 신축성 및 웨어러블 전자소자 응용을 위하여 엘라스토머 기관 상에 박막 트랜지스터를 제작하여 그 전기적 특성을 확인하였다. 제작된 트랜지스터의 신축성 향상을 위하여 엘라스토머 기관 상에 일반적인 포토리소그래피 공정과 습식식각 공정을 이용하여 국부적 단단한 폴리이미드 영역을 형성하여 사용하였다. 트랜지스터 특성 확인 결과 약 30 % 이상의 신축에서도 정상적인 트랜지스터 동작이 가능함을 확인하였다.

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.

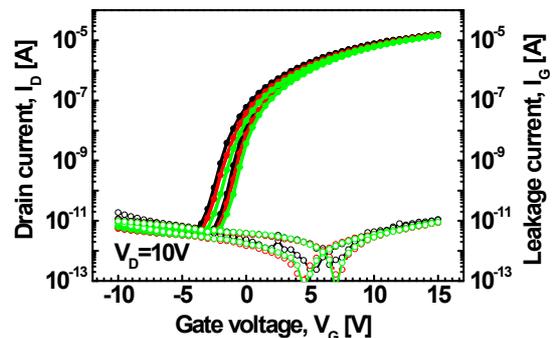
유연하고 접을 수 있는 휴대용 전자기기에 대한 소비자들의 새로운 요구로 인하여 유연하고 신축 가능한 전자회로, 인체 부착 가능한 디스플레이, 부드럽고 인간 친화적인 전자소자에 대한 개발 필요성이 강하게 대두되고 있다. 그 결과 미래 전자소자들은 구부러지고, 접히고, 꼬이고, 인장이나 수축이 가능한 형태에서도 안정적인 성능을 유지하는, 인체의 복에 부착 가능한 다기능의 전자시스템이 될 것으로 예상된다. 이러한 다양한 환경 속에서도 안정적인 성능을 갖는 전자시스템을 구현하기 위해서 꼭 필요한 것은 접히고 신축 가능한 상태에서도 정상적인 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.



〈그림 1〉 소자 구조도 및 제작된 트랜지스터 사진

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.

2. 본 론



〈그림 2〉 제작된 트랜지스터의 특성

2.1 실험방법

본 연구에서는 널리 사용되고 있는 Dow Corning사의 Sylgard 184 PDMS 엘라스토머를 사용하였다. 경화제와 실리콘젤을 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

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.