

니트로기를 가진 자기조립된 유기 초박막의 부정미분저항 특성에 관한 연구

김승언, 손정호, 김병상, 신흠규, 권영수
동아대학교 전기공학과

A Study on the Negative Differential Resistance Properties of Self-Assembly Organic Thin Film with Nitro Group

Seung-Un Kim, Jung-Ho Son, Byoung-Sang Kim, Hoon-Kyu Shin and Young-Soo Kwon
Dong-A University Department of Electrical Engineering

Abstract

We investigated the electrical properties of self-assembled (4,4'-Di(ethynylphenyl)-2'-nitro-1-thioacetylbenzene), which has been well known as a conducting molecule having possible application to molecular level negative differential resistance(NDR)[1]. Generally, the phenomenon of NDR can be characterized by the decreasing current with the increasing voltage[2]. To deposit the SAM layer onto gold electrode, we transfer the prefabricated nanopores into a 1mM self-assembly molecules in THF solution. Au(111) substrates were prepared by ion beam sputtering method of gold onto the silicon wafer. As a result, we measured the voltage-current properties and confirmed the negative differential resistance properties of self-assembled organic thin film and measured, using Scanning Tunneling Microscopy(STM).

Key Words : Self-Assembly Monolayers(SAMs), Negative Differential Resistance(NDR), Scanning Tunneling Microscopy(STM), Resonant Tunneling Diode(RTD)

1. 서론

분자전자라는 개념은 나노미터(nanometer)의 크기를 갖는 기능성 유기분자를 단위 전자 소자로 이용한다는 기본적인 개념에서 시작하였다. 분자전자는 개별 분자들이 트랜지스터, 다이오드 등을 비롯한 오늘날 마이크로 회로의 핵심 구성 요소의 기능들과 동일하거나 유사한 기능을 실행할 수 있다고 약속하며 새로 등장한 분야이다. 이러한 분자전자의 가능성은 기존 반도체 전자 재료의 최신 연구 방향과 비교하면 쉽게 이해할 수 있다. 양자역학적인 관점에서 볼 때, 반도체 재료는 결정 내 모든 원소 물질들로부터의 파동 함수가 중첩에 의해 형성되는 에너지 준위가 전도대와 가전자대로 분리되고, 이들간에 에너지 차에 해당하는 band gap에 의해 반도체 특성이 좌우된다. 반도체 재료

를 이용하는 전자 소자의 고속화, 고직접화의 한계는 이러한 에너지대 구조에 기인하는 것으로서, 이의 한계를 극복하는 방법으로서 양자화의 수법이 동원되고 있다. 구체적으로, 반도체 재료의 공간적 차원성을 줄여 가는 나노 스케일의 반도체에 대한 최신 연구가 바로 그것이다. 다중 양자 우물구조, 양자선서, 양자점 구조의 반도체가 차세대 초고속화, 고직접화 전자 소자의 돌파구라는 것이 이미 이론적, 실험적으로 잘 알려져 있으며, 이에 대한 많은 연구들이 계속 진행되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 물질 이론의 최소 단위인 분자 하나 하나가 양자구조를 이루고 있는 것을 특징으로 하는 분자성 유기물질은 미래 고성능 전자소자로서 가장 큰 가능성을 갖는 분자설계, 이의 공간적 규칙 배열, 그리고 분자의 배선단계가 필요하다. 일련의

주목할 만한 연구 중에서 화학자와 물리학자, 공학자들은 개별 분자들이 전류를 전도하고 스위칭하며 정보를 저장할 수 있다는 사실을 보여주었다.[2]

본 연구는 반도체에서 나타나는 Negative Differential Resistance(NDR) 특성이 분자에서는 Resonant Tunneling Diode(RTD) 특성으로서 설명 가능하다는 것을 나타낸다. 이는 에미터와 컬렉터 사이에는 나노미터 크기의 양자우물(quantum well)을 포함하는 이중터널장벽(double tunnel barrier)이 있는 구조를 가지는데 이 경우 양자우물은 5~10nm의 아주 좁은 폭을 가지므로 양자역학적으로 하나의 공명 에너지 준위(resonant energy level)를 갖게 된다.

본 논문에서는 상온에서 Self-Assembly 단분자막의 전기적 특성을 STM을 이용하여 조사하였으며, 4,4'-Di(ethynylphenyl)-2'-nitro-1-thioacetyl benzene 분자의 RTD 특성 또한 조사하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 시료(4,4'-Di(ethynylphenyl)-2'-nitro-1-thioacetylbenzene)는 한국 화학연구소에서 합성한 유기분자로, 금 전극 표면에 자기조립이 가능한 thioacetyl 또는 methyl sulfide 작용기를 가지고 있어 쉽게 자기조립 유기박막을 형성할 수 있다. 또한 thioacetyl 작용기는 염기 존재 하에, 용액 중에서 thioacetyl 작용기로 변환시킨 후 금 전극을 넣어두고 난 후에 자기조립 유기박막을 제조하였다. 본 실험에 사용한 시료는 그림 1과 같은 분자구조를 가지고 있다.

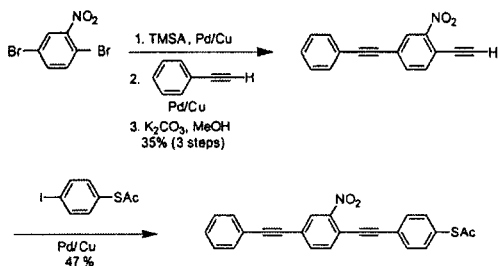


그림 1. 전도성 분자의 합성과정 및 분자 구조도.

기판(substrate)의 표면은 유기박막의 흡착과정에 결정적인 영향을 준다. 전기적 특성을 조사하기 위해 사용한 기판(substrate)은 산화막이 올라간

실리콘 웨이퍼(Si)를 사용하였고, 하부전극으로 Au를 Ion Beam Sputtering(IBS)기법을 사용하여 증착하였으며, 연구에 사용된 소자의 구성은 Si/SiO₂/Cr/Au/SA film 구조이며, piranha 용액으로 기판 표면을 청결히 세척하였다. 하부전극 단자는 하나의 전극으로 제작하고 합성된 분자를 1mM 농도가 되게 THF용액에 용해시킨 후 금 전극을 담그고, 진공펌프로(15~25mmHg) 용존 산소를 제거한 다음 반응용기를 질소가스로 채워두었다. 이 용액에 NH₄OH를 합성된 분자 1mg당 5 μ l 정도 첨가하여 24시간이상 반응시켜 자기조립 박막을 형성하였다.[3]

3. 결과 및 고찰

정류 메커니즘은 분자내에 탄성이 없는 터널링에 의해 금속전극의 페르미레벨(Fermi level)과 금속전극사이에 있는 분자의 HOMO level과 LUMO level에 공진 터널링(resonant tunneling)이 발생한다. 금속 전극의 페르미 준위와 분자소자의 양자우물 속에 형성된 에너지 준위가 일치하여 공진 투과가 발생한다.[4]

그림 2는 본 연구에서 사용한 시료(4,4'-Di(ethynylphenyl)-2'-nitro-1-thioacetylbenzene)를 단분자막으로 제작한 후, STM으로 상온에서 측정된 전류-전압 특성이다.

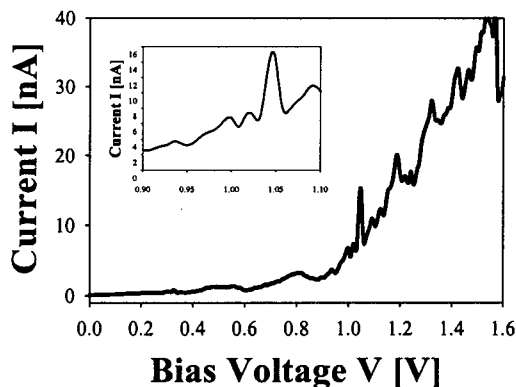


그림 2. STM으로 측정된 단분자막의 I-V특성.

측정결과 전도성 분자는 0.9V까지는 Ohmic영역을 나타내다가 약 1.05V에서 전류값이 감소하는 NDR의 특성이 나타났으며, 1.2V, 1.33V, 1.42V 부근에서도 이와 유사한 NDR의 특성을 나타내었다. 그림 2의 작은 그림은 1.05V 부근에서 나타나는

NDR 특성을 나타낸 것이다.

그림 3은 Scanning Tunneling Microscopy (STM)을 이용한 단분자막의 표면이미지 구조로 그 크기는 300nm×300nm이다.

표면이미지 상에서 나타나듯이 시료가 Au 표면에 고르게 Self-Assembly 되지 않고 부분적으로 집단을 이루고 있어서 이러한 NDR의 특성을 나타내는 것으로 확인된다.

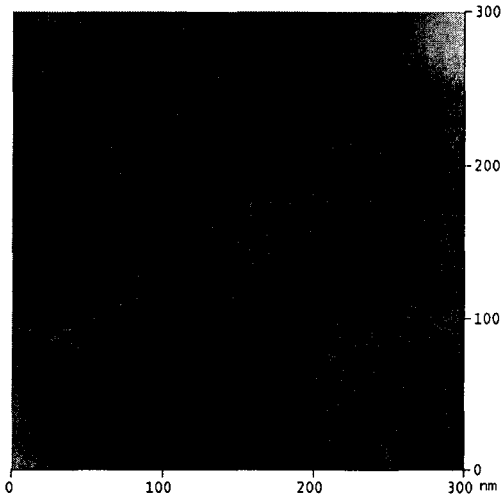


그림 3. STM을 이용한 SA 단분자막의 이미지.

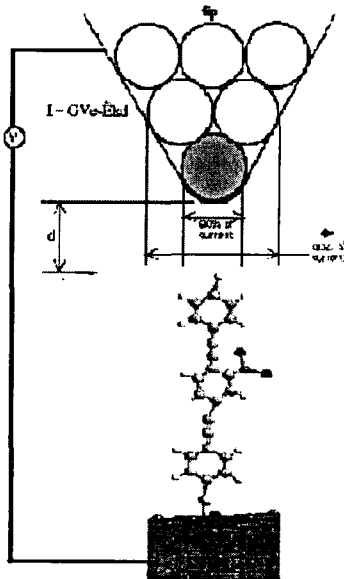


그림 4. 측정장비의 모식도.

4. 결론

본 연구에서는 Self-Assembly(SA)기법을 이용하여 4,4'-Di(ethynylphenyl)-2'-nitro-1-thioacetyl benzene 분자의 부성미분저항(NDR)특성을 조사하였다.

STM을 이용하여 유기 초박막의 구조적인 특징을 표면이미지를 통해 관찰할 수 있었고, 분자의 전기적인 특성 또한 확인할 수 있었다. 그리고, 상온에서 전압-전류 특성을 조사하여 single layer의 특성인지는 확인할 수 없으나 NDR의 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부에서 추진하는 IMT-2000 연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. Lakhani, H. Hier and R. Potter, J. Appl. Phys, Vol. 64, pp. 3735-3736, Oct. 1988.
- [2] G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber and E. Weibel, Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy, Phys. Rev. Lett., Vol. 49 No. 1, pp. 57-61, 5 July, 1982
- [3] Christopher B. Gorman, Richard L. Carroll and Ryan R. Fuierer, Langmuir 2001, 17, 6923-6930
- [4] Changjin Lee, Yongku Kang, Hye-Mi So. 2002. current applied physics 2. 39-45