

## Electrical Property and Application of Au Electrodes Passivated with DDT Molecules

최민수\*\* · 이동진\*\* · 김태근\* · 황성우†  
 (Min-Su Choi · Dong-Jin Lee · Tae-Gun Kim · Sung-Woo Hwang)

**Abstract** - We report the passivation characteristics of dodecanethiol (DDT) molecules on gold electrodes of field effect transistor bio-sensors. The leakage current between the electrolyte and the electrode can be as small as 3pA when 7 mM of DDT passivation is performed. The DDT layer is also shown to resist the attack of acid up to 120 mins.

**Key Words** : Dodecanethiol (DDT), Au electrodes passivation, Electrolyte, Bio-sensors

### 1. 서론

#### 1.1 소개

최근 바이오 나노시스템의 핵심 부품 중의 하나인 전계효과 트랜지스터를 이용한 센서 응용 연구가 활발히 진행되고 있다. 대부분의 바이오 센서 실험은 전해질속에서 이루어지므로 전해질에서 전극으로의 직접적인 전류 흐름을 차단하는 것이 센서의 감도를 결정하는 중요한 요소가 된다 [1]. 전극과 전해질간의 전류통로를 차단하는 방법으로  $Si_3N_4$ ,  $SiO_2$  등을 deposition하거나 [2] 좀더 간편한 방법으로 전극에 PMMA를 도포하거나 [3], Su-8을 도포하는 [4] 등의 연구가 진행되었다. 본 논문에서는 저렴하고 단순한 방법으로 이러한 passivation 문제를 해결할 수 있는 dodecanethiol (DDT) 분자 보호막 처리를 제시하고 그 전기적 특성을 구한다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험 과정

센서의 전기전도도를 측정하기 위해 그림 1(a)와 같이 two-terminal DC 측정 시스템을 구축하고 그림 1의 (b)에 보여진 Au 전극 array를 가지는 시편 위에 syringe 펌프 튜브로 여러 가지 pH 용액을 약 20  $\mu m$  정도로 떨어뜨린다. 그림 1(c)는 용액이 떨어지는 pump와 전극기판을 확대한 그림이다. 이러한 간단한 조작으로도 전극 array 사이를 pH 용액이 덮게 되고, 만약 전극이 어떠한 보호막 없이 전해질인 pH 용액에 노출되면 전극 간의 전해질 채널을 형성하게 된다.

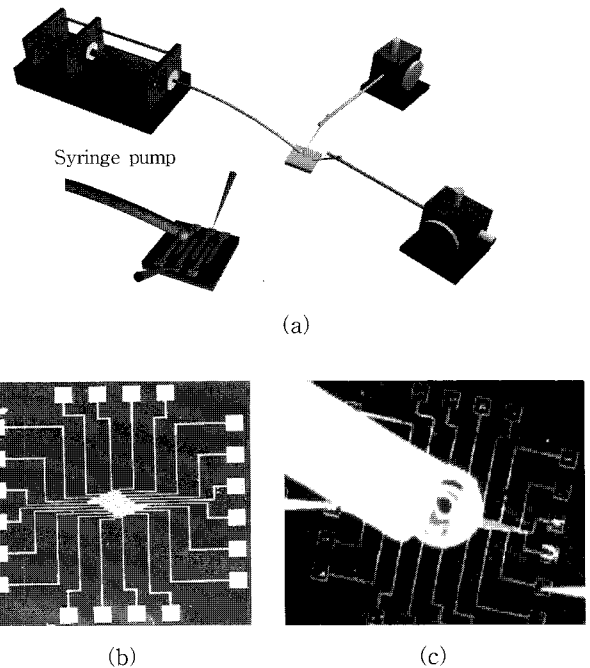


그림 1 (a) 센서 전기전도도 측정 시스템 모식도 (b) 전극 array가 형성된 시편과 (c) pH 용액 떨어뜨리는 모습  
**Fig. 1** (a) Schematics of conductivity measurement system for sensor application (b) Electrode array formed substrate (c) An image of refusing pH solution onto the substrate

마이크로 피펫을 이용하여 DDT 용액 수  $\mu l$ 를 약 20 ml Isopropanol alcohol (IPA) 이 들어있는 비이커 안에 희석시킨다. 희석 용액이 들어있는 비이커 안에 표면 세척한 전극 array가 형성된 시편을 dipping 한다. 약 1시간 정도 100 RPM 이하의 약한 stirring을 한 뒤 다시 IPA 용액과 D.I water 로 수차례 표면 세척을 하여 반응하지 않고 남은 찌꺼기나 불필요한 불순물을 제거해 준다.

\* 비회원 : 고려대 공대 전자전기공학과 석사과정

\*\* 비회원 : 고려대 공대 전자전기공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 고려대 전자전기공학과 교수

E-mail : swhwang@korea.ac.kr

접수일자 : 2009년 12월 1일

최종완료 : 2009년 12월 26일

2.2 실험 결과

그림 2는 DDT처리를 하지 않은 전극과 1 mM, 7 mM의 두 가지 농도로 DDT 처리를 한 전극간의 전해질에서의 전류 측정 데이터이다. DDT 분자 보호막 처리를 하지 않은 상태에서 전극간 전류는 전해질과 전극의 이온 교환으로 생기는 전류가 크기는 1V의 드레인 전압에 7 nA가 됨을 알 수 있다 (흑색). 반면에 DDT 분자 보호막을 처리하였을 경우, 전류가 상당히 감소하여 (적색), 7 mM로 처리된 경우 3 pA 정도의 값을 갖는 거의 무시할 수 있을 정도의 전류레벨이 됨을 확인할 수 있다 (청색). 이는 DDT의 농도가 충분하여 Au 전극에 골고루 도포 되었을 때 전해질과 Au 전극 사이의 이온 교환이 효과적으로 차단되었음을 확인시켜 주는 데이터이다. 이로써 DDT 분자 처리하였을 때 그렇지 않았을 때보다 효과적으로 외부 전해질의 영향을 차단한다는 사실을 확인하였다.

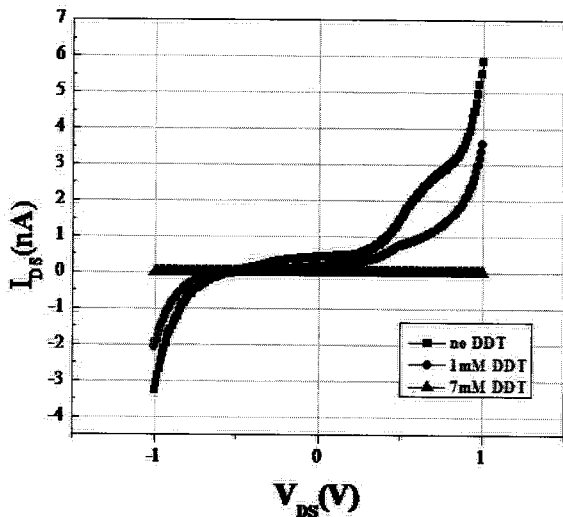


그림 2 DDT 분자보호막 처리 전후 전극간 드레인 전압 변화에 따른 드레인 전류 측정  
 Fig. 2 Drain current as a function of drain voltage with DDT passivation

우리는 DDT 분자 보호막이 센서실험에서 중요한 유효성과 재생산성의 특성을 만족하는지 알기 위해 기본적으로 실험에 많이 사용되는 pH 용액에 얼마나 오래 견디는지에 대한 추가적인 실험을 하였다.

비이커 안에 pH1에 해당하는 용액을 20 ml 채워놓고 위 실험에서와 마찬가지로 Au 전극 array를 갖고 DDT 분자 보호막 처리가 되어 있는 시편을 dipping 하였다. 그리고 30분 간격으로 꺼내 세척작업을 하고 측정을 하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 90분까지는 Au 전극과 전해질 사이의 이온교환 전류가 차단되었으나 120분이 지나가자 DDT 분자 보호막이 손상을 입고 Au 전극과 전해질 사이의 이온교환이 이루어지기 시작한다. 이로써 120분 이상의 연속된 산성 실험에서는 Au 표면과 DDT 분자의 연결이 끊어짐을 알 수 있다.

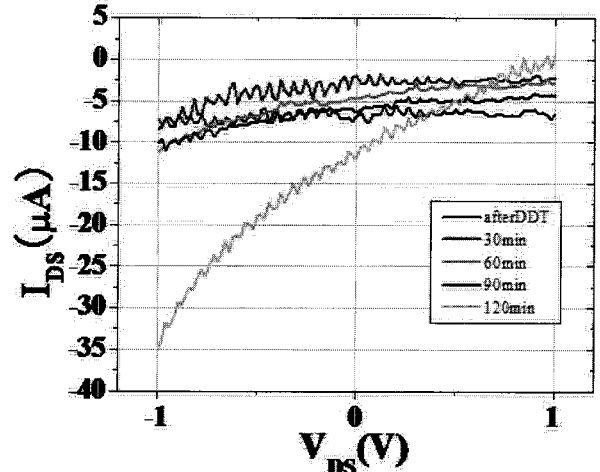


그림 3 DDT 분자 보호막의 산성 용액에 대한 지속 유지성 실험  
 Fig. 3 The sustenance of DDT passivation against acid solution

3. 결 론

우리는 전계효과 트랜지스터의 여러 종류의 센서 응용을 위해 실제 목표 물질이 아니지만 커리어 역할을 하는 전해질과 같은 전기전도도에 큰 영향을 미치는 요인들을 효과적으로 차단할 필요가 있다. 그래서 본 논문에서는 공정이 매우 단순하고 비용이 저렴한 DDT 분자 보호막 처리를 그 방법으로 제시하였고 전기전도도를 비교함으로써 전기적 효과를 증명하였다. 또한 DDT 분자 보호막의 한계치를 검증함으로써 센서실험에서 필수적인 유효성과 재생산성의 특성을 증명하였다. 이로써 앞으로 DDT 분자 보호막은 각종 센서 실험에서 Au 전극 보호막으로서 효과적으로 활용될 수 있는 가능성을 보여 주었다.

참 고 문 헌

[1] Yu Chen, Xihua Wang, Shyamsunder Erramilli, and Pritiraj Mohanty, "Silicon-based nanoelectronic field-effect pH sensor with local gate control", Appl. Phys. Lett. 89, 223512, 2006  
 [2] Tao He, David A. Corley, Meng Lu, Neil Halen Di Spigna, Jianli He, David P. Nackashi, Paul D. Franzon, and James M. Tour, "Controllable Molecular Modulation of Conductivity in Silicon-Based Devices", J. AM. CHEM. SOC. Vol. 131, pp. 10023 - 10030, 2009  
 [3] Iddo Heller, Jaan Ma'nnik, Serge G. Lemay, and Cees Dekker, "Optimizing the Signal-to-Noise Ratio for Biosensing with Carbon Nanotube Transistors", Nano Lett., Vol. 9, No. 1, pp. 377-382, 2009  
 [4] Dong Rip Kim, Chi Hwan Lee, and Xiaolin Zheng, "Probing Flow Velocity with Silicon Nanowire Sensors", Nano Lett., Vol. 9, No. 5, pp. 1984-1988,

2009

- [5] Erica S. Forzani, Xiulan Li, Peiming Zhang, Nongjian Tao, Ruth Zhang, Islamshah Amlani, Raymond Tsui, and Larry A. Nagahara, "Tuning the Chemical Selectivity of SWNT-FETs for Detection of Heavy-Metal Ions", small, Vol. 2, No. 11, pp. 1283 - 1291, 2006

저 자 소 개



**황 성 우 (黃 晟 寓)**

1985년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1987년 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)  
 1993년 : Princeton University  
 전기공학과(공학박사)  
 1993~1995 : NEC Fundamental Research

Labs. 연구원

1995~현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 교수

<주관심분야>

나노소자 제작, 나노소자의 DC & 시간변화에 따른 수송 현상, 양자컴퓨팅소자, RF & 고속디지털 회로 설계, 제작, 특성연구

E-mail : swhwang@korea.ac.kr



**최 민 수 (崔 民 洙)**

2006년 : 고려대학교 전자전기전파공학부 졸업 (공학사)

2008년 : 고려대학교 전자전기공학과 (공학석사)

2008년~현재 : 고려대학교 전자전기공학과 (공학박사)

<주관심분야>

다양한 나노 소자 제작 분석 및 센서 응용

E-mail : sooluv@kore.ac.kr



**이 동 진 (李 東 鎭)**

2006년 : 고려대학교 전자전기전파공학부 졸업 (공학사)

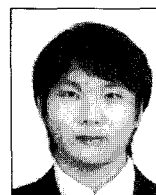
2008년 : 고려대학교 전자전기공학과 (공학석사)

2008년~현재 : 고려대학교 전자전기공학과 (공학박사)

<주관심분야>

센서 나노소자 제작 및 고주파 특성 분석

E-mail : sweeper@korea.ac.kr



**김 태 근 (金 兌 根)**

2009년 : 고려대학교 전자전기전파공학부 졸업 (공학사)

2010년~현재 : 고려대학교 전자전기공학과 (공학석사)

<주관심분야>

플렉서블 나노 소자 제작

E-mail : luckyforu@hanmail.net