

# 금 나노 전극위에 정전기적 상호작용을 이용한 선형 $\lambda$ -DNA 브리지 형성에 관한 연구

김 형 진, 이 인 선, 노 용 한, 홍 병 유  
성균관대학교 정보통신공학부

## A study of the formation of the liner $\lambda$ -DNA bridge using the electrostatic interactions on the gold nanoelectrodes

Hyung-Jin Kim, In-Sun Yi, Yonghan Roh, Byungyou Hong  
School of Information and Communication Engineering Sungkyunkwan University

### Abstract

본 논문에서는 DNA를 이용한 나노 소자에 응용하기 위하여, photo-lithography를 사용하여 나노크기 (<100)의 간격을 갖는 금 전극을 제작하였다. 그리고 제작되어진 되어진 나노 전극위에 2-Aminoethanethiol(AET)를 코팅하여 AET와  $\lambda$ -DNA 사이의 정전기적 상호 작용을 이용, 금 나노전극 사이에 간단하고 고착율을 높이는 실험을 하였다. SEM(Scanning Electron Microscope) 분석을 통해 나노 크기의 전극 간격을 확인하였고, 두 전극사이에 연결되어진  $\lambda$ -DNA는 AFM(Atomic force microscope)을 확인하였다.

Key Words : 나노 전극, 2-Aminoethanethiol(AET),  $\lambda$ -DNA bridge

### 1. 서론

반도체소자의 고집적화 공정개발이 지속적으로 요구되면서 미래 반도체 산업을 이끌어 가기 위한 실리콘 반도체 계열의 나노공정 및 나노물질 개발에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 이와 더불어, 비 실리콘 반도체 계열의 물질에 극한기술을 적용한 새로운 개념의 소자개발을 위한 초기 연구결과들이 속속 발표되고 있다. 특히, 나노 규격을 가지는 분자들의 전도특성을 이용한 분자전자 소자(molecular electronics) 개발 연구가 활발히 진행되고있으며, 대표적인 전자소자로는 MRAM[1], FRAM[2], Carbon Nano-tube(CNT)-MOSFET[3], DeoxyriboNucleic Acid (DNA)-MOSFET[4]등이 있다.

특히, double helix 구조의 DNA는 반도체 수준으로 전기전도성을 가지고 있어서 chip과 transistor에서 극세전선으로 사용될 수 있음을 Fink 연구팀 의

에 많은 연구가들에 의해 증명 되었다[5]. 특히, micrometer에서 nanometer까지 인위적으로 길이조절이 가능하고, 4개의 염기(Guanine, Cytosine, Adenine 그리고 Thymine)의 조작 및 배열방식의 변경에 따라서 전기전도 특성을 제어할 수 있기 때문에 새로운 형태의 나노소자 개발을 위한 최적의 물질로 인식되고 있다[6-8]. 최근에는 이러한 DNA의 특성을 이용해 DNA-MOSFET 구현에 관한 연구가 진행되고 있다.[3].

하지만, 이러한 DNA 소자 개발에 있어서 DNA의 전기적 전도특성을 관찰하기 위해 두 전극사이를 나노크기로 제어 하고, 나노 전극사이에 정확하게 DNA를 고착시키는 기술적 어려움이 있다.

본 논문에서는 DNA를 이용한 나노 소자를 제작하기 위하여, photo-lithography를 사용하여 다양한 나노 간격의 금(Au) 전극을 제작하였고, 전극 간격을 나노 크기(<100 nm)로 제어하는 연구를 수행하

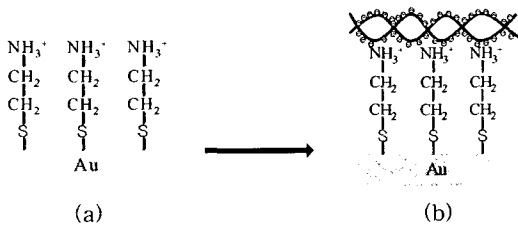


그림1. 본 연구에서 사용한 AET의 화학적 구조와 정전기적 상호작용에 의한 AET와 DNA의 결합도.

였다[9, 10]. 제작되어진 나노 전극위에  $\lambda$ -DNA를 고착시키기 위해 AET(2-Aminoethanthiol, Aldrich)를[11] Au 전극위에 코팅하여서 금 나노 전극 사이에 DNA를 간단하게 고착시키고, 또한 고착물을 향상시킬 수 있는 연구를 수행하였다.

## 2. 실험

나노 간격을 가지는 전극을 형성하기 위해서 본 연구에서는 photo lithography 방법을 이용하여  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판위에 그림 2 (b)와 (c) 같은 나노 구조물을 구현하였다. 기판은 500 nm의  $\text{SiO}_2$  박막이 증착되어진 Si(p-type, 100)기판을 사용하였다. AET는 이차증류수(water)를 이용하여 30 mM로 희석시켰다. 본 실험에서 사용한 DNA는  $\lambda$ -phage DNA (Seoulin Bioscience(주))이며 DNA의 평균길이는 약 1  $\mu\text{m}$ (48 Kbp)이다.  $\lambda$ -DNA 농도는 553 ng/ $\mu\text{L}$ 이며, TE(10 mM의 Tris-HCl(pH 7.8))과 1 mM의 EDTA buffer의 합성물) buffer(pH 7.5)를 이용하여  $\lambda$ -DNA 농도를 1, 3, 5 ng/ $\mu\text{L}$ 로 각각 희석시켜서 준비하였다.

기판은 이차증류수, 아세톤, 황산과 과산화수소를 2:1의 비율로 합성한 합성물, 마지막으로 다시 이차증류수에 넣어 각각 5분 동안 초음파세척기로 처리하였고, 각 과정이 끝날 때 마다 이차증류수로 씻어 내었고,  $\text{N}_2$  가스를 이용하여 완전히 건조시켰다. 이렇게 준비된 기판은 Mask-Aligner (Electro-vision, EV420)에 의해 나노 간격의 전극으로 패틴 되어졌다. 이 패틴위에 나노 간격의 전극 물질 증착은 전극금속과 Si 기판과의 접착성을 향상시키기 위하여 E-beam evaporator를 이용하여 20 nm 두께의 Ti 금속 박막을 증착하고, thermal evaporator를 이용하여 30 nm의 Au를 증착하였다.

제작되어진 Au 전극위에 AET-monolayer를 형

성하기 위하여, 이차증류수를 이용하여 희석되어진 30 mM의 AET 용액 속에 몇 시간 동안 넣어둔 후에, TE buffer를 이용하여 깨끗하게 씻어내고,  $\text{N}_2$  가스로 건조시켰다.  $\lambda$ -DNA의 존재 및 선형성을 확인하기 위하여 (3-Aminopropyl)trimethoxysilane (APS, Aldrich)로 코팅되어진 Si 기판위에 고착시킨 후에 AFM(Seiko, SPA 400)의 tapping mode를 사용하여 분석하였다

AET-monolayer가 형성되어진 Au 전극들 사이에 1, 3, 5 ng/ $\mu\text{L}$  농도의  $\lambda$ -DNA 용액을 1  $\mu\text{L}$ 씩 마이크로 피펫을 사용하여 정확하게 도포하였다. 도포되어진  $\lambda$ -DNA는 인산(phosphate)의 음 전하와 AET의 양전하 사이의 정전기적 상호작용에 의해 Au 전극 표면에 고착된다. 몇 분후, Au 전극 표면에 고착되지 못한  $\lambda$ -DNA를 제거하고 두 전극 사이에 선형  $\lambda$ -DNA bridge를 형성하기 위하여  $\lambda$ -DNA 용액을 마이크로 피펫을 사용하여 흡입(suction) 하였다.  $\lambda$ -DNA 용액을 제거한 후 시편을 상온에서 완전히 건조시켰다. 두 전극 사이에 DNA bridge 형성 여부를 확인하기 위하여 AFM 측정을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Photo lithography 법을 이용하여 제작한 Au 나노 전극의 간격은 FE-SEM(JEOL, JSM-6700F) 분석을 통하여 확인 할 수 있으며, 그림 2 (a)는 FE-SEM을 통해 본 Au 전극의 단면도이다.  $\text{SiO}_2$ 가 증착되어진 Si 기판위에 Ti와 Au가 각각 20과 30 nm 씩 증착되었음을 확인 할 수 있다. 그림 2의

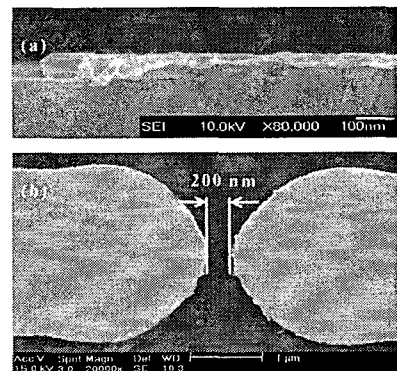


그림 2. photo lithography를 이용하여 제작한 나노 금 전극의 SEM images. (a) 금 전극의 단면 image (b) 전극 간격 : 200 nm.

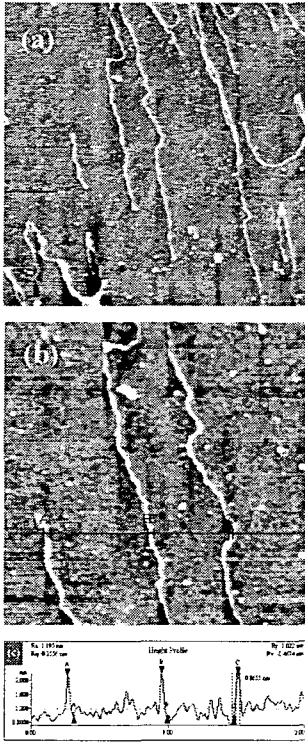


그림 3. Si wafer 위에 Dip coating 방식으로 코팅 (coating)된 APS에 선형으로 고착되어진  $\lambda$ -DNA의 AFM images. (a) scan size :  $4 \times 4 \mu\text{m}$ . (b) scan size :  $2 \times 2 \mu\text{m}$ . (c) (b)의  $\lambda$ -DNA height profile image.

(b)는 나노 전극 간격은  $200 \text{ nm}$ 이며, 전극 간격이 나노 크기임을 확인하였다. 이렇게 제작되어진 Au 나노 전극사이에  $\lambda$ -DNA bridge를 형성하기 전에 APS가 코팅되어진 Si 기판위에서  $\lambda$ -DNA의 존재 여부 및 선형 bridge를 형성하기 위한 실험을 하였다. 그림 3. (a)는 넓은 범위(scan size:  $4 \times 4 \mu\text{m}$ )의 AFM image이며, (b)는 (a)의 특정부위를 확대 (scan size:  $2 \times 2 \mu\text{m}$ )한 AFM image이다. 이 두 AFM image를 통하여 Si 기판위에 선형으로 고착되어진  $\lambda$ -DNA를 확인 할 수 있었다. 그림 3. (c)는 그림 3 (b)의 높이와 폭을 나타내는 image이며,  $\lambda$ -DNA의 평균 높이는  $1.8 \text{ nm}$ 이다. 이는 이미 발표된 다른 논문의 자료들 보다 약  $0.5 \text{ nm}$  높게 측정되었다[12]. 이러한 오차는  $\lambda$ -DNA가 bundle 상태로 기판에 고착되어졌기 때문에 발생하였을 것이라 사료된다.

그림 4는 본 연구의 주 목적인 두 Au 나노 전극 사이에 DNA bridge를 형성하기 위하여 세 가지 조건( $1, 3, 5 \text{ ng}/\mu\text{L}$ )으로  $\lambda$ -DNA 농도를 조절하여 실험한 결과를 나타낸 AFM image이다. 분석은 AFM의 tapping mode를 사용하였다. 그림 4의 (a)에는  $5 \text{ ng}/\mu\text{L}$ 의  $\lambda$ -DNA를 도포하여 형성된 bridge를 phase image로 나타내었다. 그림 4 (b)는  $3 \text{ ng}/\mu\text{L}$ 의  $\lambda$ -DNA를 도포하여 형성된 bridge를 height image로 나타내었다. 두 시편의 전극 간격은 모두  $500 \text{ nm}$ 이다. 그림 4 (a)의 AFM image에서는 두 가닥의  $\lambda$ -DNA bridge가 형성되었고, 전극 주위로 불필요한  $\lambda$ -DNA가 붙어 있음을 확인할 수 있다. 그림 4 (b)는 한 가닥의  $\lambda$ -DNA bridge가 형성되었고, 그림 4 (a)에서 많이 볼 수 있는 전극

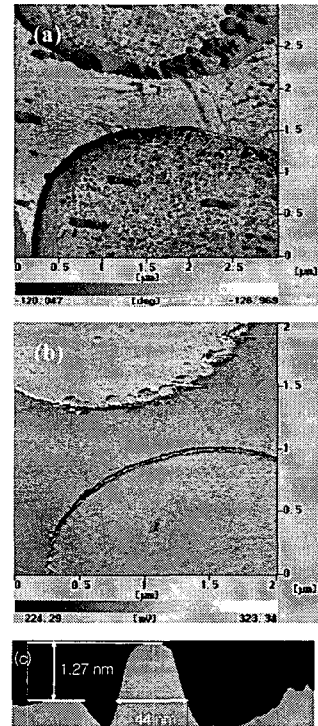


그림 4. 두 금 전극사이에 연결 되어 bridge를 형성한  $\lambda$ -DNA의 AFM images. (a)  $5 \text{ ng}/\mu\text{L}$ 의  $\lambda$ -DNA에 의해 전극사이에 형성되어진 bridge(scan size:  $3 \times 3 \mu\text{m}$ ). (b)  $3 \text{ ng}/\mu\text{L}$ 의  $\lambda$ -DNA에 의해 전극사이에 형성되어진 bridge(scan size:  $2 \times 2 \mu\text{m}$ ). (a)와 (b)의 전극 간격은  $500 \text{ nm}$ . (c) (b)에서 형성되어진  $\lambda$ -DNA bridge의 폭과 높이를 나타내는 image.

주위의 불필요한  $\lambda$ -DNA가 보이지 않는다. 1 ng/ $\mu$ L의  $\lambda$ -DNA에서는 두 전극사이에  $\lambda$ -DNA bridge가 형성 되지 않았다. 그림 4 (c)는 (b)에서 형성되어진  $\lambda$ -DNA bridge의 폭과 높이를 나타내는 profile image이며, 측정된 높이는 1.27 nm이다. 앞에서 설명한 그림 3과 비슷한 결과를 얻었다. 위의 결과로부터, 두 전극 사이에  $\lambda$ -DNA bridge를 형성하기 위한  $\lambda$ -DNA의 농도는 3 ng/ $\mu$ L가 가장 적합하다는 결론을 얻었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서 DNA를 이용한 나노 소자를 제작하기 위하여, photo-lithography를 사용함으로써 다양한 나노 간격의 금(Au) 전극을 제작할 수 있음을 증명하였고, 전극 간격을 나노 크기(<100 nm)로 제어할 수 있게 되었다. 그리고 제작 되어진 나노 전극위에 AET를 코팅(Coating)함으로써 AET와  $\lambda$ -DNA 사이의 정전기적 상호 작용에 의해서 금 나노 전극위에  $\lambda$ -DNA가 고착된다는 것을 확인하였으며, AET에 의해 간단하면서도 높은 고착률을 가진다는 것을 증명하였다. 또한 두 Au 전극위에 도포된  $\lambda$ -DNA 용액을 마이크로 피펫을 사용하여 흡입(suction)을 통해 양 전극사이에 선형  $\lambda$ -DNA bridge를 형성함을 보였다.

#### 5. 감사의 글

본 연구는 **국책연구개발사업(나노핵심기반기술개발사업)**의 프로그램(M10214000110-02B1500-01800)의 지원을 받아 수행하였기에 이에 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] 이우영, 신경호, "MRAM(magnetic random access memory) 기술현황 및 연구동향", 전기전자재료학회논문지, Vol.13, No.11, p.12, 2000.
- [2] Angus Kingon, "Memories are made of...", Nature, Vol.401, p.658, 1999.
- [3] Ali Javey, Jing Guo, Damon B. Farmer, Qian Wang, Dunwei Wang, Roy G. Gordon, Mark Lundstrom, and Hongjie Dai, "Carbon Nanotube Field-Effect Transistors with Integrated Ohmic Contacts and High-K Gate Dielectrics", Nano Letter, Vol.4, No.3, p.447, 2004.
- [4] Giuseppe Maruccio, Paolo Visconti, Valentina Arima, Stefano D'Amico, Adriana Biasco, Eliana D'Amone, Roberto Cingolani, and Ross Rinaldi, "Field Effect Transistor Based on a Modified DNA Base", Nano Letter, Vol.3, No.4, p.449, 2004.
- [5] Hans-Werner Fink, Christian Schonberger, "Electrical conduction through molecules", Nature Vol.398, p.407, 1999.
- [6] Lintao Cai, Hitoshi Tabata, and Tomoji Kawai, "Self-assembled DNA networks and their electrical conductivity", Appl. Phys. Lett. Vol.77, p. 3105, 2000.
- [7] K.-H. Yoo, D.H. Ha, J.-O. Lee, J.W. Park, Jinhee Kim, J. J. Kim, H.-Y. Lee, T. Kawai, and Han Yong Choi, "Electrical Conduction through Poly(dA)-Poly(dT) and Poly(dG)-Poly(dC) DNA Molecules" Phys. Rev. Lett, Vol.87, p.19, 2001.
- [8] A. Bezryadin and C. Dekker, "Nanofabrication of electrodes with sub-5 nm spacing for transport experiments on single molecules and metal clusters", J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.15, p.793, 1997.
- [9] Young-Sang Jo, Younghun Lee and Yonghan Roh, "Effects of Humidity on the Electrical Conduction of  $\lambda$ -DNA Trapped on a Nano-GapAu Electrode", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 43, No.5., p.914, 2003.
- [10] Y. Lee, Y.-S. Jo, Y. Roh, "Formation of nanometer-scale gaps between metallic electrodes using pulse/DC plating and photolithography", Materials Science and Engineering, C23, 833, 2003.
- [11] Yong Shao, Yongdong Jin, Shaojun Dong, "DNA-templated assembly and electropolymerization of aniline on gold surface", Electrochemistry Communications, Vol.4, p.773, 2002.
- [12] Hidenobu Nakao, Hideki Hayashi, Tomoyuki Yoshino, Shigeru Sugiyama, Kazunori Otake, and Toshio Ohtani, "Development of Novel Polymer-Coated Substrates for Straightening and Fixing DNA", Nano Letter, Vol.2, p.475, 2002.