

금 전극위에 DNA 분자의 정렬에 관한 연구

황현석¹, 김형진^{2*}

¹서일대학교 전기과, ²구미전자정보기술원

Directed Alignment of DNA Molecule between the gold electrodes

Hyun Suk Hwang¹, Hyung Jin Kim^{2*}

¹Dept. of Electrical Engineering, Seoil University

²Gumi Electronics and Information Technology Research Institute

요약 본 논문에서는 DNA 분자를 나노 소자에 응용하기 위하여, 금 전극 사이에 DNA 분자를 간단하고 효율적으로 정렬하기 위한 연구를 수행하였다. DNA를 코팅한 나노소자의 제작을 위하여 SiO₂/Si 기판위에 photo-lithography 공정에 의해 형성되어진 금 전극 위에 2-Aminoethanthal(AET)을 코팅하였다. AET는 양전하를 띠는 NH³⁺를 가지고 있어서 음전하를 띠는 DNA 분자와 정전기적 상호 작용에 의하여 강하게 결합하게 된다. 이러한 원리에 의해 AET가 코팅 되어진 금 전극(AET-금 전극) 사이에 DNA 용액을 도포함으로써 금 전극들 사이에 DNA 분자를 간단하고 효율적으로 정렬시킬 수 있다. 두 전극 사이에 정렬되어진 DNA 분자는 AFM(Atomic force microscope)을 이용하여 조사하였으며, Au 전극 위에 코팅되어지는 AET 농도 변화에 따라 두 전극 사이에 정렬되어지는 DNA-bridge가 단일 형태에서 번들 형태로 변화하는 것을 확인하였다.

Abstract In this paper, the directed alignment method of the DNA molecule between the Au electrodes was suggested for the application of nano devices. To fabricate the nano device coated DNA, 2-Aminoethanthal(AET) was coated on Au electrodes which was formed using photo-lithography process on SiO₂/Si substrates. In general, the AET that was a positive charge with NH³⁺ was strongly combined under the electrostatic interaction with DNA molecule which had to be a negative charge. The DNA molecules could be easily aligned between Au electrodes coated with AET. The structures of the DNA molecules were investigated using AFM(Atomic force microscope), they were changed from single types to bundle according to the AET concentrations.

Keywords : Au electrodes, DNA, nano-electrodes, 2-Aminoethanthal(AET), λ-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 이

용한 분자전자 소자(molecular electronics) 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적인 전자소자로는 Si 나노선 소자, Carbon Nanotube(CNT) 소자, DNA, 그리고 graphene 소자 등이 있다[1,2,3].

Double helix 구조의 DNA는 반도체 수준으로 전기 전도성을 가지고 있어서 chip과 transistor에서 극세 전선으로 사용될 수 있음을 Fink 연구팀 외에 많은 연구가들에 의해 증명 되었다 [4]. 특히, micrometer에서 nanometer까지 인위적으로 길이조절이 가능하고, 4개의

본 논문은 2015년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

*Corresponding Author : Hyung Jin Kim(GERI)

Tel: +82-54-467-8021 email: hjkim745@geri.re.kr

Received June 10, 2015

Revised June 25, 2015

Accepted August 6, 2015

Published August 31, 2015

염기(Guanine, Cytosine, Adenine 그리고 Thymine)의 조작 및 배열방식의 변경에 따라서 다양한 나노구조물을 제작 할 수 있어서 새로운 형태의 나노소자 개발을 위한 최적의 물질로 인식되고 있다[5]. 최근에는 DNA에 금속 입자를 코팅함으로써 전도성 나노선 제작 및 이를 이용한 나노소자에 관한 연구들이 보고되고 있다[6]. 하지만, 이러한 DNA 기반 나노소자 개발에 있어서 전기적 특성을 관찰하기 위해 전극사이에 정확하게 정렬 및 고착 시키는 것은 기술적 어려움이 있다.

본 논문에서는 AET를 이용한 단분자막을 금 전극 표면에 형성함으로써 전극들 사이에 DNA를 간단하고 효율적으로 정렬하기 위한 연구를 수행하였다.

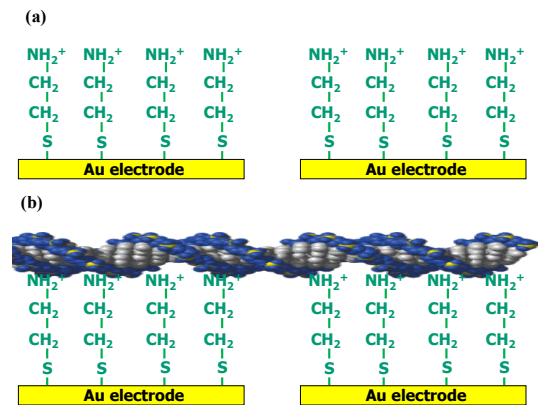


Fig. 1. Schematic drawing showing the procedures to align DNA strands onto Au electrodes. (a) Modifying the Au electrodes to have an aminoterminated surface to firmly anchor the DNA strands. (b) Connecting the DNA strands between two terminal Au electrode by molecular combing method.

2. 실험방법

본 실험에서 금 전극들은 100 nm의 SiO₂가 증착 되어진 Si(p-type, 100) 기판에 포토리소그래피 공정을 이용하여 제작되었다. 금 전극 표면에 AET를 보다 효과적으로 코팅하기 위하여, piranha(황산:과산화수소=2:1) 용액과 이차정류수로 각각 세척을 하고, N₂ 가스를 이용하여 완전히 건조시켰다. 다음으로, 금 전극 위에 AET 단분자막을 형성하기 위하여, 세척되어진 금 전극을 각각 서로 다른 농도(10 mM, 20 mM, 30 mM)의 AET 용액

에 30분 동안 침지시켰다. 30분 후, 샘플을 이차정류수로 세척하고, N₂ 가스로 건조시켰다.

본 실험에서 사용한 DNA 분자는 λ-phage DNA [Seoulin Bioscience(주)]이며 DNA의 평균길이는 약 16 μm(48,502 bp)이다. DNA는 TE buffer(10 mM Tris.HCl과 1mM EDTA, pH 8.0)를 용매로 하여 1 ng/μL로 각각 희석시켜 준비하였다.

다음으로, DNA 분자를 금 전극들 사이에 정렬시키기 위하여 DNA 용액을 피펫(pipet)을 이용하여 전극들 위에 도포하였다. 도포되어진 DNA는 인산(phosphate)의 음 전하와 AET의 양전하 사이의 정전기적 상호작용에 의해 Au 전극 표면에 고착된다. 3분 후, 금 전극 표면에 도포되어진 DNA 용액을 제거하고, 동시에 두 전극사이에 선형 DNA를 정렬시키기 위하여 피펫을 사용하여 DNA 용액을 한쪽 전극 방향으로 흡입(suction) 하여 제거 하였다. DNA 용액을 제거한 후 시편을 상온에서 완전히 건조 시켰다. 두 전극사이에 정렬 및 고착되어진 DNA를 확인하기 위하여 AFM(Seiko, SPA 400) 장비를 사용하여 측정 하였다.

3. 결과 및 고찰

Photo lithography 법을 이용하여 제작한 Au 나노전극의 간격은 FE-SEM(JEOL, JSM-6700F) 분석을 통하여 확인 할 수 있으며, 그림 2 (a)는 FE-SEM을 통해 본 Au 전극의 단면도이다. SiO₂가 증착되어진 Si 기판위에 Ti 와 Au가 각각 20 nm와 30 nm 씩 증착되었음을 확인 할

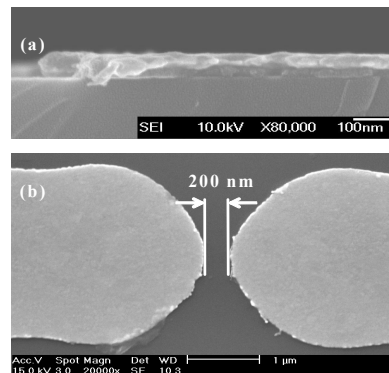


Fig. 2. SEM images of nano Au electrodes fabricated using photo lithography (a) cross image (b) electrodes distances : 200 nm.

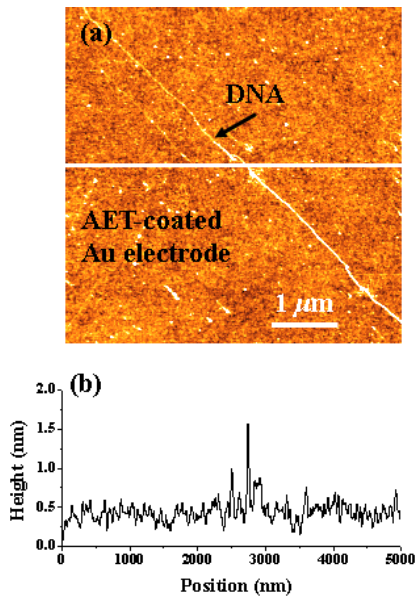


Fig. 3. (a) Tapping-mode AFM images for DNA strands attached and aligned on AET-coated Au electrodes. (b) Scan profile along the white line of the image (a).

수 있다. 그림 2의 (b)는 나노 전극 간격은 200 nm이며, 전극 간격이 나노 크기임을 확인하였다. 이렇게 제작되어진 Au 나노 전극사이에 λ -DNA bridge를 형성하기 전에 APS가 코팅되어진 Si 기판위에서 λ -DNA의 존재 여부 및 선형 bridge를 형성하기 위한 실험을 하였다.

그림 3은 AET가 코팅되어진 Au 전극위에 정렬되어진 DNA에 대한 AFM이미지(그림 3 (a))와 DNA에 대한 profile 이미지(그림 3 (b))를 보여준다. 그림 3 (b)에서 AET가 코팅되어진 Au 전극위에 정렬되어진 DNA의 높이는 1.2 ± 0.1 nm이다. 이러한 결과는 타 그룹 [7] 및 이전 우리 그룹의 연구결과 [8]과 유사하다. 그림 3을 통해 AET는 Au 전극 위에 잘 코팅되어 졌으며, 또한 DNA가 잘 정렬되어짐을 확인하였다.

이 결과를 토대로 500 nm 간격을 가지는 두 전극사이에 DNA를 정렬시키기 위한 실험을 진행하였다. 그림 4는 본 연구의 주목적인 두 Au 나노 전극사이에 DNA-bridge를 형성하기 위하여 DNA 농도 변화에 따른 두 전극사이에 형성 되어진 DNA에 대한 AFM 이미지이다. 분석은 AFM의 tapping mode를 사용하였다. 그림 4의 (a)에는 10 mM의 AET에 의해 처리되어진 Au 전극사이에 형성되어진 DNA-bridge에 대한 phase image를

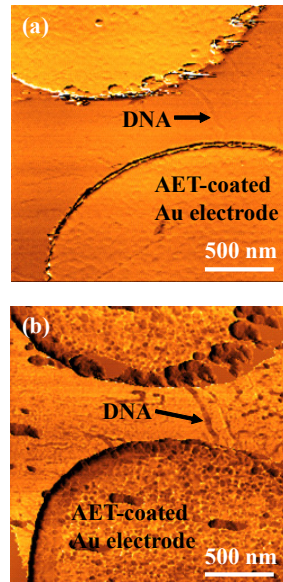


Fig. 4. Tapping-mode AFM images for DNA strands connected between AET-coated Au electrodes with 1 ng/ μ L(a) and 3 ng/ μ L (b) of DNA concentration, respectively.

보여준다. 그림 4 (b)는 20 mM의 AET에 의해 처리되어진 Au 전극 사이에 형성된 DNA-bridge를 phase image로 나타내었다. 두 시편의 전극 간격은 모두 500 nm이다. 그림 4 (a)의 AFM image에서는 한 가닥의 DNA-bridge가 형성되었다. 20 mM의 AET에 의해 처리되어진 Au 전극사이에 두 가닥의 DNA-bridge가 형성되었고, 전극 주위로 불필요한 DNA가 붙어 있음을 확인할 수 있다. 그림 4 (a)에서 많이 볼 수 있는 전극주위의 불필요한 DNA가 보이지 않는다. 이러한 결과는 AET의 농도가 증가할수록 Au 전극 표면에 코팅되어진 AET의 NH_3^+ 와 DNA의 음이온과의 정전기적 상호작용이 증가하게 되어 나타나는 현상이다.

그림 5는 이러한 현상을 뒷받침하는 결과이다. 그림 5 (a)는 30 mM의 AET에 의해 처리되어진 Au 전극 사이에 형성되어진 DNA-bridge에 대한 height image를 보여준다. 이미지에서와 같이 여러 가닥의 DNA-bridge가 형성되어져 있음을 확인할 수 있다. 그림 5 (b)는 그림 5 (a)의 흰색 선에 대한 profile 이미지이다. 이미지를 통해 DNA의 높이는 9.3 ± 0.7 nm임을 확인할 수 있다. 이것은 그림 3의 결과보다 약 9배 증가한 결과로서, AET의 농도가 증가 할수록 AET가 코팅되어진 Au 전극사이에 정렬 되어지는 DNA-bridge는 bundle 형태로 변

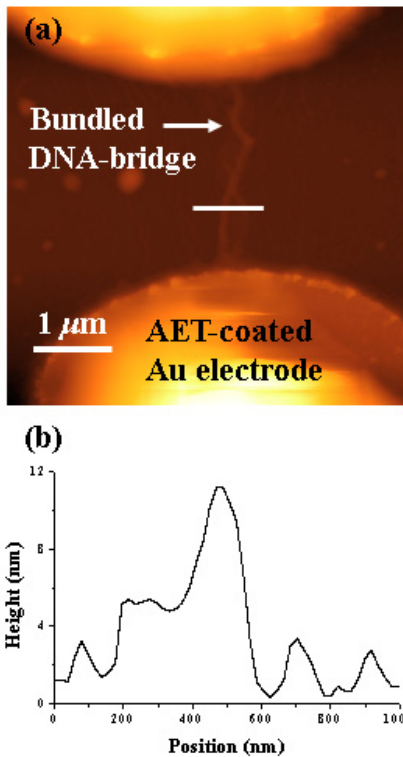


Fig. 5. (a) Tapping-mode AFM images for DNA strands connected between AET-coated Au electrodes with 5 ng/μL of DNA concentration. (b) Scan profile along the white line of the image (a).

하는 것을 할 수 있다. 이러한 현상은 그림 4와 같이 Au 전극 표면에 코팅되어진 AET의 량이 증가하여 NH₃⁺에 의한 양전하가 증가 하게 되어 bundle 형태의 DNA가 Au 전극 사이에 정렬된다.

4. 결론

본 논문에서 DNA를 이용한 나노 소자를 제작하기 위하여, AET를 Au 전극위에 코팅함으로써 DNA 분자를 보다 간단하고 효율적으로 정렬시킬 수 있음을 확인하였다. 그리고 Au 전극 위에 코팅 되어지는 AET의 농도 변화에 따라 두 전극 사이에 정렬되어지는 DNA-bridge가 단일(AET : 10 mM) 모양에서 bundle(AET : 30 mM) 모양으로 변화하는 것을 확인하였으며, 이러한 현상은 Au 전극 위에 코팅 되어지는 AET 농도 변화에 따라 Au 전

극 위의 양전하가 변화하게 되고, 이 양전하는 DNA와의 정전기력이 변화함으로써 일어나는 현상임을 확인할 수 있었다.

References

- [1] A. Kingon, "Memories are made of ferroelectric thin films", Nature 401, pp.658, 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/44307>
- [2] A. Javey, J. Guo, D. B. Farmer, Q. Wang, D. Wang, R. G. Gordon, M. Lundstrom, and H. Dai, "Carbon Nanotube Field-Effect Transistors With Integrated Ohmic Contacts and High-k Gate Dielectrics", Nano Letter, 4, pp.447, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/nl035185x>
- [3] O. Akhavan, E. Ghaderi and R. Rahighi, "Toward single-DNA electrochemical biosensing by graphene nanowalls", ACS Nano 6, pp.2904, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/nn300261t>
- [4] L. Cai, H. Tabata, and T. Kawai, "Self-assembled DNA networks and their electrical conductivity", Appl. Phys. Lett. 77, pp.3105, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1323546>
- [5] K.-H. Yoo, D.H. Ha, J.-O. Lee, J.W. Park, Jinhee Kim, J. J. Kim, H.-Y. Lee, T. Kawai, and H. Y. Choi, "Electrical Conduction through Poly(dA)-Poly(dT) and Poly(dG)-Poly(dC) DNA Molecules", Phys. Rev. Lett. 87, pp.19, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.87.198102>
- [6] 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 15, pp.793, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1116/1.589411>
- [7] H. Nakao, H. Hayashi, F. Iwata, H. Karasawa, Koji Hirano, S. Sugiyama and T. Ohtani, "Fabricating and aligning pi-conjugated polymer-functionalized DNA nanowires: atomic force microscopic and scanning near-field optical microscopic studies", Langmuir 21, pp.7945, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/la050145p>
- [8] H. J. Kim, Y. Roh and B. Hong, "Selective Formation of a Latticed Nanostructure with the Precise Alignment of DNA-Templated Gold Nanowires", Langmuir 26, pp.18315, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/la101086h>

황 현 석(Hyun Suk Hwang)

[정회원]



- 1997년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 (석사)
- 2007년 8월 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 (박사)
- 1997년 3월 ~ 2004년 11월 : 한국산업기술평가원 선임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 전기과 조교수

<관심분야>

정보통신부품, USN

김 형 진(Hyung Jin Kim)

[정회원]



- 2006년 2월 : 성균관대학교 전자전기학과 (석사)
- 2011년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (박사)
- 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 성균관대학교 박사후 연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 구미전자정보기술원 선임연구원

<관심분야>

바이오센서, 스마트 헬스케어 디바이스