논문 2011-48SC-2-5

간단한 자기 조립 기법으로 배열된 단일벽 탄소 나노 튜브 센서의 제작공정

(Fabrication Process of Single-walled Carbon Nanotube Sensors Aligned by a Simple Self-assembly Technique)

김 경 헌*, 김 선 호*, 변 영 태**

(Kyeong Heon Kim, Sun Ho Kim, and Young Tae Byun)

요 약

이전 보고에서 우리는 오직 포토리소그래피(photolithography) 공정만을 이용하여 단일벽 탄소 나노튜브 (single-walled carbon nanotube; SWCNT)를 산화막 (silicon-dioxide; SiO_2)이 형성된 실리콘 (silicon; Si) 기판위에 선택적으로 흡착시키는 공정 방법에 대해 조사했었다. 본 논문에서, 우리는 위에서 설명한 기법을 이용하여 단일벽 탄소 나노튜브 채널을 가진 전계효과 트랜지스터 (field emission transistor; FET)를 제작하였다. 또한, 제작된 단일벽 탄소 나노튜브 기반 전계효과 트랜지스터 소자의 게이트 전압에 따른 전류 전압특성이 조사되었다. 이 전계효과 트랜지스터는 센서로서 작동될 수 있다. 포토리소그래피 공정에 의해 열산화막이 형성된 실리콘 기판 표면위에 단일벽 탄소 나노튜브가 흡착될 부분(채널부분)의 포토레지스트가 노출되도록 포토레지스트 패턴이 형성된다. 이 포토레지스트 패턴이 형성된 기판은 단일벽 탄소 나노튜브가 분산된 다이클로로벤젠 (dichlorobenzene; DCB) 용액 속에 담가진다. 남아 있는 포토레지스트 패턴이 아세톤에 의해 제거 되면, 결과적으로 채널부분 (소오스와 드레인 전극사이) 에 선택적으로 단일벽 탄소 나노튜브 채널이 형성된다. 이 간단한 가기 조립 기술이 이용됨으로써 우리는 단일벽 탄소 나노튜브 채널을 가진 4개의 전계효과 트랜지스터 어레이를 성공적으로 제작하였다.

Abstract

In previous reports, we investigated a selective assembly method of fabricating single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) on a silicon-dioxide (SiO_2) surface by using only a photolithographic process. In this paper, we have fabricated field effect transistors (FETs) with SWCNT channels by using the technique mentioned above. Also, we have electrically measured gating effects of these FETs under different source - drain voltages (V_{SD}). These FETs have been fabricated for sensor applications. Photoresist (PR) patterns have been made on a SiO_2-grown silicon (Si) substrate by using a photolithographic process. This PR-patterned substrate have been dipped into a SWCNT solution dispersed in dichlorobenzene (DCB). These PR patterns have been removed by using aceton. As a result, a selectively-assembled SWCNT channels in FET arrays have been obtained between source and drain electrodes. Finally, we have successfully fabricated 4 FET arrays based on SWCNT-channels by using our simple self-assembly technique.

Keywords : Self-assembly, SWCNT, Sensors, FET, Photolithography

* 정회원, ** 정회원-교신저자, 한국과학기술연구원, 로봇/시스템연구본부, 포토닉스/센서시스템센터
(Photonics/Sensor System Center, Robotics/ Systems Division, Korea Institute of Science and Technology)
※ 이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단-신기술 융합형 성장동력 사업의 지원을 받아 부분적으로 수행된 연구입니다 (NO. 2010K001144). 또한, 본 연구는 2011년도 KIST의 기관고유사업의 지원을 받아 부분적으로 수행되었다.
접수일자: 2010년10월22일, 수정완료일: 2011년3월8일

Ⅰ. 서 론

탄소나노튜브(carbon nanotube; CNT)는 전류밀도(current density)가 구리선의 1000 배이고 운반자 이동도(carrier mobility)가 실리콘의 10 배이다[1~5]. 때문에 고감도/고속 전자 소자의 재료로 많이 이용되고 있다. 특히 1998년 탄소나노튜브의 반도체성 특성이 보고되었기 때문에 탄소나노튜브 기반의 전계효과 트랜지스터(field effect transistor; FET) 소자가 제작될 수 있는 기반이 마련되었고[6], 현재 전계효과 트랜지스터 소자로 많이 응용되고 있다. 또한, 검지 물질과 탄소나노튜브 사이의 상호작용으로 인한 전기전도도의 변화를 이용하여 고감도의 화학/바이오센서가 제작될 수 있다. 탄소나노튜브를 이용한 센서는 기존 고체 상태의 센서와 달리 상온에서 동작하며, 고체 상태 센서보다 1000 배 이상의 민감도를 가진다. 때문에 탄소나노튜브 기반 센서는 나노 크기의 물질이므로 화학적 센서의 크기를 크게 줄일 수 있을 뿐 아니라, 화학적 반응성 또한 크게 향상시킬 수 있다[7~10].

그러나 이러한 탄소나노튜브의 뛰어난 특징에도 불구하고 실제 전자장치로 적용에 있어서, 탄소나노튜브의 흡착(adsorption)과 배열 (alignment) 기술의 부재는 제품의 상용화를 어렵게 하고 있다[11]. 때문에 많은 연구그룹에서 탄소나노튜브를 원하는 영역에 효과적으로 흡착 시킬 수 있는 기술 개발을 위해 노력하고 있다. 탄소나노튜브를 흡착시키기 위한 이전 방법들은 유동셀 방법(flow cell method)[12], 유전 전기 영동법(dielectrophoresis)[13~14], 촉매 패턴에 의한 성장법(growth from catalyst patterns)[15], 그리고 기타 다른 방법[16] 들이 있다. 몇몇의 방법들은 탄소나노튜브의 배열을 위해서 외부에서 힘을 가해주기 때문에, 많은 양의 탄소나노튜브를 소자의 임의의 방향으로 배열하기 위해서 많은 시간이 필요하다. 분자의 반응 고리(reactive linker molecules)를 사용하는 방법은 탄소나노튜브의 직접적인 흡착을 위해 사용된다[17~20]. 그러나 이러한 방법은 탄소나노튜브 흡착을 위해 사용되는 화학 반응 물질이 탄소나노튜브의 전기적 특징을 바꿀 수 있기 때문에 예기치 않은 결과를 발생시키곤 한다[21~22].

최근 분자의 반응 고리 없이 단일벽 탄소 나노튜브(single-walled carbon nanotubes; SWCNTs)를 소자에 흡착시키는 높은 동작특성을 가진 방법이 보고가 되었다[23]. 이 방법은 중성인 OTS (octadecyltrichlorosilane) 분자 박막을 기판 표면에 패턴화시켜, 단일벽 탄소 나노튜브의 흡착 영역을 유도함으로써 중성이 아닌 노출된 (bare) 기판 표면에 단일벽 탄소 나노튜브를 직접적으로 흡착시키고 배열시키는 방법이다. 그러나 이 방법은 OTS 용액이 불안정하기 때문에 신뢰성이 떨어진다. 그것은 특정한 온도와 습도를 유지해야 한다. 또한 OTS는 반복적으로 사용될 수 없다[24]. 이 문제점을 해결하기 위해서 OTS를 사용하지 않은 새로운 단일벽 탄소 나노튜브의 선택적 흡착 방법이 제시되어야 한다.

본 논문에서는 단일벽 탄소 나노튜브를 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 센서 제작 방법에 대해 상세하게 기술되었다. 우리는 이 방법을 이용하여 OTS를 사용하지 않고 단일벽 탄소 나노튜브를 기판 표면에 선택적으로 흡착시켰다. 전계효과 트랜지스터 센서의 단일벽 탄소 나노튜브 채널은 기존 반도체 공정의 포토리소그래피 (photolithography) 공정과 단일벽 탄소 나노튜브 조립공정을 이용하여 소오스 (source)와 드레인 (drain) 전극 사이에 만들어 졌다. 만들어진 단일벽 탄소 나노튜브기반 전계효과 트랜지스터 센서는 측정 시스템을 통해 센서의 전기적 특성이 조사되었다.

Ⅱ. 본 론

그림 1은 단일벽 탄소 나노튜브를 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 센서의 제작 공정에 대한 개념도이다. 이 전계효과 트랜지스터 센서의 단일벽 탄소 나노튜브 채널은 오직 포토리소그래피 공정만을 이용하여 소오스와 드레인 전극 사이에 선택적으로 흡착되었다. 공정순서는 다음과 같다. 1050 ℃의 습식 열확산로 (thermal furnace)를 이용하여 300 nm의 열산화막 (thermal oxide; SiO_2)이 실리콘 (silicon; Si) 기판 위에 성장된다. 다음으로 열산화막이 성장된 실리콘 기판 위에 포토레지스트 (PR)가 도포된다. 포토리소그래피 공정을 이용하여 단일벽 탄소 나노튜브가 흡착될 채널부분의 열산화막 표면만이 노출되도록 포토레지스트 패턴이 형성된다. 포토레지스트 패턴이 형성된 기판은 초음파를 이용하여 다이클로로벤젠 (dichlorobenzene; DCB) 용매 속에서 1시간 동안 분산된 단일벽 탄소 나노튜브 분산 용액 (0.02 mg/ml)속에 약 1 분 동안 담가진다. 결과적으로 시료의 포토레지스트 표면과 포토레지스트가 노출된 열산화막 표면위에 모두 단일벽 탄소 나노튜브가 흡착

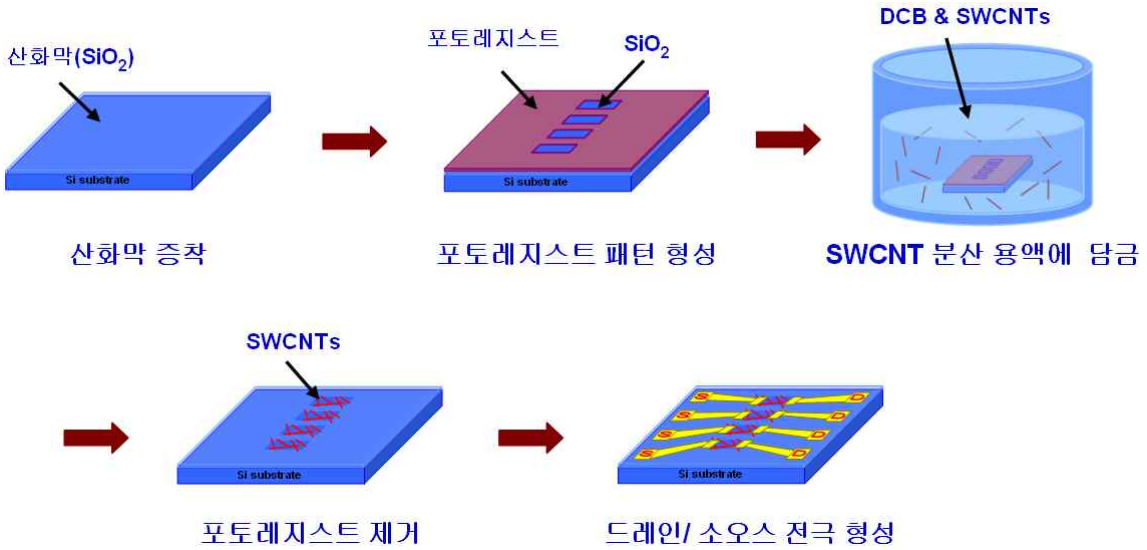

그림 1. 포토리소그래피 공정만을 이용하여 형성된 단일벽 탄소 나노튜브 패턴을 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 센서의 제작 공정

Fig. 1. Schematic diagram of the fabricating method for a field effect transistor (FET) with single-walled carbon nanotube (SWCNT) channels assembled by using only a photolithographic process.

된다. 아세톤을 이용하여 포토레지스트 패턴이 제거되면, 포토레지스트가 제거되는 과정에서 포토레지스트와 그 위에 흡착된 단일벽 탄소 나노튜브가 동시에 제거되어 열산화막 표면이 노출된다. 반대로 노출된 열산화막 표면위에 흡착된 단일벽 탄소 나노튜브는 그대로 남게 된다. 결과적으로 포토레지스트 도포 후 포토레지스트 패턴이 형성 되었을 때, 포토레지스트 패턴이 없었던 노출된 열산화막 패턴 위에 흡착되어 있던 단일벽 탄소 나노튜브만이 남게 되어 선택적인 단일벽 탄소 나노튜브 패턴이 얻어질 수 있다. 마지막으로 이 선택적으로 단일벽 탄소 나노튜브 패턴이 형성된 기판 위에 소오스와 드레인 전극이 만들어지면 단일벽 탄소 나노튜브를 채널로 가진 전계효과 트랜지스터가 만들어 진다.

그림 2 (a)는 단일벽 탄소 나노튜브를 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 센서의 단면구조이다. 이 전계효과 트랜지스터는 높게 도핑된 (high doped) 실리콘 기판이 하부 게이트 (bottom-gate)로 사용되었다. 실리콘 기반위의 열산화막의 두께는 300 nm 이다. 열산화막 위에 소오스와 드레인 전극은 단일벽 탄소 나노튜브에 의해 연결된다. 단일벽 탄소 나노튜브는 전계효과 트랜지스터의 채널로써 동작한다.

그림 2 (b)는 제작된 단일벽 탄소 나노튜브 기반 전계효과 트랜지스터 센서의 광학 현미경 (optical microscope) 사진이다. 그림 2 (b)에서 보이는 것처럼 하나의 소자는 4 개의 센서로 구성되어 있다. 각각의

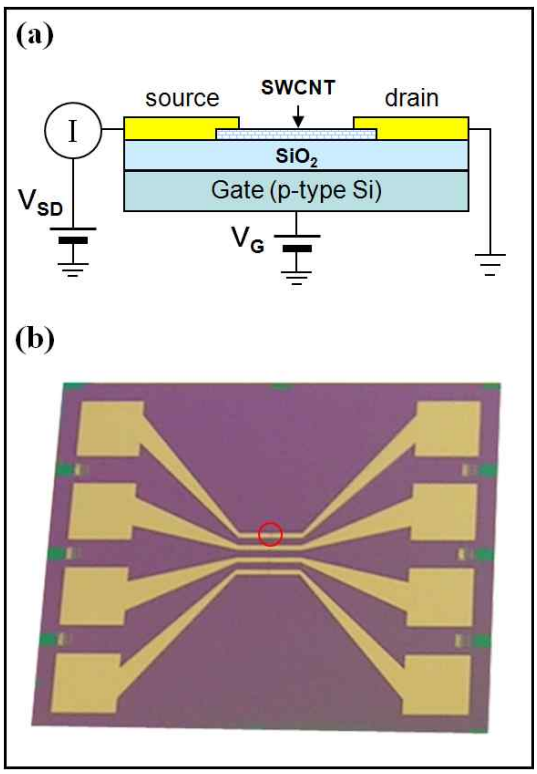

그림 2. (a)는 단일벽 탄소 나노튜브를 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 센서의 단면 구조, (b)는 제작된 단일벽 탄소 나노튜브 기반 4 센서 어레이의 광학현미경 사진

Fig. 2. (a) Design structure of a SWCNT-based FET sensor, (b) Optical microscope image of fabricated 4 sensor arrays.

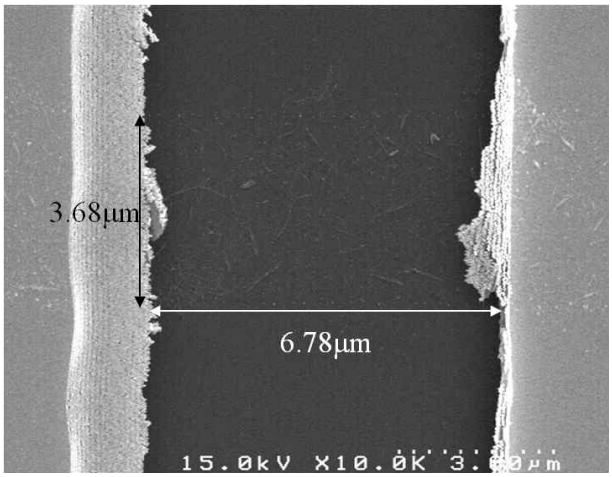

그림 3. 그림 2의 (b)의 빨간색 원 영역이 확대된 전자현미경 사진으로 소오스와 드레인 전극 사이에 형성된 단일벽 탄소 나노튜브 채널 (× 10000)

Fig. 3. SWCNT channel fabricated on the source and the drain electrodes as a scanning electron microscope (SEM) image of magnifying a red circle shown in Fig. 2 (b).

센서는 측정 시 프루브 (probe) 핀과의 접촉을 용이하게 하기 위해서 외부의 정사각형 패드와 연결되었다.

그림 3은 그림 2 (b)의 빨간색 원을 확대한 전자현미경 (scanning electron microscope; SEM) 사진이다. 그림 3 에서 직사각형의 영역이 단일벽 탄소 나노튜브가 조립된 채널영역을 나타낸다. 그림 3 으로부터 시료표면의 원하는 영역에 단일벽 탄소 나노튜브가 선택적으로 잘 흡착되어 있는 것이 확인된다. 소오스-드레인 전극 사이의 길이가 8 μm이고, 소오스-드렌인은 단일벽 탄소 나노튜브 패턴으로 연결된다. 단일벽 탄소 나노튜브 채널의 길이는 8 μm이고 폭은 4 μm 이다. 하지만 전자현미경 사진에서 알 수 있듯이 소오스와 드레인 전극이 형성될 때 소오스-드레인 전극 사이의 금속이 잘 떨어져 나가지 않았기 때문에 (lift-off가 깨끗하게 되지 않아) 채널의 길이가 8 μm보다 작은 6.78 μm로 제작되었다. 이와 같은 단일벽 탄소 나노튜브의 흡착 공정 기술이 이용되면 단일벽 탄소 나노튜브를 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 전자소자가 반도체 공정으로 쉽게 제조될 수 있다.

위에서 설명된 반도체 공정을 이용하여 제작된 전계효과 트랜지스터 소자의 전기적 특성을 측정한 결과가 그림 4에서 보여진다. 그림 4에서 알 수 있듯이 제작된 소자는 게이트의 전압이 -5 V부터 +5 V까지 증가됨에 따라 소오스와 드레인 전극사이의 전류가 변화되는데,

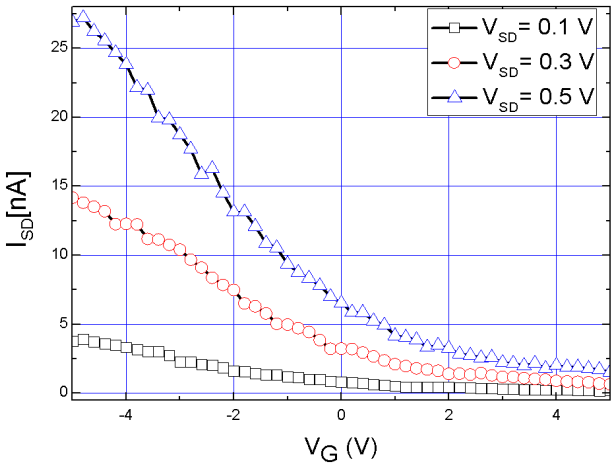

그림 4 센서 적용을 위해 제작된 단일벽 탄소 나노튜브 기반 전계효과 트랜지스터 센서의 게이트 전압에 따른 전류 전압 전류 특성

Fig. 4 Source-drain current as a function of gate voltage of fabricated SWCNT-based FET devices for sensor applications.

특히 음 (-)의 게이트 전압에서 큰 전류가 흐르고 양 (+)의 게이트 전압에서 전류가 거의 흐르지 않는 특성을 가지므로 전형적인 p 형 (p-type) 반도체와 같은 역할을 하는 것으로 확인되었다. 즉, 음의 방향으로 게이트 전압이 증가되면 소오스와 드레인 전극 사이에 흐르는 전류도 증가되고, 양의 방향으로 게이트 전압이 증가하면 소스와 드레인 전극사이에 흐르는 전류가 줄어들어 거의 흐르지 않게 된다.

제작된 소자가 완벽한 반도체 특성을 가지지 않고, 양의 게이트 전압에서 전류가 영 (zero) 되지 않으며 그래프가 뜨는 이유는 반도체성 단일벽 탄소 나노튜브와 금속성 단일벽 탄소 나노튜브가 같이 섞여서 채널이 형성됐기 때문이다. 또한 소자에 흐르는 전류가 수십 nA로 매우 작은데, 이는 채널이 형성될 때 소오스와 드레인 전극이 하나의 단일벽 탄소 나노튜브로 연결되지 않고, 여러 개의 단일벽 탄소 나노튜브가 연속적으로 이어져 소오스와 드레인 전극을 연결하는 네트워크 (network) 형태로 구성되었을 뿐 만 아니라, 사용된 단일벽 탄소 나노튜브 용액의 농도가 낮아 채널을 형성하는 단일벽 탄소 나노튜브의 밀도가 낮기 때문이다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 포토리소그래피와 단일벽 탄소 나노튜브 용액공정으로 단일벽 탄소 나노튜브를 실리콘 기판위

에 선택적으로 배열할 수 있는 간단한 단일벽 탄소 나노튜브 흡착 기술과 이를 이용한 단일벽 탄소 나노튜브 기반 전계효과 트랜지스터 소자의 제작기술에 대해 보고한다. 논문에서 사용된 단일벽 탄소 나노튜브 흡착 기술은 포토리소그래피와 단일벽 탄소 나노튜브 용액 공정 만으로 단일벽 탄소 나노튜브가 열산화막 표면의 원하는 영역에 선택적으로 흡착될 수 있으므로 공정단계가 크게 단순화되었기 때문에 저비용과 저온공정이 가능하다.

또한 이러한 단일벽 탄소 나노튜브를 시료표면의 임의 위치에 흡착시키는 기술을 이용하여 단일벽 탄소 나노튜브를 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 소자가 제작되었다. 전계효과 트랜지스터 소자의 소오스와 드레인 전극 사이에 단일벽 탄소 나노튜브 패턴이 선택적으로 흡착되었고, 단일벽 탄소 나노튜브 패턴을 채널로 가진 전계효과 트랜지스터 소자가 성공적으로 제작되었다. 이 단일벽 탄소 나노튜브 기반의 전계효과 트랜지스터 소자는 전형적인 p 형 반도체의 전류-전압 특성을 나타내는 것이 확인되었다. 이전에 여러 기관에서 보고된 대로 단일벽 탄소 나노튜브 전계효과 트랜지스터 소자는 가스센서로 이용될 수 있으며 최근에는 바이오 센서로서 가능성들이 연구되고 있기 때문에 본 논문에서 개발된 기술이 이용되면 고감도 초소형의 나소센서가 개발될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단-신기술 융합형 성장동력 사업의 지원을 받아 부분적으로 수행된 연구입니다 (NO. 2010K001144). 또한, 본 연구는 2011년도 KIST의 기관고유사업의 지원을 받아 부분적으로 수행되었다.

참 고 문 헌

[1] S. Iijima, "*Helical microtubules of graphitic carbon*," Nature, Vol. 354, no. 6348, pp. 56 - 58, November 1991.

[2] A. Thess, et al., "*Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes*," Science, Vol. 273, no. 5274, pp. 483-487, July 1996.

[3] S. J. Tans, A. R. M. Verschueren, and C. Dekker, "*Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube*," Nature, Vol 393, no.6680, pp. 49-52, May 1998.

[4] S. Ghosh, A. K. Sood, and N. Kumar, "*Carbon Nanotube Flow Sensors*," Science, Vol. 299, no. 5609, pp. 1042-1044, February 2003

[5] P. W. Barone, S.Baik, D. A. Heller, and M. S. Strano, "*Near-infrared optical sensors based on single-walled carbon nanotubes*" Nature Materials, Vol. 4, no. 1, pp. 86-92, 2005.

[6] R. Martel, T. Schmidt, H. R. Shea, T. Hertel and Ph. Avouris, "*Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors*," Applied Physics Letters, Vol. 73, no. 17, pp. 2447-2449, October 1998.

[7] J. Li, "*The cyranose chemical vapor analyzer*," Sensors, Vol. 17, no. 8, pp. 56-60, August 2000.

[8] Y. Lu, C. Partridge, M. Meyyappan, and J. Li, "*A Carbon Nanotube Seneor Array for Sensitive Gas Discrimination Using principal Component Analysis*," Journal of Electroanalytical Chemistry, Vol 593, no. 1-2, pp. 105-110, August 2006.

[9] N. Sinha, J. Ma, and J. T.W. Yeow, "*Carbon Nanotube Based Sensors*," Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 6, no. 3, pp. 573-590, March 2006.

[10] P. Young, Y. Lu, R. Terrill, and J. Li, "*High-Sensitivity NO_2 Detection with Carbon Nanotube - Gold Nanoparticle Composite Films*," Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 5, no. 9, pp. 1509-1513, September 2005.

[11] E. S. Snow, J. P. Novak, P. M. Campbell, and D. Park, "*Random networks of carbon nanotubes as an electronic material*," Applied Physics Letters, Vol. 82, no. 13, pp. 2145 - 2147, March 2003.

[12] Y. Huang, X. Duan, Q. Wei, and C.M. Lieber, "*Directed Assembly of One-Dimensional Nanostructures into Functional Networks*," Science, Vol. 291, no. 5504, pp. 630-633, January 2001.

[13] R. Krupke, F. Hennrich, H. B. Weber, M. M. Kappes, and H. v. Lohneysen, "*Simultaneous Deposition of Metallic Bundles of Single-walled Carbon Nanotubes Using Ac-dielectrophoresis*," Nano Letters, Vol. 3, no. 8, pp. 1019 - 1023, August 2003.

[14] S. J. Oh, J. Zhang, Y. Cheng, H. Shimoda, and O. Zhou, "*Liquid-phase fabrication of patterned carbon nanotube field emission cathodes*," Applied Physics Letters, Vol. 84, no. 19, 3738-3740, April 2004.

[15] Y. Zhang, A. Chang, J. Cao, Q. Wang, W. Kim, Y. Li, N. Morris, E. Yenilmez, J. Kong, and H. Dai "*Electric-field-directed growth of aligned single-walled carbon nanotubes*," Applied Physics Letters, Vol. 79, no. 19, pp. 3155 - 3157, November 2001.

[16] J Gao, A Yu, ME Itkis, E Bekyarova, B Zhao, S Niyogi, RC. Haddon, "*Large-Scale Fabrication of Aligned Single-Walled Carbon Nanotube Array and Hierarchical Single-Walled Carbon Nanotube Assembly*," J. Am. Chem. Soc., Vol. 126, no. 51, pp. 16698 - 16699, December 2004.

[17] J. Liu, M. J. Casavant, M. Cox, D. A. Walters, P. Boul, W. Lu, A. J. Rimberg, K. A. Smith, D. T. Colbert and R. E. Smalley, "*Controlled deposition of individual single-walled carbon nanotubes on chemically functionalized templates*," Chemical Physics Letters, Vol. 303, no. 1-2, pp. 125-129, April 1999.

[18] S. G. Rao, L. Huang, W. Setyawan, and S. Hong, "*Nanotube electronics: Large-scale assembly of carbon nanotubes*," Nature 425, pp. 36-37, September 2003.

[19] V. V. Tsukruk, H. Ko, and S. Peleshanko, "*Nanotube Surface Arrays: Weaving, Bending, and Assembling on Patterned Silicon," Physical Review Letters*, Vol. 92, no. 6, 065502, February 2004.

[20] N. Nuraje, I. A. Banerjee, R. I. MacCuspie, L. Yu, and H. Matsui, "*Biological Bottom-Up Assembly of Antibody Nanotubes on Patterned Antigen Arrays*," J. Am. Chem. Soc. Vol. 126, no. 26, pp. 8088-8089, July 2004.

[21] C. Zhou, J. Kong, E. Yenilmez, and H. Dai, "*Modulated Chemical Doping of Individual Carbon Nanotubes*," Vol. 290, no. 5496, pp. 1552-1555, November 2000.

[22] M. D. Lay, J. P. Novak, and E. S. Snow, "*Simple Route to Large-Scale Ordered Arrays of Liquid-Deposited Carbon Nanotubes*," Nano Letter, Vol. 4 no. 4, pp. 603 - 606, March 2004.

[23] M. Lee, J. Im, B. Y. Lee, S. Myung, J. Kang, L. Huang, Y.-K. Kwon, and S. Hong, "*Linker-free directed assembly of high-performance integrated devices based on nanotubes and nanowires*," Nature Nanotechnology Vol 1, pp. 66 - 71 October 2006.

[24] K. H. Kim, T. G. Kim, S. Lee, Y. M. Jhon, S. H. Kim, and Y. T. Byun, "*Selectively self-assembled single-walled carbon nanotubes using only photolithography without additional chemical process*," 30th International Conference on the Physics of Semiconductors, p. 913, Seoul, Korea, July 2010.

저 자 소 개

김 경 헌(정회원)
2008년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업.
2010년 고려대학교 전자전기공학과 석사 졸업.
2010년～현재 한국과학기술연구원 로봇/시스템 연구본부 포토닉스/센서 시스템 센터 연구원
<주관심분야 : 반도체>

변 영 태(정회원)
1986년 고려대학교 물리학과 학사 졸업.
1989년 고려대학교 물리학과 석사 졸업.
1995년 고려대학교 물리학과 박사 졸업.
1989년～현재 한국과학기술연구원, 로봇/시스템 연구본부, 포토닉스/센서 시스템 센터, 책임 연구원
<주관심분야 : 반도체>

김 선 호(정회원)
1978년 서울대학교 물리학과 학사 졸업.
1980년 KAIST 물리학과 석사 졸업.
1983년 KAIST 물리학과 박사 졸업.
1984년～현재 한국과학기술연구원, 로봇/시스템 연구본부, 포토닉스/센서 시스템 센터, 책임 연구원
<주관심분야 : 반도체>