

전기화학적 기능성을 갖는 나노 소재 박막의 생분자 검출 플랫폼에의 응용

Electrochemically Functional Nanomaterial Thin-Film as a Biosensing Platform

*#이동진¹, 고승환²

*#D. Lee¹(djlee@konkuk.ac.kr), S. H. Ko²

¹ 건국대학교 기계공학부 기계설계학전공, ² 한국과학기술원 기계공학과

Key words : nanomaterial, thin-film, electrochemistry, biosensor platform

1. 서론

나노 소재는 벌크(bulk) 상태에서 나타나지 않는 훌륭한 기계적, 전기적, 광학적, 열적, 화학적 성질을 지닌다고 알려져 있다. 특히, 나노 소재 박막은 그 자체가 나노 변환기(transducer)의 역할을 하여, 고민감도 및 고분해능을 가지며 소비 전력을 최소화하는 바이오 센서의 플랫폼으로 사용될 수 있는 잠재력이 있다. 또한 소형화로 인해 생산 비용을 절감할 수 있고, 체내 이식의 구현 및 분산 검출 시스템의 구축이 가능하다. 개개의 나노 소재는 단백질이나 DNA 등의 생분자와의 크기 유사성으로 인해서 서로간의 상호작용을 극대화 할 수 있어 생분자 검출 플랫폼을 구축하는 데 적합하다.

탄소 나노튜브는 고체 상태의 pH 전극을 만드는 데 좋은 후보 중의 하나이다. 비록 지금까지 많은 연구들이 탄소 나노튜브의 생분자 검출에의 응용을 보였으나, 나노튜브 박막의 전기화학적 변환 메커니즘에 관한 연구는 체계적으로 진행되지 않았다. 이에 본 논문에서는 탄소 나노튜브 및 산화인듐 나노 입자 박막의 pH에 대한 민감도를 보이고, 실리카 나노 입자의 코팅으로 인한 민감도의 변화에 따른 작동 원리를 설명한다. 이를 바탕으로 바이오 센서 플랫폼으로 이용하기 위한 개발 전략을 제시한다.

2. 실험

나노 소재 박막의 전기화학적 특성은 그림

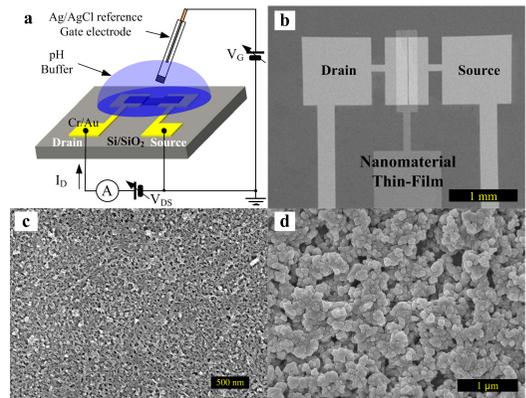


Fig. 1 Nanomaterial thin-film resistor or ion-sensitive field-effect transistor: (a) device schematic, SEM image of electrode pattern (b), carbon nanotube (c) and indium oxide nanoparticle thin-film (d)

1(a)에 나타난 것과 같이 저항이나 트랜지스터 형태의 디바이스를 만들어 측정된다. 실리콘 기판 위에 Cr/Au 금속 적층, 사진 석판술(photolithography), 금속의 식각(etching) 등의 반도체 공정을 거친 후에 소스(source) 드레인(drain) 등의 전극을 제조하였다. 층간 나노 자가 조립(layer-by-layer self-assembly) 공정을 통한 나노 소재 박막의 적층 및 선택적인 패터닝을 통해서 디바이스는 완성된다. [1,2] 통전도가 좋은 탄소 나노튜브 박막의 경우 저항, 반도체 특성이 지배적인 산화인듐 나노 입자 박막은 트랜지스터 형태로 전기 전도도를 측정하였다. 전극 및 통전부의 세부, 탄소 나노튜브 박막, 산화인듐 나노 입자 박막의 SEM 사진을 그림 1(b-d)에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

그림 2(a)는 나노 소재 박막의 계층적인 구조를 보여준다. 탄소 나노튜브나 산화인듐 나노입자 층은 전기를 통하는 역할을 한다. 여기에 그림 2(b)와 같이 유전체인 실리카 나노입자 층을 조립하여 pH에 대한 민감도의 변화를 살펴보았다. 나노튜브 박막의 일반적인 pH에 대한 민감도는 나노튜브 용액의 준비과정에서 생긴 카르복시기의 양성자 첨가/제거로 인해 지속적으로 전도도가 감소하는 경향을 보인다. [3] 그러나 측정 용액의 pH에 따라 유전체인 실리카 나노입자 표면의 양성자 첨가/제거로 전하를 수집하거나 분산시키는 역할을 하여, 그림 2(c)와 같이 통전 층의 전도도를 변화시킨다. 결과적으로, pH가 작아지는 경우, 실리카 입자 표면에서 일어나는 양성자 첨가로 인해 p형 반도체에서 게이트 전압이 양으로 이동하는 경향을 보여 전도도는 낮아지게 된다. 산화인듐 나노 입자 박막에서는 pH가 작아지는 경우, 입자 표면에서 공간 전하(space-charge) 층을 얇게 만들어 입자간 Schottky barrier를 낮게 만들어 전도도는 높아지게 된다. [4,5] 실리카 입자는

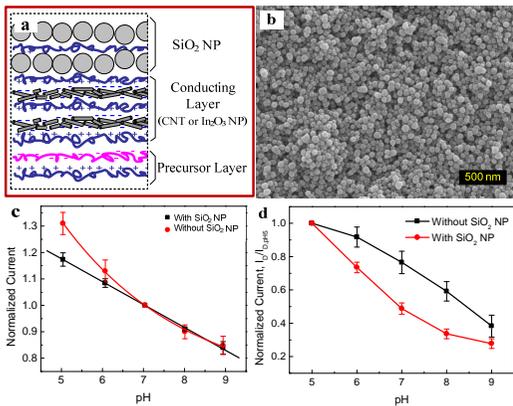


Fig. 2 The effect of silica nanoparticle on the electrical conductance of carbon nanotube and indium oxide nanoparticle thin-film: (a) schematic hierarchical structure, (b) SEM image of silica nanoparticle film, (c) carbon nanotube resistor and (d) indium oxide nanoparticle transistor

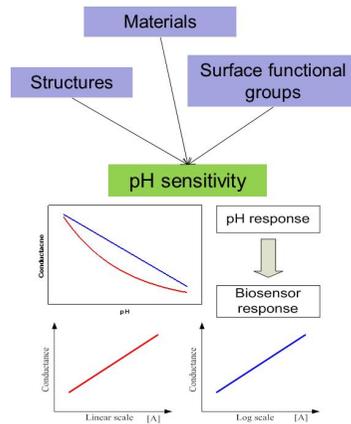


Fig. 3 The developmental scheme of electrochemical biosensors based on pH sensitivity behavior

트랜지스터에서 게이트 전압을 변하게 하고 두 종류 입자의 등전위점(isoelectric point)에 따라 민감도가 커지는 부분이 염기성에서 산성으로 바뀌게 된다.

4. 결론

나노 소재 박막은 그림 3 과 같이 재료, 구조 및 작용기의 종류에 따라 선형적 또는 지수적 전기 전도도의 거동을 보인다. 이는 검출하고자 하는 생분자의 농도 변화 범위에 따라서 다양하게 응용될 수 있는 장점이 있다.

참고문헌

1. W. Xue and T. Cui, Nanotechnology 18, p. 145709, 2007
2. Y. Liu and T. Cui, Sens. Actuat. B: Chem. 123, pp 148-152, 2007
3. D. Lee and T. Cui, J. Vac. Sci. Tech. B 27, pp 842-848, 2009
4. D. Lee, J. Ondrake, and T. Cui, Sensors 11, pp 9300-9312, 2011
5. M. E. Franke, T. J. Koplín, and U. Simon, Small 2, p 301, 301-301, 2006