Back-gate bias를 이용한 SOI nano-wire BioFET의 electrical sensing

정명호, 안창근*, 조원주
광운대학교, *한국전자통신 연구원 BT융합연구부

Electrical sensing of SOI nano-wire BioFET by using back-gate bias

Myung-Ho Jung, Chang-geun Ahn*, Won-Ju Cho
Kwangwoon Univ., *Nano-Bio Electronic Device Team, Electronics and Telecommunications Research Institute

Abstract : The sensitivity and sensing margin of SOI(silicon on insulator) nano-wire BioFET(field effect transistor) were investigated by using back-gate bias. The channel conductance modulation was affected by doping concentration, channel length and channel width. In order to obtain high sensitivity and large sensing margin, low doping concentration, long channel and narrow width are required. We confirmed that the electrical sensing by back-gate bias is effective method for evaluation and optimization of bio-sensor.

Key Words : SOI, nano-wire, BioFET, electrical sensing

1. 서 론

최근의 바이오 기술과 의료진단 기술은 빠르고, 연속적이며 선택적인 검출 능력을 요구하고 있으며, 이에 따라 SPR (surface plasmon resonance), 형광물질, FET등 다양한 방법들이 적용되고 있다. 특히 SOI와 nano-wire를 이용한 FET구조의 bio sensor는 빠른 응답시간, 높은 안정성, 높은 선택성 등으로 주목을 받고 있다.[1,2] 하지만 현재 원하는 바이오 물질을 검출하기 위하여 bio sensor의 nano-wire 표면처리 및 항체 등을 흡착시키기까지 긴 시간이 소요되며, nano-wire의 도핑 농도나 바이오 물질의 농도 그리고 측정 환경 등 주변 환경에 너무 민감하게 반응하기 때문에 bio sensor를 모니터하고 최적화하는 것이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 바이오 물질을 nano-wire에 흡착하는 대신 back-gate bias를 인가함으로써 nano-wire에 흐르는 전류의 변화 및 감도를 측정하였다. 또한, 도핑 농도와 bio sensor의 channel length 및 width변화에 따른 감도와 sensing margin에 대하여 조사하였다.

2. 실 험

본 연구에서 제작한 SOI nano-wire BioFET은 그림 1.과 같은 순서로 제작되었다. 상층부의 단결정 실리콘의 두께가 50 nm인 SOI wafer를 이용하였다. PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 10 nm의 screen oxide를 증착한 후, 이온 주입 방법으로 boron을 주입하였다. 도핑 농도에 따른 bio sensor의 감도를 알아보기 위해 dose를 $1x10^{13}$, $3x10^{13}cm^{-2}$로 각각 다르게 하였다. 주입된 불순물의 활성화 및 재분포를 위하여 furnace를 이용하여 950 °C, N_2 분위기에서 30분간 열처리를 실시하였다. 다음으로 e-beam lithography 장비를 이용하여 nano-wire를 형성시켜주었다. 이때 nano-wire의 length는 2, 5, 10, 20 um이며, width는 300, 220, 180, 150, 130, 100 nm로 하였다. Nano-wire를 형성한 후 source와 drain영역을 photo lithography를 이용하여 형성하였으며, ohmic contact 형성을 위하여 source, drain영역을 $2x10^{15}cm^{-2}$의 dose로 boron을 주입하였다. 다음으로 furnace를 이용하여 950 °C, N_2 분위기에서 30분간 열처리를 실시한 후, evaporator를 이용하여 Al, Cr, Au순으로 contact metal을 증착하였다. 이렇게 제작된 SOI nano-wire bio sensor는 I-V 측정과 back-gate bias에 따른 channel conductance 변화를 측정하여 nano-wire의 전기적 특성 및 sensing 감도를 예측하였다.

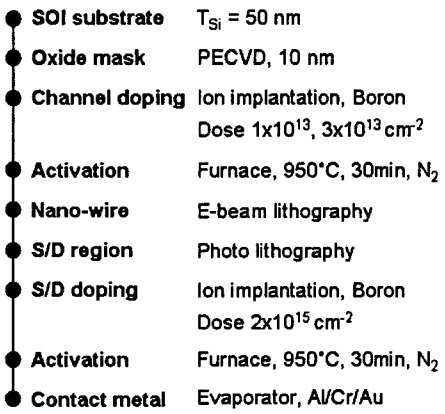


그림 1. SOI nano-wire BioFET 제작공정

3. 결과 및 검토

그림 2.는 SOI nano-wire BioFET의 back-gate bias에 따른 channel current 특성을 나타내고 있다. Channel의 width가 감소함에 따라 channel conductance modulation효과가 증가하였으며, 이는 channel의 width가 감소할수록 bio sensor의 감도가 증가함을 의미한다. 또한 도핑 농도가 낮은 bio sensor의 경우 그 효과가 더 크게 나타났다. 그림 3.은 SOI nano-wire BioFET의 시간에 따른 전류 특성을 나타내고 있다. V_{BG} = 0 V의 경우를 buffer 용액을 흘린 상태, V_{BG} = -5 V의 경우를 bio 물질의 검출 상태로 가정하였으

며 모든 상태에서 drain voltage는 -20 mV로 하였다. Back-gate bias의 인가 여부에 따라 channel에 흐르는 전류의 변화를 확인할 수 있으며 실제 바이오 물질을 이용한 실험과 같은 경향으로 동작하는 것을 알 수 있다.

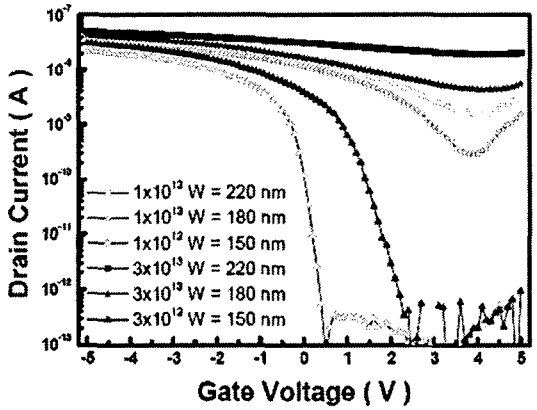


그림 2. SOI nano-wire BioFET의 back-gate bias에 의한 channel conductance 의존성

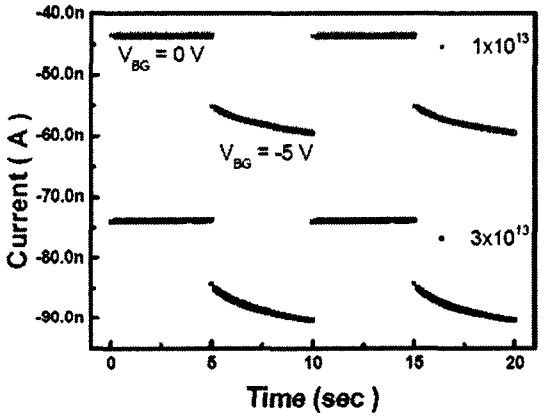
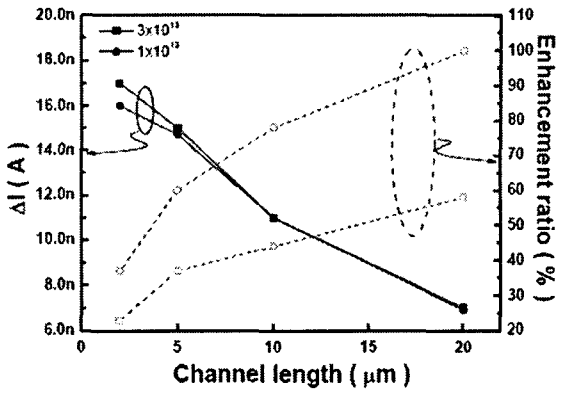
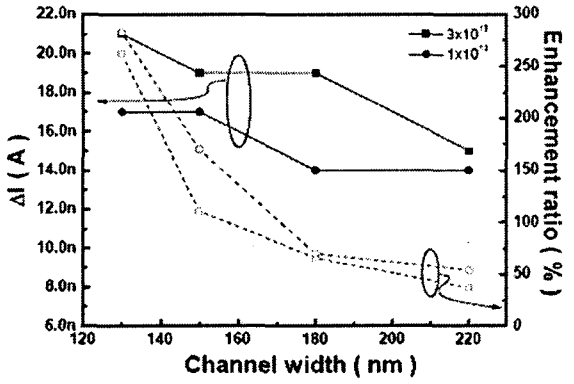


그림 3. SOI nano-wire BioFET의 시간에 따른 전류 변화 특성

그림 4. (a)와 (b)는 SOI nano-wire BioFET의 채널 length와 width의 변화에 따른 전류 변화량과 sensing margin을 나타내고 있다. 채널 length가 증가함에 따라 sensing시 채널에 흐르는 전류의 변화량은 작아지는 특성을 나타냈다. 그러나 sensing margin은 반대로 증가하였으며, 도핑 농도가 낮을 경우 그 증가율이 더욱 큰 것을 알 수 있다. 반면, 채널 width의 경우 그 값이 증가함에 따라 sensing margin과 sensing시 채널에 흐르는 전류의 변화량이 함께 작아지는 특성을 보였다. 따라서, bio sensor의 채널 length를 증가시킬 경우에는 높은 sensing margin을 얻을 수 있지만 실제로 채널에 흐르는 전류의 변화량이 작아져 계측 장비를 사용하여 그 값을 읽어 낼 때 단점이 된다. 반면, 채널 width를 작게 하였을 경우에는 매우 높은 sensing margin과 큰 전류 변화량을 동시에 얻을 수 있다. 또한, 도핑 농도에 의한 sensing margin의 경우 채널 width와 length의 변화에 관계없이 도핑 농도가 낮은 bio sensor가 높은 sensing margin을 갖는 것을 알 수 있다. 따라서, bio sensor의 감도를 높이기 위해서는 채널 length의 증가 보다 채널 width의 감소와 낮은 도핑 농도가 유리하다고 생각된다.



(a)채널 length 변화에 따른 sensing margin



(b)채널 width 변화에 따른 sensing margin

그림 4. SOI nano-wire BioFET의 채널 width와 length 변화에 따른 sensing margin

4. 결 론

SOI nano-wire BioFET을 제작하고 실제 bio 물질 대신 back-gate bias를 인가함으로써 빠른 시간 내에 bio-sensor의 동작특성을 분석하였고, 도핑 농도와 채널 width 및 length에 의한 감도 및 sensing margin을 분석하였다. 이 결과를 이용하여 bio-sensor의 제작 및 측정 전에 도핑 농도나 채널 등의 공정조건 및 소자 구조의 미세한 조정이 가능하며 bio-sensor의 최적화 및 기준점 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] Z. Li, Y. Chen, X. Li, T. I. Kamins, K. Nauka, and R. S. Williams, "Sequence-Specific Label-Free DNA Sensors Based on Silicon Nanowires", NANO LETTERS, Vol. 4, No. 2, p. 245, 2004.

[2] J. Lund, R. Mehta, and B. Parviz, "Detection of Small Molecule-Protein Binding with Amorphous Silicon Nano structures", Nanotech 2006, Vol. 2, p. 186, 2006.