

비대칭 DGMOSFET의 채널도핑분포함수에 따른 드레인 유도 장벽 감소현상 분석

정חק기*

Analysis of Drain Induced Barrier Lowering of Asymmetric Double Gate MOSFET for Channel Doping Profile

Hakkee Jung*

Department of Electronic Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

요 약

본 연구에서는 비대칭 이중게이트 MOSFET의 채널 내 도핑농도분포에 대한 드레인유도장벽감소(Drain Induced Barrier Lowering; DIBL)에 대하여 분석하고자한다. DIBL은 드레인 전압에 의하여 소스 측 전위장벽이 낮아지는 효과로서 중요한 단채널 효과이다. 이를 분석하기 위하여 포아송방정식을 이용하여 해석학적 전위분포를 구하였으며 전위분포에 영향을 미치는 채널도핑농도의 분포함수변화에 대하여 DIBL을 관찰하였다. 채널길이, 채널두께, 상하단 게이트 산화막 두께, 하단 게이트 전압 등을 파라미터로 하여 DIBL을 관찰하였다. 결과적으로 DIBL은 채널도핑농도분포함수의 변수인 이온주입범위 및 분포편차에 변화를 나타냈다. 특히 두 변수에 대한 DIBL의 변화는 최대채널도핑농도가 $10^{18}/cm^3$ 정도로 고도핑 되었을 경우 더욱 현저히 나타나고 있었다. 채널길이가 감소할수록 그리고 채널두께가 증가할수록 DIBL은 증가하였으며 하단 게이트 전압과 상하단 게이트 산화막 두께가 증가할수록 DIBL은 증가하였다.

1. 비대칭 이중게이트 MOSFET의 드레인 유도 장벽 감소 모델

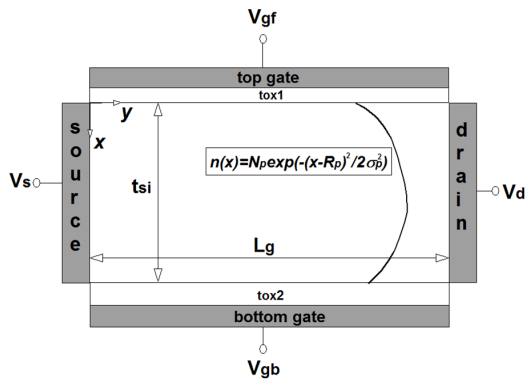


그림 1. 비대칭 이중게이트 MOSFET의 개략도
Fig.1 Schematic sectional diagram of asymmetric double gate MOSFET

비대칭 이중게이트 MOSFET의 개략도를 그림 1에 도시하였다. 그림 1에서 알 수 있듯이 상단의 게이트 전압 V_{gf} 와 하단의 게이트 전압 V_{gb} 를 달리 인가할 수 있으며 이때 상하단의 산화막 두께를 각각 달리 지정할 수 있어 단채널효과를 제어할 수 있는 구조적 파라

미터가 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 본 연구에서는 그림 1에서 알 수 있듯이 상단에서 하단까지 전하분포함수를 가우스분포함수로 이용하여 전위분포를 구하였다. 즉, 식 (1)의 포아송방정식과 식 (2)의 도핑분포함수를 이용하였다.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{qn(x)}{\epsilon_{si}} \quad (1)$$

$$n(x) = N_p \exp\left(-\frac{(x - R_p)^2}{2\sigma_p^2}\right) \quad (2)$$

여기서 ϵ_{si} 는 실리콘의 유전율이다. R_p 는 이온주입범위로부터 최대도핑농도를 갖는 상단에서의 거리이며 σ_p 는 분포편차로써 분포의 퍼짐정도를 나타내는 변수이다. 경계조건은 Ding등의 경계조건과 동일하게 사용하였다.

식 (2)에서 알 수 있듯이 포아송 방정식을 이용하여 전위를 구할 때 채널도핑농도의 이온주입범위 및 분포편차는 전위분포 결정에 큰 변수가 된다. 이와 같이 채널 내 도핑농도분포 및 경계조건을 이용하여 식 (1)을 풀면 다음과 같은 급수형태의 전위분포를 구할 수 있다[1].

$$\phi(x,y) = V_s + \frac{V_d}{L_g}y + \sum_{n=1}^{\infty} A_n(x) \sin \frac{n\pi y}{L_g} \quad (3)$$

$$A_n(x) = C_n e^{k_n x} + D_n e^{-k_n x} + B_1 \operatorname{erf}(\tau + b_1/2) + B_2 \operatorname{erf}(\tau + b_2/2) + A \quad (4)$$

$$B_1 = \frac{N_p G_n \sigma_p \sqrt{\pi} e^{k_n(x-R_p)+b_1/4}}{2\sqrt{2}k_n}$$

$$B_2 = -\frac{N_p G_n \sigma_p \sqrt{\pi} e^{-k_n(x-R_p)+b_2/4}}{2\sqrt{2}k_n}$$

이며 여기서 n 은 정수, $k_n = n\pi/L_g$ 이며 표기안한 상수에 대한 설명은 참고문헌[2]에 표기하였다. 상기 식에서 알 수 있듯이 이온주입범위 및 분포편차는 전위분포에 큰 영향을 미치고 있다.

본 연구에서는 차단전류가 채널폭 당 $0.1\mu A$ 일 때 상당 게이트 전압으로 문턱전압을 정의하였다. 랜덤하게 운동하는 전자들의 1/6이 소스에서 드레인으로 향할 것이며 단위시간당 $t_{si}W$ 면적의 드레인에 도착하는 전자의 수를 이용하면

$$I_d = \frac{q(n_i^2/N_p)e^{q\phi_{\min}(x_{eff})/kT} v_{th} t_{si} W}{6} \quad (5)$$

이다. 식 (5)에서 x_{eff} 는 전하가 흐르는 대표적인 전도중심값이다[3].

드레인유도장벽감소 현상은 채널길이가 감소하면서 드레인 전압이 소스 측에 영향을 미쳐 소스 측 전위장벽이 감소하면서 결국 문턱전압의 감소를 나타내는 현상으로써 식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$DIBL = V_{th}(V_{ds} = 0V) - V_{th}(V_{ds} = 1V) \quad (6)$$

이러한 현상은 드레인 전압이 증가하면 문턱전압이 감소할 수 있다는 단채널 효과로서 식 (3) 및 식 (4)에서 알 수 있듯이 전위분포에 영향을 미치는 채널 내 도핑농도분포함수의 변수인 이온주입범위 및 분포편차 등에 영향을 받을 것이다. 이러한 전위분포는 결국 식 (5)의 차단전류에 영향을 미쳐 문턱전압의 변화를 발생시킬 것이다. 그러므로 본 연구에서는 채널크기, 최대채널 도핑농도, 산화막 두께 및 하단 게이트 전압 등을 파라미터로 하여 이온주입범위 및 분포편차에 따라 DIBL이 어떻게 변화하는지 고찰하고자 한다.

II. DIBL에 대한 고찰

본 연구에서 제시한 문턱전압모델에 대한 타당성은

이미 발표된 논문[4]에서 입증하였으므로 본 연구에서는 1장에서 제시한 드레인 유도 장벽 감소 모델을 이용하여 비대칭 이중게이트 MOSFET의 채널길이, 산화막 두께 변화 및 하단 게이트 전압을 파라미터로 하여 이온주입범위 및 분포편차 등 채널도핑농도의 분포함수 변화에 대한 드레인유도장벽감소의 변화를 고찰할 것이다.

먼저 채널길이를 파라미터로 하여 이온주입범위 및 분포편차에 따른 DIBL의 변화를 그림 2에 도시하였다. 그림 2에서 알 수 있듯이 채널길이가 감소하면 DIBL이 크게 증가하면서 단채널 효과가 크게 나타나고 있었다. $R_p = 7nm$ 이하에서는 채널길이와 관계없이 이온주입범위 및 분포편차에 따라 DIBL이 큰 변화를 보이고 있지 않았으나 채널길이가 30 nm로 비교적 짧은 경우 $R_p = 7nm$ 이상에서 이온주입범위가 증가함에 따라 DIBL이 크게 감소하고 있었다. 교적작을 때 DIBL의 감소율은 현저히 감소하고 있다는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 채널길이가 비교적 큰 40 nm일 경우 이온주입범위 및 분포편차에 따라 DIBL은 큰 변화를 보이고 있지 않았다. 이는 최대도핑농도가 $10^{17}/cm^3$ 정도일 경우로서 비교적 작은 도핑농도에서는 도핑분포함수에 따라 크게 변화가 없다는 것을 알 수 있다.

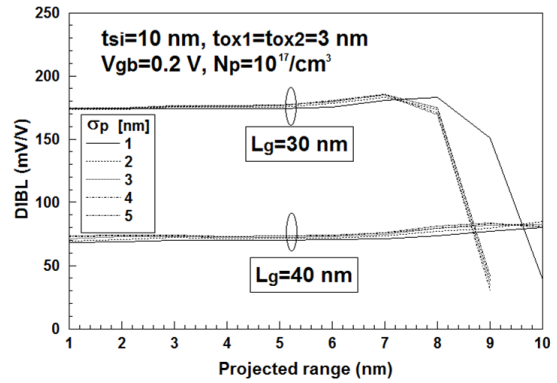


그림2. 채널길이를 파라미터로 하여 구한

이온주입범위 및 분포편차에 따른 DIBL의 변화

Fig.2. The change of DIBL for projected range and standard projected deviation with a parameter of channel length

특히 채널길이가 30 nm일 경우 분포편차가 1 nm로 비 최대도핑농도가 증가할 경우 이온주입범위 및 분포편차에 따른 DIBL의 변화를 관찰하기 위하여 그림 3에 최대도핑농도를 $10^{18}/cm^3$ 로 증가시켰을 경우 DIBL의 변화를 도시하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 최대도핑농도가 $10^{17}/cm^3$ 에서 $10^{18}/cm^3$ 로 증가하면

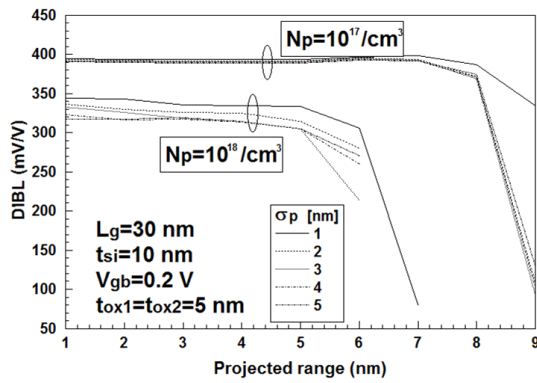


그림 3. 최대도핑농도를 파라미터로 하여 구한 이온주입범위 및 분포편차에 따른 DIBL의 변화
 Fig. 3. The change of DIBL for projected range and standard projected deviation with a parameter of maximum channel doping concentration

DIBL은 감소하였다. 또한 $10^{17}/cm^3$ 의 경우와 비교하면 분포편차에 대한 DIBL의 변화가 나타나기 시작하였다. $10^{18}/cm^3$ 의 경우 $R_p = 5nm$ 이하에서는 이온주입범위에 따라 DIBL이 큰 변화를 보이지 않다가 그 이상이 되면 DIBL이 감소하고 있었다. 이상에서 알 수 있듯이 최대도핑농도가 증가하면 이온주입범위 및 분포편차에 따른 DIBL의 변화가 더욱 심하게 나타나고 있었다.

III. 결 론

본 연구에서는 비대칭 이중게이트 MOSFET의 채널 내 도핑농도분포에 대한 DIBL에 대하여 분석하였다. 이를 분석하기 위하여 포아송방정식을 이용하여 해석학적 전위분포를 구하였으며 전위분포에 영향을 미치는 채널도핑농도의 분포함수로는 가우스분포함수를 사용하였으며 가우스분포함수의 두 변수인 이온주입범위 및 분포편차에 따라 DIBL 현상을 관찰하였다. 이때 파라미터로는 채널길이, 채널두께, 상하단 게이트 산화막 두께, 하단 게이트 전압 등을 사용하였다. 결과적으로 DIBL 현상은 채널도핑농도분포함수의 변수인 이온주입범위 및 분포편차에 변화를 나타냈다.

Reference

[1] Z.Ding, G.Hu, J.Gu, R.Liu, L.Wang and T.Tang, "An analytical model for channel potential and subthreshold swing of the symmetric and asymmetric double-gate MOSFETs," *Microelectronics J.*, vol.42, pp.515-519, 2011.

[2] Hakkee Jung, "Analysis for Potential Distribution of Asymmetric Double Gate MOSFET Using Series Function," *J. of KIICE*, vol.17, no.11, pp.2621-2626, 2013.
 [3] Q.Chen, B.Agrawal and J.D.Meindl, "A Comprehensive Analytical Subthreshold Swing(S) Model for Double-Gate MOSFETs," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol.49, no.6, pp.1086-1090, 2002.
 [4] H.K.Jung and O.S.Kwon, "Analysis of Channel Dimension Dependent Threshold Voltage for Asymmetric DG MOSFET," 2014 International Conference on Future Information & Communication Engineering, vol.6, no.1, pp.299-302, 2014.