
비대칭 이중게이트 MOSFET에 대한 상·하단 문턱전압이하 스윙 분석

정학기, 권오신

Analysis for Top and Bottom Subthreshold Swing of Asymmetric Double Gate MOSFET

Hakkee Jung, Ohsin Kwon

요 약

본 연구에서는 비대칭 이중게이트(double gate; DG) MOSFET의 상·하단 게이트전압에 대한 문턱전압이하 스윙을 분석하였다. 비대칭 DGMOSFET는 4단자소자로서 상단과 하단의 게이트단자에 별도의 전압을 인가할 수 있는 구조이다. 그러므로 문턱전압이하 영역에서 전송특성을 분석하기 위해선 상단게이트전압에 대한 문턱전압이하 스윙뿐만 아니라 하단게이트전압에 대한 문턱전압이하 스윙의 변화도 분석하여야 한다. 이를 위하여 가우시안 분포함수를 이용한 포아송방정식의 해석학적 전위분포를 구하여 문턱전압이하 스윙에 대한 해석학적 모델을 제시하였다. 이 문턱전압이하 모델을 이용하여 문턱전압이하 스윙을 상·하단 게이트 전압에 따라 관찰한 결과, 문턱전압이하 스윙은 게이트전압에 따라 크게 변화하는 것을 알 수 있었다. 특히 상·하단 게이트 전압에 따라 전도중심이 변화하며 이로 인하여 문턱전압이하 스윙에 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있었다.

Abstract

This paper has analyzed the subthreshold swings for top and bottom gate voltages of asymmetric double gate(DG) MOSFET. The asymmetric DGMOSFET is four terminal device to be able to separately bias for top and bottom gates. The subthreshold swing, therefore, has to be analyze not only for top gate voltage, but also for bottom gate voltage. In the pursuit of this purpose, Poisson equation has been solved to obtain the analytical solution of potential distribution with Gaussian function, and the subthreshold swing model has been presented. As a result to observe the subthreshold swings for the change of top and bottom gate voltage using this subthreshold swing model, we know the subthreshold swings are greatly changed for gate voltages. Especially we know the conduction path has been changed for top and bottom gate voltage and this is expected to greatly influence on subthreshold swings.

키워드

비대칭 DGMOSFET, 문턱전압이하 스윙, 포아송방정식, 상·하단 게이트 전압

Keyword

asymmetric DGMOSFET, subthreshold swing, Poisson equation, top and bottom gate voltages

I. 비대칭 DG MOSFET의 전위분포 및 문턱전압이하 스윙 모델

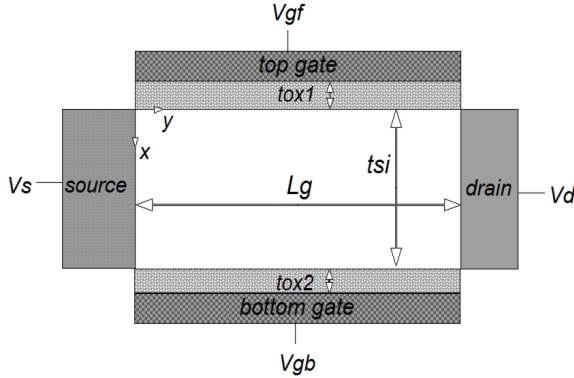


그림 1. 비대칭 DG MOSFET의 개략도.
Fig. 1 Schematic view of asymmetric DG MOSFET.

비대칭 DG MOSFET는 4단자 소자로서 그림 1과 같이 상·하단에 각각 게이트전압을 인가할 수 있는 구조이다. 채널 폭 방향으로의 전위분포 변화는 대칭 DG MOSFET와 동일하게 무시할 수 있으므로 x, y 방향에 대해서만 다음과 같은 전위분포를 구한다[1].

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

이며 여기서 n 은 정수이며 V_s 는 기준전압인 소스 전압, V_d 는 드레인 전압, $A_n(x)$ 는

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

이다. $k_n = n\pi/L_g$ 이며 $B_1, B_2, b_1, b_2, C_n, D_n$ 은 참고문헌[2]에 표기하였다. 또한 A 는 적분 상수이다. 이때 상단의 게이트 전압 V_{gf} 에 대한 문턱전압이하 스윙은 식 (1)을 이용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_b = 2.3 V_t \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n\pi} (1 - (-1)^n) \left(\frac{a_1 e^{-k_n x} - a_2 e^{k_n x}}{a_1 a_4 - a_2 a_3} \right) \cdot \sin \frac{n\pi y}{L_g} \right]^{-1} \quad (3)$$

이다. 여기서 계수는

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 - k_n \epsilon_S / C_{ox1} \\ a_2 &= 1 + k_n \epsilon_S / C_{ox1} \\ a_3 &= e^{k_n t_{si}} + \epsilon_S k_n e^{k_n t_{si}} / C_{ox2} \\ a_4 &= e^{-k_n t_{si}} - \epsilon_S k_n e^{-k_n t_{si}} / C_{ox2} \end{aligned}$$

이다[2]. 그리고 C_{ox1} 과 C_{ox2} 는 각각 상단과 하단 게이트 산화막의 커패시턴스 값이다. 또한 하단의 게이트 전압 V_{gb} 에 대한 문턱전압이하 스윙은 식 (1)을 이용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_b = 2.3 V_t \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n\pi} (1 - (-1)^n) \left(\frac{a_1 e^{-k_n x} - a_2 e^{k_n x}}{a_1 a_4 - a_2 a_3} \right) \cdot \sin \frac{n\pi y}{L_g} \right]^{-1} \quad (4)$$

이다.

본 연구에서는 이와 같이 구한 상단과 하단 게이트전압의 변화에 대한 문턱전압이하 스윙 값의 변화를 분석할 것이다.

II. 상·하단 게이트전압에 따른 문턱전압이하 스윙 분석

본 연구에서 제시한 문턱전압이하 스윙 모델의 타당성을 입증하기 위하여 그림 2에 Medici 시뮬레이션 결과[1]와 비교하였다. 시뮬레이션 조건은 $L_g = 30 \text{ nm}$, $t_{si} = 10 \text{ nm}$ 이며 도핑농도는 $N_p = 10^{16} / \text{cm}^3$ 일 때 상·하단 산화막 두께를 변화시키면서 구한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 게이트 산화막 두께에 따라 이차원 수치해석학적 해인 Medici 모의실험결과[1]와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 그러므로 식 (3)은 타당하다고 사료된다. 여기서 하단 게이트 전압에 의한 문턱전압이하 스윙 값도 동일한 전위분포 및 과정을 이용하였으므로 역시 식 (4)도 타당하다고 사료된다. 그림 2를 고찰해보면 상단게이트 산화막 두께가 증가할수록 문턱전압이하 스윙은 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 하단게이트 산화막 두께에 따라서는 거의 일정한 문턱전압이하 스윙을 나타

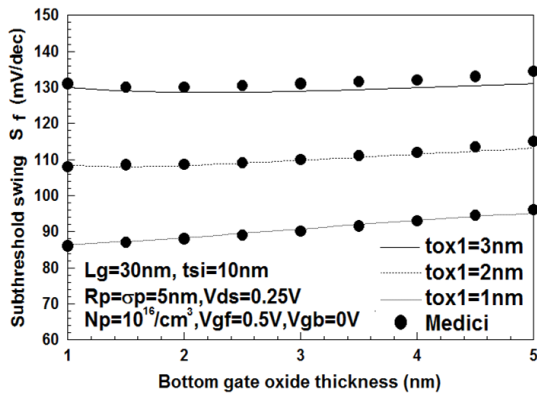


그림 2. 게이트 산화막 두께 변화에 따른 문턱전압이하 스윙값
Fig. 2. Subthreshold swings for gate oxide thickness

내고 있다. 이는 상단게이트 전압을 0.5 V, 하단게이트 전압을 0 V로 고정한 경우로써 상단게이트 전압에 의한 채널 내 전하 제어가 더욱 크게 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 문턱전압이하 스윙은 인가된 게이트 전압에 따라 크게 변화하는 것을 알 수 있으며 상단과 하단에 별도로 게이트 전압을 인가할 수 있는 비대칭 DG MOSFET의 경우는 상·하단 게이트 전압에 따라 문턱전압이하 스윙 특성이 크게 변화할 것이다.

그림 3에 상·하단 게이트전압의 변화에 따른 전도중심의 변화를 식 (7)을 이용하여 구한 결과를 도시하였다. 0 %인 지점이 상단게이트와 상단게이트 산화막의 계면영역이며 100 %

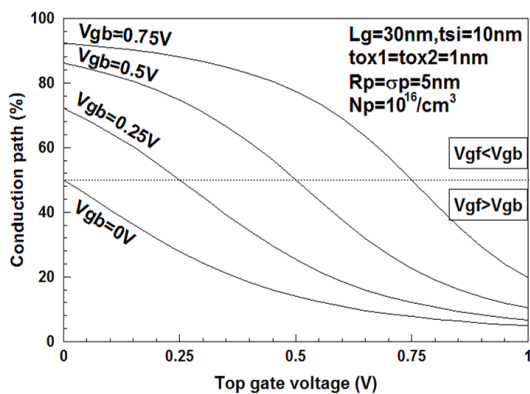


그림 3. 상·하단 게이트전압에 따른 전도중심의 변화
Fig. 3. The change of conduction path for top and bottom gate voltages

인 지점이 하단게이트와 하단게이트 산화막의 계면영역임을 그림 2의 x 축 방향에서 알 수 있다. 예상한 바와 같이 상단게이트전압이 하단게이트전압보다 클 경우 전도중심은 상단영역에 존재하며 하단게이트전압이 커지면 전도중심은 하단으로 이동한다는 것을 알 수 있다. 물론 상·하단 게이트전압이 동일할 경우, 전도중심은 정확히 중심에 위치한다. 이와 같은 전도중심의 이동에 의하여 상·하단 게이트전압의 변화는 채널 내 전하의 제어에 큰 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

III. 결론

본 연구에서는 포아송방정식의 해석학적 전위분포를 이용하여 상·하단 게이트 전압의 변화에 대한 비대칭 이중게이트 MOSFET의 문턱전압이하 스윙에 대하여 고찰하였다. 비대칭 이중게이트 MOSFET는 4단자소자로서 상·하단 게이트 전압에 따라 문턱전압이하 스윙 값도 크게 변화하는 것을 알 수 있었다. 비대칭 이중게이트 MOSFET의 문턱전압이하 스윙을 상·하단 게이트전압 변화에 따라 관찰한 결과, 상단게이트전압이 증가하면 전도중심은 상단영역으로 이동하여 상단게이트전압에 의한 전류 제어능력이 향상되므로 상단 문턱전압이하 스윙이 감소함을 알 수 있었다. 또한 하단게이트 전압이 증가하면 전도중심은 하단영역으로 이동하여 하단게이트전압에 의한 전류제어능력이 향상되므로 하단 문턱전압이하 스윙이 감소함을 알 수 있었다. 그러므로 향후 비대칭 이중게이트 MOSFET를 이용한 집적회로 설계 시 상·하단 게이트전압에 의한 문턱전압이하 스윙의 결정에 유의하여야 할 것이다.

참고 문헌

[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] H.K.Jung, Jongin Lee, “ Analysis for Potential Distribution of Asymmetric Double Gate MOSFET,” KIICE Fall Conference 2013, vol.17, no.2, 2013.