
더블게이트MOSFET의 도핑농도에 따른 단채널 효과 분석 - 문턱전압을 중심으로

고효근, 한지형, 정학기
군산대학교 전자공학과

Analysis of short-channel effect for doping concentration of DGMOSFET
- On threshold Voltage

Hyogeun Ko, Jihyung Han, Hakkee Jung
Department of Electronic Eng., Kunsan National University
E-mail : rhgyrms12@naver.com

요 약

더블게이트MOSFET는 두 개의 게이트를 가지고 있기 때문에 전류제어 능력이 기존 MOSFET보다 두배에 가깝고 나노소자에서 단채널 효과를 감소시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 더블게이트MOSFET 제작시 단채널 효과에 큰 영향을 미치는 도핑농도에 따른 문턱전압의 변화를 분석하고자 한다. 더블게이트MOSFET에서 문턱전압에 영향을 미치는 구조적 요소 중 도핑농도는 매우 중요한 소자파라미터이다. 본 논문에서는 도핑농도를 $10^{15}cm^{-3}$ 에서 $10^{19}cm^{-3}$ 까지 변화시키면서 문턱 전압을 분석한 결과 도핑농도가 증가하면 문턱전압도 커짐을 알 수 있었다.

Abstract

Because the Double gate MOSFET has two gates, it has more efficient on controlling current than the existing MOSFET, and it can also decrease short channel effects in the nano-device. In this study, during the manufacturing the Double gate MOSFET, we will analyze the change of threshold voltage according to doping concentration that makes a significant impact on short channel effects. One of the structural factors that affect the threshold voltage on the Double gate MOSFET is the doping concentration, and it is very important device parameter. In this paper, we can find that the threshold voltage became larger when the doping concentration increased from $10^{15}cm^{-3}$ to $10^{19}cm^{-3}$.

키 워 드

더블게이트MOSFET, 문턱전압, 포아송방정식, 게이트길이

I. 서론

반도체산업은 우리나라 전체 산업구조에서 매우 중요한 역할을 하며 지속적으로 발전하고 있다.반도체 시장에 있어서 더 저렴하고 경쟁력을 증가 시키기 위해 많은 노력을 하고 있다. 반도체

체산업에서 지배적인 위치를 차지하기 위해서 각업체마다 새로운 설계방법 및 소자구조 개발에 정진하고 있다. 기존의 MOSFET는 크기가 감소하면 단채널효과에 의하여 문턱전압의 변화가 증가하고 차단전류의 증가로 인한 문턱전압이하 전류특성의 저하 등 여러 가지 효과 때문에 집

적회로에서의 사용이 제한되고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 개발되고 있는 것이 더블게이트MOSFET 소자이다. 더블게이트MOSFET는 두 개의 게이트로 인하여 채널전류 제어용량이 거의 두배로 증가할 뿐만 아니라 채널 두께 제한 및 게이트산화막 터널링 등 심각한 단채널효과를 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 소자 설계시 가장 중요한 요소인 문턱전압설정에 영향을 미치고 있다. 문턱전압은 소자스케일 및 회로시뮬레이션에 영향을 미치고 있어 집적회로설계시 매우 중요한 요소이다.[1-3]

본 논문에서는 채널길이를 20nm에서 100nm 까지 변화시키면서 도핑농도에 따른 문턱전압의 결과를 고찰 함으로써 문턱전압에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 2장에서는 더블게이트MOSFET에 대한 이론적 배경을 설명할 것이며 3장에서는 결과를 고찰하고 4장에서는 결론을 맺을 것이다.

II. 더블게이트MOSFET의 이론적 배경

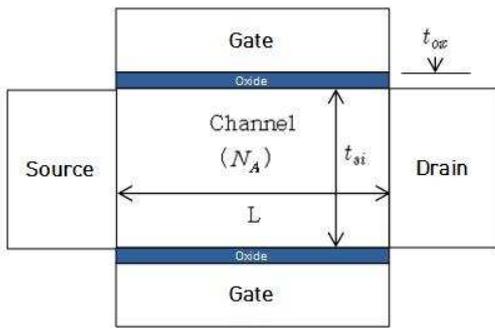


그림 1. 더블게이트MOSFET구조
Fig 1. Structure of Double gate MOSFET

더블게이트MOSFET의 채널영역은 형태에 관계 없이 두 개의 게이트를 가지고 있다. 즉, 그림 1과 같이 게이트산화막이 채널을 둘러싼 형태이다. 채널의 두께 t_{si} , 게이트산화막 t_{ox} , 게이트길이 L_g 이다. 더블게이트MOSFET의 경우 채널내 포텐셜분포를 사용하여 열방출 및 터널링 전류를 각각 구해야 하고 채널포텐셜은 완전히 결핍상태에서 이차원 포아송방정식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{\partial^2 \psi(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi(x,y)}{\partial y^2} = \frac{qN_A}{\epsilon_{Si}} \quad (1)$$

여기서 q 는 전하, N_A 는 도핑농도, ϵ_{Si} 는 실리콘 유전율을 나타내고 식 (1)을 풀기 위해서

$$\begin{aligned} \psi(0,x) &= V_{bi} \\ \psi(L,y) &= V_{bi} + V_{DS} \\ \psi(x,0) &= V_{GF} + \frac{\epsilon_{Si}}{C_{ox}} \frac{\partial \psi}{\partial y} \Big|_{y=0} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\psi(x,t_{si}) = V_{GF} \frac{\epsilon_{Si}}{C_{ox}} \frac{\partial \psi}{\partial y} \Big|_{y=t_{si}}$$

여기서 $C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}}$ 이며 ϵ_{ox} 는 게이트 옥사이드 유전율이다. 채널내 전위분포는 다음과 같은 식을 사용했다.

$$\psi(x,y) = V_{bi} + \frac{V_{DS}}{L} x \sum_{n=1}^{\infty} C(n)(y) \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (3)$$

대부분의 캐리어가 이동되어지는 최소 채널포텐셜 ψ_{min} 은 $\sigma\psi(x,0)/\sigma x|_{x=x_0} = 0$ 에서 구할 수 있다.

전류 I_D 는 총량에 비례하며 밀도가 고전적 볼츠만통계를 따른다고 할 때

$$n_m(y) = \left(\frac{n_i^2}{N_A}\right) e^{\frac{q\psi_{min}}{kT}} \text{이다.}$$

이 때 열방사전류 I_{ther} 은

$$I_{ther} = \frac{q n_m(y) v_{th} t_{si} W}{6} \approx \frac{q n_m(d_{eff}) v_{th} t_{si} W}{6} \quad (4)$$

으로 표현할 수 있다.[4] 자유전자의 전도중심을 나타내는 파라미터

$$d_{eff} = \int_0^{t_{si}/2} y e^{\psi_{min}/V} dy / \int_0^{t_{si}/2} e^{\psi_{min}/V} dy \quad (5)$$

는 이와 같이 표현 된다.[5] 위의 열방사전류 공식을 이용하여 구해진 드레인 전류가 $10^{-7} A$ 일 때 게이트전압은 문턱전압과 같다.

III. 문턱전압 결과 및 고찰

참고문헌

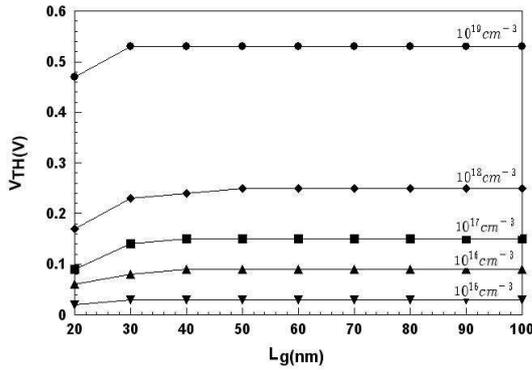


그림 2. 도핑농도에 대한 문턱전압
Fig 2. Doping concentration of threshold Voltage

그림 2에 게이트길이의 변화에 따라 문턱전압의 이동현상을 도핑농도의 변화에 계산한 결과를 도시하였다. 각각의 파라미터 소자들의 값은 $t_{Si}=10\text{nm}$, $t_{ox}=1\text{nm}$, $\text{Length}=20\sim 100\text{nm}$, $N_A=10^{15}\text{cm}^{-3}\sim 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 이다. 도핑농도가 증가할수록 문턱전압의 값이 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 도핑농도가 10^{19}cm^{-3} 에서는 10^{18}cm^{-3} 일 때보다 급격히 상승한 것을 알 수 있다. 도핑농도가 증가함에 따라 문턱전압의 값은 급격히 커지고 게이트길이가 50nm가 됐을 때 부터는 문턱전압의 값이 변화가 없다.

IV. 결론

이 논문에서는 기존 MOSFET의 단채널 효과의 단점을 보완할 수 있는 더블게이트MOSFET를 이차원포아송방정식을 이용하여 문턱전압변화를 채널길이가 증가하면서 도핑농도의 변화에 따라 분석하였다. 도핑농도가 증가함에 따라 문턱전압은 커짐을 알 수 있고 채널길이가 50nm가 되면 문턱전압은 증가하지 않는다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 군산대학교정보통신기술연구소의 부분적인 지원으로 수행되었음

[1] SXiong and J. Bokor, "Sensitivity of Double-Gate and FinFET Devices to Process Variations," IEEE Trans. Electron Devices, vol.50, no.11, pp.2255-2261, Nov, 2003.
 [2] 정 학기, "DGMOSFET에서 채널길이와 두께 비에 따른 문턱전압변화분석", 한국해양정보통신학회, 2010.5
 [3] 한 지형, 정 학기, 이 중인, 정 동수, 권 오신 "이중게이트 MOSFET에서 채널도핑농도에 따른 서브문턱스윙 분석", 한국해양정보통신학회, 2008.5
 [4] H.K.Jung, Sima Dimitrijevic, "Analysis of Subthreshold Carrier Transport for Ultimate DGMOSFET", IEEE TRANSACTIONS OF ELECTRON DEVICES, vol.53, no.4, pp. 685-691, APR,2006
 [5] J.H.Han, H.K.Jung, C.S.Park, "Structure Dependent Subthreshold Swings for Double gate MOSFETs", International Journal of KIMICS, vol. 9, no. 5, pp583-586, OCT, 2001.