
가우스함수의 형태에 따른 DGMOSFET의 문턱전압이하특성

정학기, 한지형, 이중인, 권오신
군산대학교 전자공학과

Subthreshold Characteristics of Double Gate MOSFET for Gaussian Function Distribution

Hakkee Jung·Jihyung Han·Jongin Lee·Ohshin Kwon
Department of Electronic Eng., Kunsan National University

요 약

본 연구에서는 가우스분포함수의 형태에 따라 DGMOSFET에 스켈링이론을 적용하였을 때 문턱전압이하특성의 변화를 분석하고자 한다. 포아송방정식의 분석학적 해를 구할 때 사용하는 전하분포함수에 가우시안 함수를 적용함으로써 보다 실험값에 가깝게 해석하였으며 이때 가우시안 함수의 변수인 이온주입범위 및 분포편차에 대하여 문턱전압이하 특성의 변화를 관찰하였다. 본 연구의 모델에 대한 타당성은 이미 기존에 발표된 논문에서 입증하였으며 본 연구에서는 이 모델을 이용하여 문턱전압이하 특성을 분석할 것이다. 스켈링이론은 소자파라미터의 변화에 대하여 출력특성을 변함없이 유지하기 위하여 적용하는 이론이다. DGMOSFET에 스켈링이론을 적용한 결과, 가우스함수의 형태에 따라 문턱전압이하 특성이 매우 크게 변화하였으며 특히 문턱전압의 변화는 상대적으로 매우 크게 나타난다는 것을 관찰하였다.

Abstract

This paper have presented the change for subthreshold characteristics for double gate(DG) MOSFET based on scaling theory and the shape of Gaussian function. To obtain the analytical solution of Poisson's equation, Gaussian function been used as carrier distribution and consequently potential distributions have been analyzed closely for experimental results, and the subthreshold characteristics have been analyzed for the shape parameters of Gaussian function such as projected range and standard projected deviation. Since this potential model has been verified in the previous papers, we have used this model to analyze the subthreshold chatacteristics. The scaling theory is to sustain constant outputs for the change of device parameters. As a result to apply the scaling theory for DGMOSFET, we know the subthreshold characteristics have been greatly changed, and the change of threshold voltage is bigger relatively.

키워드

DGMOSFET, 문턱전압이하, 문턱전압, 가우스함수, 포아송방정식, 스켈링

I. 서론

스켈링 이론에 따르면 S 배 만큼 소자의 크기를 감소시키면 전류는 S 배, 동작주파수는 S^2 배 만큼 증가하는 것으로 알려져 있다. 이와같이 출력 특성의 변화뿐만이 아니라 문턱전압이하에서도 특성이 변화될 것이다. 문턱전압이하 특성 중 단채널효과로 알려진 문턱전압의 이동현상, 문턱전압이하 스윙특성의 저하 및 드레인유기장벽감소현상 등은 기존 CMOSFET소자에서 가장 큰 문제가 되고 있는 요소들이다. 이러한 요소들의 효과를 감소시키기 위하여 개발되고 있는 소자가 다중게이트 MOSFET소자이다. 이 중에서도 가장 간단히 제작할 수 있는 이중게이트(Double Gate ; DG) MOSFET는 이론적인 연구에 많이 사용되고 있으며 특히 포아송방정식을 이용한 채널내 전위분포에 대한 해석학적 모델의 개발이 활발히 진행되고 있다. 또한 이 모델을 이용한 문턱전압의 분석, 드레인유기장벽감소 현상 및 문턱전압이하 스윙의 분석은 많은 연구가 진행되고 있다[1]. Tiwari 등은 포아송방정식을 풀 때, 가장 실험치에 근사한 가우스함수를 전하분포함수로 이용하여 해석학적 전위분포모델을 제시하고 이를 이용하여 해석학적 문턱전압모델을 유도하였다. 이 결과는 이차원시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 결과를 보였다. 본 연구에서는 Tiwari의 해석학적 전위분포 모델과 스켈링 이론을 이용하여 문턱전압이하 특성을 분석하고자 한다. 특히 가우스함수의 파라미터인 이온주입범위 및 분포편차에 따라 스켈링 이론이 문턱전압이하 특성에 미치는 영향을 분석함으로써 스켈링 이론과 문턱전압이하 특성의 관계를 보다 자세히 고찰하고자 한다.

II. 이론 및 결과고찰

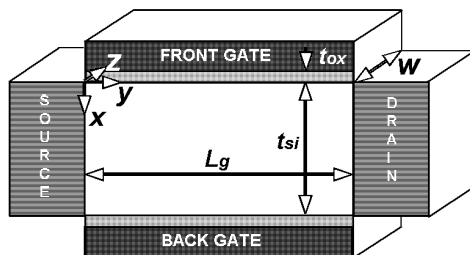


그림 1. DGMOSFET의 개략도

그림 1은 DGMOSFET의 개략도이다. 도시한 바와같이 x, y 방향에 대해서만 전위분포를 구할 것이다. 즉, 채널폭 방향인 z 방향으로의 전위분포는 거의 일정하므로 [2] x, y 방향의 2차원 전위분포만을 다음과 같은 포아송방정식을 이용하여 구한다.

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

여기서 ϵ_{si} 는 실리콘의 유전율이며 $n(x)$ 는 채널내 도핑분포함수로서 식(2)와 같은 가우시안 분포함수를 이용하였다.

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

여기서 N_p 는 이온주입시 도즈량에 의하여 결정되는 최대 도핑분포값이며 R_p 와 σ_p 는 각각 이온주입의 범위 및 분포편차를 나타낸다. 식 (1)과 (2)를 풀기 위하여 Tiwari 등의 전개방법을 이용하면 전위분포를 구할 수 있다. 이렇게 구한 전위분포 중, 게이트산화막과 반도체와의 계면에서 표면전위를 구하고 이의 최소값을 구하면 문턱전압을 구할 수 있다.

디지털소자에서 매우 중요한 요소인 문턱전압이하 스윙은 차단전류가 10배 변화할 때 게이트전압의 변화로 정의된다. 문턱전압이하 스윙이 커지면 감소율이 작아지므로 OFF상태로 진행하는데 상당한 시간이 요구될 뿐만아니라 차단상태에서 기생전류가 증가하며 소자특성에 악영향을 미치게 된다. 그러므로 문턱전압이하 스윙은 100mV/dec이하의 작은 값을 유지하여야만 한다.

드레인유기장벽감소는 드레인전압이 소스측 에너지장벽에 영향을 미치는 정도를 나타내는 척도로서 단채널에서 나타나는 효과이다.

일반적인 스켈링 이론에 따라 전기적 출력 특성을 유지하기 위하여 채널길이, 채널두께, 게이트산화막두께, 채널폭 등을 스켈링 인자 S 배 만큼 감소시켰을 때 채널도핑농도는 S^2 배만큼 증가시켜야 한다. 그러므로 본 연구에서는 스켈링 이론의 타당성 여부를 문턱전압이하 특

성과 가우스함수의 모양을 결정짓는 이온주입 범위 그리고 분포편차 등의 변화에 대하여 고찰할 것이다.

III. 가우스함수에 따른 문턱전압이하특성의 변화

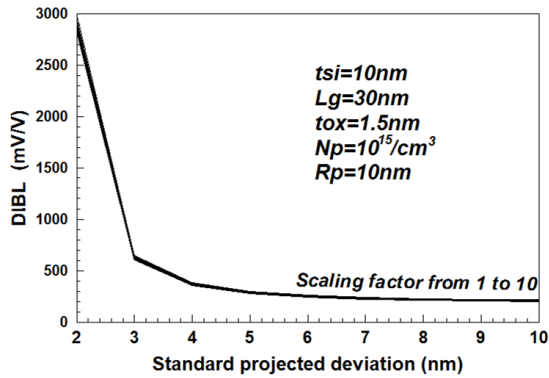


그림 2. 스켈링 인자를 파라미터로 한 이온주입 범위에 따른 문턱전압의 변화

그림 2에 이온주입범위가 1에서 10까지 변화할 때 스켈링 인자를 파라미터로하여 구한 문턱전압을 도시하였다. 이온주입범위가 증가할수록 문턱전압은 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 스켈링 인자가 증가할수록 문턱전압이 증가하였다.

분포편차에 대한 문턱전압의 변화를 관찰하기 위하여 그림 3에 스켈링 인자를 파라미터로 하였을 때 분포편차의 변화에 대한 문턱전압의 변화를 도시하였다. 이온주입범위의 경우와는 달리 분포편차가 증가할수록 그리고 스켈링 인자가 증가할수록 문턱전압도 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 분포편차가 5nm이상에서는 문턱전압이 거의 일정한 값을 유지하는 것을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 가우스분포함수의 형태에 따라 DG MOSFET에 스켈링이론을 적용하였을 때 문턱전압이하특성의 변화를 분석하였다. 이때 가우시안 함수의 변수인 이온주입범위 및 분포편차에 대하여 문턱전압이하 특성의 변화를 관찰하였다. DG MOSFET에 스켈링이론을 적용한

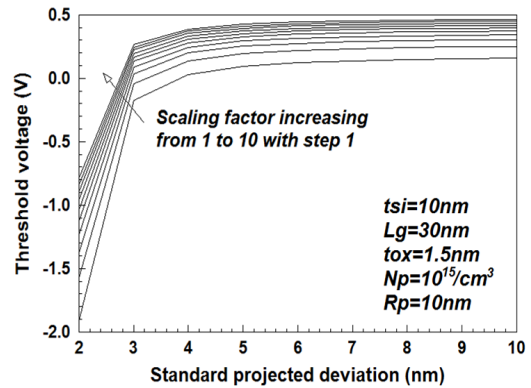


그림 3. 스켈링 인자를 파라미터로 한 분포편차에 따른 문턱전압의 변화

결과, 가우스함수의 형태에 따라 문턱전압 특성이 매우 크게 변화하였으며 드레인유도장벽 감소현상은 스켈링인자에 따라서 거의 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] P.K. Tiwari, S. Kumar, S. Mittal, V. Srivastava, U. Pandey and S. Jit, "A 2D Analytical Model of the Channel Potential and Threshold Voltage of Double-Gate(DG) MOSFETs with Vertical Gaussian Doping Profile," IMPACT-2009, pp.52-55, 2009.
- [2] D.S.Havaladar, G.Katti, N.DasGupta and A.DasGupta, "Subthreshold Current Model of FinFETs Based on Analytical Solution of 3-D Poisson's Equation," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 53, no.4, 2006.
- [3] H.K.Jung, "Analysis of Doping Profile Dependent Threshold Voltage for DG MOSFET Using Gaussian Function," International Journal of KIMICS, Vol.9, No.3, pp.310-314, 2011.