

---

# DGMOSFET의 항복전압에 관한 연구

정학기  
군산대학교 전자공학과

## A Study on Breakdown Voltage of Double Gate MOSFET

Hakkee Jung  
Department of Electronic Eng., Kunsan National University

### 요 약

본 연구에서는 DGMOSFET의 항복전압에 대하여 고찰할 것이다. 이를 위하여 포아송방정식의 분석학적 해를 이용하였으며 Fulop의 항복전압 조건을 사용하였다. DGMOSFET는 게이트길이가 나노단위까지 사용가능한 소자로서 단채널효과를 감소시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 단채널에서 나타나는 항복전압의 감소는 피할 수 없으므로 이에 대한 연구가 필요하다. 포아송방정식을 풀 때 사용하는 전하분포함수에 가우시안 함수를 적용함으로써 보다 실험값에 가깝게 해석하였으며 이때 이중게이트 MOSFET의 소자크기에 따라 항복전압의 변화를 관찰하였다. 본 연구의 전위모델에 대한 타당성은 이미 기존에 발표된 논문에서 입증하였으며 본 연구에서는 이 모델을 이용하여 항복전압을 분석할 것이다. DGMOSFET의 항복전압을 관찰한 결과, 채널길이가 감소할수록 그리고 도핑농도가 증가할수록 항복전압이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 게이트산화막두께 및 채널두께에 따라서 항복전압의 변화가 관찰되었다.

### Abstract

This paper have presented the breakdown voltage for double gate(DG) MOSFET. The analytical solution of Poisson's equation and Fulop's breakdown condition have been used to analyze for breakdown voltage. The double gate(DG) MOSFET as the device to be able to use until nano scale has the advantage to reduce the short channel effects. But we need the study for the breakdown voltage of DGMOSFET since the decrease of the breakdown voltage is unavoidable. To approximate with experimental values, we have used the Gaussian function as charge distribution for Poisson's equation, and the change of breakdown voltage has been observed for device geometry. Since this potential model has been verified in the previous papers, we have used this model to analyze the breakdown voltage. As a result to observe the breakdown voltage, the smaller channel length and the higher doping concentration become, the smaller the breakdown voltage becomes. Also we have observed the change of the breakdown voltage for gate oxide thickness and channel thickness.

### 키워드

DGMOSFET, 항복전압, 채널길이, 가우스함수, 포아송방정식, 채널두께, 게이트산화막두께

### I. 서론

이중게이트(double gate ; DG) MOSFET는 두 개의 게이트 단자에 의한 전류제어능력의 향상에 의하여 기존의 CMOSFET에 비하여 단채널효과를 감소시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 기존의 CMOSFET는 20nm이하에서 심각한 단채널효과 때문에 더 이상 소자를 미세화하는데 어려움을 겪고 있다. 소자의 미세화로 인하여 발생하는 단채널효과는 문턱전압의 이동, 문턱전압이하 스윙의 저하 등 뿐만 아니라 항복전압의 감소가 있다. 항복전압은 역바이어스 상태에서 소자를 보다 안정적으로 사용할 수 있는 특성으로써 에벌런치(avalanche) 항복이나 터널링(tunneling)에 의한 항복 현상이 있다. 그러나 도핑농도가 일정수준이하에서는 터널링항복보다는 에벌런치 항복이 더욱 중요하게 된다. 단채널에서는 항복전압이 감소하여 역방향으로 바이어스시 항복현상이 발생하지 않도록 주의하여야한다. 그러나 최근 생산성향상 및 소자성능향상 그리고 가격경쟁력 향상 등을 이유로 소자의 미세화는 필연적인 요소가 되었다. 이중게이트 MOSFET는 단채널효과로 알려진 문턱전압의 이동현상, 문턱전압이하 스윙특성의 저하 및 드레인유기장벽감소현상 등을 기존 CMOSFET소자보다 감소시킬 수 있다는 장점이 있으나 나노단위로 제작하기 때문에 항복전압 감소가 가장 큰 문제가 되고 있는 요소들이다. 그러므로 항복전압의 감소 효과를 정확히 파악하고 분석함으로써 이중게이트 MOSFET 설계시 설계규칙으로 이용하여야만 한다. 이중게이트 MOSFET에 대한 해석은 주로 포아송 방정식의 해석학적인 전위분포를 구하여 이의 타당성을 분석하는데 집중되고 있다. Tiwari 등은 실험치에 근사한 결과를 구하기 위하여 전하분포함수로 가우스함수를 이용하여 해석학적 전위분포를 구하고 이의 타당성을 이차원 수치해석적 해와 비교하여 입증하였다[1]. 이에 본 연구에서는 Tiwari의 전위분포모델을 이용할 것이다. 또한 Fulop의 항복조건을 이용하여 항복전압을 구할 것이다[2]. 이와같이 구한 이중게이트 MOSFET의 항복전압을 채널길이, 게이트산화막두께, 그리고 채널도핑 및 두께 등의 소자파라미터에 따라 계산함으로써 정확한 항복전압을 예측할 수 있도록 분석할 것이다.

### II. 이론 및 결과고찰

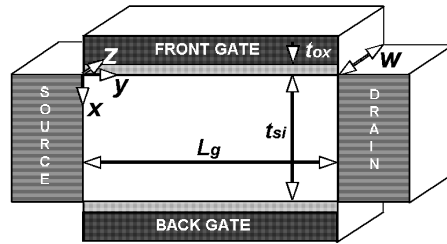


그림 1. DGMOSFET의 개략도

그림 1은 DGMOSFET의 개략도이다. 도시한 바와같이  $x, y$ 방향에 대해서만 전위분포를 구할 것이다. 즉, 채널폭 방향인  $z$ 방향으로의 전위분포는 거의 일정하므로[3]  $x, y$  방향의 2차원 전위분포만을 다음과 같은 포아송방정식을 이용하여 구한다.

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

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

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

여기서  $N_p$ 는 이온주입시 도즈량에 의하여 결정되는 최대 도핑분포값이며  $R_p$ 와  $\sigma_p$ 는 각각 이온주입의 범위 및 분포편차를 나타낸다. 식 (1)과 (2)를 풀기 위하여 Tiwari 등의 전개방법을 이용하면 구할 수 있다.

항복전압을 구하기 위하여 Fulop의 항복조건을 이용하였다. Fulop의 항복조건은 다음과 같다.

$$1.8 \times 10^{-35} \int_0^{L_g} \left(-\frac{d\phi_s}{dy}\right)^7 dy = 1 \tag{3}$$

식 (3)를 만족하는 드레인전압을 구하여 항복전압으로 정의하므로써 항복전압을 구할 수 있다. 본 연구에서는 식(3)을 풀기 위하여

Simpson의 법칙을 이용하였다.

### III. DGMOSFET의 항복전압 분석

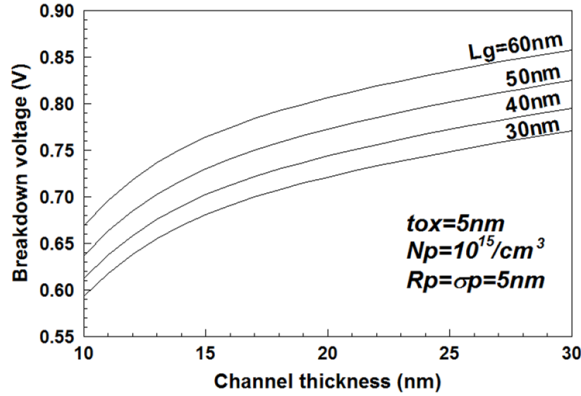


그림 2. 채널두께에 대한 항복전압의 변화

그림 2는 채널두께의 변화에 대한 항복전압의 변화를 채널길이를 파라미터로 구한 그래프이다. 채널두께와 채널길이가 증가할수록 항복전압은 증가하는 것을 알 수 있다. 채널길이에 따라 채널두께에 대한 증가율도 거의 일정하다는 것을 관측할 수 있다.

그림 3에 채널길이에 대한 변화를 좀더 자세히 관찰하기 위하여 게이트산화막의 두께를 파라미터로하여 항복전압을 도시하였다. 결과적으로 채널길이가 감소할수록 항복전압도 감소하는 것을 알 수 있었으며 게이트산화막의 두께가 증가할수록 항복전압은 더욱 크게 나타나고 있었다. 또한 채널길이가 작아지면 게이트산화막의 변화에 대하여 거의 영향을 받지 않다가 채널길이가 증가하며 게이트산화막두께에 따라 항복전압의 변화가 더욱 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 채널길이가 상대적으로 큰 영역에서 게이트산화막 두께의 증가에 따른 항복전압의 증가율은 점점 작아진다는 것을 관찰할 수 있다.

### IV. 결론

본 연구에서는 DGMOSFET의 항복전압에 대하여 고찰하였으며 이를 위하여 포아송방정식의 해석학적 해를 이용하였으며 Fulop의 항복전압 조건을 사용하였다. DGMOSFET는 게이트길이가 나노단위까지 사용가능한 소자로서 단채널효과를 감소시킬 수 있다는 장점이 있다.

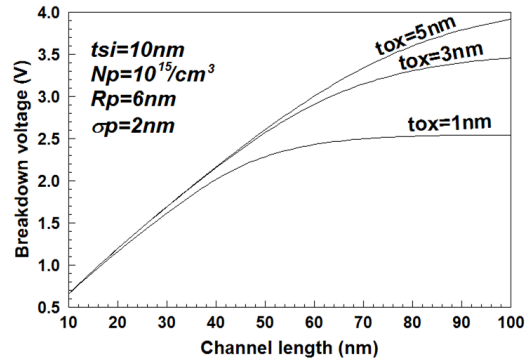


그림 3. 채널길이에 대한 항복전압의 변화

그러나 단채널에서 나타나는 항복전압의 감소는 피할 수 없으므로 이에 대한 연구가 필요하다. DGMOSFET의 항복전압을 관찰한 결과, 채널길이가 감소할수록 그리고 도핑농도가 증가할수록 항복전압이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 게이트산화막두께가 증가할수록 항복전압은 증가하였으며 채널두께가 증가할때도 항복전압은 증가하였다. 특히 채널두께가 작을 때 도핑농도가 증가하면 급격히 항복전압이 감소하므로 설계시 주의하여야한다. 이와같은 결과는 향후 DGMOSFET의 항복현상 연구의 기초로 사용될 수 있으리라 사료된다.

### 참고 문헌

- [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] W.Fulop, "Calculation of Avalanche Breakdown Voltages of Silicon p-n Junctions," Solid-State Electronics, vol.10, pp.39-43, 1967.
- [3] 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.