소자파라미터에 따른 DGMOSFET의 항복전압분석

정 학 기*

Analysis for Breakdown Voltage of Double Gate MOSFET according to Device Parameters

Hakkee Jung*

요 약

DGMOSFET의 항복전압에 대하여 고찰하였으며 이를 위하여 포아송방정식의 분석학적 해 및 Fulop의 항복전압 조건을 사용하였다. DGMOSFET는 게이트단자의 전류제어능력 향상으로 단채널 효과를 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 게이트산화막 두께 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 has the advantage to reduce the short channel effects as improving the current controllability of gate. 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

Key word

DGMOSFET, breakdown voltage, channel length, Gaussian function, Poisson equation, channel thickness, gate oxide thickness

* 종신회원 : 군산대학교 (교신저자, hkjung@kunsan.ac.kr)

접수일자 : 2012. 09. 03

심사완료일자 : 2012. 10. 08

이와 같이 구한 이중게이트 MOSFET의 항복전압을 채널길이, 게이트산화막 두께, 그리고 채널도핑 및 두

2장에서는 포아송방정식의 해석학적 모델 및 Fulop의 항복조건에 대하여 설명할 것이며 3장에서 이 모델을 이용하여 구한 항복전압을 고찰 할 것이다. 또한 4장에서 결론을 맺고자 한다.

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

여기서 N_p 는 이온주입 시 도즈 량에 의하여 결정되는 최대 도핑 분포값이며 R_p 와 σ_p 는 각각 이온주입의 범위 및 분포편차를 나타낸다. 식 (1)과 (2)를 풀기 위하여 Tiwari 등의 전개방법을 이용하면 식 (3)과 같은 전위 분포를 구할 수 있다. 이미 발표한 논문에서 전위분포 관련식에 관하여 검증하였다[6].

$$\phi_s = F \exp(y/\lambda) + G \exp(-y/\lambda) + V_G - V_{fb} - \lambda^2 q N_p \exp(-B^2)/\epsilon \epsilon_{Si} \quad (3)$$

여기서 B, λ, F, G 는 참고문헌[6]에 나와 있으며 F 와 G 상수에 드레인 전압 V_D 가 포함되어 있다는 것을 알 수 있다. V_G 는 게이트인가전압, V_{fb} 는 평탄 전압이다.

항복전압을 구하기 위하여 Fulop의 항복조건을 이용하였다. Fulop의 항복조건은 식 (4)와 같다. 식 (4)에서 알 수 있듯이 적분은 반도체 표면전계를 포함하고 있다.

$$1.8 \times 10^{-35} \int_0^{L_g} \left(-\frac{d\phi_s}{dy} \right)^7 dy = 1 \quad (4)$$

식 (4)를 만족하는 드레인 전압을 구하여 항복전압으로 정의함으로써 항복전압을 구할 수 있다. 본 연구에서는 식 (4)를 풀기 위하여 Simpson의 법칙을 이용하였다[7].

III. DGMOSFET의 항복전압 분석

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. 그러나 채널두께가 증가함에 따라 증가율은 포화되는 경향을 보이고 있었다.

그림 2. 채널두께에 대한 항복전압의 변화
Fig. 2 The variation of breakdown voltage for the channel thickness

그림 3에 채널길이에 대한 변화를 좀더 자세히 관찰하기 위하여 게이트산화막의 두께를 파라미터로 하여 항복전압을 도시하였다. 결과적으로 채널길이가 감소할수록 항복전압도 감소하는 것을 알 수 있었으며 게이트산화막의 두께가 증가할수록 항복전압은 더욱 크게 나타나고 있었다. 즉 단채널 효과에 의하여 채널길이감소가 항복전압에 커다란 영향을 미치고 있었다.

그림 3. 채널길이에 대한 항복전압의 변화
Fig. 3 The variation of breakdown voltage for the channel length

그림 4. 게이트산화막 두께에 대한 항복전압의 변화

Fig. 4 The variation of breakdown voltage for the gate oxide thickness

또한 채널길이가 작아지면 게이트산화막의 변화에 대하여 거의 영향을 받지 않다가 채널길이가 증가하면 게이트산화막의 두께에 따라 항복전압의 변화가 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 그러나 채널길이가 상대적으로 큰 영역에서 게이트산화막 두께의 증가에 따른 항복전압의 증가율은 점점 작아진다는 것을 관찰할 수 있다.

게이트산화막의 두께 변화에 대한 항복전압의 변화를 좀더 자세히 고찰하기 위하여 그림 4에 채널두께를 파라미터로 하여 게이트산화막두께 변화에 대한 항복전압의 변화를 도시하였다. 결과적으로 게이트산화막 두께가 증가할수록 항복전압도 증가하는 것을 알 수 있었다. 그림 2에서도 언급한 바와같이 채널두께의 증가는 항복전압의 증가를 야기시킨다. 그러나 증가율은 채널두께가 증가할수록 감소하는 것을 관찰할 수 있다.

기존의 PN접합에서는 저 농도로 도핑된 영역의 도핑 농도가 증가할수록 항복전압은 감소한다. 이중게이트 MOSFET에서 이와 같은 효과를 관찰하기 위하여 채널 두께를 파라미터로 하여 도핑농도의 변화에 대한 항복전압의 변화를 그림 5에 도시하였다. 채널도핑농도가 증가할수록 항복전압은 감소하였으며 감소정도는 채널두께에 따라 변화하였다.

그림 5. 채널두께를 파라미터로 관찰한 도핑농도에 대한 항복전압의 변화

Fig. 5 The variation of breakdown voltage for the doping concentration with a parameter of channel thickness

특히 채널두께가 10nm정도로 매우 작을 때는 도핑농도의 증가에 따라 항복전압이 급격히 감소하므로 설계시 매우 주의하여야 한다. 채널두께가 증가하면 전술한 바와 같이 항복전압이 증가하나 도핑농도가 증가하면 항복전압이 급격히 감소하며 채널두께에 대한 항복전압의 증가율도 감소한다는 것을 알 수 있다.

그림 6. 게이트산화막 두께를 파라미터로 관찰한 도핑농도에 대한 항복전압의 변화

Fig. 6 The variation of breakdown voltage for the doping concentration with a parameter of gate oxide thickness

도핑농도에 대한 항복전압의 변화를 게이트산화막 두께를 파라미터로 관찰한 결과를 그림 6에 도시하였다. 게이트산화막 두께에 따라 도핑농도에 대한 항복전압의 변화가 다양하게 나타나고 있다. 게이트산화막 두께가 6nm로 비교적 작을 때는 도핑농도에 따른 항복전압의 변화가 거의 나타나고 있지 않았다. 그러나 항복전압이 너무 작아 소자 제작 시 문제를 야기시킬 수 있을 것이다. 게이트산화막 두께가 10nm까지 증가하면 도핑농도가 작을 경우는 항복전압이 일정하게 유지되다가 도핑농도가 더욱 증가하면 항복전압도 급격히 감소하고 있다는 것을 관찰할 수 있다. 이와 같이 게이트산화막 두께 및 도핑농도 그리고 채널길이 및 채널두께에 따라 항복전압은 다양하게 변화하고 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 DGMOSFET의 항복전압에 대하여 고찰하였으며 이를 위하여 포아송방정식의 해석학적 해를 이용하였으며 Fulop의 항복전압 조건을 사용하였다. DGMOSFET는 채널길이가 나노단위까지 감소하여도 게이트의 전류제어 능력을 증가시켜 단채널 효과를 감소시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 단채널에서 나타나는 항복전압의 감소는 피할 수 없으므로 본 연구에서는 채널의 크기 및 도핑농도의 변화에 대하여 항복전압의 변화를 관찰하였다. DGMOSFET의 항복전압을 관찰한 결과, 채널길이가 감소할수록 그리고 도핑농도가 증가할수록 항복전압이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 게이트산화막 두께가 증가할수록 항복전압은 증가하였으며 채널두께가 증가할 때 도핑농도가 증가하면 급격히 항복전압이 감소하므로 설계 시 주의하여야 한다. 이와 같은 결과는 향후 DGMOSFET의 항복현상 연구의 기초로 사용될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

- [1] M.Schwarz, T.Holtij, A.Kloes and B.Iniguez, "2D Analytical Framework for Compact Modeling of the Electrostatics in Undoped DG MOSFETs," 18th International conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, Poland, 16-18th June, pp.405-410, 2011
- [2] H.Mohammad, H.Abdullah, C.F.Dee, P.S.Menon and B.Y.Majlis, "A New Analytical Model for Lateral Breakdown Voltage of Double-gate Power MOSFETs," IEEE-RSM2011, Malaysia, 28-30th Sep., pp.92-95, 2011.
- [3] 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," India, 14-16th Mar., IMPACT-2009, pp.52-55, 2009.
- [4] W.Fulop, "Calculation of Avalanche Breakdown Voltages of Silicon p-n Junctions," Solid-State Electronics, vol.10, pp.39-43, 1967.
- [5] 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.
- [6] H.K.Jung, "Analysis of Doping Profile Dependent Threshold Voltage for DGMOSFET Using Gaussian Function," International Journal of KIMICS, Vol.9, No.3, pp.310-314, 2011.
- [7] H.K.Jung, "The Analysis of Breakdown Voltage for Double Gate MOSFET Using Gaussian Doping Distribution," JICCS, Vol.9, No.3, pp.310-314, 2012.

저자소개

정 학 기(Hak Kee Jung)

1983.3 아주대학교
전자공학과 B.S.

1985.3 연세대학교
전자공학과 M.S.

1990.8 연세대학교 전자공학과 Ph.D

1995.8 일본 오사카대학 교환교수

2005.8 호주 그리피스대학 교환교수

1990.3-현재 군산대학교 전자공학과 교수

2013.1-현재 한국정보통신학회 수석부회장

※ 관심분야: 반도체소자 시뮬레이션, 몬테칼로
시뮬레이션, 회로및 시스템 해석 등