Uzbek Journal of Physics
Vol.21(№1) 2019 PP.50-52

ВЛИЯНИЕ БОКОВОГО РАСШИРЕНИЯ ЗАТВОРА НА КОРОТКОКАНАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОМЕТРОВОМ КНИ FinFET-ТРАНЗИСТОРЕ

А.Э. Абдикаримов[1], А. Юсупов[2], А.Э. Атамуратов[1]

[1]Ургенчский государственный университет, Ургенч, Узбекистан
abdukarimov.azamat@rambler.ru
[2]Ташкентский университет информационных технологий, Ташкент, Узбекистан
(Получена 23.07.2018)

Наноўлчамли, асоси турли шаклидаги КНИ технологиясида ясалган FinFET транзистор затворининг её тамонга кенгайишининг бўсаға кучланишга ва қисқа канал эффектларига таъсири моделлаштирилган. Жумладан затвор кенгайишининг DIBL эффектига, ўтиш характеристикасининг тиклигига тескари катталик SS ва транзистор бўсаға кучланишларига таъсири ўрганилган. Затвор ён тамонига кенгайиши билан DIBL ва SS нинг камайиши аниқланган. Бўсаға кучланишда деярлик ўзгаришлар кузатилмаган.

Моделируется влияние бокового расширения затвора на пороговое напряжение и короткоканальные эффекты в КНИ FinFET транзисторе. Рассматривается транзистор с различной формой базы. Показано, что боковое расширение приводит к уменьшению DIBL эффекта и SS. Наименьшие и наибольшие значения DIBL и SS наблюдаются для транзистора с треугольным и прямоугольным поперечными сечениями. Пороговое напряжение практически не изменяется.

Influence of gate lateral extension on the threshold voltage and short-channel effects in SOI FinFET with different shape are simulated by Advanced TCAD Sentaurus method. It is shown gate lateral extension practically is not influence to threshold voltage and DIBL and SS is decreased with increasing the extension. Lowest and highest DIBL and SS are observed for transistor with triangular and rectangular cross section correspondingly.

Плавниковые вертикальные транзисторы на основе технологии кремний-на-изоляторе (КНИ FinFET транзисторы) предполагают сравнительно малые короткоканальные эффекты [1, 2], в частности, DIBL (Drain Induced Barrier Lowering) эффект и изменение крутизны переходной подпороговой характеристики SS (Subthreshold Swing), при уменьшении линейных размеров (длины канала). Однако при использовании этих транзисторов в интегральных схемах в цепочке с другими транзисторами может возрасти влияние паразитных емкостей на характеристики транзистора, которое часто не принимается во внимание. Паразитные емкости могут изменяться при изменении размеров различных составляющих частей транзистора, в частности, при изменении формы канала, возможного при технологических флуктуациях. В данной работе моделируется влияние бокового расширения затвора L_{ext} на пороговое напряжение, DIBL эффект и SS в КНИ FinFET с различной формой канала. Рассматривались три формы канала: треугольная призма, усеченная треугольная призма и параллелепипед, продольное сечение которых образует соответственно треугольник, трапецию и прямоугольник.

Структура рассматриваемого транзистора представлена на рис. 1. Длина поликремниевого затвора (G), легированного бором концентрацией 10^{20} см$^{-3}$, равна

L_{gate} =10 нм. В качестве оксидного слоя взят HfO_2 с эквивалентной толщиной t_{ox}=0.35 нм. Толщина скрытого оксидного слоя T_{box}=30 нм. Плавник транзистора легирован бором концентрацией 10^{15} см$^{-3}$ и имеет ширину W_b=10 нм, стоковая и истоковая области легированы фосфором с гауссовским профилем с максимальной концентрацией 10^{20} см$^{-3}$. Длина каждой из областей стока и истока составляет 10 нм.

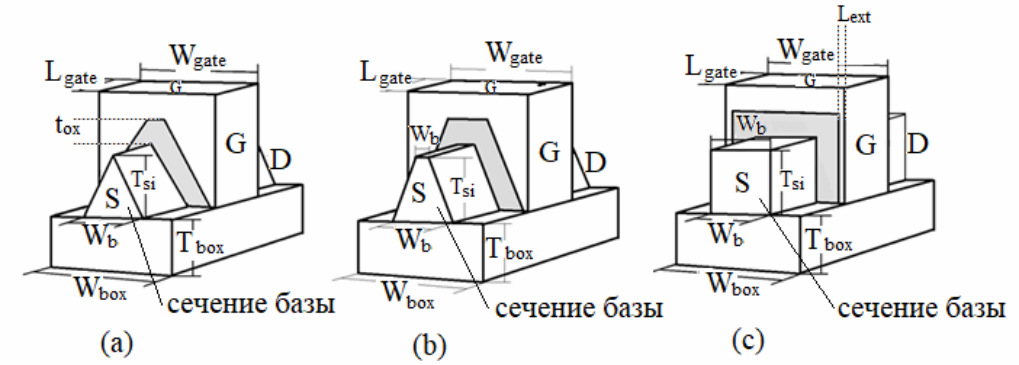


Рис. 1. Моделируемая структура КНИ FinFET транзистора с различной формой канала: треугольное сечение (*a*), трапециевидное сечение (*b*), прямоугольное сечение (*c*). W_{gate} – ширина затвора, L_{gate} – длина затвора, T_{Si} – толщина плавника, T_{box} – толщина скрытого оксидного слоя, W_t – верхняя ширина плавника, W_b – нижняя ширина плавника, W_{box} – ширина скрытого оксидного слоя, t_{ox} – толщина оксидного слоя, L_{ext} – боковое расширение затвора,G – затвор, S – исток, D – сток.

3D моделирование влияния бокового расширения затвора L_{ext} на пороговое напряжение V_{th}, DIBL и SS проводили с использованием программы Advanced TCAD Sentaurus [3]. При моделировании использовалась диффузионно-дрейфовая модель, а также учитывалась рекомбинация Шокли-Рида-Холла и Оже рекомбинация для неосновных носителей. Включалась также модель зависимости подвижности от концентрации легирования и насыщения скорости. Так как размеры

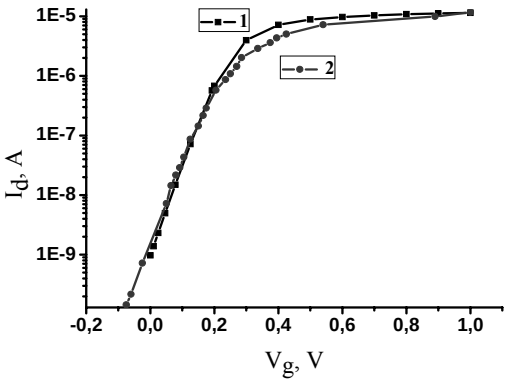


Рис. 2. Калибровка моделируемого транзистора (*1*) экспериментальными результатами работы [7] (*2*) при L_{gate} = 25 нм и V_{ds} = 50 мВ., V_{ds} – напряжение между истоком и стоком.

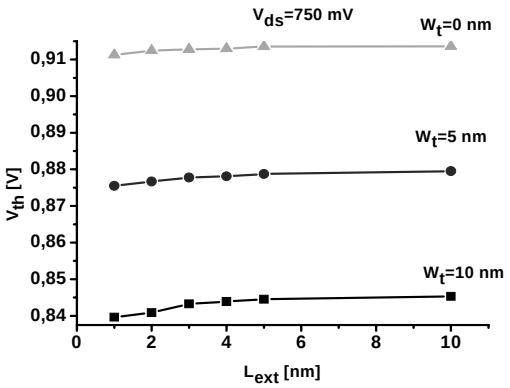


Рис. 3. Зависимость порогового напряжения V_{th} от бокового расширения затвора $L_{ext,}$ измеренная при V_{ds}=0.75 V для различных сечений канала.

транзистора имеют нанометровые масштабы, необходимо принимать во внимание квантовые эффекты. Наиболее предпочтительной квантовой корректировкой при диффузионно-дрейфовом моделировании является квантовая корректировка по градиенту плотности (density gradient quantum correction) [4, 5, 6], которая и использована в данной работе. Для этого используемая модель калибровалась экспериментальными результатами работы [7] (рис. 2).

Результаты моделирования представлены на рис. 3, 4 и 5. Как видно, наибольшее значение порогового напряжения наблюдается для треугольного сечения. Для прямоугольного сечения пороговое значение является сравнительно наименьшим и оно для значений L_{ext} до 5 нм монотонно и незначительно увеличивается и затем достигает насыщения (рис. 3).

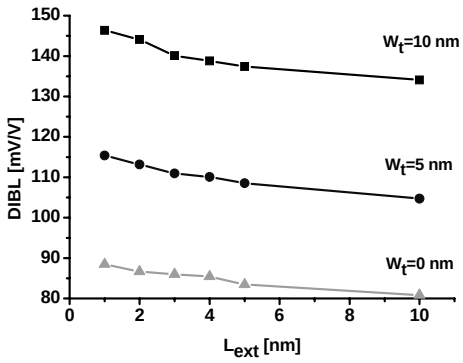


Рис. 4. Зависимость DIBL эффекта от бокового расширения затвора L_{ext}.

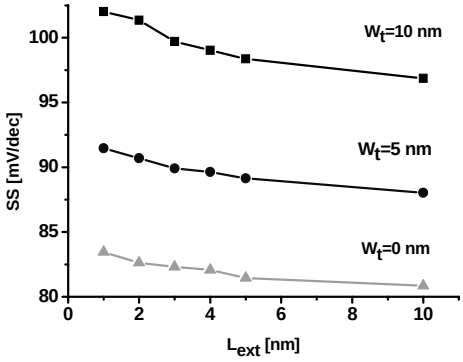


Рис. 5. Зависимость SS эффекта от бокового расширения затвора L_{ext}.

DIBL эффект и SS также зависят от сечения канала и имеют наименьшее значение для треугольного сечения и наибольшее для прямоугольного сечения. Для всех трех сечений DIBL эффект и SS монотонно уменьшаются с увеличением бокового расширения L_{ext}.

Наблюдаемые изменения V_{th}, DIBL и SS, очевидно, связаны с изменениями паразитных емкостей между стоковой (истоковой) и затворной областями и емкости оксидного слоя (переход затвор-подложка). Изменения емкостей, связанных с изменением размеров этих областей, влияют на распределение потенциала между истоком и стоком, что приводит к изменению рассматриваемых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Veeraraghavan and J.G. Fossum, IEEE Transactions on Electron Devices **36**, No 3, 522 (1989).
2. I. Ferain, C.A. Colinge, and J-P. Colinge, Nature **479**, 310 (2011).
3. http://www.synopsys.com
4. A. Loureiro, N. Seoane, M. Aldegunde, A. Asenov, A. Martinez, and K. Kalna, IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems **30**, No 6, 841 (2011).
5. A. Asenov, A. Brown, J. Watling, Solid State Electron. **47**, No 7, 1141 (2003).
6. C. Falco, E. Gatti, A. Lacaita, R. Sacco, J. Comput. Phys. **204**, No 4, 533 (2005).
7. V.S. Basker, T. Standaert, H. Kawasaki et al., Symposium on VLSI Technology, Digest of Technical Papers p. 19 (2010).