

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ HiSIM ДЛЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Проведен анализ электрических моделей и методов экстракции их параметров. С использованием экстрагированных значений параметров моделей HiSIM2 и HiSIM-IGBT были получены вольт-амперные характеристики, соответствующие экспериментальным данным, что свидетельствует об эффективности исследуемой методики экстракции и внесенных усовершенствований.

Модель HiSIM основана на решении уравнения Пуассона в предположении, что толщина инверсионного слоя равна нулю, и в приближении плавного канала. Эти допущения позволяют получить аналитические зависимости для всех характеристик транзистора в виде функции от поверхностного потенциала у истока и стока [1].

Модель HiSIM2 решает уравнение Пуассона численными методами, что позволяет точно воспроизвести производные тока стока по напряжениям на затворе и стоке. Многие модели МОП-транзисторов используют нефизические параметры для сглаживания электрических характеристик при переходах между различными режимами работы. Модель HiSIM2 использует только один набор уравнений с физическими параметрами, адекватно описывающий функционирование приборов во всех режимах работы. Понятие поверхностного потенциала позволяет получить одно общее выражение для суммы диффузионного и дрейфового тока, что исключает необходимость применения сглаживающих функций.

Структура биполярного транзистора с изолированным затвором (БТИЗ, англ. *Insulated-gate bipolar transistor, IGBT*) сочетает в себе биполярный транзистор с МОП-структурой, что приводит к проблемам при создании компактных моделей. Поскольку выходной ток IGBT на коллекторе описывается биполярной теорией токопереноса, существующие модели были разработаны главным образом как расширения биполярной составляющей IGBT. Среди существующих моделей, стандартной стала модель Хефнера в связи с ее точным описанием распределения носителей в базовой области для моделирования динамических характеристик. Модель HiSIM-IGBT расширяет подход Хефнера. В связи с тенденцией к более высокой скорости переключения, влиянием управляющего полевого транзистора на динамику IGBT больше нельзя пренебречь, поэтому современная модель HiSIM2 используется в качестве основы для описания МОП-транзистора [2].

Посредством использования модуля UTMOST программного комплекса Silvaco проведена экстракция параметров модели HiSIM2 для *n*-МОП-транзисторов, изготовленных по технологии, обеспечивающей минимальную длину канала 90 нм и модели HiSIM-IGBT. При этом использовалась стратегия экстракции с применением метода оптимизации Левенберга-Марквардта [3]. Для экстракции параметров модели HiSIM-IGBT был использован транзистор с длиной затвора 14,9 мкм. На рисунке 1 представлены результаты технологического моделирования и вольт-амперные характеристики, рассчитанные с использованием экстрагированных параметров модели HiSIM-IGBT. Для экстракции параметров модели HiSIM2 был использован набор МОП-транзисторов с различной длиной канала (90 нм, 130 нм, 180 нм, 500 нм, 1 мкм, 2 мкм, 5 мкм, 10 мкм). На рисунке 2 представлена структура *n*-МОП-транзистора с длиной канала 90 нм и вольт-амперные характеристики МОП-транзистора, рассчитанные с использованием экстрагированных параметров модели HiSIM2 [4].

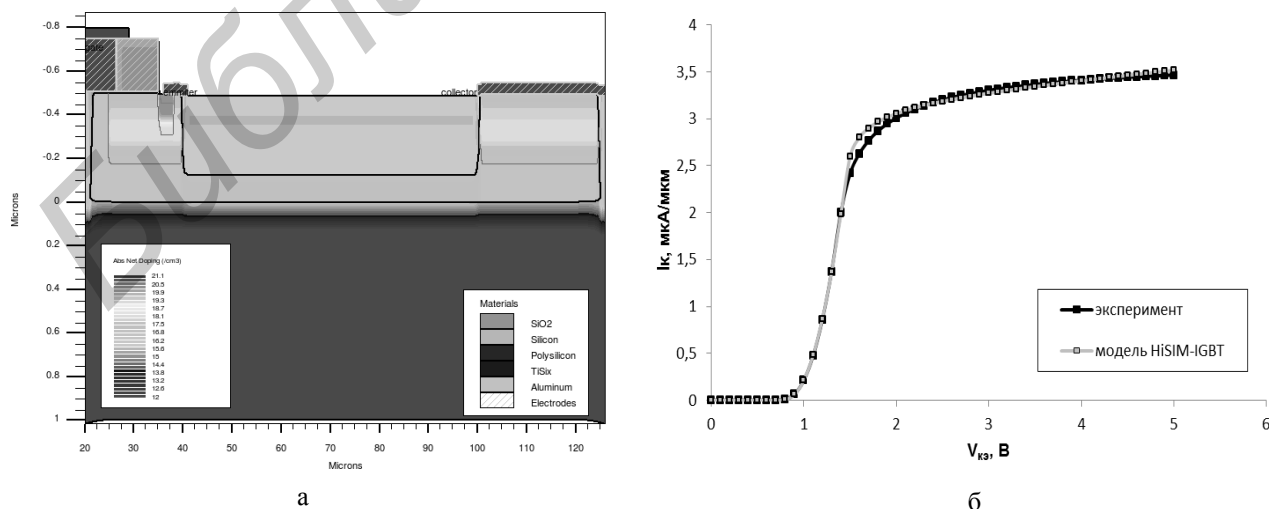


Рисунок 1 – Структура БТИЗ с длиной затвора 14,9 мкм: результаты моделирования (а), результаты экстракции параметров модели HiSIM-IGBT (б)

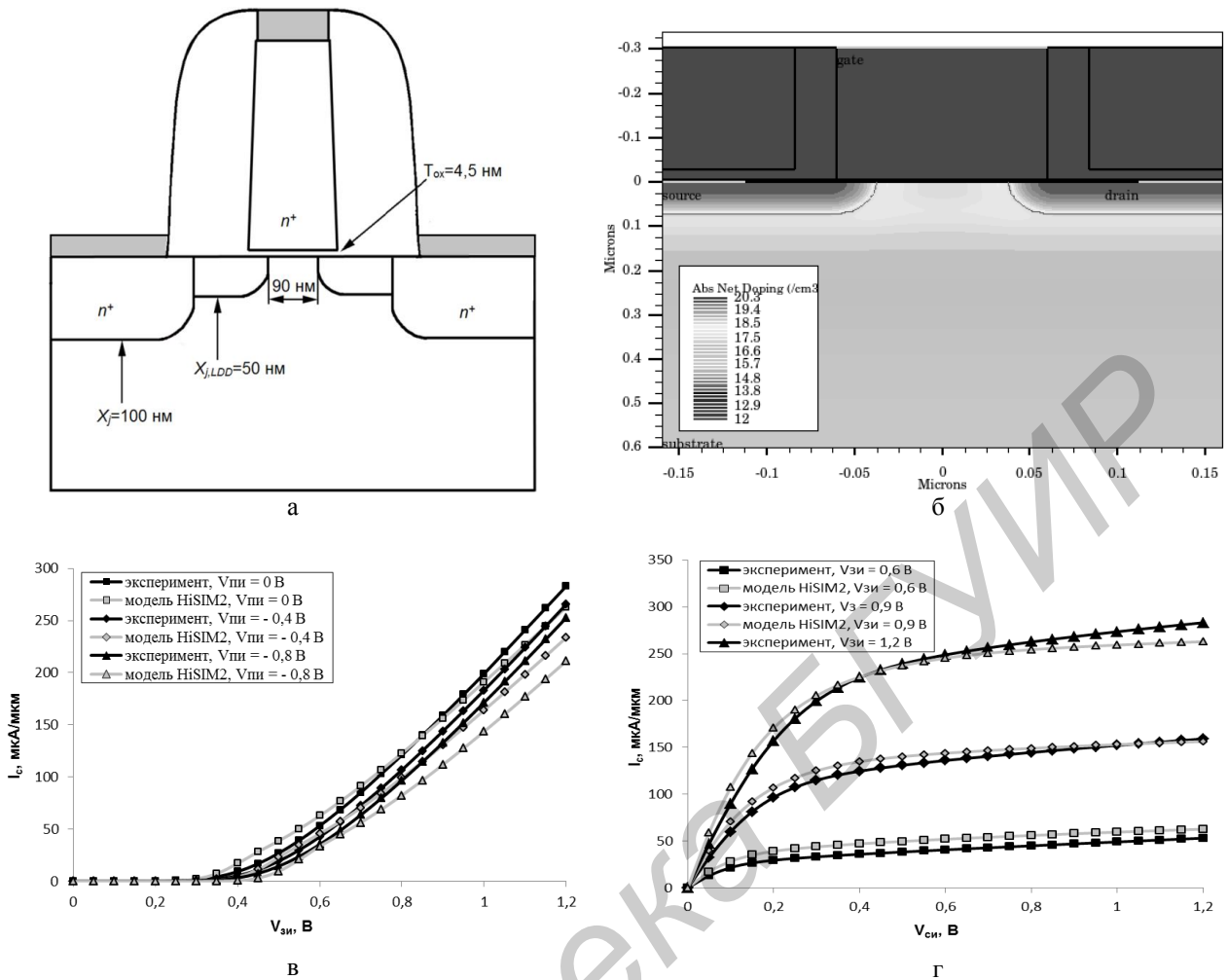


Рисунок 2 – Структура *n*-МОП-транзистора с длиной канала 90 нм: схематичное изображение (а), результаты моделирования (б), результаты экстракции параметров модели HiSIM2 (в, г)

С использованием усовершенствованной стратегии проведена процедура экстракции параметров моделей HiSIM2 и HiSIM-IGBT. Относительная погрешность вольт-амперных характеристик, рассчитанных с использованием экстрагированного набора параметров моделей HiSIM-IGBT и HiSIM2, в сравнении с экспериментальными данными составила не более 6,5% и 7% соответственно.

Список литературы

1. Денисенко, В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике / В. Денисенко. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 408 с.
2. Mattausch, H. The HiSIM compact model family for integrated devices containing a surface-potential MOSFET core / H.J. Mattausch, M. Miura-Mattausch, N. Sadachika, M. Miyake // Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, 2008. MIXDES 2008. – P. 39 – 50.
3. Miura-Mattausch, M. The physics and modeling of MOSFETs. Surface-potential model HiSIM / M. Miura-Mattausch, H. J. Mattausch, T. Ezaki // Singapore, Hackensack : World Scientific Pub., 2008. – 352 p.
4. Utmost IV User's Manual, 2015.

An analysis of electric models and methods extraction their parameters was conducted. Using the values extracted parameters HiSIM2 and HiSIM-IGBT models were obtained current-voltage characteristics, corresponding the experimental data, which demonstrate the effectiveness of the investigated extraction method and made improvements.

Ханько Вероника Томашевна, магистрант, БГУИР, Минск, Беларусь, nika.hanko@mail.ru.

Научный руководитель – Стелмицкий Виктор Романович, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники, БГУИР, Минск, Беларусь, vstem@bsuir.by.