

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЙ ВАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ТРАНЗИСТОРА СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ

Н. Л. Лагунович¹, д. т. н. А. С. Турцевич², д. ф.-м. н. В. М. Борздов³

¹ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»;

²Министерство промышленности; ³Белорусский государственный университет
Республика Беларусь, г. Минск
office@bms.by

Приведены результаты приборно-технологического моделирования биполярного транзистора со статической индукцией (БСИТ), выполненного с помощью программного пакета SUPREM3 фирмы Silvaco и разработанного авторами программного комплекса MOD-1D, в котором использована разработанная авторами одномерная модель прибора. Представлены также результаты измерений ВАХ экспериментальных образцов БСИТ и выполнено их сравнение с расчетными данными.

Ключевые слова: биполярный транзистор со статической индукцией, приборно-технологическое моделирование, фундаментальная система уравнений полупроводника, вольт-амперная характеристика, пороговое напряжение.

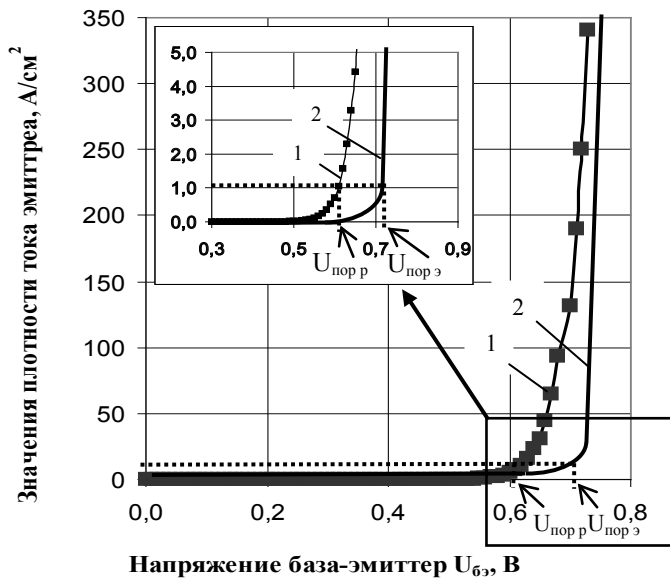
Биполярный транзистор со статической индукцией (БСИТ) представляет собой структуру с коротким каналом, работающую на полевом эффекте, которая может применяться как в качестве дискретного прибора, так и в составе высоковольтных схем различного назначения, в частности в составе микросхем AC/DC- и DC/DC-конвертеров, LED-драйверов, широко используемых в современной светотехнике. В работе представлены результаты приборно-технологического моделирования БСИТ с коэффициентом усиления при включении по схеме с общим эмиттером не менее 200, пробивным напряжением «коллектор — эмиттер» свыше 100 В, напряжением «коллектор — эмиттер» в режиме насыщения не менее 0,3 В.

Структура такого транзистора создается на кремниевой пластине n^+ -типа с эпитаксиальным слоем n -типа. Области p -базы и p^+ -омических контактов к ней формируются путем ионного легирования бором через маску нитрида кремния и его последующей разгонки при температуре $(1200\pm 2)^\circ\text{C}$. Область эмиттера n^+ -типа создается посредством ионного легирования мышьяком в свободную от локального оксида поверхность кремния, который в рассматриваемом случае выполняет роль маскирующего покрытия при формировании эмиттера и обеспечивает надежную изоляцию областей p^+ - и n^+ -типа друг от друга. После формирования p -базы и n^+ -эмиттера наносится слой поликремния с целью создания контакта к высоколегированной области эмиттера. Роль коллектора в описываемой структуре выполняют эпитаксиальный слой и сама кремниевая пластина.

Описанный технологический маршрут моделировался с применением программного пакета SUPREM3 фирмы Silvaco [1], а результаты этого моделирования послужили входными данными для дальнейшего приборного моделирования транзистора с помощью разработанного авторами программного комплекса MOD-1D [2]. В основе одной из программ MOD-1D лежит разработанная авторами одномерная модель БСИТ в диффузионно-дрейфовом приближении, базирующаяся на фундаментальной системе уравнений полупроводника [3, 4], в состав которой входят уравнение Пуассона, уравнения непрерывности для электронов и дырок, дополненные выражениями для электронной и дырочной составляющих плотности тока. Модель [4] также учитывает механизмы рекомбинации, описываемые уравнением Шокли — Рида — Холла, и Оже-рекомбинации [5], а также процессы генерации носителей заряда вследствие межзонной ударной ионизации Келдыша [6].

По результатам моделирования БСИТ был разработан оригинальный технологический маршрут его изготовления [7], получены экспериментальные образцы прибора и измерена его ВАХ для случая

диодного включения транзистора (коллектор закорочен с базой). На рисунке представлены вольт-амперные характеристики БСИТ, полученные расчетным и экспериментальным путями. Активная площадь исследуемого транзистора равна $3 \times 3 \text{ мм}^2$, то есть при токе эмиттера 100 мА плотность тока составит примерно 1 А/см^2 (см. вставку на рисунке). Из рисунка видно, что при токе эмиттера 100 мА расчетное значение порогового напряжения БСИТ $U_{\text{пор п}} = 0,61 \text{ В}$, а измеренное на экспериментальных образцах значение $U_{\text{пор э}}$ оказалось равным $0,72 \text{ В}$. Разность между расчетными и экспериментальными величинами составила $0,11 \text{ В}$, или 18%.



Расчетная (1) и экспериментальная (2) зависимости тока эмиттера БСИТ от напряжения «база — эмиттер» при напряжении «база — коллектор» $U_{\text{бк}} = 3 \text{ В}$

Таким образом, выполненное в рамках данной работы одномерное моделирование, позволило определить такие режимы технологического маршрута формирования БСИТ, при которых значения электрических параметров прибора соответствуют заданным величинам с достаточной для производства транзистора точностью (до 18%). Кроме того, вышеупомянутое одномерное приборно-технологическое моделирование позволило сократить затраты машинного времени не менее, чем в 3 раза по сравнению с затратами, необходимыми для выполнения двухмерного моделирования, выполняемого с помощью программного обеспечения фирмы Silvaco.

Таким образом, выполненное в рамках данной работы одномерное моделирование, позволило определить такие режимы технологического маршрута формирования БСИТ, при которых значения электрических параметров прибора соответствуют заданным величинам с достаточной для производства транзистора точностью (до 18%). Кроме того, вышеупомянутое одномерное приборно-технологическое моделирование позволило сократить затраты машинного времени не менее, чем в 3 раза по сравнению с затратами, необходимыми для выполнения двухмерного моделирования, выполняемого с помощью программного обеспечения фирмы Silvaco.

машинного времени не менее, чем в 3 раза по сравнению с затратами, необходимыми для выполнения двухмерного моделирования, выполняемого с помощью программного обеспечения фирмы Silvaco.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. <http://www.silvaco.com>.
2. Компьютерная программа MOD-1D: а. с. 742 Респ. Беларусь / Н.Л. Лагунович; зап. в Реестре зарегистрированных в Нац. центре интеллектуал. собственности комп. программ 10.03.15.
3. Польский Б.С. Численное моделирование полупроводниковых приборов.— Рига: Зинатне, 1986.
4. Лагунович Н.Л., Турцевич А.С., Борздов В.М. Приборно-технологическое моделирование биполярного транзистора со статической индукцией // Труды XVIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии».— Украина, Одесса.— 2017.— С. 87 — 88.
5. Нелаев В.В., Стемпицкий В.Р. Основы САПР в микроэлектронике: уч. пособие.— Минск: БГУИР, 2008.
6. Келдыш Л.В. Кинетическая теория ударной ионизации в полупроводниках // ЖЭТФ.— 1960.— Т. 37, вып. 3.— С. 713—727.
7. Лагунович Н.Л., Турцевич А.С., Борздов В.М. Новый технологический маршрут изготовления биполярного транзистора со статической индукцией // Труды XVIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии».— Украина, Одесса.— 2016.— С. 150 — 151.

N. L. Lagunovich, A. S. Turtsevich, V. M. Borzdov

Results of the device-process simulation and CVC measurements of a static induction transistor sample

The paper presents the results of device-process simulation of the bipolar static induction transistor (BSIT). The BSIT device-process simulation was performed using the SUPREM3 software package by Silvaco, and the MOD-1D package developed by the authors. MOD-1D package uses a one-dimensional model of the device developed by the authors. The measurement results of volt-ampere characteristic of BSIT experimental samples are presented and compared with the calculated data.

Keywords: bipolar static induction transistor, device-process simulation, fundamental system of semiconductor equations, volt-ampere characteristic, threshold voltage.