

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ЗАТВОРА НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕПЛОВУЮ СТОЙКОСТЬ ПТШ

СЛИПЧЕНКО Н.И., УНЖАКОВ Д.А., ЗУЕВ С.А.,
ГРИБСКИЙ М.П., СТАРОСТЕНКО В.В.

Приводятся и анализируются результаты численных исследований влияния размеров затвора и расстояния исток-сток на статические вольт-амперные характеристики, а также на электрическую и тепловую стойкость полевых транзисторов с затвором Шоттки на GaAs, работающих в напряженных электрических и тепловых режимах.

1. Введение

Геометрические размеры электродов полевых транзисторов с затвором Шоттки в дискретном исполнении или в качестве активного микроструктурного элемента микросхем, как правило, выбираются в зависимости от назначения на основании в достаточной степени обоснованных численно-аналитических моделей, экспериментальных исследований и возможностей технологии их изготовления.

Длина затвора в ПТШ выбирается исходя из назначения и частотного диапазона прибора и определяет геометрию активной области, в частности, длину канала. Соотношение длины затвора и расстояния исток-сток является определяющим как для быстродействия и частотных характеристик прибора, так и для электрической и тепловой стойкости ПТШ. Обычно при исследовании характеристик прибора ограничиваются номинальными режимами работы. При воздействии статического электричества, электромагнитного излучения, при сбоях в работе питающих устройств полупроводниковые приборы работают в напряженных токовых и тепловых режимах, которые могут приводить к их катастрофическому отказу.

Исследования по влиянию длины затвора при фиксированных расстояниях исток-сток на ВАХ и стойкость ПТШ с коротким каналом ранее не проводились.

В работах [1, 2] рассмотрена численно-аналитическая модель ПТШ субмикронных размеров на GaAs с использованием метода крупных частиц, позволяющая учесть как свойства полупроводниковых материалов, так и электрические и тепловые процессы в ПТШ.

Целью данной работы являются исследования на численно-аналитической модели, использующей метод крупных частиц, влияния длины затвора на статические ВАХ ПТШ и электротепловые процессы в напряженных токовых и тепловых режимах (критериальную зависимость стойкости ПТШ Вунша-Белла).

2. Основные соотношения для модели ПТШ

В основу модели ПТШ положено кинетическое уравнение Больцмана [3, 4]. В качестве исходной в численно-аналитической модели была использована следующая система уравнений:

кинетическое уравнение Больцмана:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + (\vec{v} \vec{\nabla}_r f) + \frac{1}{\hbar} (\vec{F}_i \vec{\nabla}_k f) = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_i,$$

уравнение Пуассона: $\Delta \varphi = -\frac{1}{\epsilon} (\rho(\vec{r}) - \sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i)$ и уравнение теплопроводности

$$cd \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right] + q(x, y, t),$$

где f – функция распределения носителей по энергии и импульсам; \vec{v}_i – скорость носителей заряда e_i ; \vec{F}_i – сила, действующая на заряд со стороны внешнего электромагнитного поля и остальных носителей заря-

да, $\left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_i$ – интеграл столкновений; ρ – плотность объемного заряда, создаваемого ионами кристаллической решетки; $\sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i$ – плотность объемного

заряда, создаваемого свободными носителями тока, c – удельная теплоемкость кристалла; T – температура кристалла; d – плотность кристалла; $K(T)$ – коэффициент теплопроводности; $q(x, y, t)$ – плотность источников тепловыделения, которая связана с интегралами рассеяния.

Подробно модель ПТШ на GaAs, приближения и особенности ее численной реализации для исследования физических процессов рассмотрена в работах [1, 2]. В перенапряженных режимах работы транзистора необходимо учесть процессы распределения тепла в различных частях активной области ПТШ и процессы генерации избыточных пар электрон-дырка, способные приводить к лавинному пробое. В [3, 4] предложенная модель дополнена уравнением теплопроводности для анализа процессов локализации и распространения тепла в активной области, что дает возможность исследования работы ПТШ в перенапряженных режимах. Для учета генерации избыточных пар электрон-дырка введен дополнительный механизм рассеяния. В результате акта ионизации при достижении электроном достаточной энергии происходит рассеяние первичного электрона с образованием неравновесной пары электрон – дырка. Соответственно, при моделировании физики процессов лавинообразования в ПТШ учтена динамика ансамбля неравновесных дырок. При учете движения дырок использовалась дрейфовая модель переноса дырок с учетом зависимости дрейфовой скорости от напряженности поля и температуры кристалла.

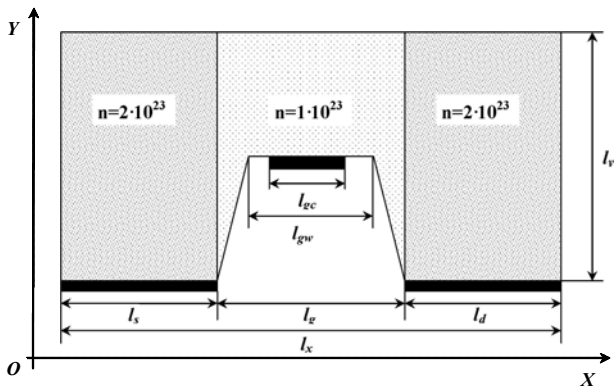


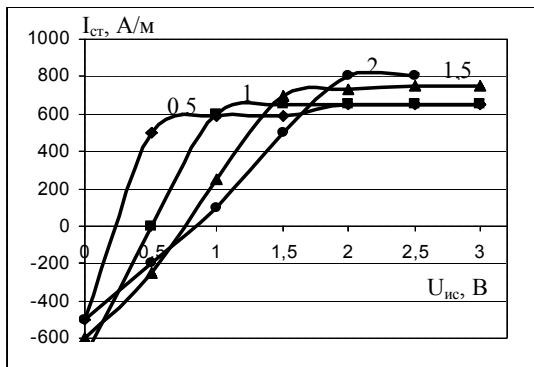
Рис. 1. Геометрия ПТШ и распределение примесей

Данная система уравнений решалась методом крупных частиц с соответствующими граничными и начальными условиями. Геометрия и уровни легирования активной области ПТШ представлены на рис. 1.

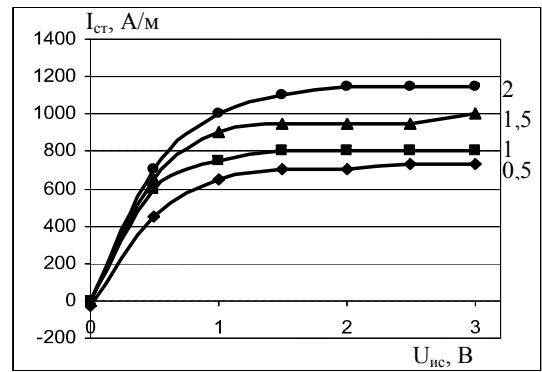
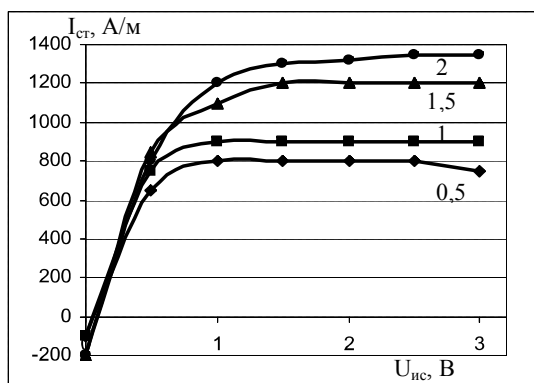
3. Результаты численного моделирования

Для определения влияния длины затвора на статические ВАХ ПТШ проведены серии численных экспериментов для длин активной области $l_x = 10^{-6}$ м и $l_x = 2 \cdot 10^{-6}$ м. В процессе исследования сохранялись постоянными соотношения $l_s/l_d/l_g = 1/1/1$, $l_x/l_y = 2/1$. При фиксированной длине канала и активной области l_x соотношение l_{gc}/l_{gw} принимало значения 1, 3, 5.

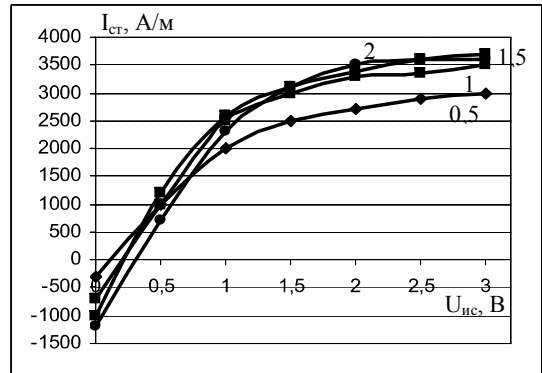
Полученные в результате численных расчетов ВАХ представлены на рис. 2.



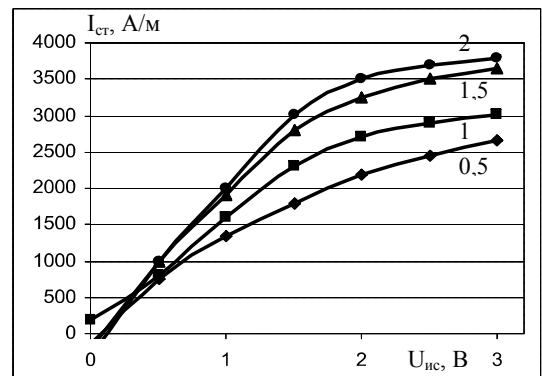
а



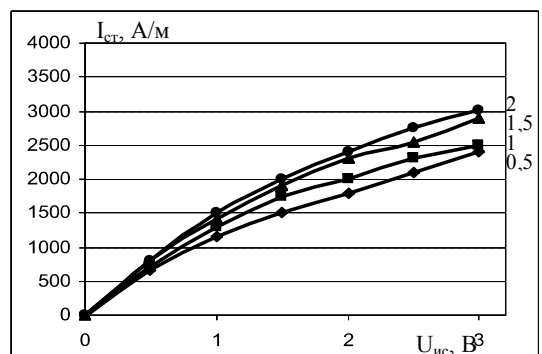
в



г



д



е

Рис. 2. ВАХ ПТШ с различными соотношениями l_{gc}/l_{gw} : а, б, в – с длиной активной области $l_x = 10^{-6}$ м; г, д, е – $l_x = 2 \cdot 10^{-6}$ м

Линейная плотность тока стока в ВАХ на рис.2 в А/м (ось ординат), напряжение сток-исток – вольты (ось абсцисс). Числами над кривыми в рис.2 указаны значения напряжения на затворе.

Из полученных характеристик видно, что рабочий диапазон достигает наибольшего значения при $I_{gc}/I_{gw} = 3$. Уменьшение или увеличение ширины контакта в области затвора приводит к уменьшению крутизны и ухудшению характеристик. Если контакт занимает всю область затвора, то его влияние на ширину канала оказывается достаточно сильным, и малое изменение потенциала вызывает высокий скачок тока. В случае, когда контакт занимает малую часть области затвора, его влияние проявляется слабо, что приводит к снижению чувствительности прибора. Из рис.2 следует, что типичными и наиболее используемыми на практике являются соотношения длины затвора к длине канала в пределах 0,4 – 0,6.

Для выявления критериальной зависимости Вунша-Белла проводились исследования ПТШ с длиной активной области $l_x = 2 \cdot 10^{-6}$ м и соотношениями I_{gc}/I_{gw} 1, 2 и 3, при этом эффективная длина затвора составляла 0.32, 0.13 и 0.06 мкм соответственно.

В качестве критерия выхода транзистора из строя принималось условие достижения кристаллом локальной температуры плавления. Результаты численных расчетов показаны на рис.3.

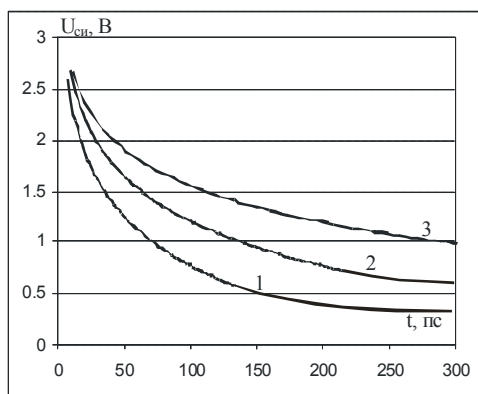


Рис.3. Критериальные характеристики Вунша-Белла (1, 2, 3 – I_{gc}/I_{gw})

Как видно из рис.3, с уменьшением I_{gc}/I_{gw} время выхода транзистора из строя падает. Это обусловлено снижением расстояния между электродами стока и затвора и, следовательно, увеличением напряженности поля в области канала. На участке свыше 1.5В лавинный пробой переходит в тепловой, что в конечном итоге приводит к тепловому пробую ПТШ. В целом можно констатировать, что стойкость ПТШ увеличивается с уменьшением длины затвора при фиксированной длине канала.

4. Выводы

Исследования влияния длины затвора на ВАХ показали, что исходя из наилучшей управляемости, соотношение длины затвора к расстоянию исток-сток не должно быть меньше 0.4. Из анализа критериальных характеристик стойкости ПТШ следует, что это соотношение не должно превышать 0.6, в противном случае вероятность выхода транзистора из строя в результате внешнего воздействия увеличивается. Следовательно, наиболее рационально использовать ПТШ с размерами длины затвора, лежащей в пределах 0.4-0.6 расстояния исток-сток.

Литература: 1. Зуев С.А., Шадрин А.А., Старостенко В.В. Модель расчета полевых транзисторов на GaAs субмикронных размеров // Радиотехника. 2001. Вып. 121. С.146-152. 2. Зуев С.А., Шадрин А.А. Исследование свойств СВЧ полевого транзистора на GaAs, связанных с междолинными переходами носителей // Радиоэлектроника и информатика. 2001. №2. С.19-20. 3. Зуев С.А., Терещенко В.Ю., Старостенко В.В., Шадрин А.А. Влияние тепловых процессов на дрейфовые характеристики полупроводниковых структур // Радиофизика и электроника. 2004. Т.9, №1. С.271-274. 4. Зуев С.А., Старостенко В.В., Терещенко В.Ю., Чурюмов Г.И., Унжаков Д.А., Григорьев Е.В. Лавинный пробой в полевых транзисторах с затвором Шоттки на GaAs по результатам численного моделирования // Прикладная радиоэлектроника. 2005. Т.4, №3. С.353-356.

Посупила в редколлегию 13.09.2007

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Гордиенко Ю.Е.

Слипченко Николай Иванович, проф., проректор по научной работе ХНУРЭ. Научные интересы: моделирование полупроводниковых приборов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Унжаков Дмитрий Александрович, аспирант каф. радиофизики и электроники ТНУ. Научные интересы: моделирование полупроводниковых приборов. Адрес: Украина, 95022, Симферополь, ул.Б.Куна, 27, кв.127.

Зуев Сергей Александрович, канд. техн.наук, старший преподаватель каф. радиофизики и электроники ТНУ. Научные интересы: моделирование полупроводниковых приборов. Адрес: Украина, 95004, Симферополь, ул.Киевская, 127, кв.35.

Грибский Максим Павлович, аспирант каф. радиофизики и электроники ТНУ. Научные интересы: экспериментальные исследования деградационных процессов в микроструктурных элементах интегральных микросхем при воздействии электромагнитных полей. Адрес: Украина, 95053, Симферополь, ул. Бетховена, 113, кв.88.

Старостенко Владимир Викторович, д-р физ.-мат. наук, зав. каф. радиофизики и электроники ТНУ. Научные интересы: моделирование вакуумных и твердотельных устройств СВЧ, исследование деградационных процессов в различных объектах и средах при воздействии электромагнитных полей. Адрес: Украина, 95022, Симферополь, ул. Б.Куна, 31, кв.13, раб. тел.: (8-0652) 23-03-60.