

**М.И. Черных¹, В.А. Фиронов², А.Н. Цоцорин³, Б.К. Петров¹,
В.И. Дикарев³, В.А. Кожевников³**

¹ ФГБОУ ВПО «Воронежский Государственный Университет»

² ФГБОУ ВПО «Воронежская Государственная Лесотехническая Академия»

³ ОАО «Научно-исследовательский институт электронной техники»

Моделирование влияния параметров буферного слоя на характеристики полевых транзисторов с затвором Шоттки на основе карбида кремния

Проведено моделирование влияния технологических параметров буферного p-слоя на электрические характеристики полевых транзисторов с затвором Шоттки на основе карбида кремния. Даны зависимости порогового напряжения, сопротивления канала и тока насыщения полевого транзистора от уровня легирования и толщины буферного слоя.

Ключевые слова: карбид кремния, полевой транзистор с затвором Шоттки

В последнее десятилетие наблюдается быстрое развитие элементной базы на основе карбида кремния. Неоднократно сообщалось о создании силовых и мощных СВЧ приборов на основе этого материала. Интерес к приборам на карбиде кремния обусловлен его уникальными свойствами, такими как ширина запрещенной зоны, высокая теплопроводность и большая величина критического поле пробоя [1]. Одним из основных типов мощных СВЧ приборов на основе карбида кремния являются полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТШ). Конструктивно данный тип транзисторов формируется на эпитаксиальных структурах на основе полуизолирующего монокристаллического карбида кремния. Основными эпитаксиальными слоями обычно являются буферный p-слой и каналный n-слой [2]. Кроме этого для формирования омического контакта к областям стока и истока выполняют ионную имплантацию, либо формируют ещё один высоколегированный n-слой. Ионная имплантация позволяет сохранить планарность транзисторной структуры, но из-за технологических трудностей формирование легированных областей в карбиде кремния не всегда возможно.

В данной работе проводилось моделирование ПТШ на основе карбида кремния с помощью программы Sentaurus TCAD. Проведено исследование влияния параметров p-буферного слоя на основные электрические параметры ПТШ. Параметры канального слоя выбраны исходя из литературных данных [3, 4]. При этом толщина канального слоя ПТШ на основе карбида кремния обычно составляет 0.3-0.5 мкм, при концентрации легирующей примеси $1-2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Для исследования взяты комбинации толщины канала 0.3 и уровней легирования $1 \cdot 10^{17}$ и $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, толщины канала 0.5 мкм и уровнем легирования $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Для создания омического контакта к областям стока и истока использовался эпитаксиальный слой толщиной 0.3 мкм и степенью легирования $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [5]. Затвор, длиной 1.5 мкм, формировался путем создания выпрямляющего контакта с помощью никеля. Длина канала транзистора выбрана 10 мкм. Поверхность кристалла над канальной областью пассивирована оксидом кремния (рис. 1). Толщины

буферного слоя принимались равными 0,5; 1; 3 и 6 мкм. Концентрация примеси р-типа (алюминия) в буферном слое варьировалась от $7 \cdot 10^{13}$ до $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

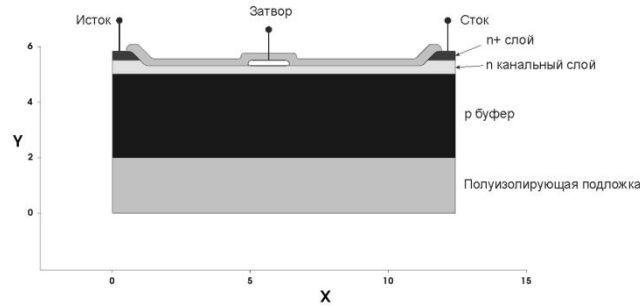


Рисунок 1

Результаты моделирования зависимости порогового напряжения от концентрации легирующей примеси в буферном слое представлены на рис. 2. При значениях толщины 0,5 и 1 мкм в зависимости можно выделить три основных участка: участок без значительных изменений порогового напряжения при концентрациях 10^{14} - 10^{15} см^{-3} , второй участок, на котором наблюдается резкое уменьшения абсолютного значения порогового напряжения при концентрации 10^{14} - 10^{16} см^{-3} и участок насыщения характеристики, на котором при увеличении концентрации свыше 10^{16} см^{-3} пороговое напряжение изменяется в пределах 10%. Графики, соответствующие различным толщинам буфера, в первую очередь различаются длиной и крутизной второй области характеристики. При толщине 3 и 6 мкм в исследованный диапазон концентраций наблюдаются только две последние области, область с резким изменением порогового напряжения и область насыщения.

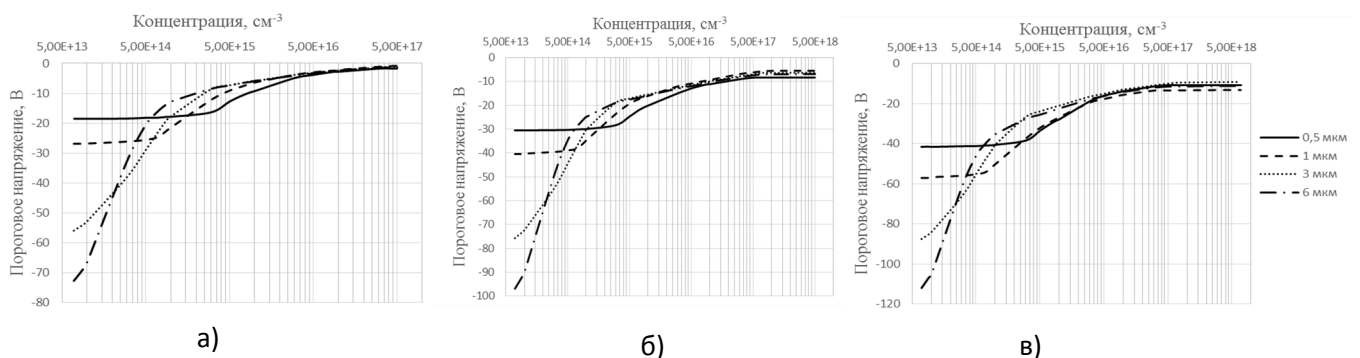


Рисунок 2. Зависимость порогового напряжения от концентрации примеси в буферном слое толщиной 0,5; 1; 3 и 6 мкм а) толщина канала ПТШ 0,3 мкм, концентрация азота в канале $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; б) толщина канала ПТШ 0,3 мкм, концентрация азота в канале $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; в) толщина канала ПТШ 0,5 мкм, концентрация азота в канале $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

На рисунке 3 приведены расчетные значения сопротивления сток-исток ПТШ. На рисунке 3а резкий рост сопротивления при значениях концентрации легирующей примеси в буферном слое объясняется полным перекрытием канала транзистора областью пространственного заряда.

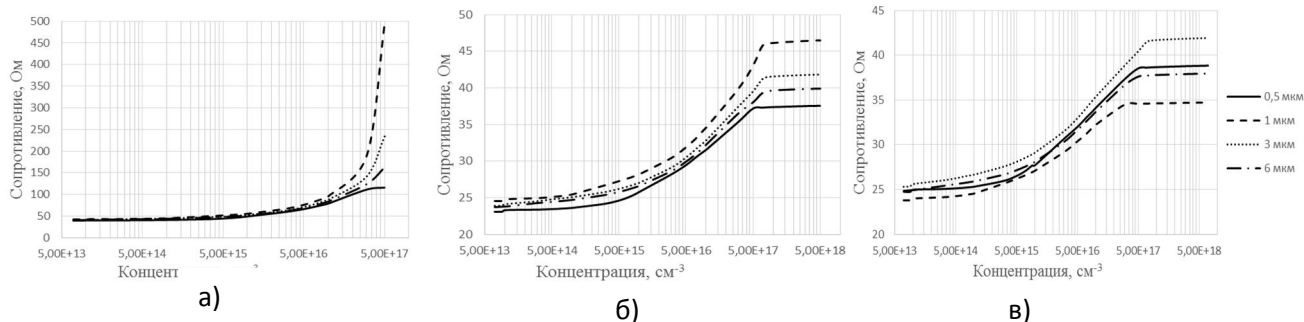


Рисунок 3. Зависимость сопротивления сток-исток от концентрации примеси в буферном слое толщиной 0,5; 1; 3 и 6 мкм а) толщина канала ПТШ 0,3 мкм, концентрация примеси в канале $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; б) толщина канала ПТШ 0,3 мкм, концентрация примеси в канале $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; в) толщина канала ПТШ 0,5 мкм, концентрация примеси в канале $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Уровень легирования буферного слоя влияет на вид выходной характеристики ПТШ. Если при значениях концентрации ниже значения, лежащего для всех групп экспериментов в пределе 10^{16} см^{-3} , выходная характеристика транзистора не имеет участка с ярко выраженным насыщением, другими словами ток стока продолжает зависеть от напряжения сток-исток, то при его превышении на участке насыщения зависимость от напряжения исчезает и ток становится неизменным (рис. 4).

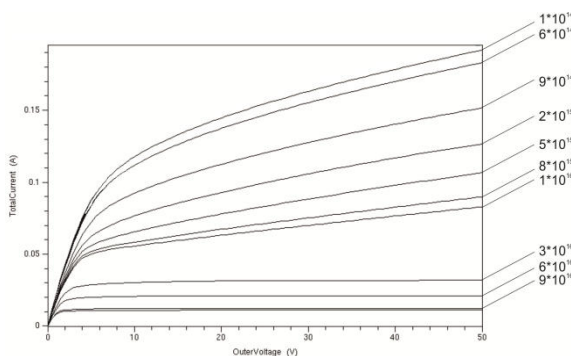


Рисунок 4. Выходные характеристики ПТШ с концентрацией канального слоя $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, толщиной канала 0,3 мкм и толщиной буферного слоя 3 мкм при различных значениях концентрации легирующей примеси в буферном слое.

На рисунке 5 представлена зависимость удельного тока стока при напряжении сток-исток 50 В и нулевом смещении на затворе от концентрации легирующей примеси в буферном слое. Приведенные графики имеют область насыщения при значениях концентрации легирующей примеси буферного слоя выше $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

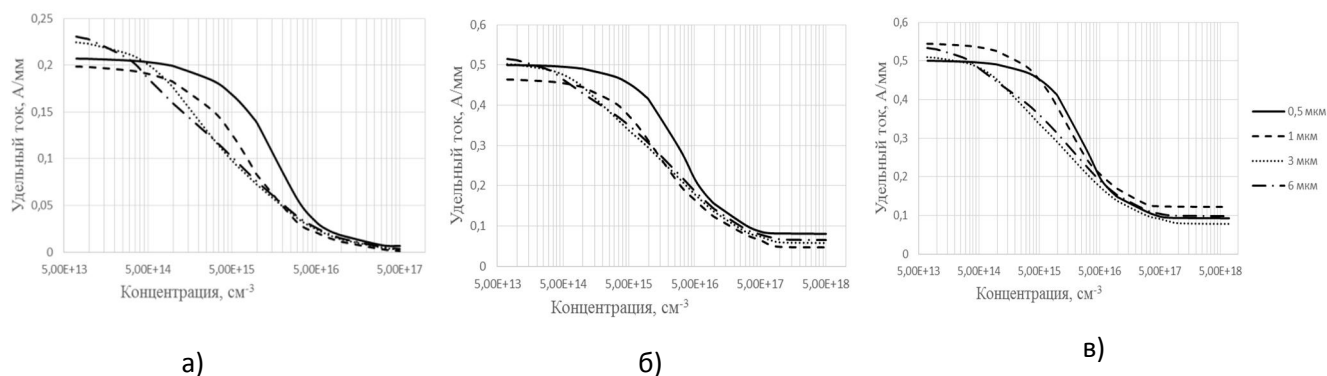


Рисунок 5. Зависимость тока стока при нулевом смещении на затворе от концентрации примеси в р-буфере различной толщины а) толщина канала ПТШ 0,3 мкм, концентрация примеси в канале $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; б) толщина канала ПТШ 0,3 мкм, концентрация примеси в канале $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; в) толщина канала ПТШ 0,5 мкм, концентрация примеси в канале $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Из представленных данных видно, что параметры буферного слоя являются определяющими для величины порогового напряжения и вносят заметный вклад в сопротивление канала ПТШ и вид его выходных характеристик. Представленные зависимости дают возможность оценить влияние технологических параметров буферного слоя на электрические параметры ПТШ.

Библиографический список

1. WIDE BANDGAP SEMICONDUCTORS. Growth, Processing and Applications. Edited by J. Pearton // Noyes Publications. 2000.
2. В.А. Гудков. Полевой транзистор с затвором Шоттки на основе 4H-SiC и оценка его СВЧ-характеристик/ В.А. Гудков, А.С. Мокеев, В.Е. Земляков, В.И. Васильев, В.П. Растегаев, С.Ю. Шаповал. Электронная техника, сер. СВЧ-техника, вып 3(491), 2007 стр. 3-9
3. A. Kerlain. Recent results from SiC research project at thales: effect of passivation on device stability and gate reverse characteristics on 4H-SiC MESFETS/ A. Kerlain, E. Morvan, C. Dua, N. Caillas, C. Brylinski. GigaHertz 2003
4. David Spry. Electrical Operation of 6H-SiC MESFET at 500 °C for 500 Hours in Air Ambient. David Spry, Philip Neudeck, Robert Okojie, Liang-Yu Chen, Glenn Beheim, Roger Meredith, Wolfgang Mueller, and Terry Ferrier Zou J.
5. Nam Jin Song. Fabrication of 4H-SiC MESFETs on Conducting Substrates and Analysis of Their Premature Breakdown/ Nam Jin Song, Jaekwon Kim, Chang Kyu Choi, Jinwook Burm// Journal of the Korean Physical Society, Vol. 44, No. 2, 2004, pp. 418–422.