

ОТЗЫВ

Научного руководителя Турина Валентина Олеговича, кандидата физико-математических наук, на диссертацию соискателя Рахматова Бадурдина Амируллоевича по теме: «Разработка «внешней» компактной модели органического полевого транзистора с учётом дифференциальной проводимости», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - «физика конденсированного состояния»

Рахматов Бадурдин Амируллоевич в 2015 году поступил на очное отделение аспирантуры Госуниверситет УНПК на кафедру общей физики (с 01 апреля 2016 г. ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева») и в настоящее время работает ассистентом на кафедре физической электроники ТНУ.

За время своей работы Рахматов Бадурдин Амируллоевич показал себя грамотным, добросовестным и зрелым исследователем, успешно освоил разработку компактной модели полевых транзисторов для современных электронных САПР.

Тема диссертации Рахматова Бадурдина Амируллоевича весьма актуальна в связи с постоянно растущими потребностями в области использования органических материалов в электронике и имеет научное и практическое значение.

Актуальность диссертации Рахматова Б.А. определяется перспективностью использования электронной элементной базы на основе органических материалов, и соответственно, необходимостью совершенствования компактной модели органического полевого транзистора (ОПТ). Современная компактная модель ОПТ нужна, в первую очередь, для использования в программах электронного САПР типа SPICE, используемых для проектирования электронных схем. Компактное моделирование важно и для теоретических исследований режимов работы ОПТ и схем на его основе. Кроме этого, компактные модели используются при экстракции параметров компактной модели транзисторов на основе экспериментальных данных в специализированных программах.

Следует отметить, что в своём развитии компактные модели ОПТ сейчас проходят этапы, которые когда-то прошли и компактные модели традиционных МОП-транзисторов. Современные компактные модели должны корректно учитывать дифференциальную проводимость в режиме насыщения; быть «внешними», т. е. аналитически учитывать сопротивления истока и стока; корректно учитывать эффект истоковой деградации и обеспечивать корректное асимптотическое поведение тока стока с ростом напряжения на стоке.

Научная новизна диссертации заключается в корректном учёте дифференциальной проводимости в режиме насыщения «внутреннего» и «внешнего» ОПТ, на основе улучшенной функции сглаживания, которая ранее была разработана для МОП-транзистора, обеспечивающей сопряжение

линейного режима и режима насыщения ОПТ и обеспечивающей монотонное убывание дифференциальной проводимости от максимального значения в линейном режиме до минимального значения в режиме насыщения. Рассчитано выходное дифференциальное сопротивление «внешнего» ОПТ в точке «насыщения» (аналогично теории истоковой деградации МОП-транзистора). Соответственно, построена линейная аппроксимация зависимости тока стока «внешнего» ОПТ от «внешнего» напряжения сток-исток в режиме насыщения в окрестности «точки насыщения». Соответственно, модель учитывает сопротивления истока и стока не только в линейном режиме, но и в режиме насыщения при ненулевой дифференциальной проводимости канала ОПТ. В работе проанализировано асимптотическое поведение уравнения для тока стока ОПТ в режиме насыщения с ростом напряжения сток-исток из-за влияния контактных сопротивлений. Получено предельное значение тока стока, определяемое напряжением на затворе и сопротивлением истока. Разработано семейство аппроксимаций для линейного режима и для тока насыщения «внешнего» ОПТ. Все аппроксимации верифицированы расчётами с использованием численных методов и могут быть использованы при компактном моделировании.

Практическая значимость работы подтверждается тем, что компактная модель ОПТ необходима в виде программного модуля в современных электронных САПР для эффективного проектирования больших и дешёвых органических гибких экранов, систем освещения, солнечных батарей, датчиков температуры и давления, а также интегральных схем. Отдельным направлением использования компактной модели ОПТ является экстракция параметров ОПТ и органических полупроводников на основе экспериментальных данных.

Диссертация представляет собой законченный научный труд, в котором изложены теоретические положения, результаты численного и компактного моделирования и перспективные направления компактного моделирования ОПТ. При выполнении работы использовались современные вычислительные средства и свободное математическое обеспечение. Было уделено особое внимание анализу зарубежных источников по тематике работы. Работа выполнена автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Результаты работы достоверны и обладают новизной, а выводы достаточно обоснованы.

Соискатель Рахматов Бадурдин Амируллоевич в настоящее время является автором девяти (9) научных публикаций, в том числе четырёх (4) из списка РИНЦ, а также трёх (3) индексируемых международной библиографической и реферативной базой данных Scopus. Два (2) публикации в журнале из перечня ВАК. За время учёбы в аспирантуре Рахматов Б.А. принял участие в семи (7) международных, всероссийских и региональных конференциях.

По материалам диссертации, личным качествам исследователя, уровню физико-математической подготовки рекомендую соискателя Рахматов Б.А. к

защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

«21» октября 2021 г



Турин Валентин Олегович, кандидат физико-математических наук (1.3.5 - физическая электроника), доцент кафедры экспериментальной и теоретической физики физико-математического факультета ОГУ им. И.С. Тургенева, ул. Комсомольская, д. 95 Орловская область, г. Орёл, 302026, Российская Федерация, +79208250010, +79102602149, voturin@mail.ru, kafedrafiziki.ogu@mail.ru

Подпись Турина В.О. удостоверено
Нач. ОК ОГУ имени И.С. Тургенева

«22» октября 2021 г.



Д.Н. Торгачев