

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ И ИХ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ

Сыс А.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены структуры и конструктивно-технологические особенности полупроводниковых полевых транзисторов MOSFET и их электротепловая модель. Предложены оптимальные варианты конструктивно-технологического исполнения MOSFET и способы монтажа кристаллов в корпус, обеспечивающие стабильность и воспроизводимость параметров изделий.

Ключевые слова: Мощный транзистор, структура мощного транзистора, МОП, VМОП, MOSFET, электротепловая модель

Введение. Среди многообразных направлений современной полупроводниковой электроники важное место занимает разработка и производство кремниевых мощных транзисторов. Область применения таких транзисторов весьма широка. Они используются в каскадах усилителей мощности систем радиосвязи и телерадиовещания, в базовых станциях сотовой связи, в радиоэлектронных средствах различного назначения и других электронных системах.

Наиболее характерными чертами современной полупроводниковой электроники являются рост сложности приборов и уменьшение геометрических размеров отдельных элементов полупроводниковых структур.

Основная часть. В основу исследований легли результаты известных исследований российских и белорусских ученых Р.Д. Тихонова, В.Л. Ланина, А.Ф. Керенцева и других в области проектирования и анализа дефектов мощных транзисторов и интегральных схем [1–6].

Мощные металл оксидные полупроводниковые полевые транзисторы (MOSFET) на сегодняшний день является самым распространенным полупроводниковым устройством. Отличие MOSFET от биполярных транзисторов в наносекундной скорости переключения, высоких рабочих напряжениях, больших токах и мощности, линейных характеристиках и высоких рабочих температурах.

Планарная конструкция, получаемая методами фотолитографии, обусловила большие размеры приборов для обеспечения тока, необходимого в силовых устройствах. Одновременно это вызывало непропорциональное увеличение паразитных емкостей, что уменьшало произведение коэффициента усиления на ширину полосы MOSFET полевого транзистора и, следовательно, его быстродействие. Несмотря на большие размеры, эти приборы имели значительное сопротивление канала и чрезмерные потери, которые еще усугублялись плохим отводом тепла. Высокое сопротивление канала приводило к снижению как крутизны, так и коэффициента усиления. Недостатком этих приборов была высокая стоимость, обусловленная незначительным выходом годных кристаллов и очень большими трудностями, связанными с монтажом кристаллов и низкой надежностью этих кристаллов.

Рассматривая этот перечень проблем, можно сделать вывод, что при всех возможных усовершенствованиях и модификациях планарный MOSFET полевой транзистор, изготавливаемый методами фотолитографии, принципиально не мог стать жизнеспособным мощным транзистором. Именно поэтому на смену ему пришел вертикальный MOSFET, полевой транзистор с коротким каналом. Технологиями, не требующими применения масок с жесткими допусками, являются двойная диффузия (планарный ДМОП полевой транзистор), а

также технология V-образных МОП-структур (вертикальный VМОП полевой транзистор). На рисунке 1 показана структура мощного транзистора с паразитными элементами.

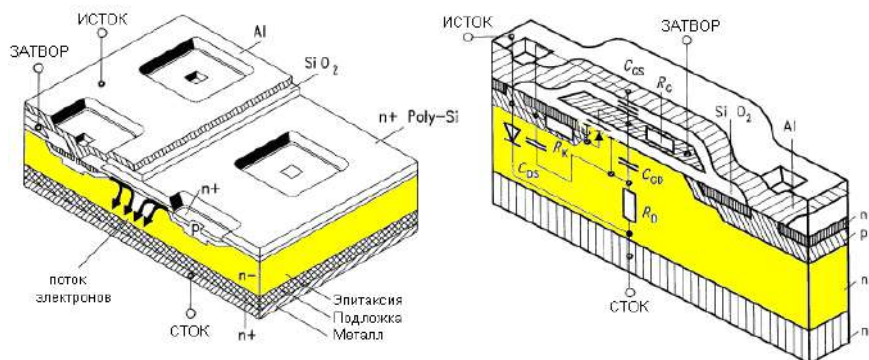


Рисунок 1 – Структура мощного ДМОП транзистора с паразитными элементами

Для силового транзистора тепловой путь от активной части кристалла (исток) к нижней части (сток) и далее через соединительный слой (припой или эвтектика) к теплоотводу корпуса показан на рисунке 2.

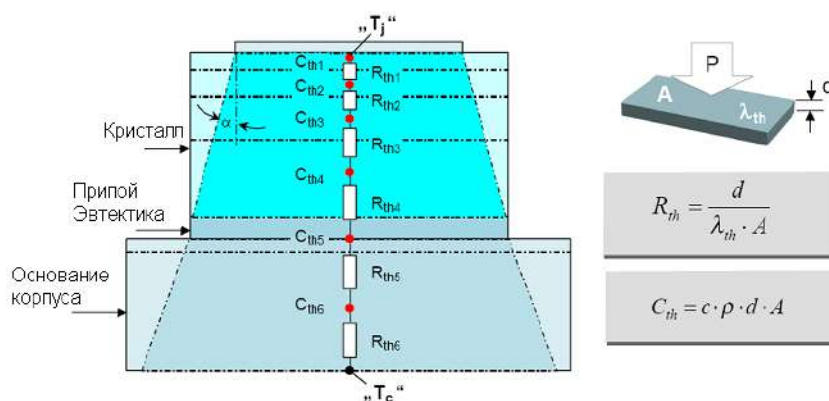


Рисунок 2 – Условное изображение рассеивание теплового потока в мощном транзисторе

Каждая составляющая структуры кристалла, металлизации, припоя и теплоотвода имеют разную теплопроводность и теплоемкость и на эквивалентной электрической схеме можно представить в виде линии передач, представленной на рисунке 3.

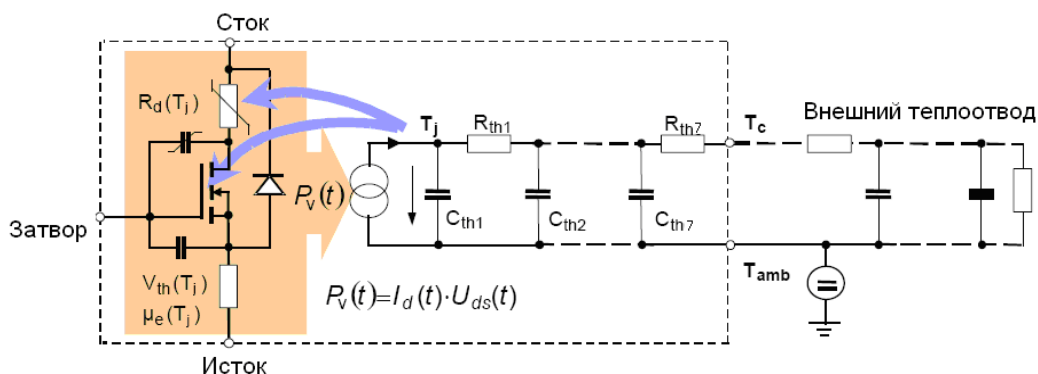


Рисунок 3 – Принципиальная схема модели мощного транзистора с интерактивной связью электрических и тепловых компонентов

В термическом эквиваленте источник электроэнергии $P_v(t)$ рассеивает тепловой поток от истока в кристалле до теплоотвода. При этом случае R_{th_n} и C_{th_n} представляют собой тепловое сопротивление и теплоемкость элементарного n -слоя соответственно. Тепловое сопротивление структурной цепи на рисунке 3 определяется суммой компонентов: R_1 – кристалл, R_2 – граница кристалл-припой, R_3 – припой, R_4 – граница припой-теплоотвод, R_5 – теплоотвод, R_6 и R_7 – части сопротивления корпуса и внешней среды [7].

Выбор способа монтажа кристалла в корпус прибора зависит от конструктивных особенностей кристалла, электрических и тепловых характеристик его и корпуса. Он должен обеспечивать высокую прочность соединения при термоциклировании и механических нагрузках, низкое электрическое и тепловое сопротивление, минимальные механические воздействия на кристалл и отсутствие загрязнений.

Заключение. Для обеспечения заданных параметров MOSFET необходимо провести правильный выбор типа корпуса в зависимости от рассеиваемой мощности и назначения прибора; способ монтажа кристалла для достижения эффективного отвода тепла и минимальных внутренних напряжений в активной структуре.

Список литературы

1. Тихонов, Р. Д. Конструктивно-технологические особенности мощных приборов для интеллектуальных силовых интегральных схем / Р. Д. Тихонов. – М. : Изв. вузов. Электроника, 2004. – №6. – С. 10-17.
2. Алексеев, В. Ф. Математическое моделирование как средство оптимизации параметров силовых интегральных микросхем / В. Ф. Алексеев, А. Д. Сыс, Г. А. Пискун // *Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives : II International Scientific and Theoretical Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform.* – Vilnius, 2021. – P. 109–113. – DOI : <https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021>.
3. Алексеев, В. Ф. Обзор методов компьютерного проектирования силовых интегральных микросхем в условиях воздействия электростатического разряда / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, А. Д. Сыс // *Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives : II International Scientific and Theoretical Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform.* – Vilnius, 2021. – P. 114–116. – DOI : <https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021>.
4. Алексеев, В. Ф. Построение алгоритма трехмерного моделирования тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов силовых микросхем при воздействии контактного разряда статического электричества / Алексеев В. Ф., Пискун Г. А., Сыс А. Д. // *Современные средства связи : материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Минск, 21 октября 2021 г. / Белорусская государственная академия связи.* – Минск, 2021. – С. 44–45.
5. Сыс, А. Д. Тенденции развития технологий корпусирования силовых микросхем / А. Д. Сыс // *Новые информационные технологии в научных исследованиях (NiT-2021) : материалы XXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 15-17 декабря 2021 г. / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина.* – Рязань, 2021. – С. 147–149.
6. Сыс, А. Д. Тенденция уменьшения шага выводов корпуса микросхем / А. Д. Сыс // *Новые информационные технологии в научных исследованиях (NiT-2021) : материалы XXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 15-17 декабря 2021 г. / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина.* – Рязань, 2021. – С. 150–152.
7. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю. А. Бумай [и др.] // *Электроника инфо.* – 2010. – № 3. – С. 58–59.

UDC 621.382.3

STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF POWERFUL TRANSISTORS AND THEIR ELECTRIC THERMAL MODEL

Sys A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The structures and design and technological features of MOSFET semiconductor field-effect transistors and their electrothermal model are considered. Optimal options for the structural and technological design of MOSFETs and methods for mounting crystals in a package are proposed, which ensure the stability and reproducibility of product parameters.

Keywords: Power transistor, power transistor structure, MOS, VMOS, MOSFET, electrothermal model