

Мощные СВЧ LDMOS-транзисторы для рабочих частот до 3 ГГц

Р. Алексеев¹, А. Цоцорин, к. ф. -м. н.², М. Черных, к. т. н.³

УДК 621.38 | ВАК 05.27.01

В АО «Научно-исследовательский институт электронной техники» (АО «НИИЭТ») – одном из отечественных лидеров разработчиков и производителей отечественных СВЧ-изделий и интегральных микросхем, проведена модернизация LDMOS-технологии и создано новое поколение мощных СВЧ LDMOS-транзисторов для рабочих частот до 3 ГГц с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

LDMOS-технология (Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductors) уже сравнительно давно зарекомендовала себя на рынке мощных СВЧ кремниевых транзисторов, применяемых в базовых станциях сотовой системы радиосвязи, радиопередатчиков P-, L-, S-диапазонов частот, РЛС наземного и воздушного базирования, систем навигации и др. И даже несмотря на рост объемов производства приборов на основе более перспективных полупроводниковых материалов, например нитрида галлия, кремниевые LDMOS-транзисторы продолжают сохранять традиционно сильные позиции в целом ряде областей благодаря отлаженности технологических процессов и высокому соотношению цена-качество. Это подтверждается тем, что ведущие зарубежные производители электронной компонентной базы продолжают развивать LDMOS-технологию, повышают диапазон рабочих частот до 4 ГГц, включая WiMax [1], и предлагают потребителям изделия уже 10-го поколения [2].

Также как и зарубежные лидеры в области микроэлектроники, АО «НИИЭТ» проводит за счет собственных средств инициативные работы по совершенствованию LDMOS-технологии с внедрением новейших конструктивно-технологических решений. Работа проводится на технологической линии кристалльного производства ПАО «Микрон».

Было проведено усовершенствование ключевых конструктивных элементов транзисторной структуры, их описание и микрофотография поперечного сечения готовой транзисторной структуры представлены на рис. 1.

Увеличение толщины термически выращенного оксида кремния над дрейфовой областью стока. Слой оксида кремния над LDD дрейфовой областью стока (LDD – Lightly Doped Drain) представляет собой суперпозицию двух слоев: первый слой выращен путем термического

окисления, второй слой получен осаждением из газовой фазы при умеренных температурах. Недостатком осажденного слоя является относительно большая плотность дефектов, которая приводит к возникновению значительной концентрации ловушек на границе двух слоев. Такие ловушки (нестабильный положительный заряд) способны оказывать значительное влияние на стабильность протекающего через LDD-область тока. В новой конструкции толщина термического оксида была увеличена, что позволило отдалить границу раздела диэлектрических слоев от поверхности кремния и снизить влияние межслойных зарядов.

Внедрение двухуровневого полевого электрода.

Классическая архитектура LDMOS-транзистора предполагает использование полевого электрода (ПЭ) двух типов: близкорасположенного к поверхности кремния с малым перекрытием LDD-области для относительно низковольтных приборов и протяженного высоко расположенного, применяемого в высоковольтных изделиях [3]. Проведенные исследования [4, 5] показали, что при оптимальной конструкции эти два типа ПЭ

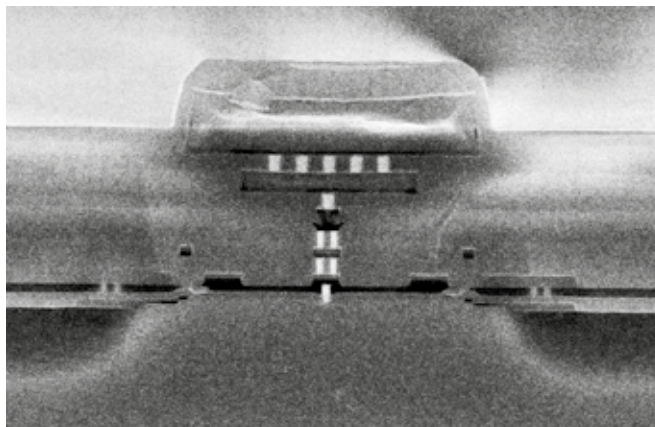


Рис. 1. Микрофотография поперечного сечения LDMOS транзисторной структуры

¹ АО «НИИЭТ», инженер-технолог 1 категории.

² АО «НИИЭТ», начальник отдела.

³ АО «НИИЭТ», начальник лаборатории.

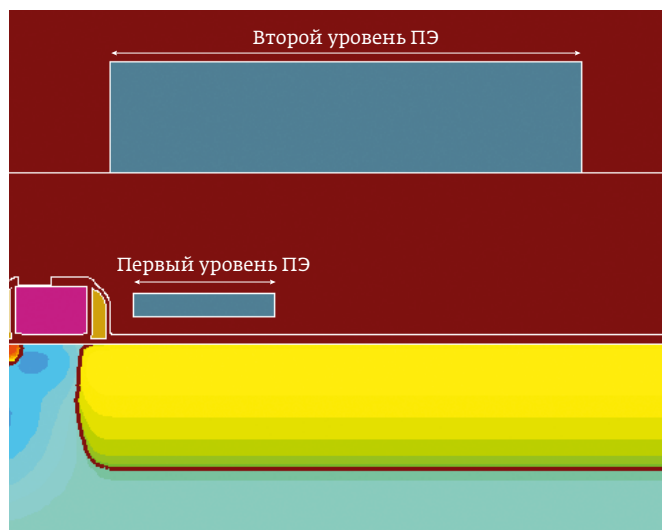


Рис. 2. Конструкция двухуровневого полевого электрода транзисторной структуры

могут быть построены таким образом, чтобы получить положительный синергетический эффект. В новой конструкции ПЭ выполняется двухуровневым. Первый уровень формируется из нитрида титана вблизи затвора транзистора с небольшой протяженностью перекрытия LDD-области, в то время как верхний уровень располагается на поверхности первого межслойного диэлектрика. Данная конструкция позволяет добиться увеличения напряжения пробоя сток-исток ($U_{\text{проб СИ}}$) и уменьшения сопротивления сток-исток в открытом состоянии ($R_{\text{СИ}}$). Конструкция двухуровневого полевого электрода приведена на рис. 2.

Увеличение толщины верхнего токонесущего слоя металла. При конструировании мощных приборов критичным фактором является площадь сечения металлизации стока (ширина токоведущих шин при фиксированной толщине), обеспечивающей высокий уровень тока стока, определяемый предельной плотностью тока в металле. В то же время большая площадь металлизации сказывается на уровне паразитных межэлектродных емкостей. Конструктивно-технологические усовершенствования, реализованные на кристалльном производстве в ПАО «Микрон», дали возможность увеличить толщину металлизации, что позволило уменьшить ширину токоведущих шин при сохранении необходимой площади сечения металлизации.

Внедрение описанных усовершенствований позволило добиться следующих улучшений: увеличить удельную мощность на единицу периметра затвора; повысить пробивное напряжение сток-исток при уменьшении сопротивления сток-исток в открытом состоянии; увеличить стойкость транзисторной структуры в части срыва паразитного биполярного транзистора во вторичный пробой;

Таблица 1. Статические параметры собранных транзисторов

Прибор	$R_{\text{СИ}}$, Ом	S , См	$U_{\text{проб}}$, В	$I_{\text{Снас}}$, А
Транзистор 1	0,136	6,1	121	40,2
Транзистор 2	0,152	5,8	100	31,7

Таблица 2. Энергетические параметры собранных транзисторов

Прибор	$P_{\text{ВХ}}$, дБм	$P_{\text{ВЫХ}}$, Вт	$K_{\text{УР}}$, дБ	КПД, %
Транзистор 1	38	260	16,1	58,4
	40	352	15,5	64,3
	42	412	14,1	64,1
Транзистор 2	38	151	13,8	46,4
	40	198	13,0	51,0
	42	198	11,0	50,4

повысить коэффициент полезного действия стока и повысить коэффициент усиления по мощности.

Усовершенствование LDMOS-технологии прошло успешное опробование. Для сравнения были взяты транзисторные кристаллы, выполненные по усовершенствованной технологии (Транзистор 1, кристалл 1), и кристаллы предыдущего поколения, но аналогичного форм-фактора с тем же самым периметром затвора (Транзистор 2, кристалл 2). Конструкции транзисторов, изготовленных из кристаллов 1 и 2 были идентичны. Сравнение статических параметров транзисторов приведено в табл. 1, сравнение энергетических параметров транзисторов приведено в табл. 2. Измерения энергетических параметров были проведены по методу согласованной нагрузки в следующем режиме: $U_{\text{СИ}} = 50$ В, $f_{\text{тест}} = 860$ МГц, $Q = 10$, $\tau = 300$ мкс.

Кроме того, на транзисторах 1 и 2 был проведен тест на устойчивость паразитного биполярного транзистора к вторичному пробую. В рамках исследований на сток транзистора подавалось напряжение, превышающее $U_{\text{проб}}$, с целью определения уровня тока, при котором происходит вторичный пробой паразитного биполярного транзистора (рис. 3). Срыв во вторичный пробой на транзисторах 1 не наблюдался.

* * *

В АО «НИИЭТ» разработано новое поколение мощных СВЧ LDMOS-транзисторов с улучшенными эксплуатационными характеристиками: пробивное напряжение сток-исток, сопротивление сток-исток в открытом состоянии, ток стока насыщения, удельная выходная мощность,

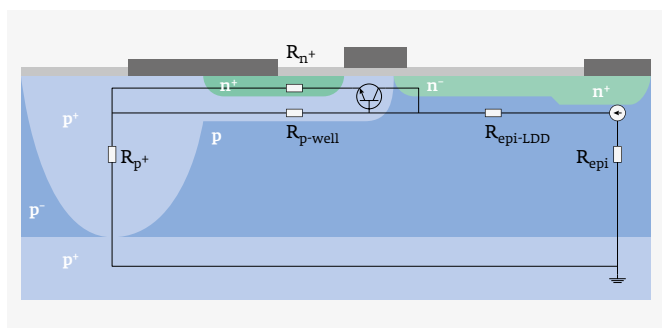


Рис. 3. Схематичное изображение поперечного сечения LDMOS транзисторной структуры с паразитным биполярным транзистором

коэффициент усиления по мощности и коэффициент полезного действия стока. Кроме того, устранение эффекта срыва паразитного биполярного транзистора во вторичный пробой в значительной мере повышает надежность приборов и аппаратуры в целом. Испытание транзисторов с модернизированной конструкцией и доработанной технологией полностью подтвердило расчетные данные, что открывает широкие возможности для дальнейшего развития отечественной СВЧ-электроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Theeuwes S. J. C. H., Qureshi J. H.** LDMOS Technology for RF Power Amplifiers // IEEE transactions on microwave theory and techniques. 2012. V. 60. № 6. P. 1755–1763.
2. Сайт фирмы Ampleon [Электронный ресурс]. – <https://www.ampleon.com/> – Дата обращения 24.02.2020.
3. **Ткачев А. Ю.** Влияние конструктивно-технологических факторов на электрические параметры мощных СВЧ LDMOS-транзисторов. Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.13.18. // Воронеж: Воронежский госуниверситет, 2011. 16 с.
4. **Алексеев Р. П., Быкадорова Г. В., Лановой В. К., Ледовская Е. О., Кондрашин М. А.** Влияние полевого электрода на электрофизические характеристики СВЧ LDMOS-транзисторов // Наука сегодня: реальность и перспективы: материалы международной научно-практической конференции. 23 февраля 2017 г. – Вологда, 2017. С. 24–26.
5. **Алексеев Р. П. и др.** Приборно-технологическое проектирование LDMOS-транзисторов с отрицательным градиентом примеси LDD-области // Радиолокация, навигация, связь: 24-я Международная научно-техническая конференция. г. Воронеж. 17–19 апреля 2018 г. – Воронеж. 2018. Т. 5. С. 257–264.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 975 руб.

МОЩНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ СВЧ-УСИЛИТЕЛИ

Сечи Ф., Буджатти М.

При поддержке АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Перевод с англ. под ред. д. т. н. А. А. Борисова

В книге рассмотрены все традиционные вопросы, связанные с разработкой усилителей мощности, начиная от получения моделей приборов на большом сигнале и заканчивая обсуждением сумматоров мощности и методов проектирования.

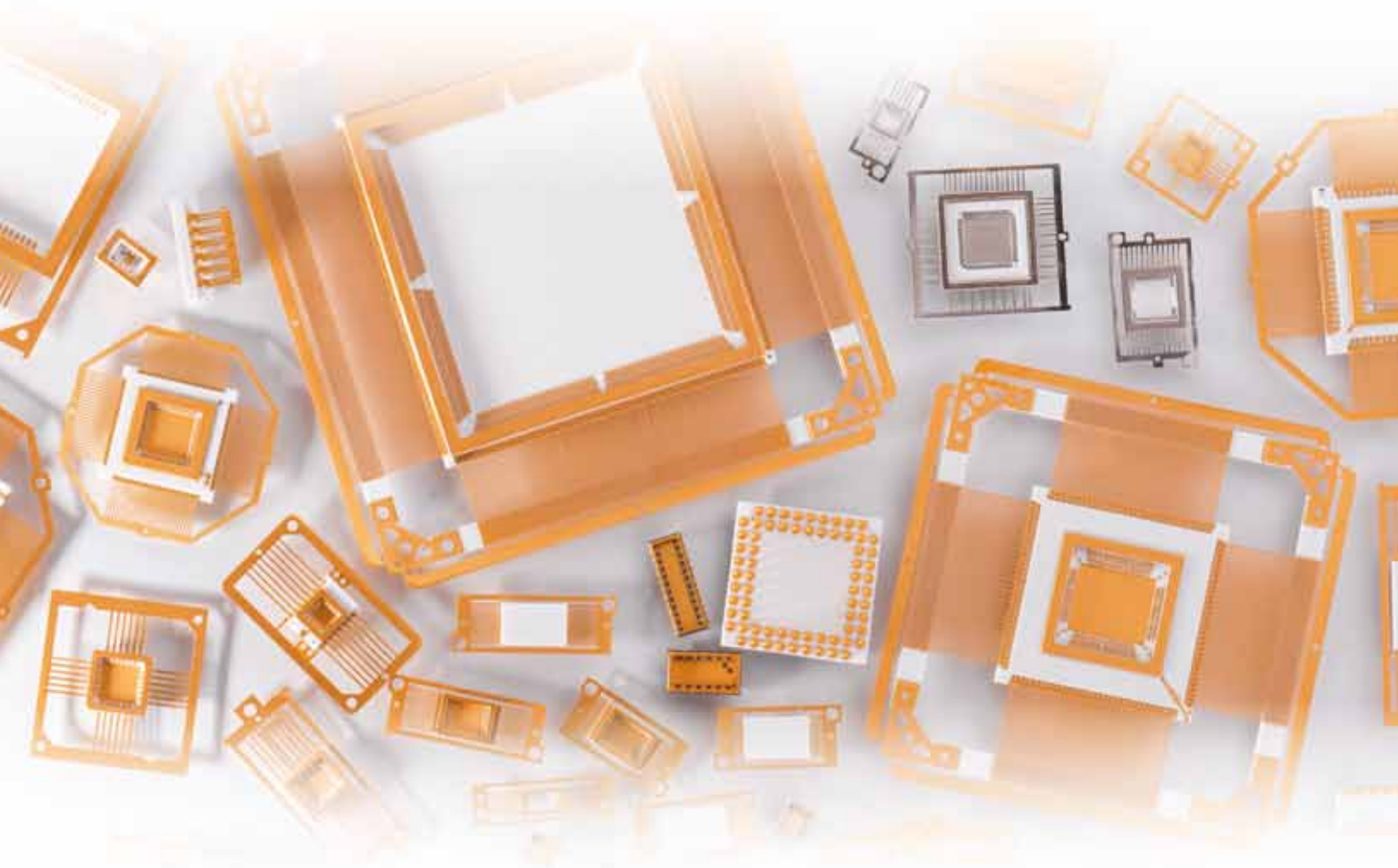
Большое внимание в издании уделено рассмотрению физических основ приборов, фазовых шумов, схем смещения и тепловому проектированию. Также в книге особое внимание уделяется рассмотрению фундаментальных принципов. Издание затрагивает необычайно большое количество областей, связанных с физикой полупроводников и активных устройств.

Книга представляет интерес для специалистов, которые занимаются разработкой усилителей мощности для базовых станций сотовой связи. В особенности это относится к рассмотрению моделей на больших сигналах, проблем, связанных с фазовыми шумами, методов проектирования усилителей мощности, специальных конструкций усилителей мощности и теплового проектирования. Также данная книга может послужить в качестве справочного пособия при углубленном изучении СВЧ-устройств.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 416 с., ISBN 978-5-94836-415-5

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

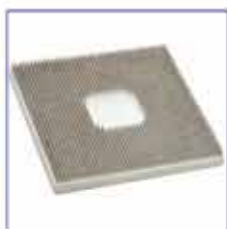
✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



Предприятие располагает научно-технической и испытательной базой для проведения исследований, разработки и выпуска новой продукции



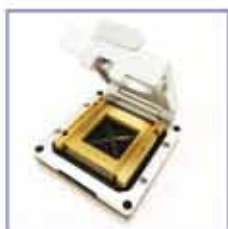
Выводные рамки



Металлокерамические корпуса



Нагревательные элементы



Контактные устройства



Графитовая оснастка



Оптоэлектронные корпуса

