

Черных М.И., Цоцорин А.Н., Семейкин И.В.
НИИ Электронной Техники

Развитие конструкции и технологии создания мощных СВЧ LDMOS транзисторов

В работе рассмотрены основные преимущества мощных СВЧ LDMOS транзисторов, приведены конструктивные и технологические особенности их создания. Рассмотрен путь развития отечественных LDMOS транзисторов на примере АО НИИЭТ. Приведен полный спектр новых разработок АО «НИИЭТ» в области мощных СВЧ LDMOS транзисторов.

Ключевые слова: транзисторы, LDMOS, полупроводниковые технологии

Дискретные мощные ВЧ и СВЧ транзисторы применяются в усилительных трактах связанных и телевизионных радиопередатчиков, авиационной бортовой и наземной электронике, импульсных передатчиках радиолокационных систем, средствах РЭБ, радарх различного назначения, дальномерной аппаратуре и системах предотвращения столкновения самолетов TCAS. В настоящее время наиболее актуальной технологией создания мощных СВЧ кремниевых транзисторов является LDMOS технология в силу своих преимуществ. Возможность реализации более высоких по сравнению с биполярными транзисторами входных сопротивлений делает полевые транзисторы более универсальными при работе в широкой полосе частот и упрощает схемотехнические задачи сложения динамической мощности при построении многокаскадных усилителей. Транзисторы, изготовленные по LDMOS технологии, обладают наилучшими характеристиками по таким параметрам как коэффициент усиления по мощности $K_{ур}$, коэффициент полезного действия КПД_с, электрическая и тепловая стабильность, устойчивость к рассогласованию нагрузки, высокая линейность, уровень максимально допустимой рассеиваемой мощности и надёжность в диапазоне частот до 3 ГГц [1, 2].

К числу отличительных особенностей мощных СВЧ кремниевых транзисторов, изготовленных по LDMOS технологии, можно отнести следующие.

1. Областью истока транзисторного кристалла является подложка. Это позволяет реализовать минимальные значения индуктивности истокового вывода, вследствие чего значительно увеличиваются значения коэффициента усиления по мощности $K_{ур}$.
2. В конструкции транзисторного кристалла реализована минимальная площадь перекрытия областей стока и затвора, в результате чего в несколько раз снижается величина проходной ёмкости C_{12} . Кроме того, в транзисторах последних поколений предусмотрены дополнительные защитные экраны для ещё более существенного снижения C_{12} .
3. При монтаже кристалла LDMOS транзистора в корпус вывод истока напрямую соединяется с фланцем корпуса. Это исключает применение в составе корпуса керамики из окиси бериллия и приводит к существенному снижению теплового сопротивления и, как следствие, к повышению максимально допустимой рассеиваемой мощности.

4. Пробивное напряжение сток-исток определяется топологической протяженностью низколегированной дрейфовой n- области стока и концентрационным профилем легирующей примеси в ней.

5. В транзисторах последних поколений имеется встроенная защита от статического электричества.

Указанные конструктивно-технологические особенности LDMOS транзисторов позволяют в несколько раз увеличить коэффициент усиления по мощности по сравнению с DMOS и биполярными транзисторами и расширить диапазон рабочих частот до 3 ГГц.

Благодаря совершенствованию методов проектирования и освоению в отечественной электронной отрасли двух новых базовых технологических процессов с минимальными топологическими размерами (по поликремнию) 0,6-0,8 мкм и 0,3-0,4 мкм удалось значительно улучшить параметры транзисторов, изготовленных по LDMOS технологии. Снижение удельной проходной ёмкости достигнуто, применением дополнительных экранов между токоведущими шинами второго и последующих слоёв металлизации и поликремниевым затвором, см. рис. 1. В зависимости от конкретной конструкции транзисторной структуры общее снижение удельной проходной ёмкости составляет примерно 8-10 раз по сравнению с образцами LDMOS транзисторов, имеющих однослойную систему металлизации.

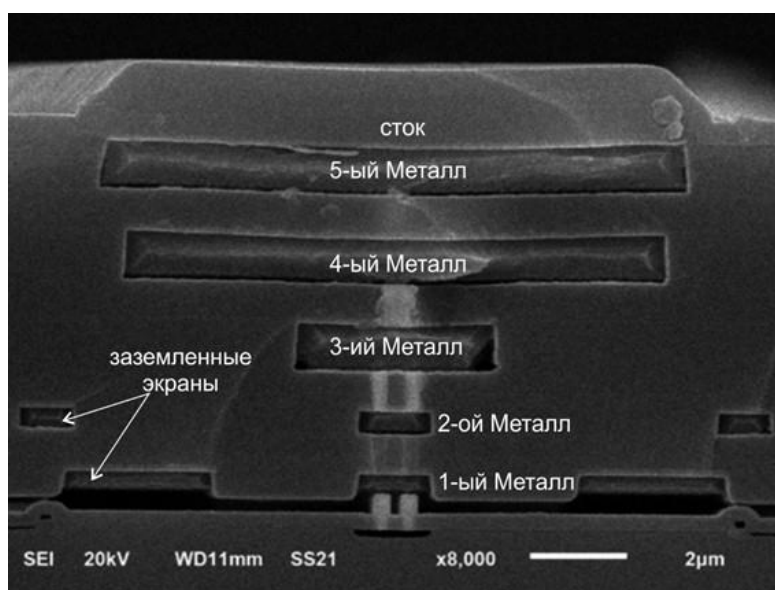


Рис. 1. Микрофотография поперечного сечения LDMOS транзисторного кристалла с пятью уровнями металлов.

Одновременно проводились и другие работы по совершенствованию конструкции транзисторного кристалла, в частности, по оптимизации физико-топологических параметров области стока. Это касалось длины низколегированной области стока, а также концентрации и профиля распределения легирующей примеси в ней для обеспечения высоких пробивных напряжений (до 120-130 В) при минимальном сопротивлении сток-исток в открытом состоянии.

LDMOS транзисторы мощностью свыше 500 Вт, предназначенные для работы на частотах более 800 МГц, обычно содержат в своей конструкции внутреннекорпусные цепи согласования нагрузки. Цепи согласования состоят из МДП конденсаторов и проволочных

выводов, имеющих определенное значение индуктивности. Типовое исполнения внутренней согласующей цепи показано на рисунке 2.

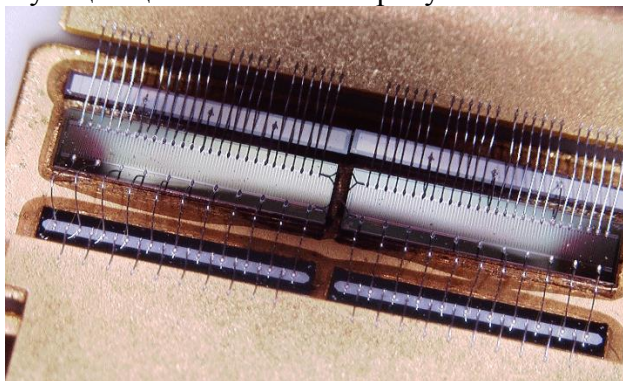


Рис. 2. Типовая конструкция внутренней цепи согласования LDMOS транзистора.

Для герметизации LDMOS транзисторов обычно используют металлокерамические и пластиковые корпуса. Металлокерамические корпуса обладают меньшим тепловым сопротивлением корпус-теплоотвод и обеспечивают большую стойкость к спец воздействиям, при этом они имеют большую стоимость и большие массогабаритные показатели. Типовой балансный корпус LDMOS транзистора показан на рисунке 3.

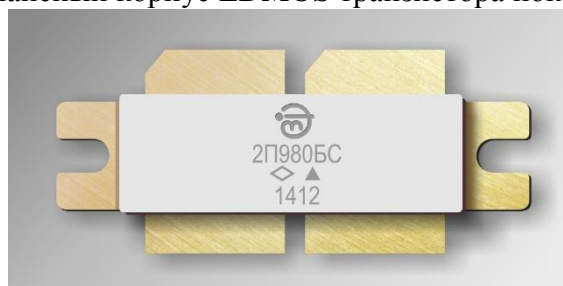


Рис. 3. Общий вид балансного LDMOS транзистора в корпусе.

В таблице 1 и 2 приведены основные эксплуатационные параметры новых разработок LDMOS транзисторов, разработки АО «НИИЭТ».

Таблица 1. Основные эксплуатационные параметры LDMOS транзисторов с питанием 50 В разработки АО «НИИЭТ»

Тип транзистора	$P_{\text{ВЫХ И}}$, Вт	$K_{\text{УР}}$, дБ	$\eta_{\text{С}}$, %	$R_{\text{СИ ОТК}}$, Ом	$C_{11\text{И}}$, пФ	$C_{12\text{И}}$, пФ	$C_{22\text{И}}$, пФ	$R_{\text{Т П-К И}}$, °С/Вт
<i>Режим измерения $P_{\text{ВЫХ И}}$, $K_{\text{УР}}$, $\eta_{\text{С}}$: $f=1550$, $U_{\text{СИ}}=50$ В, $\tau_{\text{И}}=3,5$ мс, $Q=10$</i>								
2П9110А	10	12	40	2,8	20	0,35	12	7,5
2П9110Б	35	12	40	1,2	37	0,35	20	2,2
2П9110В	50	12	40	0,9	51	0,35	32	1,53
2П9110Г	100	12	40	0,36	178	1,3	790	0,46
2П9110Д	200	12	40	0,26	275	1,7	830	0,39
2П9110ЕС	370	12	40	0,24	285	1,7	845	0,21
2П9110ЖС	450	12	40	0,17	325	1,2	1330	0,19
<i>Режим измерения $P_{\text{ВЫХ И}}$, $K_{\text{УР}}$, $\eta_{\text{С}}$: $f=1090$, $U_{\text{СИ}}=50$ В, $\tau_{\text{И}}=13$ мс, $Q=3$</i>								
2П9115АС	500	13	40	0,18	420	1,1	1250	0,2

<i>Режим измерения $P_{ВЫХИ}$, $K_{УР}$, η_c: $f=1030-1090$ МГц, $U_{СИ}=50$ В, $\tau_{И}=320$ мкс, $Q=50$</i>								
2П9116А	30	12	40	0,9	30	0,2	16,5	1,2
2П9116Б	110	12	40	0,29	200	0,6	610	0,3
2П9116В	300	12	40	0,19	425	2,6	1500	0,15
<i>Режим измерения $P_{ВЫХИ}$, $K_{УР}$, η_c: $f=500$ МГц, $U_{СИ}=50$ В, $\tau_{И}=2-25$ мс, $Q=10$</i>								
2П9120АС	500	21	45	0,25	262	2,6	170	0,20
2П9120БС	1000	18	45	0,17	492	6	296	0,10
2П9120ВС	1200	16	45	0,14	486	6	295	0,08
<i>Режим измерения $P_{ВЫХИ}$, $K_{УР}$, η_c: $f=860, 860.1$ МГц, $U_{СИ}=50$ В</i>								
2П9123В	100	16	40	0,25	213	2,1	73	0,9

Таблица 2. Основные эксплуатационные параметры LDMOS транзисторов с питанием 28–36 В разработки АО «НИИЭТ»

Тип транзистора	$P_{ВЫХИ}$, Вт	$K_{УР}$, дБ	η_c , %	$R_{СИ}$ отк, Ом	$C_{1И}$, пФ	$C_{12И}$, пФ	$C_{22И}$, пФ	$R_{ТП-К}$ и, °С/Вт
<i>Режим измерения $P_{ВЫХИ}$, $K_{УР}$, η_c: $f=860, 860.1$, $U_{СИ}=32$ В</i>								
2П9103А	10	16	40	0,95	16,5	0,33	10	6,0
2П9103Б	45	16	40	0,27	61	1,2	40	2,0
2П9103В	75	16	40	0,18	70	1,7	46	0,95
2П9103ГС	150	16	40	0,16	225	1,75	50,5	0,6
2П9103ДС	400	16	40	0,1	460	3,5	95,5	0,33
<i>Режим измерения $P_{ВЫХИ}$, $K_{УР}$, η_c: $f=500$ МГц, $U_{СИ}=28$ В</i>								
2П9111А	80	17	50	0,4	87	1,9	58	2
2П9111БС	150	16	40	0,3	90	2,4	62,5	0,7
2П9111ВС	250	15	32	0,18	178	3,8	10	0,45
<i>Режим измерения $P_{ВЫХИ}$, $K_{УР}$, η_c: $f=450$ МГц, $U_{СИ}=36$ В</i>								
2П9121АС	300	19	665	0,23	202	3,4	116	0,45
<i>Режим измерения $P_{ВЫХИ}$, $K_{УР}$, η_c: $f=860, 860.1$ МГц, $U_{СИ}=28$ В</i>								
2П9123А	0,5	18	40	11,5	2,7	0,03	1,7	15
2П9123Б	15	15	40	0,46	26,7	0,54	15,9	3

В заключение следует отметить, что с целью предоставления более полной технической информации о параметрах разработанных мощных СВЧ LDMOS транзисторов в настоящее время проводится работа по определению их импедансных характеристик и S параметров.

Библиографический список

1. Кожевников В.А., Дикарев, В.И., Горохов В.С., Цоцорин А.Н. Мощные СВЧ LDMOS-транзисторы ОАО «НИИЭТ» для средств радиосвязи и радиолокации // Дискретные силовые компоненты, 2015, № 4, стр 60-63.
2. Бачурин В., Васильев А., Крымко М., Сопов О. Динамика развития отечественных мощных кремниевых полевых ВЧ и СВЧ МОП транзисторов // Электронная техника, Серия 2 Полупроводниковые приборы, 2011, выпуск 2 (221).