

# МОЩНЫЕ СВЧ-ТРАНЗИСТОРЫ И КОРПУСА ДЛЯ РОССИЙСКОГО И ЗАРУБЕЖНЫХ РЫНКОВ

ДМИТРИЙ БОДНАРЬ, к.т.н., генеральный директор, ЗАО «Синтез Микроэлектроника»

В статье рассмотрены основные направления специализации зарубежных и российских компаний-производителей на рынке мощных СВЧ-транзисторов, типы СВЧ мощных кремниевых биполярных, MOSFET- и LDMOS-транзисторов российского производства и корпусов для них, адаптированных к международным стандартам и предлагаемых ЗАО «Синтез Микроэлектроника» для использования в отечественной и зарубежной радиоаппаратуре.

## КТО ЕСТЬ КТО НА ЗАРУБЕЖНОМ И РОССИЙСКОМ РЫНКАХ СВЧ-ПРИБОРОВ

В последнее десятилетие классическое и, казалось бы, консервативное направление разработки и производства СВЧ-транзисторов получило несколько новых импульсов в своем развитии. Они связаны с использованием новых материалов и переходом к субмикронным размерам топологии чипов. Новые материалы GaN, SiC позволили улучшить статические, динамические и тепловые параметры СВЧ-транзисторов.

В латеральных LDMOS-транзисторах поначалу был выполнен переход на топологию 0,4 мкм в 6-й генерации, а затем к 0,3 мкм в 7-й генерации, позволивший повысить эффективность мощности на 2%, плотность мощности на 20% и снизить тепловое сопротивление на 25% [1]. В 8-м поколении LDMOS для беспроводной связи в диапазоне 700–2700 МГц увеличены эффективность на 3% и коэффициент усиления на 1 дБ, а также расширена видеополоса пропускания [2]. Проектные нормы 0,14 мкм на 200-мм пластинах перспективных LDMOS с 4–6 уровнями межсоединений уже полностью будут соответствовать уровню технологии современных СБИС. Появившиеся у NXP в 2012 г. LDMOS 8-го поколения для базовых станций не только расширили полосу пропускания, увеличили коэффициент усиления, выходную мощность при меньших габаритных размерах транзисторов, но и позволили снизить их цену. NXP планирует производство СВЧ LDMOS-транзисторов 8-го поколения для широкого частотного диапазона базовых станций всех имеющихся стандартов.

Частотный диапазон СВЧ-транзисторов существенно зависит от типа применяемого материала (см. рис. 1) [3, 4].

GaAs благодаря более высокой подвижности электронов в сравнении с кремнием обеспечивает более высокие рабочие частоты (свыше 250 ГГц) и низкий уровень потерь при высоких частотах, а также более высокие напряжения пробоя. Однако за счет худшей теплопроводности этот материал проигрывает кремнию при больших мощностях.

GaN обладает прекрасными характеристиками по сочетанию выходной мощности, рабочих частот и напряжений, но высокая стоимость пластин на основе GaN серьезно сдерживает его применение по сравнению с кремнием (см. рис. 2) [5]. Доля GaN-приборов в

0,08% на рынке в 2012 г. и даже планируемые 5,79% к 2020 г. едва ли удовлетворит компании, специализирующиеся на рынке разработки, производства и продаж GaN.

Кремний является одним из наиболее благоприятных материалов по эффективной мощности в диапазоне 100–2000 МГц. Технологии производства кремниевых чипов и их сборки хорошо апробированы в серийном производстве, и обработка Si-пластин не является сложной. Благодаря этому кремниевые биполярные, MOSFET- и LDMOS-транзисторы занимают существенную долю рынка для гражданских и военных радарных систем, а также

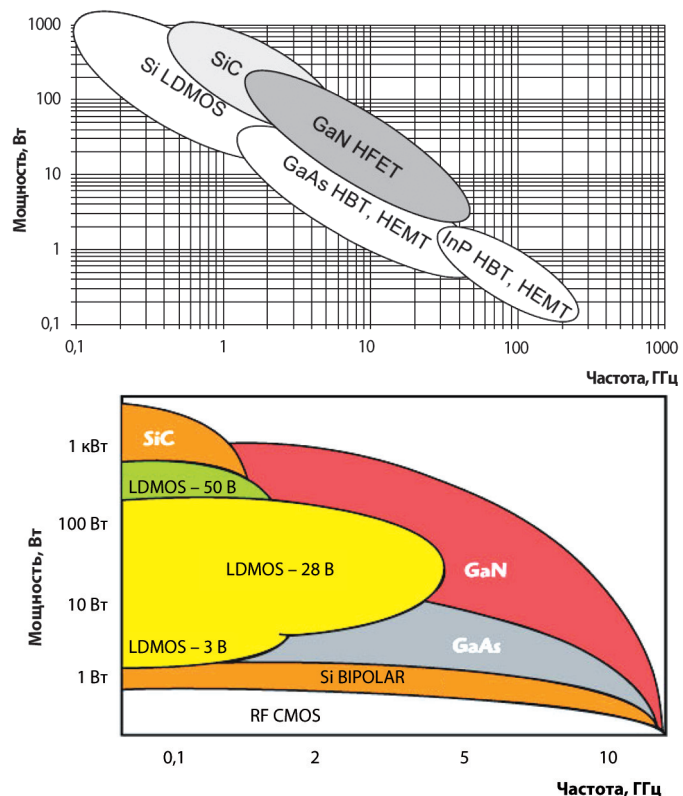


Рис. 1. Рабочие частоты и мощности СВЧ-транзисторов для различных материалов чипа (а) и типа прибора (б)

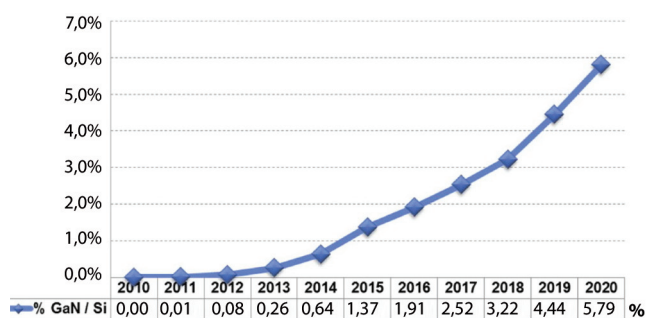


Рис. 2. Соотношение рынка GaN- и Si-приборов в 2010–2020 гг.

систем радио- и телепередающей аппаратуры, систем мобильной и стационарной связи в диапазоне до 2 ГГц.

Учитывая специфику и различия проектирования, технологии производства и рынка СВЧ-транзисторов мировые компании-производители, как правило, позиционируют себя на рынке по типам законченных приборов (диоды, транзисторы, модули и т.д.) и типам используемых при изготовлении чипов технологических материалов подложки (Si, GaAs, GaN, SiC). В таблице 1 представлена информация по основным направлениям специализации зарубежных компаний.

Поскольку объем рынка СВЧ-транзисторов при их высокой стоимости несопоставим с рынком низкочастотных транзисторов и микросхем, конкуренция на рынке СВЧ-транзисторов не столь жесткая, как для микросхем, а конструктивные и технологические революции происходят реже. Тем не менее на рынке СВЧ-приборов присутствуют также крупные компании, специализирующиеся на выпуске очень сложных микросхем (Freescale, NXP, ST, Infineon и др.). Им гораздо проще и дешевле совершенствовать свои технологические процессы и задавать тон в таких продуктах как кремниевые СВЧ LDMOS. Но эти

Таблица 1. Зарубежные компании, специализирующиеся на выпуске мощных СВЧ-транзисторов

Компания	Страна (континент)	Тип продукции
Advanced Semiconductor	США	СВЧ Si биполярные транзисторы СВЧ Si MOSFET-транзисторы СВЧ-диоды
Cree	США	СВЧ GaN, SiC MOSFET СВЧ GaN ИС и модули
Freescale Semiconductor	США	СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзисторы СВЧ GaAs PHEMT СВЧ Si биполярные транзисторы
Infineon	Европа	СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзисторы
Integra Technologies	США	СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзисторы СВЧ GaN транзисторы и модули
IXYS RF	США	СВЧ Si MOSFET-транзисторы
MA-COM	США	СВЧ биполярные транзисторы СВЧ Si MOSFET-, LDMOS-транзисторы СВЧ GaN-транзисторы и модули СВЧ-модули
Microsemi	США	СВЧ биполярные транзисторы СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзисторы СВЧ SiC-транзисторы СВЧ-диоды
Mitsubishi	Япония	СВЧ Si MOSFET-транзисторы и модули СВЧ GaAs FET, ИС и модули
Nitonex	Япония	СВЧ GaN-транзисторы и модули
NXP	Европа	СВЧ биполярные транзисторы СВЧ Si MOSFET-, LDMOS-транзисторы СВЧ GaN-транзисторы и модули
PolyFET	США	СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзисторы
RFMD	США	СВЧ GaN ИС и модули
Semelab	Европа	СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзисторы
STM	Европа	СВЧ Si биполярные транзисторы СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзисторы
TriQuint Semiconductor	США	СВЧ GaAs, GaN-транзисторы и модули СВЧ In GaP NBT СВЧ Si MOSFET, LDMOS-транзистор
Sumitomo	Япония	СВЧ GaAs, GaN-транзисторы, ИС и модули

компании не являются законодателями по новым СВЧ GaN- и SiC-приборам. В данном отношении лидируют небольшие и средние специализированные компании (Cree, Nitronex, TriQuint и др.), не ставящие перед собой задачи крупносерийного производства. Среди их продуктов преобладают СВЧ-транзисторы, СВЧ-микросхемы и модули и отсутствуют низкочастотные приборы. Компания Cree (не без помощи российских специалистов) старается максимально использовать наработки по материалам SiC, GaN, достигнутые по светодиодной тематике.

Некоторые производители (American Microsemiconductor) в своей работе используют девиз: мы стартуем, когда оригинальные производители прекращают производство. В первую очередь, их продукты ориентированы на рынок запасных частей. Часто такие компании сами не производят товар, а пользуются услугами OEM-производителей и лишь маркируют свою продукцию.

Некоторые компании (Semelab) не имеют собственного производства чипов и пользуются услугами специализированных фабрик. MA-COM и Freescale Semiconductor после разделения Motorola сохранили у себя и расширили номенклатурный ряд СВЧ-транзисторов серии MRF [6, 7].

В таблице 2 приведены данные по российским производителям мощных СВЧ-транзисторов. Предприятия «ВЗПП-Сборка», «ГЗ «Пульсар», НИИЭТ, «НПП «Пульсар» специализируются на кремниевых СВЧ биполярных, MOSFET- и LDMOS-транзисторах, а «Исток», НИИПП и «НПП «Планета-Аргалл» — на полевых GaAs-транзисторах. «ВЗПП-Сборка» и «ГЗ «Пульсар», в основном, выпускают старую номенклатуру транзисторов, разработанных более 20 лет назад. НИИЭТ и «НПП «Пульсар» существенно расширили свой ассортимент за счет MOSFET- и LDMOS-транзисторов. Последние являются новыми продуктами для наших производителей и начали разрабатываться этими предприятиями 3–5 лет назад. Прежде разработчики и изготовители радиоаппаратуры были вынуждены ориентироваться на LDMOS-транзисторы Freescale, Infineon, NXP. Очевидно, что в соответствии с тенденциями мирового рынка следующим шагом для этих компаний станет разработка транзисторов на GaN и SiC.

Российские разработчики и заказчики специальной аппаратуры продолжают игнорировать микросхемы и транзисторы в пластмассовых корпусах, хотя девиз 1940–50-х гг. прошлого столетия «если в наших танках броня, то это самая толстая броня в мире» давно сменился принципом прагматичной достаточности. За последние два

Таблица 2. Российские производители мощных СВЧ-транзисторов

Компания	Город	Продукция
«ВЗПП-Сборка»	Воронеж	Кремниевые биполярные транзисторы мощностью 2–500Вт частотой 50–1000МГц
«ГЗ «Пульсар»	Москва	Кремниевые биполярные транзисторы мощностью 0,1–500 Вт частотой до 8 ГГц
«Исток»	Фрязино	GaAs полевые транзисторы мощностью до 2 Вт, частотой 1–40 ГГц
НИИПП	Томск	- GaAs полевые транзисторы с барьером Шоттки частотой до 4 ГГц - СВЧ-диоды Ганка мощностью более 100 мВт, частотой 4–150 ГГц - СВЧ GaAs диоды Шоттки частотой до 178ГГц
НИИЭТ	Воронеж	- Биполярные кремниевые транзисторы мощностью 0,5–500 Вт частотой 100–1090 МГц - Кремниевые MOSFET и LDMOS-транзисторы мощностью 5–600Вт частотой 30–1000 МГц - СВЧ-модули
«НПП «Пульсар»	Москва	- Биполярные кремниевые транзисторы мощностью 2,5–150 Вт, частотой 1,2–3,1 ГГц - Кремниевые LDMOS-транзисторы мощностью 5–200Вт, частотой 0,4–2 ГГц - СВЧ-модули
«НПП «Планета-Аргалл»	В. Новгород	GaAs полевые транзисторы мощностью 15–500 мВт, частотой 0,1–40 ГГц.

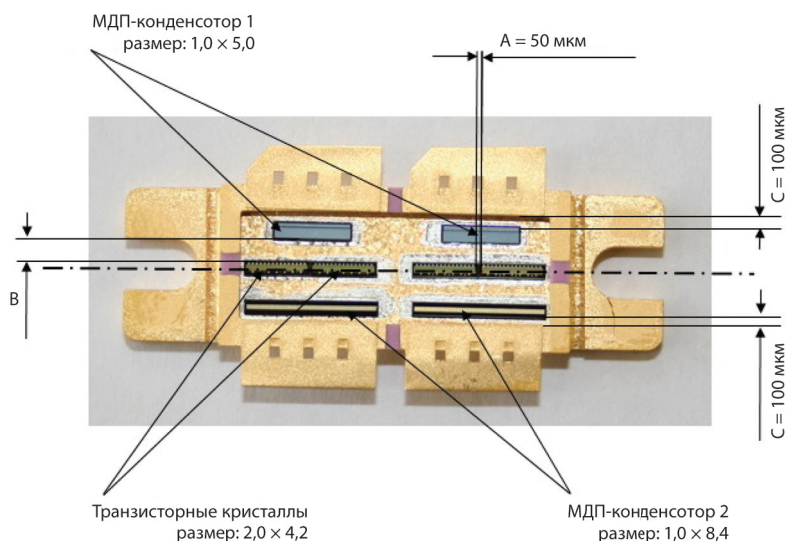


Рис. 3. Пример монтажа двух чипов СВЧ-транзисторов и четырех чипов МДП-конденсаторов в установке Palomar 3500-III

десятилетия пластмассовые корпуса не только усложнились по количеству и шагу выводов, но и приобрели качества, ранее характерные только для керамических корпусов: повышенная термоустойчивость, влагостойкость, герметичность. Благодаря им и меньшей в сравнении с керамическими корпусами цене микросхемы и транзисторы в пластмассе за рубежом стали применяться не только в гражданской, но и в военной и авиационной аппаратуре. В настоящее время все ведущие мировые производители полупроводников предлагают в своих каталогах изделия повышенной надежности в пластмассовых корпусах. Эта тенденция затронула и современные СВЧ LDMOS-транзисторы. Компании Freescale, NXP, STM постоянно расширяют свою номенклатуру СВЧ LDMOS в пластмассовых корпусах. Использование современных пластмассовых корпусов с открытой полостью (open, или air cavity), идентич-

ных по габаритным размерам керамическим, максимально упрощает задачу их использования.

Сравнительными испытаниями СВЧ LDMOS в герметичных керамических и пластмассовых корпусах компания Freescale подтвердила соответствие последних жестким тестам компонентов для базовых станций [8].

В 2011 г. NXP запустила новую линию монолитных пластмассовых корпусов для силовых СВЧ-приборов мощностью 2,5–200 Вт [9]. Дорожная карта СВЧ-приборов (интегральных микросхем и транзисторов) в пластмассовых корпусах NXP охватывает частотные диапазоны 10–500 МГц ISM, 470–860 МГц радиовещания, 700–2200 МГц стандартов GSM, WCDMA, 2300–2700 МГц стандарта LTE, 2,45 ГГц ISM, 2700–3500 ГГц S-диапазона. По сравнению с керамической пластмасса позволяет снизить стоимость материалов в приборах NXP на 20%. Продавая ежегодно более 4 млрд

всех ВЧ- и СВЧ-изделий для систем связи, промышленного, научного, медицинского, военного и космического применения, компания NXP постоянно подтверждает роль одного из мировых лидеров мощных ВЧ- и СВЧ-приборов.

В марте 2010 г. компания STM анонсировала свое последнее достижение в области сборки мощных СВЧ MOSFET- и LDMOS-транзисторов — патентованную технологию сборки в корпуса с воздушной полостью STAC (ST Air Cavity Packaging) [10]. Эта технология и изготовленные по ней транзисторы имеют серьезные преимущества перед типовыми керамическими корпусами. Корпуса STAC не требуют высокой температуры сборки, в отличие от керамических. В корпусах STAC достигается тепловое сопротивление переход-корпус менее 0,28°C/Вт, что на 20% ниже, чем в керамических. Кроме того, у транзисторов в корпусах STAC более высокие коэффициент усиления, выходная мощность и надежность. Время наработки на отказ у корпусов STAC в 4 раза больше, чем у керамических корпусов. Кроме того, меньший на 75% вес дает серьезные преимущества для проектировщиков аппаратуры авиационного и мобильного применения. Компания STM выпустила в корпусах STAC серию СВЧ MOSFET на 50 и 100 В при мощности до 1200 Вт, с коэффициентом усиления 21–26 дБ и эффективностью 68–75% в сравнении с 55% у керамических корпусов. Цена таких транзисторов начинается с 48 долл. при партии объемом свыше 25000 шт.

СВЧ-транзисторы STAC4932B и STAC4932F в пластмассовых корпусах STAC244B и STAC244F имеют максимальную температуру перехода 200°C при отличном тепловом сопротивлении переход-корпус равном 0,075°C/Вт. Эти изделия, выпущенные как альтернативный вариант керамическим SD4931 и SD4933, при партии объемом в 1000 шт. имеют цену 67,9 долл. против 77,6 долл. для керамических аналогов [11].

Следует заметить, что технология STAC и изделия с ее применением разработаны в соответствии с Директивой Европарламента 2002/95/EC от 27.01.2003 г. о снижении использования вредных веществ в электрических и электронных приборах.

#### КРЕМНИЕВЫЕ СВЧ-ТРАНЗИСТОРЫ

Номенклатурный ряд мощных СВЧ-транзисторов, предлагаемых ЗАО «Синтез Микроэлектроника», включает три вида изделий:

- биполярные транзисторы (см. табл. 3);
- MOSFET-транзисторы (см. табл. 4);
- LDMOS-транзисторы (см. табл. 5).

Подробную информацию об этих изделиях см. на сайте компании [12].

Вся указанная продукция ориентирована на соответствие техническим



спецификациям функциональных аналогов серий 2Nxxxx, MRFxxx и др. Для их производства используются российские и зарубежные металлокерамические корпуса.

В качестве металлизированных межсоединений чипа применяется золотая или алюминиевая металлизация, а разварка выводов выполняется проволокой из тех же материалов. Толщина пластин с чипами уменьшается до 150–160 мкм на оборудовании компании DISCO. В ближайшей перспективе толщина чипов будет уменьшена до 85–100 мкм за счет использования более современного оборудования и технологии DISCO, что позволит улучшить результаты по тепловому сопротивлению переход-корпус, а также по переходным сопротивлениям.

Посадка чипов в корпус на эвтектику Au-Si выполняется на автомате мультичипового монтажа Palomar 3500-III, обеспечивающем монтаж до восьми и более чипов в корпус с точностью 5 мкм при расстоянии между чипами менее 50 мкм. Пример монтажа шести чипов в СВЧ-корпус показан на рисунке 3. Высокая точность монтажа чипов и последующей разварки выводов минимизирует разброс параметров при статическом, динамическом и тепловом контроле параметров СВЧ-транзисторов и модулей в корпусе.

Категория биполярных СВЧ-транзисторов охватывает диапазон мощности 2,5–250 Вт с частотой 30–1215 МГц, предназначенных для использования в аппаратуре подвижных и стационарных средств связи, навигационных системах и устройствах радио- и телевизионного вещания. В данной категории представлены также импульсные, линейные и ультралинейные транзисторы с максимальной мощностью до и более 250 Вт. Транзисторы серии 2Nxxxx — это, в основном, приборы классической биполярной номенклатуры с чипами, изготовленными по эпитаксиально-планарной технологии. В импульсных линейных транзисторах используется прецизионная диффузионная технология и сложные методы тестирования приборов в корпусе.

В категории MOSFET представлены современные СВЧ-транзисторы мощностью 5–600 Вт, изготовленные по эпитаксиально-планарной технологии VDMOS с алюминиевой и золотой металлизацией. В их число входят и широко распространенные в мире аналоги мощных MRF141, MRF141G, MRF151, MRF151G, используемых для широкополосного FM- и телевизионного вещания, а также очень мощный MRF157, предназначенный для линей-

Таблицы 3. Мощные биполярные СВЧ-транзисторы

Тип функционального аналога	Выходная мощность, Вт	Коэффициент усиления, дБ/МГц	КПД, %	Тепловое сопротивление, °С/Вт	Тип корпуса
<b>Таблица 3.1. Биполярные СВЧ-транзисторы (30–200 МГц)</b>					
2N3632	13,5	5,8/175	70	7,6	TO-60
2N5590	10	5,2/175	50	5,8	.380 4L STUD
2N5642	20	8,2/175	60	5,8	.380 4L STUD
BLY93H	25	9/175	-	2,5	.380 4L STUD
2N5643	40	7,6/175	60 тип.	2,9	.380 4L STUD
SD1480	125	9,2/175	55	0,65	.500 6L
2N6080	4	12/175	50	15	.380 4L STUD
2N5641	7	8,4/175	60	11,7	.380 4L STUD
2N6081	15	6,3/175	60	5,6	.380 4L STUD
2N6082	25	6,2/175	50	2,8	.380 4L STUD
BLY89C	25	6/175	60	2,4	.380 4L STUD
<b>Таблица 3.2. Биполярные СВЧ-транзисторы (100–500 МГц)</b>					
2N5635	2,5	8,5 тип./400	50	23,3	.380 4L STUD
2N3375	3	4,8/400	40	15	TO-60
2N6202	3	8/400	50	17,5	.380 4L STUD
2N5636	7,5	7,9 тип./400	50	11,7	.380 4L STUD
2N3733	10	4,0/400	45	7,6	TO-60
2N6203	12	6,0/400	50	8,8	.380 4L STUD
2N5016	15	4,8/400	50	7,5	TO-60
2N5177	17	3,0/500	45	5	TO-60
2N5637	20	6,1 тип./400	60	5,8	.380 4L STUD
MRF393	100	7,5/500	50	0,65	744A-01
<b>Таблица 3.3. Импульсные биполярные транзисторы (группа 960–1215 МГц)</b>					
TAN250A	250 мин.	6,0 мин./1215	40	0,3	55AW Style1
<b>Таблица 3.3. Линейные биполярные транзисторы (группа 225 МГц, Class AB)</b>					
2SC3812	200	7/230	50	0,3	375-04
<b>Таблица 3.3. Линейные биполярные транзисторы (группа 225 МГц, Class AB)</b>					
Тип функционального аналога	Выходная мощность, P <sub>out</sub> @ 1 дБ, Вт	Коэффициент усиления, (мин.), дБ/МГц	КПД, % дБ/МГц	Тепловое сопротивление, °С/Вт	Тип корпуса
2SC3812	200	7/230	50	0,3	375-04
<b>Таблица 3.4. Группа 1000 МГц, Class AB</b>					
TPV5051	50	6,5/860	45	1,8	BMA-2
<b>Таблица 3.5. Ультралinearные биполярные транзисторы (группа 225 МГц, Class A)</b>					
Тип функционального аналога	Динамическая мощность, Вт	Коэффициент усиления, (мин.), дБ/МГц	3 Tone IMD, дБ	Тепловое сопротивление, °С/Вт	Тип корпуса
TPV394	5	14/225	-60	3,5	.280 4L STUD
<b>Таблица 3.6. Группа 860 МГц, Class A</b>					
BLX96	0,5	6/860	-60	11	.280 4L STUD
TPV595	14	8,5/860	-47	2,5	.250 BAL FLG
SD1490	25	8/860	-45	1,15	.450 DAL FLG

ных выходных каскадов частотой до 80 МГц. Идентичные транзисторы присутствуют в линейке основных участников рынка СВЧ-приборов. Сложный в производстве и дорогой MRF157 выпускают только несколько компаний.

При создании усилителей мощности и модульных приборов широко используются не только транзисторы в корпусе, но и их чипы. Наша компания поставляет также чипы этих транзисторов в составе пластин диаметром 100, 150 мм или порезанные чипы в вафельной упаковке.

В таблице 5.1 представлены СВЧ LDMOS-транзисторы на 26 и 28 В при мощности 30–75 Вт. В настоящее время ведется разработка СВЧ LDMOS-транзисторов на 32 и 50 В при

мощности до 300 Вт (см. табл. 5.2). Эти транзисторы изготавливаются с использованием 0,35-мкм технологии, 2–4 уровнями металлизации на пластинах диаметром 200 мм. Работы будут продолжены в 2013–2014 гг. Эти приборы будут соответствовать седьмому поколению СВЧ LDMOS-транзисторов.

Для согласования частотных характеристик при сборке транзисторов применяются чипы МДП-конденсаторов разных номиналов на кремниевых пластинах с золотой или алюминиевой металлизацией (см. табл. 6).

Современные СВЧ-транзисторы по уровню технологии изготовления чипов и сборки соответствуют сложным БИС, а по сложности тестирования превосходят многих из них.

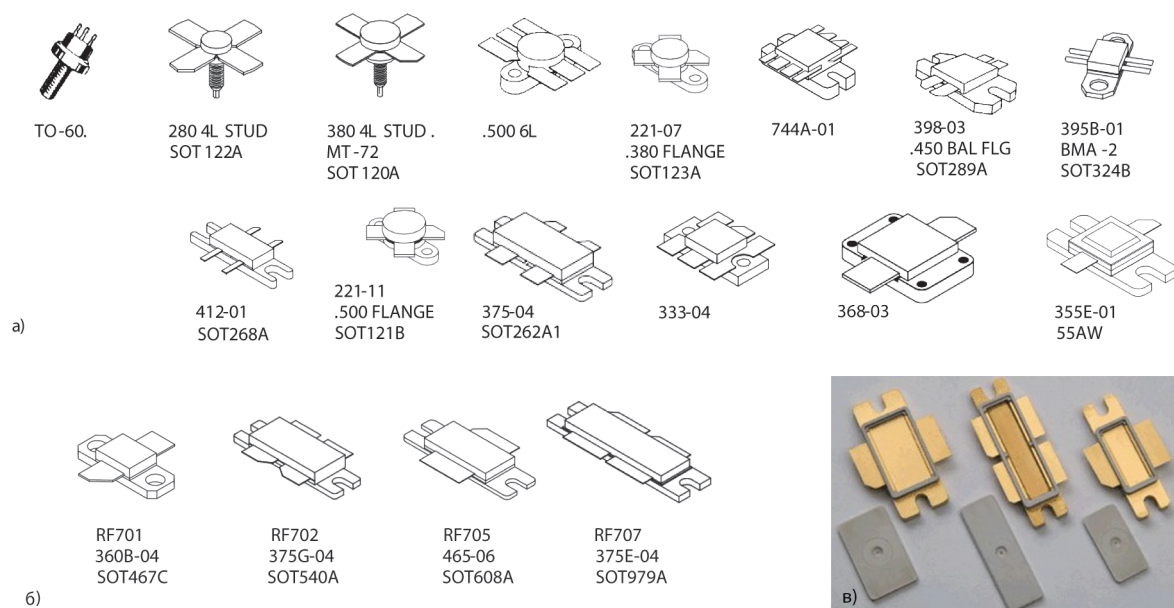


Рис. 4. **Металлокерамические корпуса:** а) мощных СВЧ биполярных MOSFET; б) LDMOS-транзисторов и в) пластмассовые корпуса с открытой полостью LDMOS-транзисторов

### КЕРАМИЧЕСКИЕ И ПЛАСТМАССОВЫЕ КОРПУСА ДЛЯ СВЧ-ТРАНЗИСТОРОВ

Для производства СВЧ-транзисторов ЗАО «Синтез Микроэлектроника» использует широкую номенклатуру металлокерамических корпусов зарубежного производства из США и Азии. Основные типы СВЧ-корпусов для биполярных, MOSFET- и LDMOS-транзисторов приведены на рисунке 4.

Материалом держателя керамического корпуса являются основания из сплава CuW и CuMo, обладающие хорошими электрическими и тепловыми

характеристиками. Финишным покрытием служит слой золота толщиной 1,5—2,5 мкм или более в зависимости от требований прибора.

В корпусах биполярных и мощных MOSFET-транзисторов применяется металлизированная керамика из BeO, обладающая лучшими изолирующими и тепловыми характеристиками среди известных типов керамики для СВЧ. Для некоторых типов приборов может применяться металлизированная керамика из AlN.

Во всех случаях финишным покрытием металлизации керамики является золото толщиной не менее 1,5 мкм,

позволяющее выполнять посадку чипов на металлизацию керамики не только методом эвтектики, но и с помощью низкотемпературных припоев.

Корпуса обладают герметичностью, необходимой для изделий наземного, военного и космического применения. Некоторые из них были оперативно разработаны или доработаны зарубежными поставщиками по техническим требованиям нашей компании. Следует заметить, что сроки разработки (доработки) составляют всего 3–5 мес., включая поставку первой партии корпусов.

К сожалению, специализированных разработчиков и поставщиков корпусов для СВЧ-транзисторов в России нет. Поэтому российские производители СВЧ-транзисторов и модулей вынуждены были самостоятельно организовывать их производство с неизбежными издержками по цене, срокам и качеству. Резко сократившиеся объемы выпуска СВЧ-транзисторов после 1990-х гг. не оставляют им шансов на конкурентоспособность и рентабельность производства корпусов на открытом рынке.

Большинство этих корпусов было разработано еще в СССР и по конструкции и габаритным размерам не соответствует международным стандартам, что является существенным недостатком, ограничивающим экспортные возможности отечественных СВЧ-транзисторов. Однако, в отличие от корпусов дискретных полупроводников и ИС, за рубежом полная международная унификация СВЧ-корпусов также отсутствует. Даже идентичные по конструкции и размерам СВЧ-корпуса имеют в зарубежных компаниях разное обозначение. Это обстоятельство усложняет взаимодействие производи-

Таблицы 4. **Мощные СВЧ MOSFET-транзисторы**

Тип функционального аналога	Выходная мощность, Вт	Коэффициент усиления, дБ/МГц	КПД, %	Тепловое сопротивление, °С/Вт	Тип корпуса
<b>Таблица 4.1. Группа до 225 МГц СВЧ AM/FM</b>					
BLF242	5	16/175	55	11	SOT123A
BLF244	15	17/175	65	4,6	SOT123A
BLF245	30	16/175	60	2,6	SOT123A
BLF248	300	11,5/225	55	0,35	SOT262A1
MRF134	5	14/150	55	11	211-07
MRF136	15	16/150	60	3,6	211-07
MRF137	30	16/150	60	1,75	211-07
MRF173	80	13	60	0,8	211-11
MRF141	150 PEP	16/30	60	0,6	211-11
MRF141G	300	14/175	55	0,35	375-04
BLF278	250	16/225	55	0,35	SOT262A1
MRF148A	30	15/175	50	1,52	211-07
MRF151	150	13/175	45	0,6	211-11
MRF151G	300	16/175	55	0,35	375-04
MRF157	600	20/30	45	0,13	368-03
<b>Таблица 4.2. Группа до 500 МГц СВЧ AM/FM</b>					
MRF166C	20	16/400	55	2,5	211-07
MRF166W	40	13/400	50	1,0	412-01
MRF175LU	100	10/400	60	0,65	333-04
MRF177	100	12/400	60	0,65	744A-01
MRF175GU	150	12/400	55	0,44	375-04

телей корпусов, изготовителей транзисторов и покупателей.

Оставшийся с периода СССР единственный поставщик металлизированной керамики ВеО из Казахстана с регулярной периодичностью сообщает о планируемом прекращении производства в связи с производственными и финансовыми трудностями. Именно поэтому наша компания была вынуждена использовать возможности зарубежных производителей корпусов для организации выпуска СВЧ-транзисторов для внутреннего и экспортного рынка. В настоящее время мы имеем установившиеся технические и коммерческие контакты с 12-ю зарубежными предприятиями по разработке и поставке корпусов для СВЧ-транзисторов и СВЧ-микросхем.

Такие наработки и контакты могут быть полезны для российских компаний, специализирующихся на разработке и производстве не только СВЧ-транзисторов, но и сверхвысокочастотных (до 50 ГГц и более) интегральных микросхем. Мы можем в короткие сроки выполнить разработку и последующую поставку корпусов по техническим требованиям клиента. Мы поставляем также классические корпуса известных зарубежных компаний Kuosera, Materion и др.

Наша компания предлагает пластиковые корпуса с открытой полостью для LDMOS-транзисторов. Эти корпуса состоят из Cu, CuW или CuMo основания, покрытого слоями Ni (3,5 мкм) и Au (не менее 1,0 мкм) и медных или сплавных, покрытых золотом выводов. Боковые стенки корпусов изготовлены из высокотемпературной полимерной пластмассы. Пластиковая крышка монтируется эпоксидной наклейкой. Технология сборки приборов позволяет проводить обработку при высоких температурах, включая монтаж чипа на эвтектику Au-Si. Таким образом,

по составу технологических операций сборка в пластиковый корпус с открытой полостью идентична керамическому. Многочисленные испытания микросхем и дискретных полупроводников в пластиковых корпусах с открытой полостью, проведенные различными компаниями по методам 1010, 1030 и др. Mil-Std 883, показали, что по влагостойкости, герметичности, температурному диапазону –65...150°C эти корпуса соответствуют стандарту. Если учесть габаритную идентичность этих двух типов корпусов, то очевидно, что пластмассовые корпуса с открытой полостью являются хорошей альтернативой керамическим при более низкой цене.

Мы можем также предложить для российских клиентов сервис сборки СВЧ LDMOS-транзисторов в пластмассовых корпусах с открытой полостью из чипов и по техническим требованиям заказчика.

Автор выражает благодарность Кожевникову В.А., Дикареву В.И., Марченко О.В. за помощь и содействие, оказанные в рамках выполнения совместных проектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. NXP Gen7 LDMOS Technology//www.nxp.com.
2. NXP Expands High Performance Gen8 LDMOS Portfolio for Wireless Infrastructure. June 13. 2012//www.nxp.com.
3. Markus Weyers. Substrate for GaN Technology, Ferdinand-Braun-Institut. Berlin.
4. High Voltage RF Devices. Microwave Journal. June 1. 2009.
5. GaN Power Electronics. YOLE Developments Report. 2012.
6. www.freescale.com.
7. www.macomtech.com.
8. Interplex Acquires Quantum Leap Packaging. Solid State Technology. July 20. 2009.
9. NXP Introduces New Plastic Packages for RF Power Transistors. June 03. 2011//www.nxp.com.
10. Package Innovation from ST Microelectronics Unlocks Performance Boost for High-Frequency Power Devices, Press Release. March 10. 2010//www.st.com.
11. STMicroelectronics Reveals Best-In-Class Technology Enabling Longer-Lasting Broadcast and Medical-Imaging Equipment. Press Release. May 16. 2011//www.st.com.
12. www.syntezmicro.ru.

Таблицы 5. Мощные СВЧ LDMOS-транзисторы

Тип функционального аналога	Выходная мощность, Вт	Коэффициент усиления, дБ/МГц	КПД, %	Тепловое сопротивление, °C/Вт	Тип корпуса
<b>Таблица 5.1. Группа разработанных LDMOS с питанием 26–28 В</b>					
MRF9030	30	19/945	41,5	1,9	360B-05
MRF9045	45	18,8/945	42	1,4	360B-05
MRF9060	60	17/945	40	0,91	360B-05
MRF9080	75	18,5/960	55	0,7	465-06
MRF373	60	13/860	50	1,0	360B-05
<b>Таблица 5.2. Группа разрабатываемых LDMOS с питанием 32 и 50 В</b>					
BLF571	20	25/225	70	1,9	SOT467C
BLF881	140	21/860	49	0,9	SOT467C
MRF6V3090	90	22/860	28,5	TBD	TBD
MRF6P3300	300	20,2/860	29	0,24	375G-04

Таблица 6. Спецификация чипов МДП-конденсаторов

Шифр	Диапазон емкости*, пФ		Размеры, мкм					
	мин.	макс.	a	b	c	d	e	f
8-202-XXX*	40	140	3000	1000	2700	320	180	200
8-203-XXX	100	350	5000	1000	4700	460	40	200
8-249-XXX	120	400	9000	800	8700	300	50	150
84-283-XXX	300	1000	8500	1200	8300	760	70	170

\*XXX — номинал емкости, который указывается при заказе.

\*\* Точность воспроизведения заказываемого номинала составляет ±5%.

Область рабочих температур: –60...125°C

Тангенс угла диэлектрических потерь tgδ, не более: 9·10<sup>-4</sup>

Напряжение пробоя, не менее: 40 В

