

## Корпуса СВЧ транзисторов и силовой электроники

Е.М. Савченко<sup>1</sup>, А.Г. Чупрунов<sup>2</sup>, А.С. Гришаева<sup>2</sup>, В.А. Сидоров<sup>2</sup>, И.А. Биларус<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МИРЭА – Российский технологический университет

<sup>2</sup>АО «НПП «Пульсар»

**Анотация:** Представлены корпуса мощных транзисторов L-диапазона частот с минимальными индуктивностями в базовых цепях и процесс изготовления теплоотводящих оснований из AlN керамики с отверстиями. Определены режимы создания системы металлизации оснований. Представлена конструкция корпуса силового модуля с высоким выходом годных корпусов в производстве и высокой эксплуатационной надёжностью. Конструкция корпуса исключает термомеханические воздействия на основание из AlN керамики при герметизации модуля шовно-роликовой сваркой.

**Ключевые слова:** СВЧ транзистор, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-керамика, AlN-керамика, псевдосплав, переходные отверстия, силовой модуль

При разработке полупроводниковых устройств необходимо стремиться ко обеспечению предельно достигаемого значения характеристик приборов: выходной мощности, рабочего тока, максимально допустимой мощности рассеяния, граничной частоты, коэффициента усиления, минимально возможных значений теплового сопротивления, емкостей, индуктивности вывода и др. В последние десятилетия отечественные и зарубежные САПР для разработки ЭКБ и РЭА усиленно развиваются [1]. Однако, чтобы создать полупроводниковые приборы недостаточно правильно спроектировать с нужной структурой полупроводниковый кристалл. Для этого потребуется разработать соответствующие технологические операции, позволяющие реализовать данную структуру, визуализировать конструкцию корпуса, а также надлежащим образом, собрать кристалл в этот корпус.

Корпус, во многом, предопределяет функционирование и надёжность полупроводникового прибора. При разработке корпуса прибора, к конструкции корпуса предъявляют определенные требования, он должен:

1. Обладать малой паразитной индуктивностью выводов и межэлектродной емкостью, особенно проходной. Данные требования необходимы для обеспечения высокой рабочей частоты, высокого коэффициента усиления мощности на высоких частотах.

2. Иметь минимальную взаимную индуктивность между выводами в силовых приборах, так как на выводе управления может наводиться напряжение импульсной помехи сравнимое с уровнями управляющих импульсов, что может привести к нарушению работоспособности силового прибора.

3. Обеспечивать минимальную длину соединений между полупроводниковой структурой и внутренними выводными элементами корпуса.

4. Обеспечивать эффективный теплоотвод от структуры полупроводника.

5. При необходимости обеспечивать электрическую изоляцию полупроводникового кристалла от металлического основания.

6. Иметь минимальное электрическое сопротивление выводов.

7. Иметь минимальное тепловое сопротивление.

9. Использовать материалы близкие по тепловому расширению для обеспечения механической прочности прибора, а также его устойчивости к циклическим термоэлектрическим и температурным воздействиям.

В мощных СВЧ транзисторах L-диапазона частот, таких как IG2729M500,

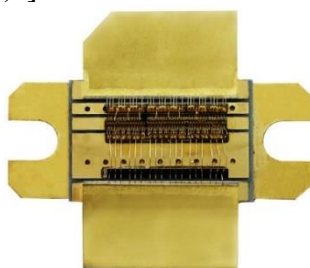
IGN2735M250, IB1214M300, используют корпуса, в которых для снижения индуктивности в базовых цепях в основании из оксидно-бериллиевой керамики выполнены металлизированные отверстия. Был проведен комплекс исследований, направленных на разработку технологии изготовления оснований из высокотеплопроводной алюмонитридной керамики с металлизированными отверстиями. На рис. 1 схематично представлена технология изготовления оснований [2,3].



**Рисунок 1.** Технологическая схема изготовления оснований с металлизированными отверстиями.

На пластину из AlN керамики, методом вакуумного напыления металлов, осаждали систему Ti-Cu с толщиной слоёв 0,2 мкм и 0,2-2,0 мкм соответственно, с последующим гальваническим осаждением слоя Cu толщиной 3 мкм. С данным покрытием имеется возможность получить теплоотводящие основания с металлизированными отверстиями, с размерами частей топологического рисунка порядка 0,1 мм и возможность сборки корпусов высокотемпературным припоем на основе серебра.

В корпусах с основаниями из AlN керамики с отверстиями были собраны СВЧ-транзисторы (Рис. 2) с параметрами, соответствующими транзистору УМ-1015-450/10 с выходной мощностью 450 Вт и рабочей частотой 1,5 ГГц, собранному в корпусе с оксидно-бериллиевой керамикой [4,5].



**Рисунок 2.** СВЧ транзистор L-диапазона частот с выходной мощностью не менее 450 Вт в корпусе на основе керамики из нитрида алюминия.

Фланец корпуса был изготовлен из сплава ВД-15, хорошо согласованного по КЛТР с AlN керамикой. Такие транзисторы могут найти широкое использование в твёрдотельных усилителях мощности РЛС.

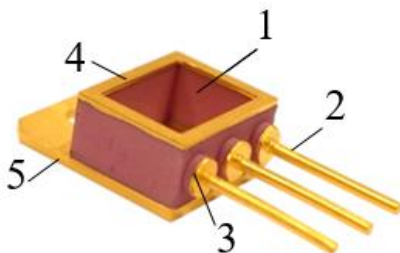
Что касается силовой электроники, то она включает в себя системы электропитания и коммутации на подвижных и стационарных объектах. К изделиям силовой электроники предъявляются особые требования по электрическим характеристикам надёжности и размерам. Изделия силовой электроники представляют собой мощные устройства, работающие в импульсных режимах и позволяющие

изменением алгоритмов их переключения управлять усреднёнными значениями мгновенной мощности по требуемым законам.

В настоящее время силовая электроника в основном использует классические кремниевые полупроводниковые элементы.

Современная силовая электроника чаще всего использует металлопластмассовые и металlostеклянные корпуса, а для высоковольтных мощных изделий на кремнии, карбиде кремния и нитриде галлия с высоким уровнем надёжности нужны герметичные металлокерамические корпуса с минимальными значениями паразитных параметров, теплового сопротивления и электрического сопротивления выводов. Требуется уделять внимание распределённой ёмкости вывод-вывод, вывод-фланец и соответствующим индуктивным связям, в силу того, что быстрые МОП-структуры способны обеспечивать высокие значения  $dv/dt$  и  $di/dt$ , а любая паразитная связь фронта выходного напряжения и затвора может привести к искажению сигнала управления и сбою в работе.

В разработанных металлокерамических корпусах типа ТО-220, ТО-218, ТО-254 обеспечена высокая электрическая изоляция между медными выводами и обеспечена возможность надёжной герметизации шовно-роликовой сваркой. Корпуса различаются размерами и количеством выводов. Корпуса предназначены для монокристалльных сборок на основе эпитаксиальных структур кремния и карбида кремния, а также для управляемых ключей на нитриде галлия и максимально соответствуют по основным габаритным размерам металлопластмассовым и металlostеклянным аналогам [6]. Конструкция корпуса (Рис. 3) состоит из керамического изолятора (1) с отверстиями для выводов (2) и с металлизированной пастой на основе тугоплавких металлов участками, подлежащими пайке. В отверстиях изолятора размещены медные выводы и герметично припаяны к выступам изолятора припоем ПСр-72 с помощью шайбы (3), предварительно посаженной на вывод по прессовой посадке. К верхней части изолятора припаян ободок (4) из сплава 29НК (ковар) для герметизации корпуса шовно-роликовой сваркой. Изолятор припаян к теплоотводящему фланцу (5) из согласованного по КЛТР с керамикой псевдосплава молибден-медь или вольфрам-медь.



**Рисунок 3.** Металлокерамический корпус типа ТО-220, ТО-218 и ТО-247

Металлокерамический корпус, в отличие от металlostеклянного, имеет не только существенно меньшее электрическое сопротивление выводов, но и более стоек к циклическому изменению температур. [7]

В таблице 1 приведены параметры металлокерамического корпуса с выводом из медной проволоки диаметром 1 мм и металlostеклянного корпуса с выводом из проволоки МК (ковар с медной жилой).

**Таблица 1.** Сравнительные параметры металлокерамического и металлоглазненного корпусов

Конструкция корпуса	Сопротивление выводов на длине 5 мм, мОм	I макс. непрерывный, А	I макс. импульсный, А
Металлокерамическая	0,1	50	>150
Металлоглазненная	3,0	10	30

*Металлокерамические корпуса силовых модулей.*

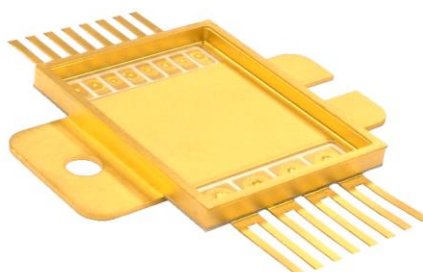
Основой конструкции силовых модулей является керамическая коммутационная плата, представляющая собой основание корпуса. В разработанных корпусах была использована AlN-керамика, которая обладает высокой теплопроводностью (170-230 Вт/м·К) и экологической чистотой по сравнению с BeO-керамикой. Кроме того, значения ТКЛР AlN-керамики и кремния почти одинаковы, что важно при больших размерах кристаллов, используемых в изделиях силовой электроники.

На Рис. 4 представлены корпуса [8], в которых стальной ободок (1) припаян к фланцу (2) из псевдосплава МД-40. Внутри корпуса на фланце припаяны основания (3) из AlN-керамики. В отверстия ободка впаяны выводы (4).



**Рисунок 4.** Корпуса с припаянными металлокерамическими выводами.

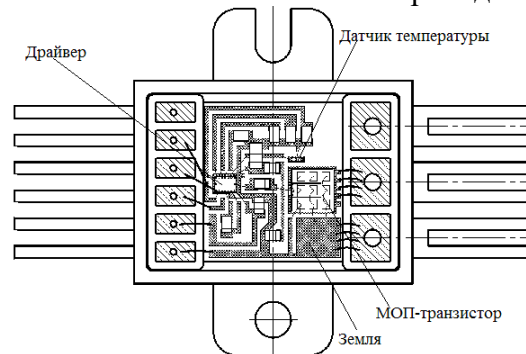
На Рис. 5 представлен корпус беспотенциального герметичного силового модуля отличающиеся минимальными габаритами и весом, низким тепловым сопротивлением, возможностью коммутировать большие токи. Кроме того, данный корпус имеет высокий выход годных корпусов и отличается повышенной эксплуатационной надежностью.



**Рисунок 5.** Корпус беспотенциального силового модуля

На Рис. 6 представлена возможная конструкция силового интеллектуального ключа, собранного в беспотенциальном корпусе. Коммутационная плата припаяна к фланцу эвтектическим сплавом германий-золото, а функциональные функциональные элементы модуля припаяны к участкам металлизации коммутационной платы припоем с температурой плавления меньшей температуры плавления эвтектики германий-

золото, например припоем ПСр-2,5, а межсоединения элементов коммутационной платы с внутренними контактными площадками платы из алюмооксидной керамики выполнены гибкими золотыми или алюминиевыми проводниками.



**Рисунок 6** Силовой интеллектуальный ключ

### Список литературы

1. Савченко Е.М., Таран П.В., Телец А.В., Фурсов С.А., Щепанов А.Н. Основные подходы к разработке моделей аналоговой и СВЧ электронной компонентной базы для использования в САПР. / Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. – 2018. – № 3 (250). – С. 32-43.
2. Савченко Е.М., Чупрунов А.Г., Сидоров В.А., Биларус И.А. Алюмонитридная керамика в коммутационных платах силовой электроники. / Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. – 2019. – № 4 (255). – С. 43-54.
3. Савченко Е.М., Чупрунов А.Г., Сидоров В.А., Гришаева А.С. Способы формирования медной металлизации алюмонитридной керамики для корпусов мощных силовых твердотельных модулей. / Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике: материалы Российской научно-технической конференции с международным участием. – М.: РТУ МИРЭА, 2019. – Т. 2. – С. 351-354.
4. Катаев С.В., Сидоров В.А., Евстигнеев Д.А. Теплоотводящие основания из алюмонитридной керамики с металлизированными отверстиями в базовых цепях для мощных транзисторов L-диапазона частот. / Электронная техника. – Серия 2. Полупроводниковые приборы. Выпуск 1 (235) 2015. – С. 62-67.
5. Савченко Е.М., Чупрунов А.Г., Сидоров В.А., Катаев С.В. Освоение производства корпусов на основе алюмонитридной керамики для мощных биполярных СВЧ транзисторов с выходной мощностью до 500 Вт. / Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции. – 2017. – С. 84-87.
6. Максимов А. Корпуса полупроводниковых приборов металлокерамические и металлокерамические. / ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес 6/2010. – С. 112-114.
7. Савченко Е.М., Сидоров В.А., Чупрунов А.Г., Биларус И.А. Металлокерамический корпус ТО-254 для изделий силовой электроники с рабочим напряжением до 2200 В и током до 50 А // Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. – 2018. – № 4 (251). – С. 53-59.
8. Ивашко А.И., Крымко М.М. Металлокерамический корпус для силовых полупроводниковых модулей. / Электронная техника. – Серия 2. – Полупроводниковые приборы. – Выпуск 4(247) 2017. – С. 61-67.