

ТЕПЛООТВОДЯЩИЕ ОСНОВАНИЯ ИЗ АЛЮМОНИТРИДНОЙ КЕРАМИКИ С МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ В БАЗОВЫХ ЦЕПЯХ ДЛЯ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ L-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

© С. В. Катаев, В. А. Сидоров, Д. А. Евстигнеев

ОАО «НПП «Пульсар», 105187, Москва, Окружной пр., 27

В статье представлен процесс изготовления теплоотводящих оснований из алюмонитридной керамики корпусов мощных транзисторов L-диапазона с минимальными индуктивностями в базовых цепях, определены режимы и система тонкоплёночной металлизации теплоотводоов из AlN керамики, предназначенных для корпусов СВЧ транзисторов, собираемых пайкой высокотемпературными припоями, и установлена зависимость величины адгезии металлизации от температуры основания из AlN керамики в процессе осаждения металлов и от толщины слоёв осаждаемых металлов. Приведены результаты измерений параметров штатного транзистора, собранного в корпусе с керамикой из оксида бериллия, и транзисторов, собранных в корпусах с алюмонитридной керамикой. Результаты измерений показывают, что корпуса с алюмонитридной керамикой могут быть альтернативой корпусам мощных СВЧ транзисторов с керамикой из оксида бериллия.

Ключевые слова: транзистор, алюмонитридная керамика (AlN), керамика из оксида бериллия, металлизация, отверстия

Сведения об авторах: Катаев Сергей Владимирович, s_kataev@pulsarnpp.ru; Сидоров Владимир Алексеевич, к.т.н., vsidorov@pulsarnpp.ru; Евстигнеев Дмитрий Андреевич, к.т.н., dat@pulsarnpp.ru

THE HEAT-REMOVING BASES OF ALN CERAMICS WITH METALLIZED HOLES IN THE BASE CIRCUITS FOR L-BAND POWER TRANSISTORS

S. V. Kataev, V. A. Sidorov, D. A. Evstigneev

JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okružhnoy proezd, 27

The fabrication process of the AlN ceramics heat-removing bases for bodies of L-band power transistors with minimum inductances in the base circuits is presented. Regimes and systems of the heat sink thin-film metallization from AlN ceramics for the housing microwave transistors collected soldering by high temperature solder were determined. The adhesion value metallization dependences from temperature of AlN ceramics base at deposition of metals and from thickness of the deposited metallic layers were installed. The results of measurements of the parameters of the transistor staff assembled in the housing with ceramic and beryllium oxide transistors assembled in housings with AlN ceramics were produced. The measurement results show that the case with AlN ceramics may be alternative housings of power microwave transistors with beryllium oxide ceramics.

Keywords: transistor, AlN ceramics, beryllium oxide ceramics, metallization, holes

Data of authors: Kataev Sergey Vladimirovich, s_kataev@pulsarnpp.ru, Sidorov Vladimir Alekseevich, Ph.D., vsidorov@pulsarnpp.ru; Evstigneev Dmitry Andreevich, Ph.D., dat@pulsarnpp.ru



Рис. 1

Схема технологического процесса

Введение

В мощных СВЧ транзисторах L-диапазона частот широко используют корпуса, в которых основным конструктивным элементом является основание из керамики на основе оксида бериллия с металлизированными отверстиями, для снижения индуктивности в базовых цепях, например, корпусов транзисторов фирмы Интегра IGN2729M500, IGN2735M250, IB1214M300.

Производство бериллиевой керамики с металлизированными отверстиями практически не освоено традиционным поставщиком из Казахстана. Поэтому был проведён комплекс исследований, направленных на разработку технологии изготовления металлизированных оснований с отверстиями из высоко-теплопроводной алюминитридной керамики.

Результаты исследований

При разработке теплоотводов из алюминитридной керамики с отверстиями в базовых цепях транзистора за основу был принят корпус штатного транзистора L-диапазона частот с выходной мощностью порядка 450 Вт УМ-1015-450/10, собранного в корпусе с керамикой из оксида бериллия. Размеры основания 16,2x10,2x0,5 мм. Диаметр отверстий примерно 0,5 мм. Ширина изолирующих зазоров между элементами металлизации 0,1-0,15 мм.

Работа проводилась на шлифованных пластинах из алюминитридной керамики со стандартными размерами 48x60x0,5 мм по отработке следующих основных операций:

- прошивка отверстий лазерным лучом;
- вытравливание в отверстиях алюминия, образующегося под действием высокой температуры, при прошивке лазерным лучом;
- вакуумное напыление металла на обе стороны пластины;
- формирование прецизионного топологического рисунка металлизации методом фотолитографического травления.

Технологический процесс проводили по упрощённой схеме (рис. 1).

Исследования, в основном, были направлены на создание системы металлизации, имеющей высокую адгезию к керамике и обеспечивающей возможность формирования фотолитографическим травлением прецизионных топологических рисунков с размерами электроизолирующих зазоров 100-150 мкм, способной выдерживать высокотемпературную пайку припоем на основе серебра, а также на формирование надёжной металлизации в отверстиях.

Разработка системы и режимов создания металлизации теплоотводов из алюминитридной керамики, позволяющей их монтаж в корпусах мощных СВЧ транзисторов пайкой высокотемпературными припоями, проводилась с использованием установки магнетронного осаждения металлов. Осаждали слои титана и меди при различных температурах на керамике. Зависимость величины адгезии металлизации при пайке в вакууме припоем ПСр 72 от температуры на AlN керамике в процессе осаждения металлов и от толщины слоёв осаждаемых металлов показана на рис. 2.

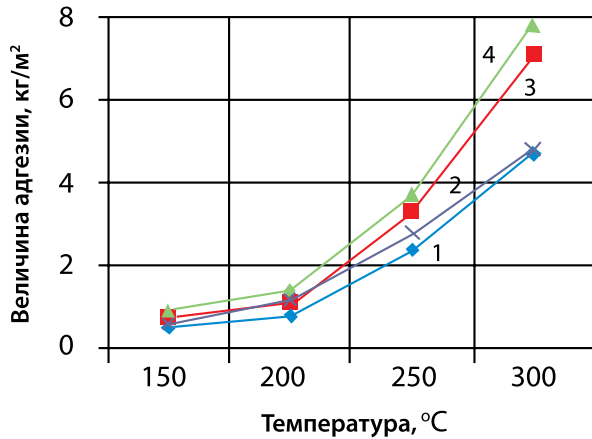


Рис. 2

Зависимость величины адгезии металлизации от температуры на AlN керамики в процессе осаждения металлов:
 (1) Ti – 0,1 мкм, Cu – 0,1 мкм; (2) Ti – 0,15 мкм, Cu – 0,2 мкм; (3) Ti – 0,4 мкм, Cu – 0,4 мкм; (4) Ti – 0,2 мкм, Cu – 0,5 мкм

Наименьшая адгезия получена при толщинах слоёв титана и меди 0,1 мкм. При толщинах слоёв титана 0,15-0,2 мкм и меди 0,2-0,5 мкм величина адгезии максимальная и превышает 7 кг/мм². Высокая адгезия обеспечивалась также при толщине слоя меди до 4 мкм. Но при этом существенно увеличивалась длительность процесса напыления.

Для обеспечения надёжной металлизации в отверстиях, а также для повышения её электропроводности, на напылённую металлизацию дополнительно осаждали гальваническую медь и никель. В табл. 1 приведены результаты исследования по определению оптимальных гальванически осаждённых слоёв и режимов их формирования. Гальванически осаждали Cu без отжига перед осаждением никеля и Cu1 с отжигом в вакууме при температуре 700 °C. Проверляли величину адгезии к ке-

Таблица 1

Результаты исследования по определению оптимальных гальванически осаждённых слоёв и режимов их формирования

№ образца	Толщина слоя, мкм			R, кг/мм ²	R, Ом x10 ¹⁰	Примечания	
	Cu	Cu1	Ni				
1	1,0		3,0	2,8	16,2	Обеспечивается размер зазора. Вздутия отсутствуют	
2		1,0	3,0	3,2	15,8		
3	1,5		3,0	3,1	15,7		
4		1,5	3,0	3,7	16,4		
5	2,0		3,0	4,8	15,1		
6		2,0	3,0	5,7	15,5		
7	3,0		3,0	5,2	16,1		
8		3,0	3,0	8,9	15,9		
9	4		3,0	5,4	14,6		Не обеспечен размер зазора
10		4	3,0	8,6	13,7		
11	5		3,0	6,4	9,1		Не обеспечен размер зазора. Имеются отдельные вздутия
12		5	3,0	7,2	8,4		

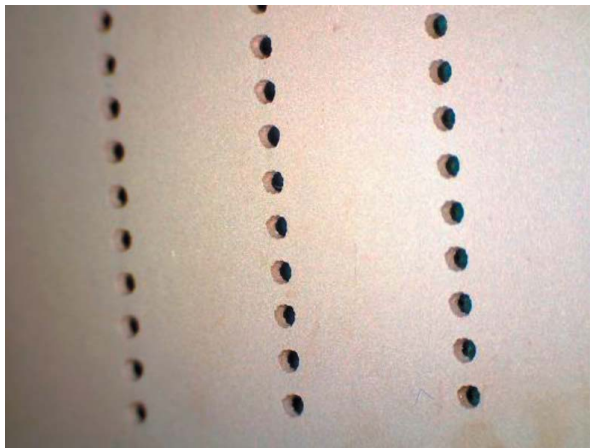


Рис. 3

Фрагмент металлизированной платы с отверстиями

рамике P по усилию отрыва штырьков диаметром 1 мм припаянных к металлизации припоем ПСр 72. Сопротивление R изоляции зазоров шириной 150 мкм проверяли при напряжении 200 В. Допустимым принималось сопротивление не менее 10^{10} Ом.

Вздутие металлизации после воздействия температуры пайки серебром равной 1000 °С проверяли под микроскопом при увеличении в 16 раз. Такая проверка вызвана тем, что при сборке корпусов, выводные рамки в ряде случаев припаивают серебром. Вакуумную плотность паяного соединения проверяли на гелиевом течеискателе ПТИ-10. Для этого припоем на основе серебра к металлизированной

пластине припаивали герметичный изолятор из алюмооксидной керамики. Измерения уровня герметичности проводили на образцах, отобранных по лучшим результатам испытаний, приведённых в таблице.

По результатам испытаний основным дополнительным гальваническим покрытием выбрано покрытие медью с толщиной слоя 3 мкм. Толщина никеля равная 3 мкм является типовой при изготовлении корпусов полупроводниковых приборов.

На образцах, изготовленных в соответствии с режимом 8 табл. 1 была проверена вакуумная плотность. При проверке утечки гелия не обнаружено.

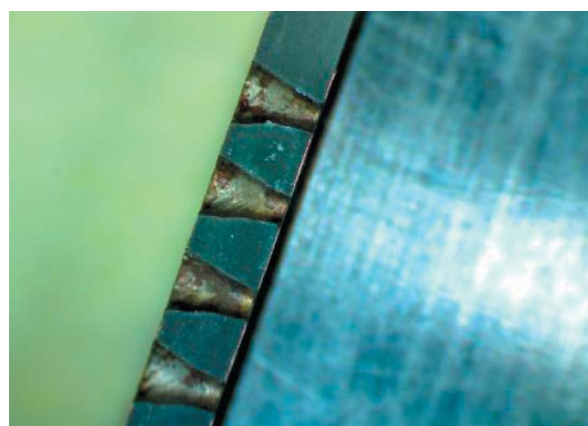
При металлизации пластин толщиной 0,5 мкм с отверстиями диаметром 0,5 мм поверхность отверстий покрывается металлом полностью. На рис. 3 представлен фрагмент металлизированной платы из алюмонитридной керамики с отверстиями.

При металлизации пластин толщиной 1,0 мкм с отверстиями диаметром 0,5 мм поверхность отверстий покрывается металлом не полностью. Средние участки поверхности отверстий после напыления остаются не металлизированными. Выполнение отверстий конусообразной формы обеспечивает сплошную металлизацию их поверхности. На рис. 4а и 4б представлены фотографии фрагментов платы с конусообразными отверстиями.

На рис. 5 представлена фотография фрагмента металлизированной платы с



а)



б)

Рис. 4

Фрагменты металлизированной платы из алюмонитридной керамики с конусообразными отверстиями

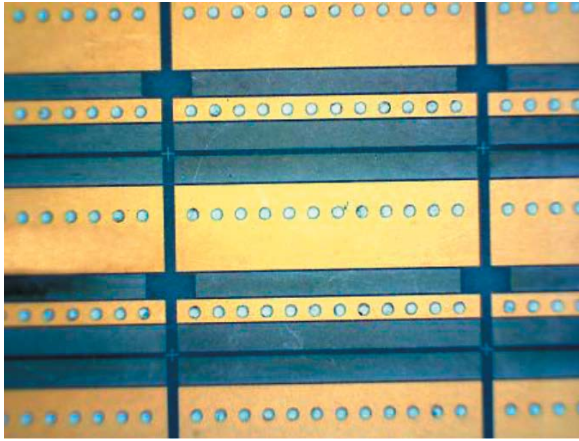


Рис. 5

Фрагмент металлизированной платы с отверстиями после фотолитографического травления

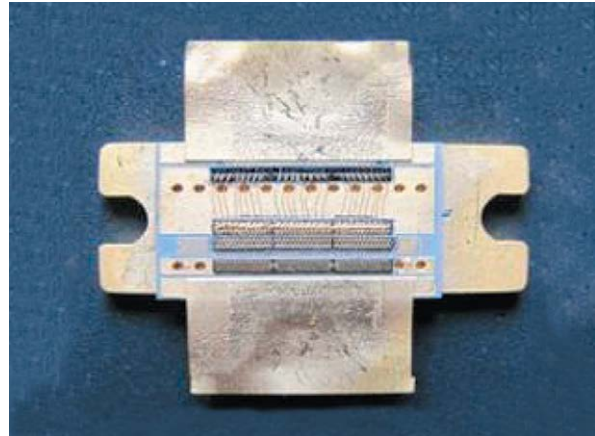


Рис. 6

Транзистор с теплоотводом из алюминитридной керамики с металлизированными отверстиями в базовых цепях

отверстиями после фотолитографического травления. Золотом гальванически покрыты участки металлизации, соединённые металлизированными отверстиями со сплошной металлизацией обратной стороны.

На рис. 6 представлен транзистор с таким теплоотводом.

В корпусах с основаниями из алюминитридной керамики с металлизированными отверстиями в базовых цепях были собраны транзисторы с кристаллами штатного транзистора УМ-1015-450/10, собранного в импортном корпусе с керамикой из оксида бериллия. Результаты измерения параметров транзисторов приведены в табл. 2.

Фланцы транзисторов с AlN керамикой были изготовлены из вольфрама, а

у штатного транзистора из псевдосплава вольфрам-медь, имеющего более высокую теплопроводность, чем у вольфрама, что может быть причиной несколько меньшего теплового сопротивления штатного транзистора. Тем не менее, изготовленные транзисторы с теплоотводящими основаниями из алюминитридной керамики могут быть использованы в комплексированной аппаратуре, например, в радиолокационных комплексах, наряду со штатными транзисторами с теплоотводами из BeO керамики.

Заключение

1. Магнетронное осаждение системы титан-медь при температуре подогрева AlN

Таблица 2

Результаты измерения параметров транзисторов

№ прибора	Упит., В	Рвых, Вт	Кур, дБ	R _θ , °С/Вт	τ, мкс	Частота, ГГц
1	45	445	7,5	0,8	50	1,5
2		440	7,5	0,81		
3		450	7,6	0,82		
4		445	7,5	0,81		
Штатный		476	8,0	0,7		

керамики 300 °С с толщиной слоёв титана 0,2 мкм и меди 0,2-2 мкм, с дополнительным гальваническим слоем меди толщиной 3 мкм обеспечивает возможность изготовления теплоотводящих оснований корпусов мощных транзисторов L-диапазона частот с металлизированными отверстиями, предназначенными для снижения индуктивности в базовых цепях, с размерами элементов топологического рисунка порядка 100 мкм и возможность сборки корпусов высокотемпературным припоем на основе серебра в вакууме или водороде.

2. Корпуса с алюмонитридной керамикой могут быть альтернативой корпусам мощных СВЧ транзисторов с керамикой из оксида бериллия.

Литература

1. Сидоров В. А. Корпуса полупроводниковых приборов // Электронная промышленность. – 2003. – № 2. – С. 216-220.
2. Сидоров В. А. Алюмонитридная керамика в СВЧ транзисторах // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2008. – № 1. – С. 58-66.

References

1. Sidorov V.A. Bodies of semiconductor devices. *Elektronnaya promyshlennost* [Electronic industry], 2003, № 2, pp. 216-220.
2. Sidorov V.A. Alyumonitridnaya ceramics in the microwave transistors. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 2. Poluprovodnikovye pribory* [Electronic engineering. Ser. 2. Semiconductor devices], 2008, № 1, pp. 58-66.