

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТВОДЯЩИХ ОСНОВАНИЙ ИЗ ММК Al-SiC В СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

**Ключевые слова:** металломатричный композиционный материал, высоконаполненный, теплоотводящие основания, IGBT-модуль, теплопроводность, коэффициент теплового расширения.

Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ», г. Москва), ОАО «Электровыпрямитель» и МГУ им. Н.П. Огарева в настоящее время выполняют крупный инновационный проект по внедрению в изделия силовой электроники и преобразовательной техники высоконаполненного металломатричного композиционного материала (ММК) системы Al-SiC.

В силовой электронике такие материалы используются в мощных полупроводниковых ключах с полевым управлением – IGBT-модулях (Insulated Gate Bipolar Transistor – биполярный транзистор с изолированным затвором). Такие модули обладают высокой эффективностью и способностью работать в жестких условиях эксплуатации во всех климатических зонах. Они находят все более широкое применение в тяговых электроприводах магистральных электровозов и тепловозов, в городском электро-транспорте (метро, троллейбусы, трамваи), аэрокосмической и авиационной технике, железнодорожном транспорте, системах электродвижения надводных и подводных судов, машиностроении, приборостроении и др. (рис. 1) [1–6].

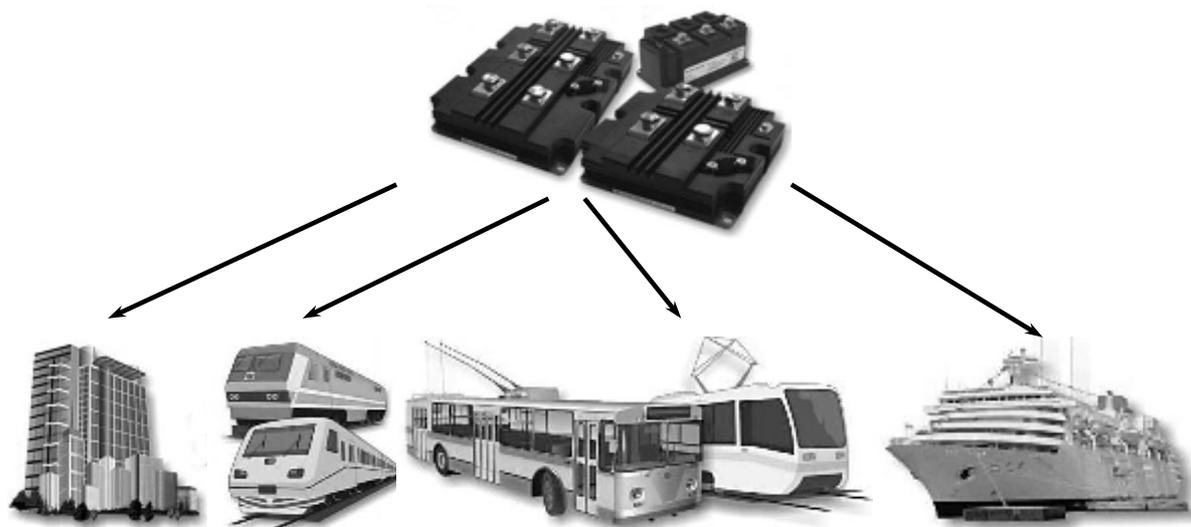


Рис. 1. Применение IGBT-модулей

С точки зрения тепловых процессов, силовые модули могут функционировать при условии, если имеется эффективный отвод тепла, осуществляемый через многослойную структуру к наружной поверхности корпуса (рис. 2). В связи с постоянно растущей концентрацией энергии в электронных схемах, высокая теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения (КТР) теплоотводящих оснований становятся решающим критерием для проектирования модулей большой мощности [2–3]. Основным фактором, обеспечивающим максимальную производительность полупроводниковых приборов, является эффективность передачи тепла от полупроводникового кристалла к теплоносителю, характеризуемая тепловым сопротивлением [4].

\* ОАО «Электровыпрямитель».

\*\* МГУ им. Н.П. Огарева.

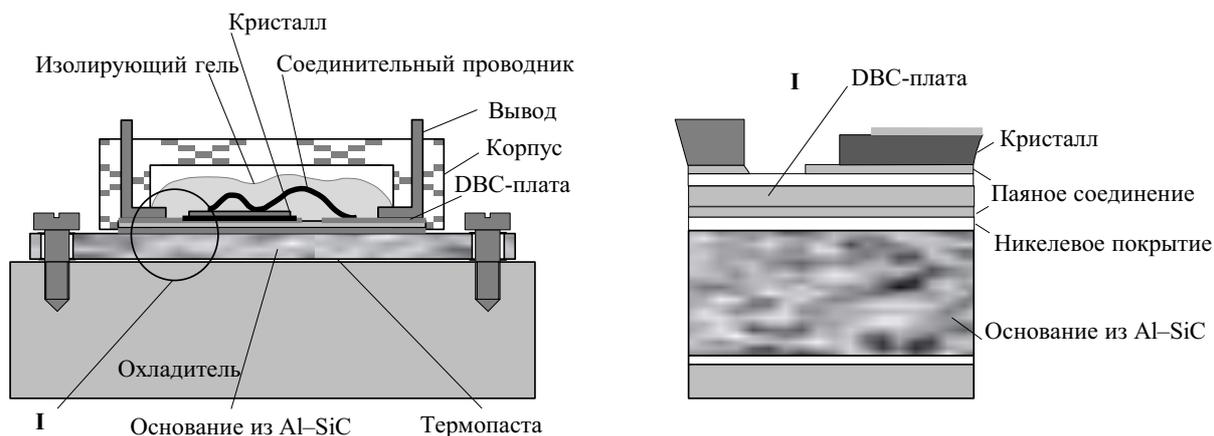


Рис. 2. Конструкция IGBT-модуля

Проблема устраняется путем использования конструкции модуля с применением ММК на основе алюминиевого сплава, армированного частицами карбида кремния (система Al-SiC), в качестве теплоотводящего основания [3]. Данный материал обладает уникальными свойствами, такими как высокая теплопроводность, низкий коэффициент теплового расширения, низкая плотность, высокая механическая прочность. В отличие от традиционных материалов, в новом материале, варьируя соотношение Al-матрицы и SiC-наполнителя, удастся точно подстроить физические свойства в соответствии с техническими требованиями для применения во многих ответственных областях. Уникальная совокупность таких свойств позволяет минимизировать термические напряжения в конструкции силовых модулей. Этим достигаются высочайшие надежность и ресурс при циклических термических нагрузках (не менее 100 тыс. циклов) силовых IGBT-модулей с применением ММК. В таблице представлены характеристики материала в сравнении с иностранным аналогом.

Основные свойства ММК системы Al-SiC

Характеристики	Значения характеристик материалов разработки	
	ВИАМ	фирмы CPS (США) – AlSiC-9
Объемное содержание Al/SiC, %	30/70	37/63
КТР: $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$	6,8	7,1
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3	3
Теплопроводность, Вт/(м·К)	170–185	170–200
Предел прочности при изгибе, МПа	370	380

Схема технологического процесса получения теплоотводящих оснований из ММК системы Al-SiC представлена на рис. 3.

Для проведения комплекса сравнительных испытаний теплоотводящих оснований в составе изделия М2ТКИ-300-17КТ были изготовлены опытные экземпляры модулей на основе теплоотводящих подложек производства ВИАМ. Проведенными испытаниями установлено, что среднее значение теплового сопротивления транзисторного ключа модуля с основанием, изготовленным в ВИАМ, на 18% ниже, чем у аналога, среднее значение теплового сопротивления диодного ключа – на 7% выше.

Испытания на термоциклирование показали, что после 10000 циклов на образцах не произошло отслоения пластины (AlN с чипами) от основания. Испытания продолжаются. Параллельно проводятся натурные климатические испытания силовых полупроводниковых приборов на полигоне ГЦКИ ВИАМ (г. Геленджик).

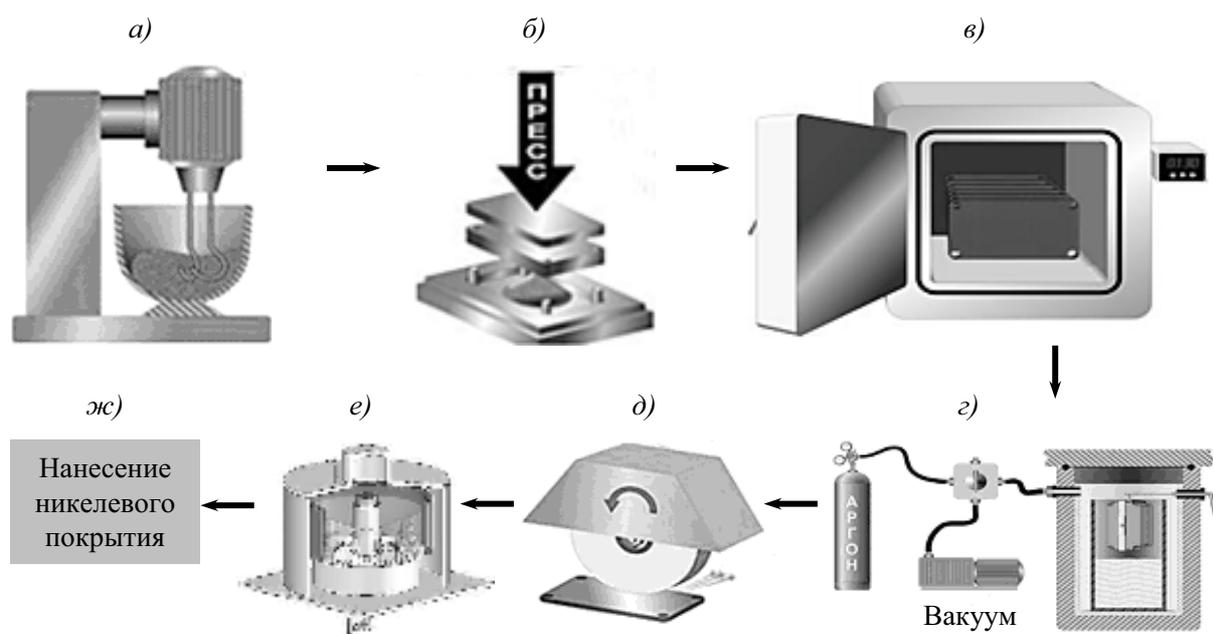


Рис. 3. Схема технологического процесса изготовления ММК системы Al-SiC:  
*а* – подготовка смеси порошков; *б* – формирование пористой заготовки (ПЗ); *в* – сушка и обжиг ПЗ; *г* – вакуумно-компрессионная пропитка ПЗ [7]; *д* – механическая обработка ММК системы Al-SiC; *е* – нанесение подслоя методом напыления; *ж* – никелирование

В настоящее время отработана базовая технология изготовления нового материала из Al-SiC и ведутся работы по освоению серийного производства с объемом выпуска до 10000 изделий в год с последующим увеличением. Планируются поставки изделий из материала системы Al-SiC как для внутреннего рынка, так и на экспорт – в страны Европы, Азии и Америки (до 50%).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н., Чибиркин В.В., Елисеев В.В., Мартыненко В.А., Мускатынцев В.Г., Эмих Л.А., Вдовин С.М., Нищев К.Н. Повышение надежности силовых IGBT-модулей с помощью высоконаполненного ММК системы Al-SiC //Авиационные материалы и технологии. 2010. №4. С. 3–7.
2. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н., Чибиркин В.В., Елисеев В.В., Мартыненко В.А., Мускатынцев В.Г., Эмих Л.А., Вдовин С.М., Нищев К.Н. Повышение надежности IGBT-модулей с применением металлического композиционного материала AlSiC //Экономика и управление в машиностроении. 2011. №2(14). С. 49–52.
3. Singh S., Tech Junior B., Ryssel H. Lifetime of power modules – 7 Indo-German winter academy. 2008.
4. Gilleo K., Ph. D. MEMS/MOEMS Packaging Concepts, Designs, Materials and Processes – McGraw-Hill Nanoscience and Technology Series. 2005.
5. Occhionero M.A., Adams R.W., Saums D. AlSiC for Optoelectronics Thermal Management and Packaging Designs. 2001.
6. Occhionero M.A., Fennessy K.P., Adams R.W., Sundberg G.J. AlSiC Baseplates for Power IGBT Modules: Design, Perfomance and Reliability //Ceramic Process Systems. 2003.
7. Устройство для получения изделия из металломатричного композиционного материала: пат. 110310 Рос. Федерации. опубл. 31.05.2011.