

## **Исследование теплового сопротивления транзисторных сборок с двухслойным теплоотводом на основе композиционного материала алмаз - карбид кремния - кремний.**

М.Ю. Никитина<sup>1</sup>, Е.Н. Куликов<sup>1</sup>, Ю.Ю. Федоров<sup>1</sup>, А.В. Дерябкин<sup>1</sup> С.К. Гордеев<sup>2</sup>, С.Б. Корчагина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «НПП «Исток» им. Шокина»

<sup>2</sup> АО «ЦНИИМ»

**Аннотация:** проведены исследования величины теплового сопротивления транзисторныхборок с теплоотводом на основе поликристаллического алмаза – композитного материала «Скелетон». Показано, что нанесение тонкой пленки поликристаллического алмаза на поверхность композита существенно улучшает теплофизические и электроизоляционные свойства последнего. Рассчитана эффективность работы теплоотвода из такой двухслойной композиции в зависимости от его толщины и выбрана оптимальная конструкция. Установлено, что оптимальная толщина пленки поликристаллического алмаза составляет 150 мкм.

**Ключевые слова:** транзисторная сборка, поликристаллический алмаз, композиционный материал, теплое сопротивление, теплопроводность

### **1. Введение**

Увеличение уровня выходной мощности транзисторов иборок на их основе связано, в частности, с обеспечением эффективного отвода тепла от активной области прибора. Для этого, в качестве теплораспределительного элемента обычно используют теплоотвод из AlN или BeO-керамики с величиной теплопроводности (180 ÷ 220) Вт/м·К или теплоотвод из поликристаллического алмаза [1, 2] с величиной теплопроводности (800 ÷ 1200) Вт/м·К.

В результате численного моделирования [3,4] определена оптимальная толщина теплоотвода из поликристаллического алмаза, которая составляет (400 ÷ 800) мкм. Это и трудности обработки материала обуславливают достаточно высокую стоимость теплоотвода.

В работе [5] в качестве теплоотвода для мощных LDMOS-транзисторов использовали композиционный материал на основе алмаза, карбида кремния и кремния (АКК) «Скелетон» [6]. В зависимости от состава композита его теплопроводность варьируются в пределах (400 ÷ 600) Вт/м·К.

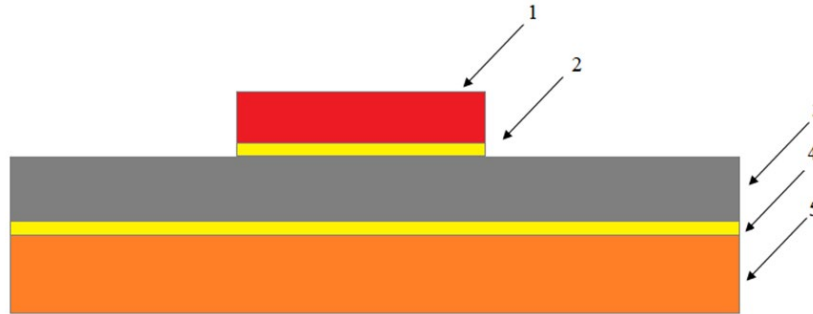
Однако материал не является диэлектриком, что ограничивает область его применения. Для увеличения электрического сопротивления между кристаллом транзистора и металлическим фланцем без ухудшения его теплофизических свойств на поверхность композита предложено нанести тонкую пленку поликристаллического алмаза.

В качестве параметров, характеризующих тепловые свойства транзисторныхборок, обычно используют тепловое сопротивление  $R_T$  и температуру кристалла прибора  $T_{CH}$  во время эксплуатации. Важность информации о температуре кристалла транзистора определяется тем, что от нее существенно зависит надежность прибора. Тепловое сопротивление транзисторов характеризует интенсивность отвода тепла от кристалла транзистора и связывает предельные электрические возможности прибора по передачи мощности с условиями температурных ограничений.

## 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Расчет величины  $R_T$  и изменения температуры кристалла проводился с помощью программы численного моделирования тепловых полей от тепловыделяющих элементов прибора [3]. Программа позволяет моделировать постоянные (по времени) температурные распределения внутри твердого тела, имеющего слоистую структуру, со слоями разной толщины и разной величиной теплопроводности.

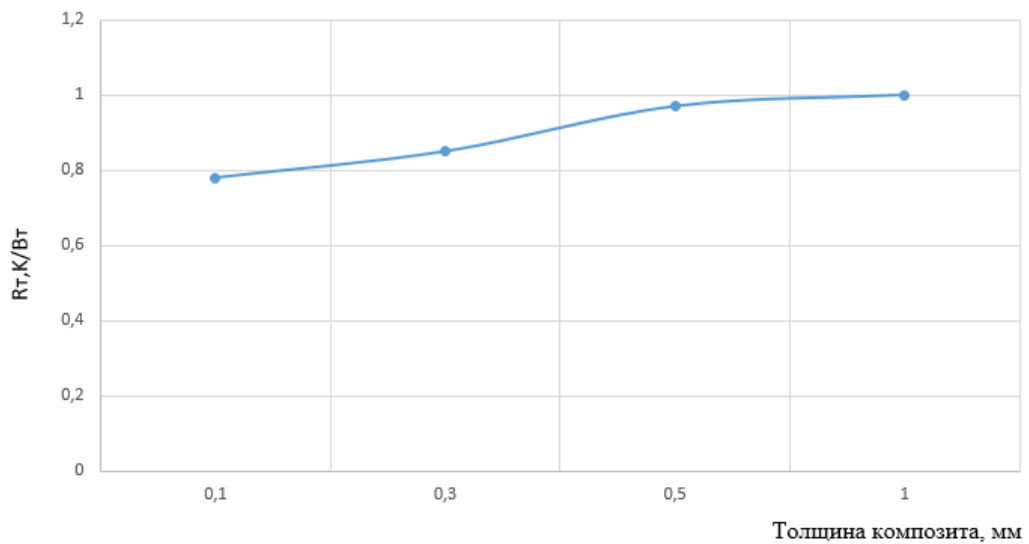
Рассматриваемая модель корпусированного транзистора приведена на рисунке 1.



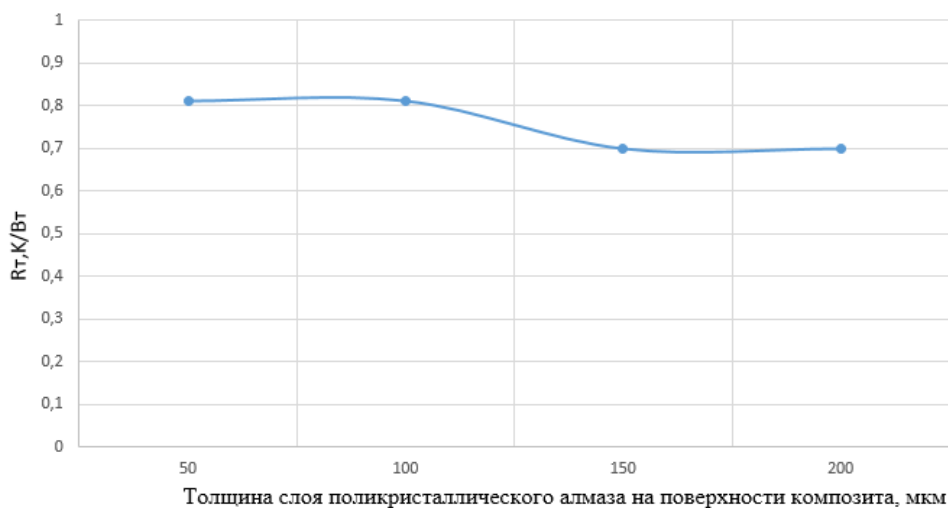
**Рисунок 1.** Схематическая модель корпусированного транзистора. 1 – кристалл, 2 – припой, 3 – двухслойный теплоотвод (поликристаллический алмаз – композиционный материал «Скелетон»), 4 – припой, 5 – медное основание.

При моделировании предполагалось, что температура фланца корпуса транзистора  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , размеры теплоотвода  $10*10\text{ мм}$ , размеры кристалла  $2*2\text{ мм}$ , мощность, подведенная к кристаллу -  $60\text{ Вт}$ .

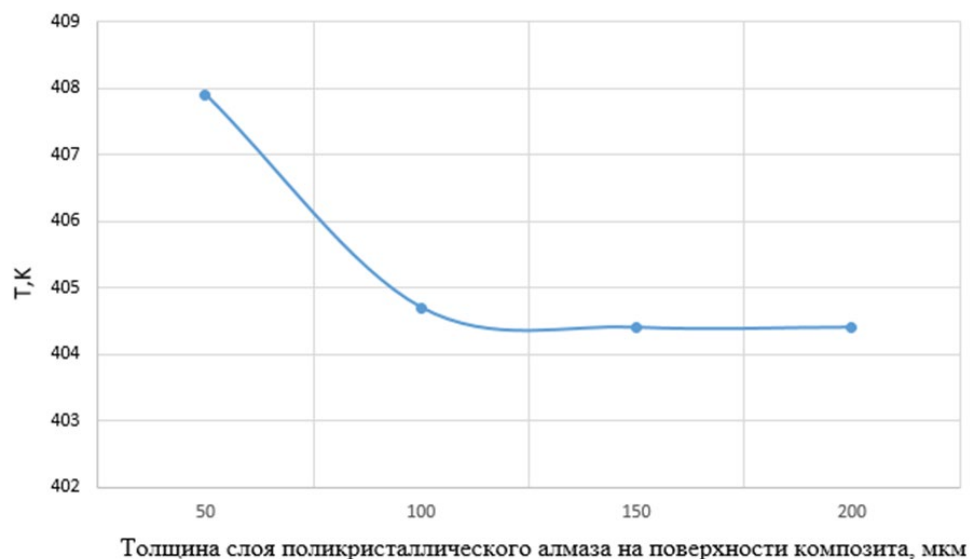
Результаты моделирования приведены на рисунках 2 - 4.



**Рисунок 2.** Зависимость теплового сопротивления транзистора от толщины композита.



**Рисунок 3.** Зависимость теплового сопротивления транзистора от толщины слоя поликристаллического алмаза на поверхности композита.



**Рисунок 4.** Зависимость температуры кристалла транзистора от толщины слоя поликристаллического алмаза на поверхности композита.

Результаты моделирования показывают, что:

- величина  $R_t$  мощного транзистора с теплоотводом из АКК «Скелетон» без нанесения на него пленки поликристаллического алмаза падает с уменьшением толщины композита. Однако, из практических и технологических соображений мы остановились на толщине АКК «Скелетон» равной 1,0 мм;

- величины теплового сопротивления и температуры кристалла транзистора достигают минимальных значений при толщине пленки поликристаллического алмаза равной 150 мкм.

Для исследования теплофизических и электроизоляционных характеристик транзисторных сборок с теплоотводом из двухслойной композиции поликристаллический алмаз – АКК «Скелетон» были подготовлены образцы композиционного материала с составом: алмаз 59% об., карбид кремния 34% об., кремний 7% об. размером 10 x 10 мм и толщиной 3 мм. Двухстадийная термохимическая обработка материала проводилась в водородной печи САМсо В16

[7]. В результате пластина из композиционного материала была утонена до величины 1,0 мм, а шероховатость ее поверхности составила около 2 мкм.

Пленки поликристаллического алмаза на поверхность композита выращивались методом химического осаждения из газовой смеси метана и водорода при воздействии СВЧ-разряда на установке АТВ-127. Толщина пленки задавалась скоростью роста и продолжительностью времени осаждения. Термошлифовка поверхности пленки поликристаллического алмаза проводилась по технологии, описанной в [8].

Далее на поверхность пленки поликристаллического алмаза магнетронным распылением в вакууме последовательно наносились плёнки W и Ni. Толщина каждого слоя 0,2 мкм. Затем проводилось покрытие гальваническим золотом толщиной 3 мкм.

На поверхность полученного теплоотвода монтировался кремниевый кристалл транзистора с помощью твердого эвтектического сплава золото-германий при температуре 420 °С толщиной 0,02 мм.

Для измерения величины  $R_T$  использовался автоматизированный измеритель-анализатор тепловых характеристик Л2-109 [9].

В Таблице 1 приведены результаты измерения теплового сопротивления  $R_T$  изготовленных транзисторных сборок.

Таблица 1. Параметры образцов

Толщина слоя алмаза d, мкм	Тепловое сопротивление $R_T$ , К/Вт
0	1,6
50	1,4
100	1,3
150	1,2
200	1,2

Также измерялось сопротивление электрической изоляции между кристаллом транзисторной сборки и ее металлическим фланцем при напряжении 3кВ. При толщинах пленки поликристаллического алмаза более 50 мкм транзисторные сборки успешно выдержали испытания на электропрочность.

### 3. Заключение

Таким образом, теоретически и экспериментально показано, что нанесение на поверхность теплоотвода из АКК «Скелетон» пленки поликристаллического алмаза уменьшает тепловое сопротивление транзистора и увеличивает электрическое сопротивление между кристаллом транзистора и металлическим фланцем. При этом толщина пленки поликристаллического алмаза равная 150 мкм является оптимальной.

#### Список литературы

1. Вяхирев В.Б., Дерябкин А.В., Дубкова А.С., Духновский М.П., Федоров Ю.Ю. Исследование теплового сопротивления транзисторныхборок с теплоотводом из поликристаллического алмаза // Сборник докладов X Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – 2021. – с. 332 – 336.
2. Мальцев П.П. и др. Теплоотводы на поликристаллическом алмазе для мощных СВЧ интегральных схем // Нано- и микросистемная техника. – 2016. – Т.18. – №4. – стр. 195-208.
3. Воробьев А.А., Воробьева Е.В., Галдецкий А.В., Духновский М.П., Ратникова А.К., Федоров Ю.Ю. Моделирование теплового режима полупроводниковых приборов с различными типами теплоотводов // Электронная техника. – Сер.1., – 2010. – вып. 2. – с. 12-20.
4. Глинский И.А., Зенченко Н.В. Расчет теплораспределяющего элемента конструкции для мощных СВЧ-транзисторов // Микроэлектроника. – 2015. – т. 44. – № 4. – с. 269-274.

5. Катаев С., Сидоров В., Гордеев С. Алмаз-карбидный композиционный материал "Скелетон" для теплоотводов в изделиях электронной техники //Электроника НТБ. – 2011. – № 3. – с.60-64.
6. Гордеев С.К., Жуков С.Г., Данчукова Л.В., Экстрем Т.С. Особенности получения композиционных материалов на основе алмаза, карбида кремния и кремния при низких давлениях //Неорганические материалы. – 2001. – т.37. – №6. – с.691–696.
7. Дерябкин А.В., Куликов Е.Н., Фёдоров Ю.Ю., Гордеев С.К., Корчагина С.Б. Исследование процесса термохимической обработки поверхности композиционного материала алмаз – карбид кремния – кремний // Сборник докладов XII Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – 2023. – с. 398 – 401.
8. Дерябкин А.В., Духновский М.П., Куликов Е.Н., Федоров Ю.Ю. Исследование процессов планаризации поверхности поликристаллического алмаза методом термического растворения в системе алмаз-металл. //Материалы XXIII Международного симпозиума «Нанозифика и наноэлектроника», – 2019. – т.2. – с. 663-664.