

Исследование теплового сопротивления транзисторных сборок с теплоотводом из поликристаллического алмаза.

В.Б. Вяхирев, А.В. Дерябкин, А.С. Дубкова, М. П. Духновский, Ю.Ю. Федоров

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: проведены исследования зависимости теплового сопротивления транзисторных сборок с алмазным теплоотводом от технологических факторов его изготовления и монтажа. Показано, что на величину теплового сопротивления влияют неплоскостность теплоотвода и качество пайки теплоотвода к корпусу сборки. Величина теплового сопротивления практически не зависит от теплопроводности алмаза в диапазоне (1000 – 1800) Вт/мК.

Ключевые слова: поликристаллический CVD алмаз, тепловое сопротивление, транзистор, теплоотвод

Основным фактором, ограничивающим возможность дальнейшего увеличения уровня выходной мощности транзисторов и сборок на их основе, является реализация эффективного отвода тепла от активной области прибора. Для решения этой проблемы широко используются теплоотводы. Традиционные теплоотводы из меди или керамики на основе окиси бериллия часто не обеспечивают требуемых значений выходной мощности приборов. В последнее время все более пристальное внимание разработчиков теплоотводов обращено на поликристаллический CVD-алмаз, который обладает существенно более высокой теплопроводностью.

На рисунке 1 показано распределение тепла в корпусированном транзисторе с алмазным теплоотводом.

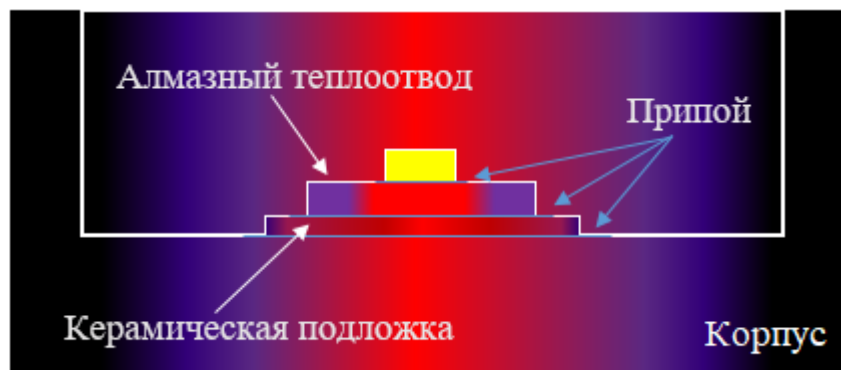


Рисунок 1. Распределение тепла при использовании алмазного теплоотвода.

Эффективность использования теплоотводов в мощных транзисторах связана, в основном, с изменением теплового режима работы прибора, который определяется его тепловым сопротивлением R_T . Величина R_T характеризует интенсивность отвода тепла от канала транзистора и определяется как $R_T = \Delta T / P_D$, где ΔT – разность между температурой канала прибора и температурой подложки, а P_D – мощность, потребляемая прибором. Различают импульсное и статическое R_T . Чтобы определить величину импульсного R_T , на транзистор воздействуют импульсом мощности и

контролируют во времени какой-либо параметр транзистора, по которому можно судить о температуре канала. Импульсное R_T зависит от длительности воздействующего импульса мощности и стремится к статическому значению R_T с ростом длительности импульса воздействия. Чем ниже величина R_T , тем эффективнее отводится тепло и тем меньше перегрев всего устройства.

Для измерения величины R_T использовался автоматизированный измеритель-анализатор тепловых характеристик Л2-109 [1, 2]. Наиболее важной особенностью Л2-109 является возможность измерения переходных температурных зависимостей, которые являются откликом на ступеньку мощности, из которых, с помощью встроенных функций, можно построить тепловую эквивалентную математическую модель. Эта модель, во-первых, позволяет прогнозировать температуры измеряемого объекта при любых режимах эксплуатации, во-вторых, позволяет установить, какой вклад в суммарное тепловое сопротивление вносит каждый слой на пути теплового потока.

На рисунке 2 приведены результаты измерения двух транзисторов с разными тепловыми сопротивлениями. R_T образца № 3,4,6 равно 0,9, 1,2, 1,6 Вт/мК, соответственно.

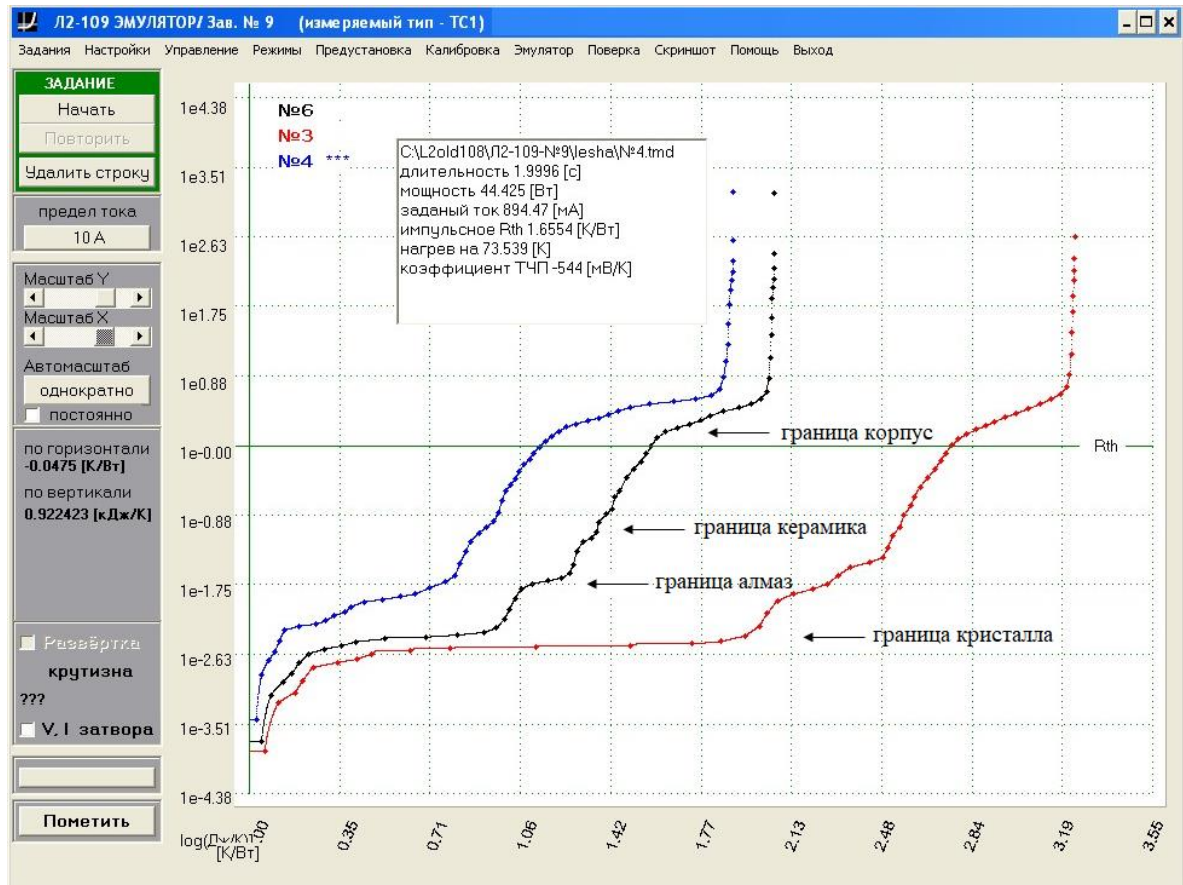


Рисунок 2. Результаты измерения двух транзисторов с разными тепловыми сопротивлениями. R_T образца №3 = 0,9 Вт/мК, R_T образца №4 = 1,2, R_T образца №6 = 1,6 Вт/мК.

При создании теплоотводов из алмаза необходимо решить ряд задач, связанных как с изучением физических процессов, происходящих на границе металл – алмаз, позволяющих разрабатывать методы обработки алмазной поверхности, так и с применением алмазных теплоотводов в составе полупроводниковых приборов.

Шероховатость ростовой стороны алмазных пластин и плоскостность поверхности после процесса роста, как показывает практика, требует дальнейшего

выравнивания, шлифования (полирования) до необходимого класса чистоты. Это особенно важно при использовании алмаза в качестве высокоэффективного теплоотвода. Поверхность полупроводниковых кристаллов, которые будут монтироваться на алмазные теплоотводы, обычно очень гладкая и ровная. У алмазного теплоотвода поверхностные дефекты мешают передаче тепла от полупроводникового кристалла к теплоотводящей подложке. Шероховатость теплоотвода Ra не должна превышать 1 мкм.

Для решения этой задачи применяется термодинамическая шлифовка, которая проходит в два этапа. На первом этапе происходит шлифовка поверхности с помощью термохимического метода [3,4], где происходит первичное снижение шероховатости обрабатываемой поверхности алмаза до 2 мкм. Обрабатываемая поверхность после шлифовки может иметь дефекты в виде пиков (рис.3), что мешает эффективному отводу тепла.

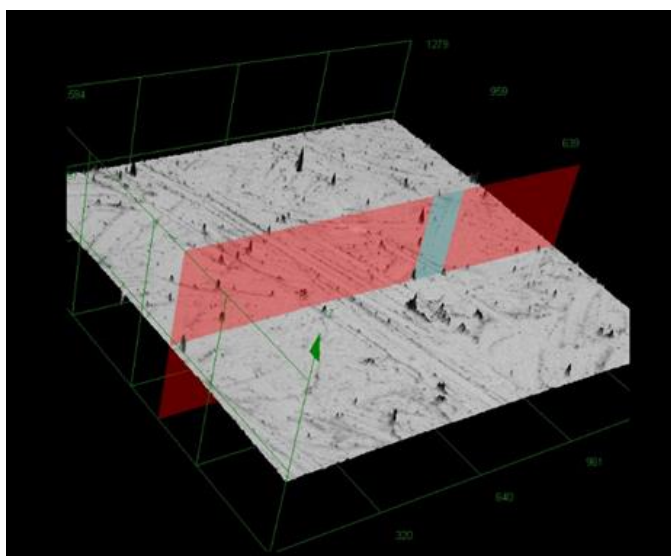


Рисунок 3. Результат контроля поверхности теплоотвода на 3-D сканирующем лазерном микроскопе.

На втором этапе термодинамической шлифовки поверхности алмаза на металлической пластине, помимо выдержки при температуре, производят их перемещение относительно друг друга. Это дает возможность удалить дефекты в виде пиков и снизить шероховатость обрабатываемой поверхности до величины менее 1 мкм, что достаточно для того чтобы применять алмаз в качестве высокоэффективного теплоотвода.

Так же был проведен анализ на ВИМС, который показал отсутствие металла в приповерхностной области поликристаллического алмаза, т.е. при таких температурах и временах диффузия посторонних атомов в алмаз не идет даже по границам зерен.

После термодинамической шлифовки на поверхность теплоотвода производится напыление Si и W-Ni с толщиной каждого слоя 0,2 мкм. Затем металлизацию покрывают гальваническим золотом 3 мкм.

Толщина припоя для пайки кристалла к теплоотводу и теплоотвода к фланцу корпуса (рис.1) составляла 10 и 30 мкм, соответственно.

На рисунке 4 приведены результаты измерения величины R_T транзисторных сборок на теплоотводе с разной величиной теплопроводности алмаза. Видно, что R_T практически не зависит от величины теплопроводности алмаза в диапазоне (1000 - 1800) Вт/мК.

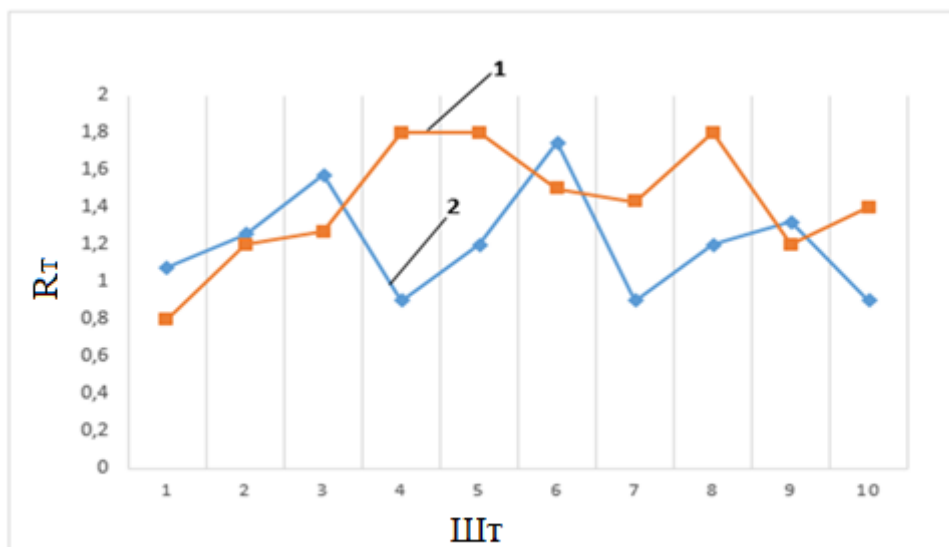


Рисунок 4. Измеренные значения величины R_t транзисторных сборок на теплоотводах с различной величиной теплопроводности алмаза. 1 – теплопроводность 1000 Вт/мК; 2 – теплопроводность 1800 Вт/мК.

Для выяснения причин разброса величины R_t в транзисторных сборках определяли влияние геометрии теплоотвода, его неплоскостности и качества пайки на величину теплового сопротивления.

Установлено, что величина R_t увеличивается с ростом неплоскостности алмазного теплоотвода (рис.5).

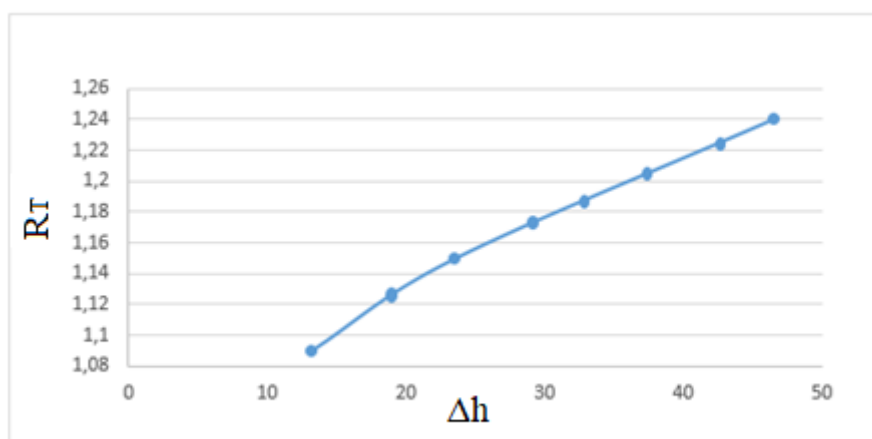


Рисунок 5. Зависимость величины R_t транзисторных сборок от неплоскостности алмазных теплоотводов.

Так же был проведен анализ на ВИМС, который показал отсутствие металла в приповерхностной области поликристаллического алмаза, т.е. при таких температурах и временах диффузия посторонних атомов в алмаз не идет даже по границам зерен.

После термодинамической шлифовки на поверхность теплоотвода производится напыление Si и W-Ni с толщиной каждого слоя 0,2 мкм. Затем металлизацию покрывают гальваническим золотом 3 мкм.

Толщина припоя для пайки кристалла к теплоотводу и теплоотвода к фланцу

корпуса (рис.1) составляла 10 и 30 мкм, соответственно.

На рисунке 6 приведены результаты контроля транзисторных сборок на рентгеновском микроскопе. Видно, что поры, возникающие при пайке, приводят к увеличению величины R_T . При этом поры при пайке кристалла транзистора к алмазному теплоотводу не выявлены.

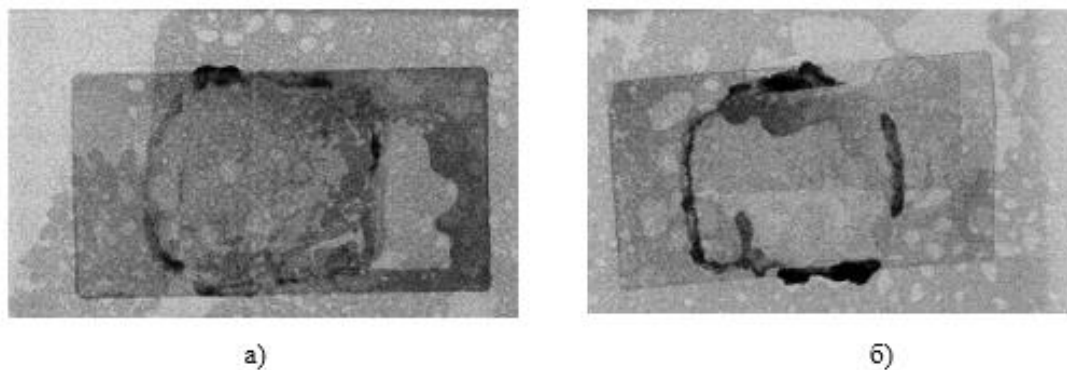


Рисунок 6. Рентгеновские снимки транзисторных сборок с $R_T=0,9$ (а) и $R_T= 2,1$ (б).

Список литературы

1. Вяхирев В. Измерение тепловых характеристик полупроводниковых электронных компонентов // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 3.
2. Вяхирев В. Измерение тепловых характеристик полупроводниковых электронных компонентов (часть 2) // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 8.
3. «Исследование зависимости шероховатости поверхности алмаза при термохимической обработке на никелевых и железных поверхностях разного класса чистоты». А.В. Дерябкин, Ю.Ю. Фёдоров, М.П. Темиряева. VII Всероссийская конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ», г. Санкт-Петербург 28 мая-31 мая 2018 г.