



МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СВЧ-МОДУЛЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ ОСНОВАНИЯМИ

MODELING THERMAL PROCESSES IN MICROWAVE MODULES WITH VARIOUS BASES

УДК 621.396.61, 621.396.62

ВОЛОСОВ АНАТОЛИЙ ВИКТОРОВИЧ¹

VOLOSOV ANATOLY V.¹

ПАНАСЕНКО ПЕТР ВАСИЛЬЕВИЧ¹

PANASENKO PETR V.¹

ПЯТОЧКИН МИХАИЛ ДМИТРИЕВИЧ^{1,2}

PYATOCHKIN MIKHAIL D.^{1,2}

¹АО «НИИМЭ»

¹ Molecular Electronics Research Institute JSC

124460, г. Москва, г. Зеленоград,

12/1 Ist Zapadny Lane, Zelenograd,

1-й Западный проезд, 12, стр. 1

Moscow, 124460, Russia

²Московский физико-технический институт

(государственный университет)

Работа посвящена моделированию тепловых процессов в СВЧ приемо-передающих модулях (ППМ). Приведены результаты моделирования влияния материала коммутационной платы и конфигурации сквозных металлизированных отверстий на ее теплопроводность, показано распределение температурных полей, установившееся при штатной работе устройства. Исследованы варианты исполнения ППМ на многослойной плате из низкотемпературной керамики, на многослойных полимерных печатных платах и на основе кремниевых коммутационных плат, проведен анализ полученных результатов и их сравнение с данными экспериментальных исследований.

Ключевые слова: тепловые процессы; СВЧ; активная фазированная антенна решетка; приемо-передающий модуль; интерпазер; низкотемпературная керамика; кремний.

The work is devoted to modeling thermal processes in microwave receiving-transmitting modules. The results of modeling the influence of the circuit board material and the through-metallized holes configuration on circuit board thermal conductivity have been presented. The temperature fields distribution established during the regular device operation has been shown. The modules execution has been investigated in the following cases: on a multilayered board made of low-temperature ceramics, on multilayered polymeric printed circuit board and on the basis of silicon commutation boards. The results have been analyzed and compared with experimental data.

Keywords: thermal processes; microwave; active phased array; receiving-transmitting module; interposer; low-temperature co-fired ceramics; silicon.

Определяющими компонентами современных активных фазированных антенных решеток (АФАР) являются СВЧ МИС на основе таких полупроводниковых соединений, как GaN и GaAs.

КПД СВЧ элементной базы на основе этих полупроводников, как правило, не превышает 50 %, что при выходной мощности 20–30 Вт делает задачу отвода тепла крайне актуальной. Современные тенденции уменьшения габаритных размеров ППМ и увеличения их выходной мощности делают проблему теплоотвода все более острой, так как широко используемые в настоящее время материалы (LTCC и печатные платы на полимерной основе) имеют неудовлетворительные тепловые характеристики [1–3].

В последнее время появились работы, которые показывают возможность формирования коммутационной платы на основе кремния, технология интегральных схем на котором с точки зрения коммутационной платы СВЧ-модуля практически снимает топологические ограничения и существенно улучшает теплоотводящие свойства платы. Использование кремния в качестве коммутационной платы дает также ряд дополнительных преимуществ по сравнению с традиционными материалами. Во-первых, теплопроводность кремния примерно в 40 раз выше,

чем у низкотемпературной керамики, и практически сравнима с теплопроводностью, например, псевдосплавов, применяемых для согласования термического расширения кристаллов СВЧ МИС и меди. Во-вторых, топологические нормы кремниевой технологии намного превосходят возможности технологии многослойных плат на LTCC и полимерах. В-третьих, применение тонкопленочных конденсаторов, интегрированных в кремниевую



Рис. 1. Сравнение латерального теплоотвода для ППМ на низкотемпературной керамике и на основе кремниевой коммутационной платы

Таблица 1. Результаты моделирования

Параметр	Материал	Медь (прямой монтаж кристалла на медный теплоотвод)	Кремний с металлизированными TSV (170 Вт/м·К)	LTCC с медными тепловыми стоками (20 Вт/м·К)	Печатная плата (15 Вт/м·К)
Температура на поверхности тепловыделяющих элементов (кристаллов СВЧ МИС), °C		55	58	84	90
Относительный перегрев		0 %	5 %	53 %	64 %

TSV (Through Silicon Vias) — сквозные отверстия в кристалле кремния, заполненные медью.

коммутационную плату, вместо традиционно используемых чип-конденсаторов многократно снижает объем индивидуальных сборочных операций и повышает надежность СВЧ-узла [4, 5].

В настоящей работе в целях определения перспективности разработки коммутационных плат на альтернативных материалах проведено сравнительное моделирование тепловых процессов в различных конструктивных решениях.

Моделирование проводилось при заданной выделяемой тепловой мощности с поверхности кристалла усилителя мощности, температура окружающей среды принималась равной 22°C, также учитывался теплообмен с окружающей средой.

Исследованы варианты ППМ на основе многослойной платы из низкотемпературной керамики, многослойных полимерных печатных платах и кремниевых коммутационных платах различного конструктивного исполнения, проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Основные результаты моделирования приведены на рис. 1 и в табл. 1.

Выходы: в результате моделирования показано, что кремний в качестве многослойной СВЧ коммутационной платы обеспечивает намного лучший теплоотвод, чем традиционные материалы печатных плат. Показано, что в процесс теплоотвода на кремниевом основании наряду с прямым теплоотводом

(перпендикулярным плоскости тепловыделяющих элементов) заметный вклад вносит латеральный теплоотвод. Показано, что определяющий вклад в процесс теплоотвода для кремниевых плат вносит сам материал, а металлизированные отверстия, как тепловые стоки, увеличивают теплопроводность примерно на 10 %, в то время как LTCC улучшает свои теплопроводящие свойства только за счет тепловых стоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратюк Р. LTCC — низкотемпературная совместно обжигаемая керамика // Промышленные нанотехнологии, 2011 год.
2. www.lsi.usp.br/~gongora/TEC_ENC/TEC-ENC_12.pdf.
3. www.ferro.com/non-cms/ems/EPM/content/docs/Ferro%20LTCC%20Design%20Guide.pdf.
4. Красников Г. Я., Волосов А. В., Котляров Е. Ю., Панасенко П. В., Тишин А. С. Микроминиатюризация приемопередающих субмодулей см-диапазона // Наноиндустрия. Спецвыпуск, 2017 (74). — С. 455–457.
5. Красников Г. Я., Панасенко П. В., Волосов А. В. Конструктивно-технологические принципы создания СВЧ элементной базы нового поколения на основе объемных технологий современной кремниевой микроэлектроники // Наноиндустрия. Спецвыпуск, 2017 (74). — С. 529–530.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



МОЩНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ СВЧ-УСИЛИТЕЛИ

Ф. Сечи, М. Буджатти

При поддержке АО "НПП «Исток» им. Шокина"

Перевод с англ. под ред. д.т.н. А.А. Борисова

В книге рассмотрены все традиционные вопросы, связанные с разработкой усилителей мощности, начиная от получения моделей приборов на большом сигнале и заканчивая обсуждением сумматоров мощности и методов проектирования.

Книга представляет интерес для специалистов, которые занимаются разработкой усилителей мощности для базовых станций сотовой связи. В особенности это относится к рассмотрению моделей на больших сигналах, проблем, связанных с фазовыми шумами, методов проектирования усилителей мощности, специальных конструкций усилителей мощности и теплового проектирования. Также данная книга может послужить в качестве справочного пособия при углубленном изучении СВЧ-устройств.

М: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 416 с.

ISBN 978-5-94836-415-5

Цена 975 руб.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 (495) 234-0110; ☎ +7 (495) 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru