

Моделирование тепловых процессов в СВЧ прямо-передающих submodule.

М.Д. Пяточкин^{1,2}, А.В. Волосов²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»

Приемо-передающие submodule (ППСМ) СВЧ диапазона в настоящее время изготавливаются на основаниях из низкотемпературной керамики (LTCC) или стеклополимеров. Технология этих материалов достигла предельных топологических ограничений, что препятствует улучшению массогабаритных характеристик ППСМ, необходимых для ряда применений. Хорошие перспективы открывает использование кремниевого основания. Использование кремния в качестве коммутационной платы дает ряд преимуществ по сравнению с традиционными материалами, во-первых, теплопроводность кремния примерно в 40 раз больше стеклополимеров и LTCC 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 стеклополимерах. В-третьих, применение тонкопленочных конденсаторов, интегрированных в коммутационную плату вместо традиционно используемых чип-конденсаторов, многократно снижает объем индивидуальных сборочных операций и повышает надежность СВЧ узла [1].

В связи с тем, что ППСМ являются устройствами с большим тепловыделением, оценка теплового режима работы является актуальной задачей разработки. В настоящей работе для решения этой задачи использовалось компьютерное моделирование.

Схематический разрез ППСМ с кремниевым основанием показан на рисунке 1.

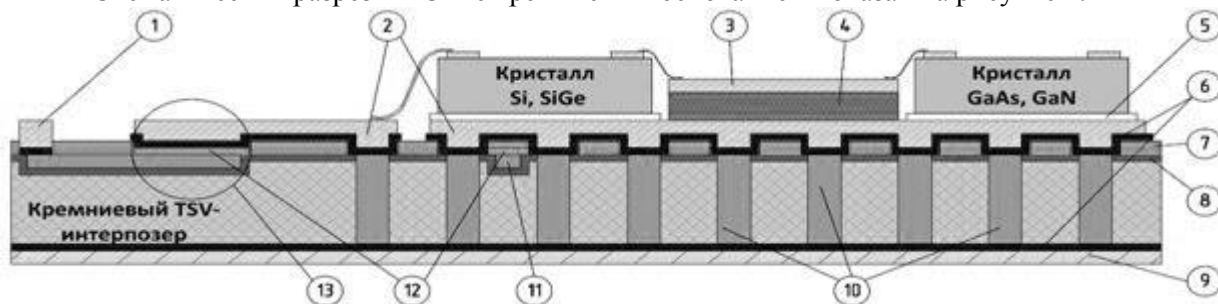


Рис. 1. Схематичная конструкция ППСМ на кремниевой коммутационной плате, где: 1- контактная площадка (Au); 2 - межсоединения 2-го уровня (Au); 3 - СВЧ МПЛ (Au); 4 - диэлектрик (BCB); 5 - тепло-, токопроводящий адгезив; 6 - металлический зародышевый слой; 7,8 - изолирующий диэлектрик (SiO_2); 9 - металлизация обратной стороны (Au); 10 - металлизированные TSV-отверстия; 11 - межсоединения 1-ого уровня (Cu); 12 - диэлектрик конденсаторов (Si_3N_4); 13 – конденсатор.

В связи с тем, что кремний не пригоден для создания на его поверхности СВЧ проводников, в качестве диэлектрика СВЧ межсоединений предполагается использовать одно из производных полимера типа бензоциклобутена (BCB) [2]. Металлизированные отверстия в кремнии выполняют функции множественного СВЧ заземления и отвода тепла. Толщина кремниевого основания составляет 100 мкм.

Моделирование проводилось в программе Comsol Multiphysics. Для оценки вклада металлизированных отверстий в процесс теплоотвода было использовано 3 модели (рис.2). Результаты моделирования калибровались прямым измерением температуры на поверхности макетного ППСМ с помощью тепловизора Fluke TiS40.

В первой модели рассматривается медная металлизация в кремнии с диаметром отверстий 40 мкм и расстоянием между ними 200 мкм. Во втором варианте отверстия в кремнии

имеют форму усеченного конуса, с радиусами 30 и 50 мкм, и золотая металлизация, золото занимает только 2 мкм от стенок отверстий (рис. 2). В третьей модели металлизированные отверстия в кремнии отсутствуют.

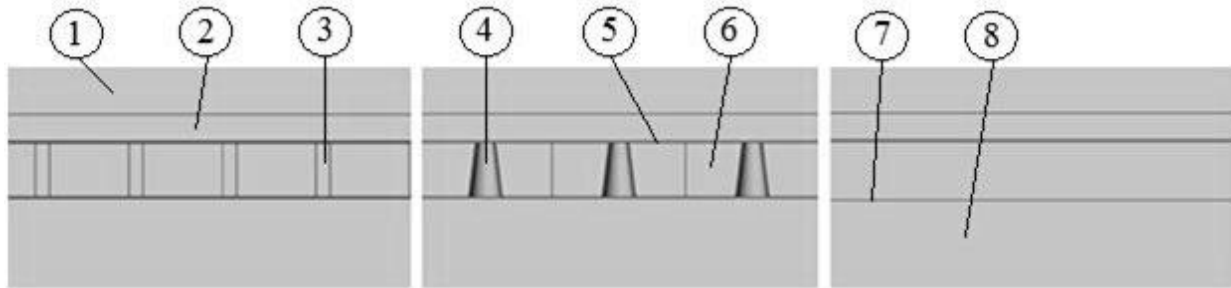


Рис. 2. Модели образцов созданные в САПре Solid Works, где: 1- кристалл (GaAs); 2- тепло-, токопроводящий адгезив; 3- медные отверстия; 4- золотые отверстия; 5- межсоединения (Au); 6- кремниевый интерпозер; 7- металлизация обратной стороны (Au); 8- медное основание.

Начальные и граничные условия моделирования: начальная температура модели 23°C; задан конвекционный теплоотвод с поверхности кристалла, где выделяется тепло; поверхность медного основания задана как бесконечный теплоотвод; все три модели рассматривались при выделяемой мощности 25 Вт.



Рис. 3. Тепловое распределение в модели №2.

Модель №	$t_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ср. по пов-ти}}, ^\circ\text{C}$
1	66	60,2
2	69,1	63,3
3	67,3	61,6

Таблица 1. Результаты моделирования

Результаты моделирования приведены на рисунке 3 и в таблице 1.

Из приведенных результатов следует, что конфигурация, как и само наличие металлизированных отверстий в кремнии оказывают незначительное влияние на процесс теплоотвода. Основной вклад в процесс теплоотвода вносит кремний, что показывает его высокую перспективность как материала для основания ППСМ СВЧ диапазона.

Литература

1. Красников Г.Я., Волосов А.В., Котляров Е.Ю., Панасенко П.В., Тишин А.С. «Микроминиатюризация приемопередающих субмодулей см-диапазона» // Международный форум микроэлектроника 2016, г. Алушта.
2. Costanzo S., Borgia A., et al. «Millimeter-Waves Structures on Benzocyclobutene Dielectric Substrate» // RADIOENGINEERING, VOL. 20, NO. 4, DECEMBER 2011, p.785-789.