

УДК 536.21

PACS: 44.10.+i

Металлогибридные термоинтерфейсы с высокой теплопроводностью

В. С. Кондратенко, Ю. И. Сакуненко, А. А. Высоканов

В данной работе описана инновационная конструкция металлогибридного термоинтерфейса (МГТИ), представляющая собой металлический каркас, выполненный из двух тонких перфорированных пластин, между которыми размещена теплопроводящая паста. Приведены сравнительные результаты эффективности теплоотвода от нагреваемых в процессе эксплуатации различных компонентов и элементов для предлагаемого МГТИ, традиционных теплопроводящих паст и жидкого металла. Показаны преимущества нового термоинтерфейса перед традиционными теплопроводящими пастами, эластичными термопрокладками и жидким металлом.

Ключевые слова: термоинтерфейс, теплопроводность, теплопроводящая паста, охлаждение, теплоотвод.

Введение

Основное назначение любого термоинтерфейса заключается в обеспечении максимального теплового контакта между тепловыделяющим элементом устройства и теплорассеивающим радиатором (кулером). На поверхности кулера размещается теплопроводящий элемент, обеспечивающий эффективный теплоотвод от тепловыделяющего элемента. Без этого посредника соприкасающиеся поверхности тепловыделяющего элемента и радиатора не могут обеспечить полного плотного контакта, так как имеют некоторые геометрические неровности и определенную шероховатость посадочной поверхности. Заполняющий щели и неровности воздух, являющийся прекрасным теплоизолятором, блокирует отвод тепла от тепловыделяющего элемента. Для справки: теплопроводность воздуха составляет 0,025 Вт/(м К), а алюминия – 220 Вт/(м К). Таким образом, незна-

чительный воздушный зазор в 0,1 мм блокирует теплоотвод эквивалентно листу алюминия толщиной в 1 метр.

Тепловой контакт может значительно улучшиться за счет выдавливания воздуха из имеющихся при соприкосновении поверхностей полостей и заполнения их теплопроводящим материалом, в данном случае, термоинтерфейсом.

Теплопроводные составы находят применение при производстве электронных компонентов, в теплотехнике и измерительной технике, а также при производстве радиоэлектронных устройств с высоким тепловыделением.

Термоинтерфейсы имеют следующие формы:

- теплопроводящие пасты;
- полимеризующиеся теплопроводные составы;
- теплопроводящие клеящие составы;
- теплопроводящие прокладки;
- припой и жидкие металлы.

Основные требования к термоинтерфейсам:

- наименьшее тепловое сопротивление или максимальную теплопроводность;
- стабильность свойств с течением времени работы и хранения;
- стабильность свойств в рабочем диапазоне температур;
- удобство нанесения и легкость смывания;
- в некоторых случаях к теплопроводным составам предъявляются требования высоких электроизоляционных свойств.

Кондратенко Владимир Степанович, профессор, д.т.н.
Сакуненко Юрий Иванович, заведующий лабораторией,
 к.т.н.

Высоканов Андрей Александрович, аспирант.
 Физико-технологический институт Московского технологического университета.
 Россия, 107996, Москва, ул. Стромынка, 20.
 Тел.: +7 (985) 923-26-63, +7 (916) 659-13-19, +7 (916) 403-88-37.
 E-mail: vsk1950@mail.ru, teplostok.plastic@gmail.com,
 maectpo_777@mail.ru

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2017 г.

© Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И., Высоканов А. А., 2017

Существующие виды и типы термоинтерфесов обладают как определенными достоинствами, так и в ряде случаев существенными недостатками, рассмотренными далее.

Теплопроводящие пасты. Наиболее массовое применение в бытовой технике получили теплопроводящие пасты с теплопроводностью в диапазоне от 1 до 11 Вт/(м К).

Технологический процесс нанесения термопаст достаточно трудоёмок, требует постоянного контроля толщины, профиля нанесения пасты, силы прижатия, устранения подтекания пасты после подпрессовки. Кроме того, нанесение термопаст с трудом встраивается в конвейерное производство, плохо поддаётся автоматизации, имеет репутацию «грязного» технологического процесса, характеризуется достаточно большим процентом невозвратных отходов.

Эластичные термопрокладки. В отличие от термопаст процесс монтажа эластичных термопрокладок существенно проще, встраивается в автоматизированные линии сборки, малоотходен.

В силу эластичности, термопрокладки отлично работают при сопряжении поверхностей с крупными воздушными зазорами, возникающими при большой криволинейности, перекосами при монтаже, крупными дефектами поверхностей. Однако теплопроводность эластичных термопрокладок за счёт большого содержания полимерной матрицы, как правило, меньше теплопроводности наиболее распространенных термопаст.

Толщина эластичных термопрокладок h колеблется в пределах 1–2 мм, в то время как толщина правильно нанесённого слоя термопасты не превышает обычно 0,1–0,2 мм. В силу этого типичное тепловое сопротивление эластичных термопрокладок существенно выше, чем у термопаст.

Однако, несмотря на это, в силу удобства монтажа и способности легко встраиваться в автоматизированные производства эластичные термопрокладки находят широкое применение.

Жидкий металл. В настоящее время жидкий металл считается наиболее эффективным термоинтерфейсом, обеспечивающим в 9 раз более высокий теплоотвод, чем у лучших термопаст. В составе жидкого металла находятся различные металлы с высокой степенью текучести, которые не содержат ртути. Жидкие металлы являются искусственными сплавами, которые отличаются высокой степенью тепло- и электропроводности. В состав сплавов, как правило, входят галлий, олово,

цинк и индий в нужных пропорциях, что позволяет сделать сплав нетоксичным и максимально использовать свойства металлов.

Жидкий металл, несмотря на свое преимущество в теплопроводности над термопастами, имеет также свои недостатки:

- трудность нанесения, необходимость тщательной подготовки и обезжиривания поверхности;

- жидкий металл нельзя наносить на алюминиевую поверхность из-за возможности её коррозии (как правило, жидкий металл предназначен для кулеров высокого качества из серебра и меди);

- жидкий металл зачастую «прикипает» к поверхности, что затрудняет его удаление;

- стоимость такого металла на порядок выше, чем у термопасты (например, стоимость термоинтерфейса CollaboratorLiquidPRO составляет 890 рублей за один грамм).

Кроме того, несмотря на свою текучесть, жидкий металл не обеспечивает полного контакта между процессором и кулером, где могут оставаться прослойки воздуха.

Целью данной статьи является описание разработки конструкции инновационного термоинтерфейса [1, 2], т. н. металлгибридного термоинтерфейса (МГТИ)

Металлгибридный термоинтерфейс

Разработана и запатентована новая конструкция нового термоинтерфейса – металлгибридного термоинтерфейса (МГТИ) [1, 2]. На рис. 1, а схематично представлена конструкция такого металлгибридного термоинтерфейса, состоящего из двух перфорированных пластин 1, между которыми размещена теплопроводящая паста 2. Соответственно на рис. 1, б представлена фотография образцов металлгибридного термоинтерфейса.

Перфорированная металлическая пластина выполняет две основные функции. Во-первых, является промежуточным носителем термопасты или контейнером для помещения пасты в процессе монтажа между тепловыделяющим элементом и радиатором. Во-вторых, элементом для выдавливания при монтаже пасты на обе сопрягаемые поверхности. При сжатии металлический каркас МГТИ деформируется и выдавливает находящуюся внутри пасту на поверхность, заполняя все имеющиеся зазоры.

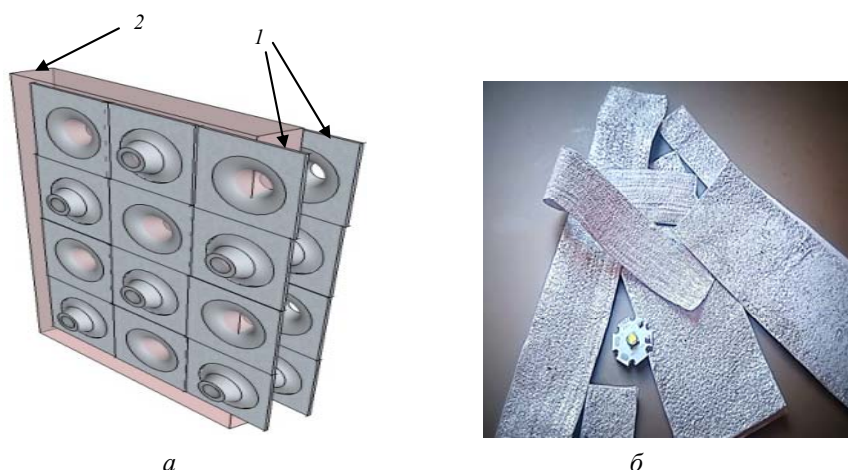


Рис. 1. Конструкция (а) и фотография (б) образцов металлогибридного термоинтерфейса: 1 – перфорированные металлические пластины; 2 – теплопроводящая паста.

Главное отличие МГТИ от существующих термоинтерфейсов – это наличие у них мощного дополнительного механизма передачи тепла с помощью металлического каркаса. Непосредственно контактируя с поверхностями как источника тепла, так и радиатора, такой каркас напрямую, минуя термопасту, соединяет их и практически без потерь транспортирует тепло. Так как теплопроводность алюминия в среднем в 100 раз выше, чем у термопаст, то именно передача тепла металлическим каркасом становится доминирующим механизмом его передачи в МГТИ.

Методика и техника эксперимента

В качестве металлического каркаса нового металлогибридного интерфейса выбрана алюми-

ниевая фольга. Алюминий удачно сочетает в себе достаточно высокую теплопроводность – 220 Вт/м (серебро – 428, медь – 397) при относительно низкой цене и высокой технологичности изготовления тонких номиналов фольги. В нашей работе при изготовлении металлогибридного термоинтерфейса использована алюминиевая фольга толщиной 0,015 мм. Важным элементом термоинтерфейса новой конструкции является перфорация фольги. В результате экспериментальных исследований были определены оптимальные значения диаметра отверстий, их формы и расстояния между отверстиями.

Заполнение металлического каркаса МГТИ осуществлялось различными типами термопаст с теплопроводностью от 0,7 до 11 Вт/(м·К), что иллюстрируется соответствующими данными таблицы.

Таблица

Термоинтерфейсы

№ п/п	Вид термоинтерфейса/ Коммерческое название	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Плотность, г/см ³	Цена, руб./см ³
1	Жидкий металл/ Collaborator Liquid Pro [6]	82,0	6.85	6100
2	Термопаста/ Cooler Master MasterGel Maker Nano(MGZ-NDSG-N15M-R1) [7]	11,0	2.37	1200
3	Термопаста/ Arctic Silver 5[8]	8,7	2.4	360
4	Термопрокладка/ Arctic Thermal Pad АСТРD00001А [9]	6	3.2	224
5	Термопаста/ КПТ-8 ГОСТ 19783-74 [10]	0,65–1	2,6–3,0	30

Первоначальные испытания проводились с заполнением металлического каркаса теплопроводящей пастой марки КПТ-8 с теплопроводностью 0,7 Вт/м·К. Все испытания проводились на тестовом компьютерном стенде на базе материнской платы ASUS и центрального процессора Intel Core i7.

Была проведена серия экспериментов для определения зависимости теплопроводности металлогибридного термоинтерфейса от давления прижима процессора к поверхности МГТИ. Показано, что при увеличении давления от 10 до 60 psi (фунт-сила на квадратный дюйм) теплопровод-

ность термоинтерфейса практически линейно возрастает в 2 раза с 1,4 до 2,8 Вт/(м К).

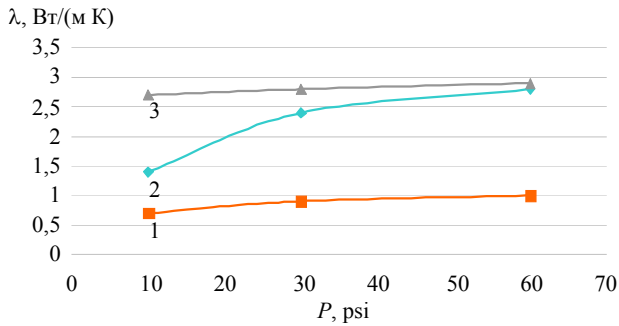


Рис. 2. Сравнительный анализ эффективности МГТИ (кривая 2) с термопастами КПТ-8 (кривая 1) и DowCorningTC-5121 (кривая 3).

Проведены сравнительные испытания зависимости теплопроводности термопаст КПТ-8 (теплопроводность 0,7 Вт/(м К) и DowCorningTC-5121 (теплопроводность 3,2 Вт/(м К) с металлогибридным термоинтерфейсом на основе пасты КПТ-8 от давления их прижима. Все термопасты наносились на крышку процессора максимально тонким и равномерным слоем. Для каждого тестируемого термоинтерфейса нанесение осуществлялось трижды с промежуточной очисткой спиртом обеих поверхностей. Результаты сравнения МГТИ с КПТ-8, использованной в качестве основы при изготовлении металлогибридного термоинтерфейса, и с термопастой DowCorningTC-5121 представлены на рис. 2. Как следует из приведенного графика, МГТИ в 4 раза более эффективно отводит тепло от процессора по сравнению с собственно термопастой КПТ-8, которая была также использована при изготовлении исследуемого МГТИ. Таким образом, продемонстрирована высокая эффективность МГТИ при невысокой стоимости производства по сравнению с наиболее часто используемыми термопастами.

Кроме того, были изготовлены и испытаны другие МГТИ, в которых в качестве металлического каркаса была использована та же алюминиевая фольга толщиной 0,015 мм, а в качестве заполнения были использованы другие термоинтерфейсы.

На рис. 3 приведены сравнительные результаты испытаний на нашем экспериментальном стенде лучшего предложения на рынке термоинтерфейсов в настоящее время, а именно, жидкого металла CollaboratorLiquidPro по сравнению с термопастой КПТ-8, термопастой алмазного класса ArcticSilver 5 и МГТИ, изготовленной с использованием термопасты ArcticSilver 5.

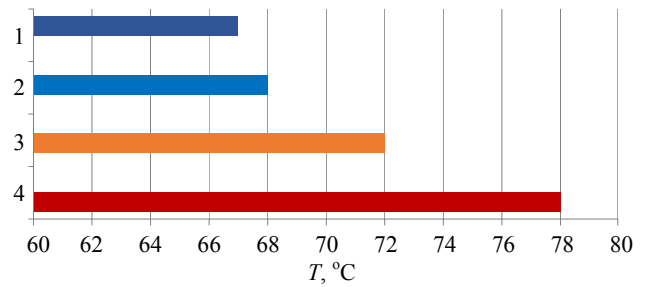


Рис. 3. Диаграмма эффективности теплоотвода различными термоинтерфейсами: 1 – CollaboratorLiquidPro (таблица п. 1); 2 – МГТИ; 3 – ArcticSliver 5 (таблица п. 3); 4 – КПТ-8 (таблица п. 5).

Как видно из рис. 3, изготовленный на основе предложенной технологии МГТИ, стоимость которого соизмерима со стоимостью термопасты заполнения ArcticSliver 5, имеет соизмеримую тепловую эффективность с термоинтерфейсом на основе жидкого металла. При этом стоимость разработанного МГТИ минимум на порядок ниже стоимости термоинтерфейса на основе жидкого металла.

Заключение

Как следует из приведенных результатов исследований, используя в качестве металлического каркаса МГТИ один и тот же материал, а именно, алюминиевую фольгу толщиной 0,015 мм, но заполняя пространство между двумя слоями фольги теплопроводящими пастами с различной теплопроводностью, можно получить широкий спектр МГТИ с требуемыми свойствами теплоотвода.

Данный результат показывает бесспорное преимущество разработанного нового инновационного МГТИ перед всеми другими известными термоинтерфейсами, поскольку обеспечиваются следующие факторы:

- высокая теплопроводность;
- низкая себестоимость;
- простота хранения и транспортировки;
- простота монтажа и демонтажа;
- возможность полной автоматизации процесса сборки;
- отсутствие требования высокоточной подгонки сопрягаемых поверхностей тепловыделяющего элемента и радиатора (кулера).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сакуненко Ю. И., Кондратенко В. С. Патент РФ № 2015129660 (РФ). Устройство отвода тепла от тепловыделяющих элементов, от 21.07.2015.
2. Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И. // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 6. С. 72.

3. Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И., Бурляй Д. А. // Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. № 3(8). С. 12.

4. Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И., Высоканов А. А. / Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Московский технологический университет. 2016. С. 76.

5. Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И., Высоканов А. А. / Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции «Оптические технологии, материалы и системы». Московский технологический университет. 2016. С. 116.

6. Coollaboratory Liquid Pro – URL: <http://www.coollaboratory.com/product/coollaboratory-liquid-pro>.

7. Cooler Master. MasterGelMaker. — URL: <http://www.coolermaster.com/cooling/thermal-compound/mastergel-maker>.

8. ArcticSilverIncorporated – ArcticSilver. – URL: <http://www.arcticsilver.com/as5.htm>.

9. Thermal Pad – Thermal Compound – Cooling – Products. – URL: https://www.arctic.ac/worldwide_en/thermal-pad

10. ГОСТ 19783-74. Паста кремнийорганическая теплопроводная. Технические условия. — Введ. 1975-01-01.

PACS: 44.10.+i

Metalhybrid thermal interface with high thermal conductivity

V. S. Kondratenko, Y. I. Sakunenko, and A. A. Vysokanov

Institute of Physics and Technology of the Moscow University of Technology
20 Stromynka str., Moscow, 107996, Russia
E-mail: vsk1950@mail.ru, maectpo_777@mail.ru, teplostok.plastic@gmail.com

Received February 1, 2017

This paper describes the design of an innovative metalhybrid thermal interface (MHTI), which is a metal frame made of two thin perforated plates, at that a thermal paste are placed between the plates . The comparative results of the heat dissipation efficiency from the heated components and elements are presented for the proposed MHTI and traditional thermal grease and liquid metal. The advantages of the new thermal interface over conventional conductive paste, elastic thermal spacers and the liquid metal have been demonstrated.

Keywords: thermal interface, heat conductivity, thermal paste, cooling, heat sink.

REFERENCES

1. Y. I. Sakunenko and V.S. Kondratenko, RF Patent No. 2015129660. From July 21, 2015.
2. V. S. Kondratenko and Y. I. Sakunenko, Poluprov. Svetotekhn., No. 6, 72 (2015).
3. V. S. Kondratenko and Y. I. Sakunenko, Vestnik MTU MIREA, No. 3 (8), 12 (2015).
4. V. S. Kondratenko, Y. I. Sakunenko, and A. A. Vysokanov, in *Proc. Conf. Computer Science and Technology*. (Moscow Technological University. 2016). P. 76.
5. V. S. Kondratenko, Y. I. Sakunenko, A. A. Vysokanov, in *Proc. All-Russian Conf. Optical Technologies, Materials and Systems*. (Moscow Technological University. 2016). P. 116.
6. Coollaboratory Liquid Pro – Coollaboratory. – URL: <http://www.coollaboratory.com/product/coollaboratory-liquid-pro>.
7. Cooler Master. MasterGelMaker. – URL: <http://www.coolermaster.com/cooling/thermal-compound/mastergel-maker>
8. ArcticSilverIncorporated – ArcticSilver. – URL: <http://www.arcticsilver.com/as5.htm>
9. Thermal Pad – Thermal Compound – Cooling – Products. – URL: https://www.arctic.ac/worldwide_en/thermal-pad
10. GOST 19783-74. Paste silicone thermal conductivity. Specifications. – 1975-01-01.