



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«Научно-производственное  
объединение им. С.А. Лавочкина»  
(АО «НПО Лавочкина»)

Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, 141402

Тел. +7 (495) 573-56-75, факс +7 (495) 573-35-95;

e-mail: npol@laspace.ru; www.laspace.ru

ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Экз. № \_\_\_\_\_

Ученому секретарю

диссертационного совета

24.2.327.05

на базе ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)»

к.т.н., доценту А.Р. Палтиевичу

121552, г. Москва,

ул. Оршанская, д. 3, ауд. №523А

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального

директора по научной работе

д.т.н., профессор

*С.Н. Шевченко* — С.Н. Шевченко

«17» 11 2021 г.



### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шаргаева Евгения Олеговича  
«Соединение термоэлектрических элементов припоями на основе  
цинка», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.5.8– «Сварка, родственные  
процессы и технологии».

Тема диссертации актуальна и обусловлена необходимостью  
соединения полупроводниковых элементов термоэлектрического модуля с  
алюминиевой шиной более высокотемпературным цинковым припоем и  
создает предпосылки для повышения рабочих температур модуля.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

В настоящее время, при пайке полупроводниковых ветвей через барьерное покрытие к медному проводнику, соединяющему ветви в термоэлектрическом модуле, используются низкотемпературные припои на основе олова с температурой ликвидуса  $\sim 190...300^{\circ}\text{C}$ , что существенно ниже температуры деструкции полупроводникового материал, составляющей около  $560^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, повышение температуры плавления припоя позволит повысить рабочую температуру термоэлектрического модуля. Автор остановился в выборе припоев на основе цинка, имеющих температуру плавления выше  $300^{\circ}\text{C}$ . Однако, применение цинковых припоев потребовало внесение изменений в конструкцию в части замены медных шин на алюминиевые и нанесения алюминиевого покрытия на полупроводниковые элементы. Кроме того, возник вопрос разрушения оксидной пленки на поверхности для обеспечения смачивания алюминия припоем, сопряженный с проблемой удаления активных флюсов. Поэтому, для решения проблемы получения качественного паяного соединения полупроводниковых элементов с алюминиевой шиной, автором, учитывая необходимость увеличения рабочих температур модулей, был проработан вопрос применения технологии бесфлюсовой пайки цинковыми припоями.

Е.О. Шаргаев вполне оправданно для достижения главной цели и решения поставленных задач применял современные экспериментальные методы, а именно – методы металлографических исследований: дифференциально-интеграционного контраста и микрорентгеноспектрального анализа, методы газодинамического нанесения покрытий и методы приготовления паяных образцов. Примененные методы исследований и полученные результаты не вызывают сомнений.

Во-первых, Е.О. Шаргаев обосновал целесообразность применения припоев на основе цинка для пайки полупроводниковых ветвей



термоэлектрического модуля, а также подобрал их составы. Соискателем был проведен анализ способов разрушения оксидной пленки алюминия в процессе бесфлюсовой пайки: пайка в парах магния, ультразвуковая пайка, абразивная пайка, за счет приложения давления (трением). Автор остановился на способе разрушения оксидной пленки трением. Кроме того, для противодействия активному восстановлению оксидной пленки на поверхности алюминия было предложено осуществлять пайку в защитной атмосфере аргона с предварительным вакуумированием печи (по аналогии с существующей технологией).

Далее, для дальнейшего исследования процесса бесфлюсовой пайки. Е.О. Шаргаев на основании литературного анализа подобрал различные цинковые припои, легированные алюминием и медью, а также различные материалы подложки (алюминиевые сплавы марок АМг2, АД31, Д16). Затем автором исследовалось разрушение оксидной пленки алюминия при нанесении припоя методом трения в зависимости от температуры. Дополнительным входным фактором была выбрана шероховатость поверхности, получаемой шлифовальной бумагой различной зернистости. В результате были определены минимальные температуры образования адгезионного соединения для различных сочетаний легирования цинкового припоя и материалов подложки. Автором было установлено, что, для различных материалов подложки, начиная с примерно 4% содержания алюминия в припое системы Zn-Al, повышаются минимальные температуры образования адгезионного соединения между жидким припоем и твердой подложкой; при добавлении меди наблюдается обратный процесс в припое системы Zn-15%Al-Cu. Таким образом, соискатель выбрал припой состава Zn-4%Al, как имеющий наименьший температурный интервал плавления и, согласно диаграмме состояния, наименьшую температуру плавления. Также автор экспериментально обнаружил, что значение шероховатости

поверхности в 25 мкм является критическим: более гладкая поверхность теряет «капиллярный эффект» и уменьшает площадь растекания припоя.

Дополнительно автор предложил применение алюминиевого покрытия на поверхность полупроводниковой ветви с барьерным покрытием для уменьшения взаимного растворения припоя и барьерного покрытия, а также дальнейшая эрозия собственно полупроводниковой ветви.

В заключении автором была разработана и изучена технология пайки полупроводниковой ветви термоэлектрического модуля к электрической шине. Е.О. Шаргаев разбил технологический процесс на следующие этапы: нанесение на барьерное покрытие полупроводниковой ветви Bi-Sb-Te алюминиевого покрытия газодинамическим способом; вырезка закладных элементов из фольги припоя Zn-4%Al; сборка заготовок в вакуумной камере; вакуумирование; напуск аргона; пайка при заданных давлении на образец и температуре.

По автореферату можно сделать вывод о том, что диссертационная работа является завершённой, цель достигнута, поставленные задачи решены. Полученные результаты удовлетворяют всем признакам научной новизны, доведены до практического использования и прошли апробацию на практике и конференциях. По теме диссертации автор имеет 9 опубликованных работ, в том числе 2 в журналах, рекомендованных ВАК.

Таким образом, разработанная технология бесфлюсовой пайки полупроводниковой ветви термоэлектрического модуля цинковыми припоями позволяет повысить температуру пайки до 440-480°C, что позволяет повысить рабочую температуру термоэлектрического модуля.

В качестве недостатка к работе можно отметить следующее:

Недостаточно подтверждено предположение о затекании припоя под оксидную пленку. Следует отметить, что пленка оксида алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> образуется непосредственно на ювенильном алюминии без



зазора, необходимого для затекания цинка. Вместе с тем, на карте распределения элементов (рисунок 7 автореферата) отчетливо различаются две горизонтальные риски - предположительно следы от обработки поверхности абразивными частицами. В последующих работах можно рекомендовать также рассмотреть гипотезу о превалирующем аспекте капиллярных каналов, полученных абразивными частицами, на «движение ореола» вокруг растекающегося припоя.

Судя по автореферату, диссертационная работа «Соединение термоэлектрических элементов припоями на основе цинка», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8 – «Сварка, родственные процессы и технологии», соответствует требованиям, изложенным в пунктах 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Шаргаев Евгений Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по названной специальности.

Главный сварщик

АО «НПО Лавочкина»

Пономарёв К.Е.

Пономарёв Константин Ефимович, т. раб. 8(495)5755035, e-mail: kerp@laspace.ru Адрес: 141400, г.Химки, Московская обл., Юбилейный проспект, д.68, кв.118

Ведущий инженер, к.т.н.

Стрельников И.В.

Стрельников Илья Владимирович (специальность 05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии»), т. моб. 89040228714, e-mail: i.v.str@yandex.ru Адрес: 170043, г.Тверь, ул. Можайского, д.56, кв.80