

УДК 621.791.35

DOI: [https://doi.org/10.54341/20778708\\_2024\\_3\\_60\\_81](https://doi.org/10.54341/20778708_2024_3_60_81)  
EDN: JVEVVM**СБОРКА ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПРИЕМНИКОВ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕФОРМ ПРИПОЯ****А.Э. Видрицкий<sup>1</sup>, В.Л. Ланин<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск**ASSEMBLY OF ELECTRONIC MODULES OF INFRARED RADIATION RECEIVERS WITH THE USE OF SOLDER PREFORMS****A.E. Vidritskiy<sup>1</sup>, V.L. Lanin<sup>2</sup>**<sup>1</sup>JSC "INTEGRAL", Minsk<sup>2</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

**Аннотация.** Описаны методы и режимы проведения технологических операций крепления преформ из припоя к основанию корпуса для монтажа кристалла и герметизации электронных модулей приёмников инфракрасного излучения, которые обеспечивают их надёжную фиксацию на металлизированных поверхностях. Определены зависимости прочности крепления преформ от режимов проведения операций.

**Ключевые слова:** приёмники инфракрасного излучения, монтаж кристаллов, герметизация, преформа, сварка, пайка.

**Для цитирования:** Видрицкий, А.Э. Сборка электронных модулей приёмников инфракрасного излучения с применением преформ припоя / А.Э. Видрицкий, В.Л. Ланин // Проблемы физики, математики и техники. – 2024. – № 3 (60). – С. 81–85. – DOI: [https://doi.org/10.54341/20778708\\_2024\\_3\\_60\\_81](https://doi.org/10.54341/20778708_2024_3_60_81). – EDN: JVEVVM

**Abstract.** The methods and modes of technological operations for attaching solder preforms to the base of the housing for mounting the crystal and sealing electronic modules of infrared receivers, which ensure their reliable fixation on metalized surfaces, are described. The dependences of the fastening strength of the preforms on the modes of operations are determined.

**Keywords:** infrared radiation receivers, crystal assembly, sealing, preform, welding, soldering.

**For citation:** Vidritskiy, A.E. Assembly of electronic modules of infrared radiation receivers with the use of solder preforms / A.E. Vidritskiy, V.L. Lanin // Problems of Physics, Mathematics and Technics. – 2024. – № 3 (60). – P. 81–85. – DOI: [https://doi.org/10.54341/20778708\\_2024\\_3\\_60\\_81](https://doi.org/10.54341/20778708_2024_3_60_81) (in Russian). – EDN: JVEVVM

**Введение**

Расширение сферы применения тепловизионных и других ИК-приборов требует, наряду с повышением их чувствительности, понижения стоимости, энергопотребления, массы и высокой надёжности. Всем этим требованиям удовлетворяют неохлаждаемые матричные приёмники [1]. Тепловизоры, созданные на основе неохлаждаемых матричных микроболометров, в последнее время заняли доминирующее положение на рынке вследствие их низкой стоимости по сравнению с охлаждаемыми матричными фотоприёмными устройствами. Достоинством технологии создания микроболометров является их полная совместимость с КМОП кремниевой технологией, поскольку фоточувствительные элементы формируются непосредственно на кремниевой пластине, на которой уже предварительно создана интегральная схема считывания [2]. Типичный пиксель микроболометра состоит из навесной мембранной структуры, включающей слой, поглощающий ИК излучение и термочувствительный слой, преобразующий изменение темпе-

ратуры мембраны в электрический выходной сигнал [3].

В развитых странах индустрия, занимающаяся производством инфракрасных технических средств, приборов и систем, достигла внушительных масштабов и трансформировалась в обособленные секторы промышленности. Объем затрат на разработку и производство инфракрасных приборов исчисляется миллиардами долларов ежегодно.

Современным решением при сборке корпуса микроболометра является нанесение припоя в виде преформ. Преформы представляют собой отформованный припой, высеченный штамповкой с жесткими допусками. Для того чтобы обеспечить надёжность изделия в целом, процесс сборки необходимо проводить с использованием припоя для герметизации, имеющего разницу температур плавления с припоем для монтажа кристалла не менее 70–100°С [4].

В статье описывается процесс сборки микроболометров с использованием преформ припоя, который представляет собой сложную и

многоступенчатую процедуру, требующую высокой точности и профессионализма.

### 1 Конструкция фотоприемного устройства

Фотоприемное устройство состоит из следующих элементов (рисунок 1.1): основание корпуса; преформа из припоя для монтажа кристалла; кристалл – приемник ИК-излучения; преформа из припоя для герметизации; германиевое окно, которое выступает в роли крышки корпуса.

При выборе материала преформы необходимо принимать во внимание следующие факторы: [5]: прочность на разрыв, усталостная прочность, сопротивление сдвигу, вязкость разрушения (сопротивление развитию трещин), коэффициент термического расширения, теплопроводность.

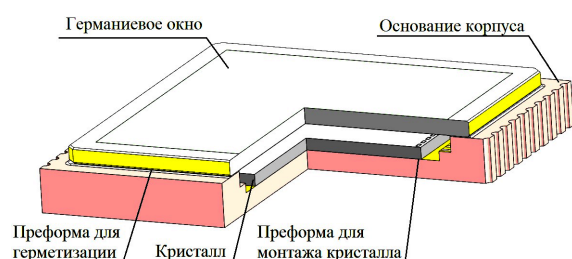


Рисунок 1.1 – Конструкция микроболметра

На основании вышеизложенного для монтажа кристаллов выбран припойный сплав 81Pb19In – температура плавления 260 / 275° С (солидус/ликвидус), прочность 17,65 МПа [6].

### 2 Исследование режимов крепления преформы для монтажа кристалла

Для проведения монтажа кристаллов в основание корпуса с требуемой точностью на малогабаритной вакуумной печи оплавления RSS-160-S разработана специальная графитовая оснастка, которая предусматривает загрузку основания корпуса дном вверх. Процесс пайки кристалла к основанию корпуса предусматривает предварительное размещение на монтажной площадке преформы (81Pb19In, температура плавления 280° С). С целью предотвращения смещения преформы необходимо предварительно ее закрепить на монтажной площадке. Ориентация преформы проводится под микроскопом по реперным знакам на монтажной площадке. Крепление преформ проводилось на универсальном комплексе УС.ИМ-227СК (рисунок 2.1), основные параметры которого приведены в таблице 2.1.

Для крепления преформы из материала 81Pb19In методом контактной сварки использовался расщепленный электрод ЭК1 20-80.

На рисунке 2.2 показана зависимость усилия на отрыв от величины сварочного напряжения.

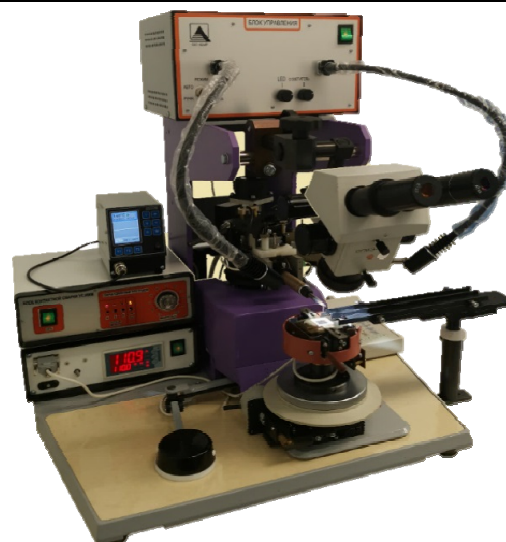


Рисунок 2.1 – Универсальный комплекс контактной микросварки УС.ИМ-227СК

Таблица 2.1 – Основные параметры универсального комплекса контактной микросварки УС.ИМ-227СК

Наименование параметра	Величина параметра
Режим сварки	Точечная сварка – пайка
Толщина (преформы / фольги), мкм	От 20 до 100
Тип применяемого инструмента	ЭК1, ИУ и аналоги
Выходная мощность блока контактной сварки, Вт	2,5–40,0
Программируемое сварочное напряжение для расщепленного электрода, В	0,1–4,0
Форма напряжения для расщепленного электрода	Меандр
Частота сигнала для расщепленного электрода, Гц	500–600
Время разогревающей ступени сварочного импульса, с	0,001–0,500
Программируемое время импульса для расщепленного электрода, с	0,001–9,999
Максимальная температура электрода при точечной микроспайке, °С	300
Диапазон регулирования температуры столика, °С	20–350
Диапазон усилия сжатия соединяемых элементов, Н	0,6–10
Точность присоединения преформы, мкм	± 50

Режимы, при которых была достигнута максимальная прочность на отрыв (~0,1Н для каждой точки) преформы от монтажной площадки следующие:

- усилие на электрод – 0,4 Н,
- количество импульсов – 20 шт,
- длительность импульса – 1 мс,
- пауза между импульсами 5 мс,
- сварочное напряжение 0,4 В,
- температура нагревательного стола – (125–135) °С,
- количество сварных точек – девять,
- размер точек присоединения – 50–100 мкм.

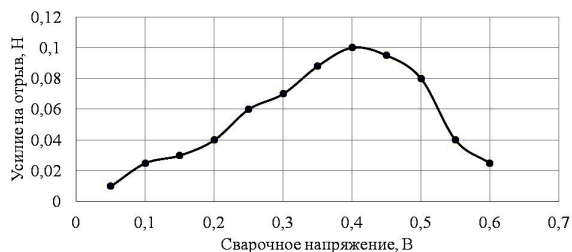


Рисунок 2.2 – Зависимость усилия на отрыв от величины сварочного напряжения

На рисунке 2.3 показан фрагмент преформы закрепленной на монтажной площадке основания корпуса со сварными точками от расщепленного электрода и внешний вид монтажной площадки после удаления преформы. Как видно из рисунка 2.3 – после удаления преформы на монтажной площадке осталась часть материала припоя, т. е. сцепление припоя с золотым покрытием выше прочности припоя.

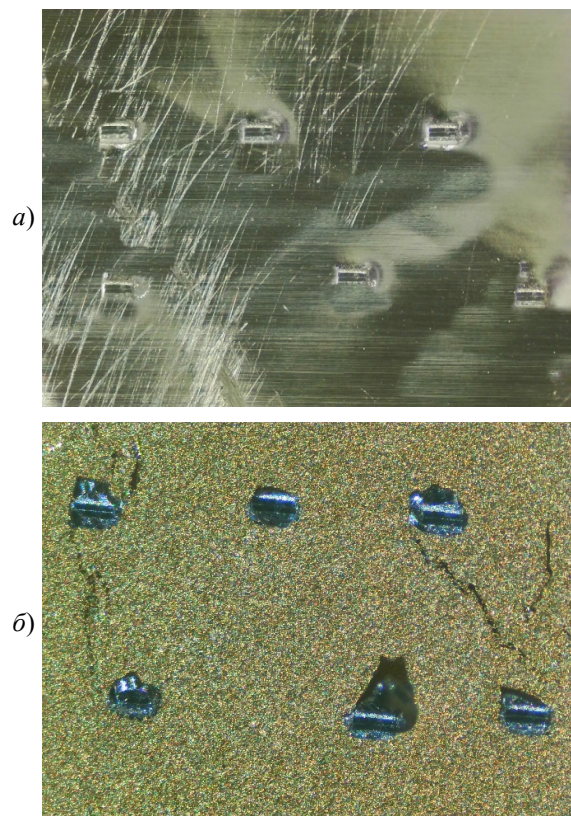


Рисунок 2.3 – Монтажная площадка основания корпуса с закрепленной преформой (а) и после ее отрыва (б)

Значительное отклонение от описанных режимов приводило к прожогу преформы либо к недостаточному ее оплавлению и как следствие – отсутствию хорошего сцепления с монтажной площадкой.

### 3 Исследование режимов крепления преформы для герметизации корпуса

Для проведения операции герметизации на высоковакуумной печи модели 3150 разработана специальная графитовая оснастка, которая предусматривает загрузку оснований корпусов с посаженными кристаллами дном корпуса вверх. Процесс герметизации предусматривает предварительное крепление на ободке основания преформы 80In15Pb5Ag (температура плавления 150 °С).

В процессе отработки крепления преформы методом пайки микросварочным инструментом ИУ2-100-300 на универсальном комплексе УС.ИМ-227СК опробовано несколько вариантов режимов. На рисунке 3.1 показана зависимость усилия на отрыв от температуры инструмента.

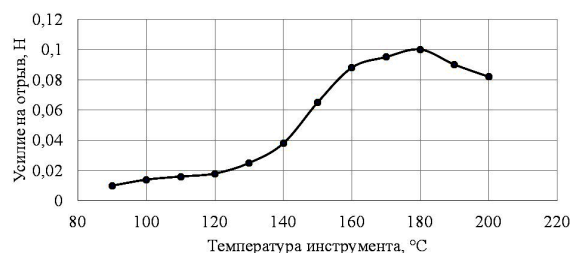


Рисунок 3.1 – Зависимость усилия на отрыв от температуры инструмента

Режимы, при которых была достигнута максимальная прочность на отрыв (~0,1Н для каждой точки) преформы от ободка основания корпуса, следующие:

- усилие на инструмент – 0,4 Н,
- время сварки – 6–8 секунд для каждой точки,
- температура нагревательного стола – 140–150° С,
- температура инструмента – 175–185° С,
- количество сварных точек 24.

Размер точек присоединения от 300 до 350 мкм.

На рисунке 3.2 показан фрагмент ободка основания корпуса с закрепленной преформой и после ее отрыва.

Из рисунка следует, что после удаления преформы на ободке основания корпуса остается часть материала припоя в точности повторяющая геометрическую форму микросварочного инструмента, что говорит о качественном проведении процесса. Значительное отклонение от описанных режимов приводило к прожогу преформы либо к недостаточному ее оплавлению и как следствие – отсутствию хорошего сцепления с ободком основания корпуса.



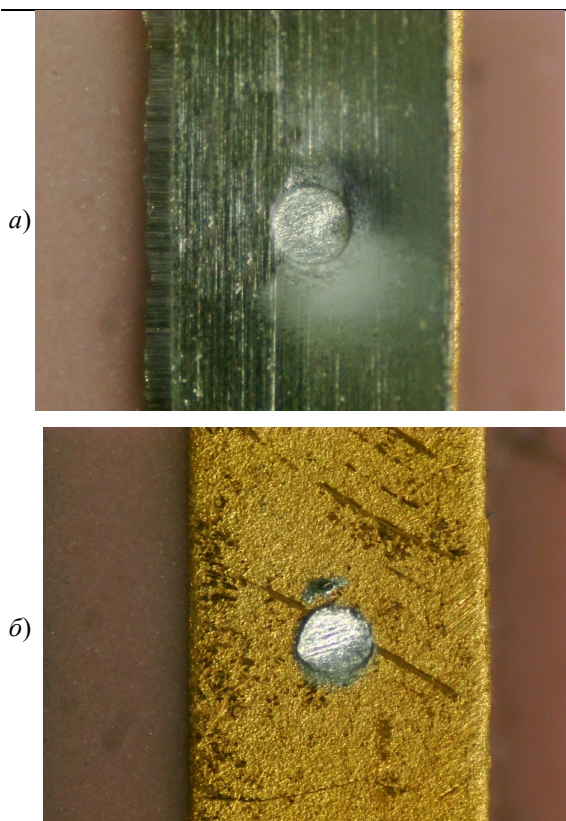


Рисунок 3.2 – Фрагмент ободка основания корпуса с закрепленной преформой (а) и после ее отрыва (б)

#### 4 Монтаж кристаллов приемников ИК излучения

Монтаж кристаллов во многом схож с аналогичным процессом для других изделий электронной техники, однако имеет следующие особенности:

- запрет на использование ультразвуковых колебаний во избежание разрушения матрицы пикселей,

- подъем температуры не свыше  $320^{\circ}\text{C}$  – характеристики терморезистора деградируют при превышении данной температуры.

После крепления преформы из материала  $81\text{In}19\text{Pb}$  к основанию корпуса проведен монтаж кристалла на малогабаритной вакуумной печи оплавления RSS-160-S фирмы UniTemp (рисунок 4.1), техническая характеристика приведена в таблице 4.1.

На рисунке 4.2 приведен экспериментально оптимизированный термопрофиль процесса монтажа кристалла, который приводит к минимуму образования пустот в паяном шве «кристалл – монтажная площадка».

Ультразвуковое исследование паяного шва (рисунок 4.3) показало, что площадь пустот в паяном шве составляет не более 5%, что соответствует всем требованиям, предъявляемым к сборке.



Рисунок 4.1 – Малогабаритная вакуумная печь оплавления RSS-160-S ф. UniTemp

Таблица 4.1 – Техническая характеристика малогабаритной вакуумной печи оплавления RSS-160-S

Параметр	Значение параметра
Температура нагрева, $^{\circ}\text{C}$	До 400, опционально до 500
Вакуум, мбар	До $10^{-3}$
Нагреваемая рабочая зона, мм	$160 \times 160$
Высота камеры, мм	40
Скорость нагрева, К/мин	Более 100
Скорость охлаждения, К/мин	Более 100

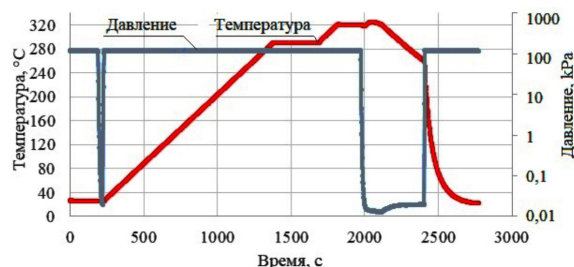


Рисунок 4.2 – Термопрофиль монтажа кристалла

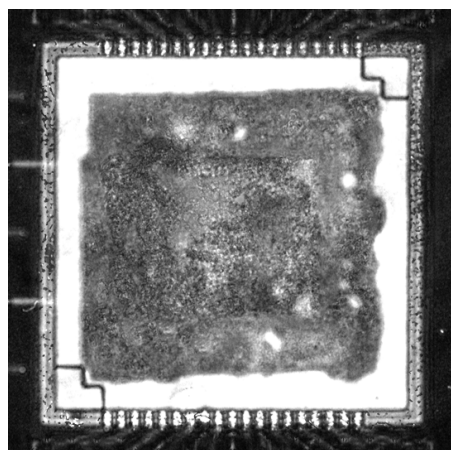


Рисунок 4.3 – Внешний вид паяного шва под кристаллом

### Заключение

Экспериментально установлены зависимости влияния температуры инструмента и величины сварочного напряжения расщепленного электрода на прочность крепления преформ из материалов 80In15Pb5Ag и 81In19Pb соответственно для монтажа кристалла и герметизации фотоприемного устройства.

Процесс сборки микроболометров является сложным и трудоемким, требующим высокой точности и профессионализма. Несмотря на это, разработка новых технологий и усовершенствование старых методов позволяют создавать эффективные микроболометрические сенсоры для различных областей применения

Важность данных технологий обусловлена их способностью обеспечивать высококачественное изображение в различных условиях освещенности, что делает их незаменимыми для систем видеонаблюдения, тепловизионных устройств и т. д.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Неохлаждаемые матричные микроболометрические приемники ИК излучения на основе золь-гель VO / В.Н. Овсяк, В.В. Шашкин, М.А. Демьяненко [и др.] // Прикладная физика. – 2005. – № 6. – С. 114–117.
2. О возможности создания комплексированного интегрального матричного фотоприемника для ИК и УФ диапазонов спектра на основе

микроболометров и карбида кремния / В.С. Фещенко, А.А. Алтухов, А.Ю. Митягин [и др.] // Известия академии Инженерных Наук им. А.М. Прохорова. – 2013. – № 3. – С. 84–88.

3. *Performance Improvements for VOx Microbolometer FPAs* / D. Murphy, M. Ray, J. Wyles, J. Asbrock, C. Hewitt, R. Wyles, E. Gordon, T. Sessler, A. Kennedy, S. Baur, D. Van Lue // Proc. SPIE. 5406. – 2004. – P. 531–540.

4. Видрицкий, А. Вакуумплотная герметизация микроболометров / А. Видрицкий, В. Ланин // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2023. – № 2. – С. 60–66.

5. Тимошенко, С.П. Технологии вакуумной герметизации МЭМС / С.П. Тимошенко, А.Н. Бойко, Б.М. Симонов // Известия вузов. – Электроника. – 2010. – № 1. – С. 11–23.

6. *Edwards, L.K.* Viscoelastic behavior of 80In15Pb5Ag and 50Sn50Pb alloys / L.K. Edwards, R.S. Lakes, W.A. Nixon // Experiment and modeling. Journal of Applied Physics. – 2000. – № 87 (3). – P. 1135–1140. – DOI: 10.1063/1.371990.

Поступила в редакцию 15.04.2024.

### Информация об авторах

Видрицкий Александр Эдуардович – инженер  
Ланин Владимир Леонидович – д.т.н., профессор