

## ВАКУУМНОПЛОТНАЯ ГЕРМЕТИЗАЦИЯ МИКРОБОЛОМЕТРОВ

А. Э. Видрицкий <sup>1</sup>, В. Л. Ланин <sup>2</sup>

<sup>1</sup>)ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,  
Корженевского 16, Минск, Беларусь, e-mail: [AVidritskiy@integral.by](mailto:AVidritskiy@integral.by)

<sup>2</sup>) Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Бровки 6 Минск, Беларусь, e-mail: [Vlanin@bsuir.by](mailto:Vlanin@bsuir.by)

Рассмотрены особенности конструкции корпусов микроболометров, сделан выбор материала преформы для герметизации корпуса паяным швом, дана характеристика материала, применяемого в качестве объектива тепловизионного прибора. Приведены характеристики геттерных пленок и преимущества их нанесения на обратную сторону германиевого окна.

**Ключевые слова:** микроболометр, герметизация, вакуум, геттер, преформа, германиевое окно.

### Особенности герметизации корпуса микроболометра

Известные преимущества инфракрасной техники по сравнению с оптическими, радиотехническими и радиолокационными системами привели в последнее десятилетие к резкому расширению применения ИК-систем и приборов в науке, технике, промышленности и в военном деле. Современная инфракрасная техника обладает внушительным арсеналом разнообразных средств, отличающихся как областью применения, так и особенностями конструкции.

Производство инфракрасной техники, приборов и систем в развитых странах достигло огромных размеров и превратилось в самостоятельные отрасли промышленности. Объём затрат на создание и выпуск ИК-приборов только военного назначения исчисляется миллиардами долларов в год. Сотни электронных, космических, машиностроительных, авиационных, химических и других концернов и фирм работают в этом направлении [1].

Одной из важнейших операций технологического цикла сборки приемников ИК-излучения является герметизация. Герметизация микрообъема может осуществляться непосредственно соединением крышки и основания корпуса в вакууме, однако уровень вакуума ограничивается в этом случае процессами газовыделения.

На раннем этапе изготовления микроболометров в основании корпуса предусматривалось наличие откачной трубки (рисунок 1, а), с помощью которой производится дегазация микрообъема и затем герметизация заделкой откачной трубки, которая может быть осуществлена запайкой припоем, лазерной сваркой, напылением металла на откачное отверстие.

В настоящее время герметизация корпусов микроболометров проводится на специализированном технологическом оборудовании, благодаря которому отсутствует необходимость наличия откачной трубки в основании корпуса. Корпус микроболометра без откачной трубки представлен на рисунке 1, б. Герметизация таких корпусов проводится в высоком вакууме, что позволяет исключить попадание выделяющихся в процессе герметизации газов с поверхностей деталей в микрообъем корпуса.

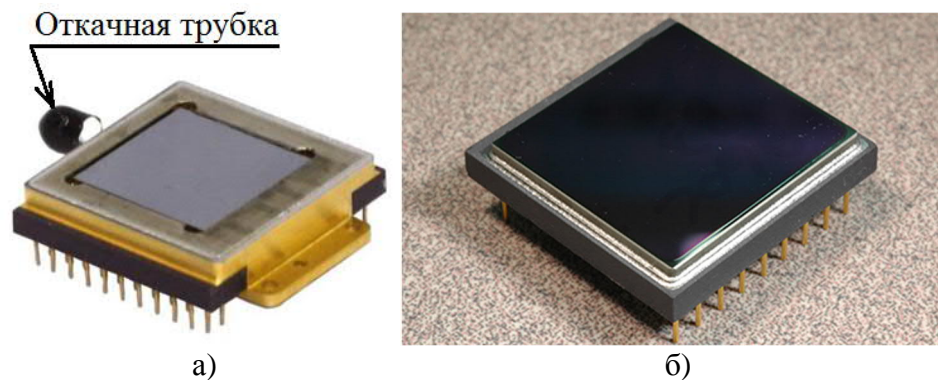


Рисунок 1 – Корпуса микроболометра с откачной трубкой (а) и без нее (б)

### Выбор материала преформы для герметизации

Для того чтобы обеспечить технологический процесс сборки и надежность изделия в целом, необходимо процесс герметизации проводить с использованием припоя, имеющим разницу температур плавления с припоем для монтажа кристалла не менее 70 – 100 °С. Характеристики материала преформы для герметизации должны учитывать следующие требования:

- обеспечение смачиваемости поверхности ободка корпуса материалом преформы,
- отсутствие пустот, микротрещин в паяном шве.

Наиболее оптимальными материалами в качестве преформ для герметизации являются индиевые сплавы, в частности сплав 80In15Pb5Ag. Выбор материала преформы обусловлен, в том числе, прочностными характеристиками сплава и низкой температурой плавления (154 °С).

Процесс герметизации корпуса микроболометра предусматривает предварительное закрепление преформы на ободке основания. Для предотвращения внесения загрязнений в паяный шов, а также с целью улучшения растекания преформы по золотому покрытию (точки непропая могут являться причиной отсутствия герметичности готового изделия) разработана методика обработки преформ перед присоединением ее к ободку основания корпуса, которая включает обработку в растворе соляной кислоты, отмывку в деионизованной воде, обезжиривание в трихлорэтилене и сушку в атмосфере азота. Крепление преформы проводилось контактной сваркой на универсальном комплексе УС.ИМ-227СК.

### Германиевое окно

Самым распространенным материалом для изготовления объективов тепловизионных приборов является монокристаллический германий. Германий сверхвысокой чистоты используется в изготовлении инфракрасной оптики. Из германия монокристаллического оптического (ГМО) изготавливают окна, пластины, линзы, обтекатели – колпаки, призмы и зеркала для ИК спектра.

Чаще всего окна из оптического германия (рисунок 2) используют для инфракрасной оптики в системах пассивного тепловидения, системах инфракрасного наведения и приборах ночного видения, в компьютерной технике и противопожарных системах, в картографировании и исследованиях поверхности земли со спутников. Спектральная полоса пропускания ГМО находится в диапазоне от 1,8 мкм до 23 мкм (рисунок 3). Благодаря прозрачности германия в диапазоне от 8 до 14 мкм оптика из монокристалла Ge широко используется в оптических системах для тепловидения.

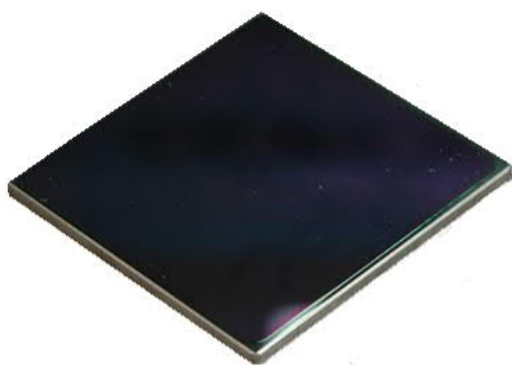


Рисунок 2 – Окно из оптического германия

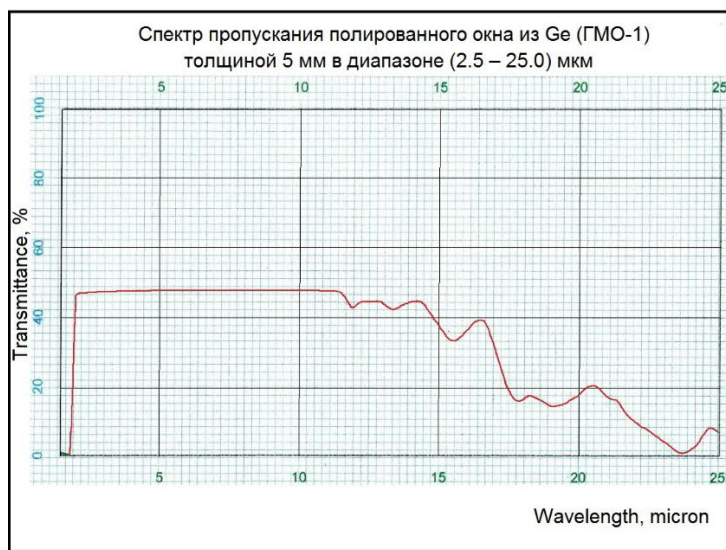


Рисунок 3 – Спектр пропускания монокристаллического германия

### Выбор материала и конструкции геттера

Для поддержания вакуума внутри корпуса микроболометра, обеспечения длительного срока службы и надлежащих условий эксплуатации, геттеры являются технически проверенными и промышленно хорошо реализуемыми решениями. Требования к давлению некоторых вакуумных устройств, таких как гироскопы, акселерометры, микроболометры и цифровые зеркала, очень жесткие. Внутреннее давление может быть достаточно низким, как в диапазоне от  $10^{-1}$  Па до  $10^{-5}$  Па (таблица 1).

Таблица 1 - Уровни вакуума, требуемые для работы различных устройств

Тип прибора	Требуемое давление, Па	Уровень вакуума
Микроболометр	$<10^{-2}$	Высокий
МЭМС - акселерометр	$10^{-2} - 10^4$	Низкий и средний
Датчик давления	$10^{-2} - 10^5$	От низкого до высокого
МЭМС - гироскоп	$10 - 10^{-2}$	Средний и высокий
МЭМС - радиочастотный переключатель	$10 - 10^{-2}$	Средний и высокий
Туннельные приборы	$< 10^{-1}$	Высокий

Из-за явлений десорбции газов с внутренних поверхностей деталей, вакуум внутри таких устройств имеет тенденцию ухудшаться со временем и, в худшем случае, может повлиять на правильную работу устройства. Интеграция специальной наноструктурированной геттерной пленки является эффективным способом сохранения и гарантии работоспособности таких устройств. Помимо геттера, необходимо также разработать и адаптировать аналитические методы для контроля качества после вакуумной герметизации и проверки надежности герметичного паяного соединения, которые чрезвычайно важны для общей оценки качества устройства, срока службы и производительности производственного процесса.

Герметизация является ключевой технической задачей, поскольку многие устройства требуют вакуума или хорошо контролируемой атмосферы для правильной работы и увеличения срока службы. Основные проблемы в достижении подходящего уровня вакуума или соответствующей чистоты газового наполнения связаны с малым объемом устройств этого типа и высоким отношением поверхности к объему.

Прежние конструкции геттера представляли собой наличие отдельного устройства в виде резистора в подкорпусном объеме. Активация геттера проводилась путем подачи на него напряжения 15 В. Более технологичным решением является формирование пленки геттера на внутренней стороне германиевого окна. Геттер обладает функциональным свойством адсорбировать загрязнения, возникающие в результате газовой выделенности на внутренних поверхностях, и, в некоторой степени, управлять возможными микроточками, обеспечивая тем самым надлежащий срок службы. Геттер состоит из специального сплава на основе Zr, химический состав которого был оптимизирован для максимизации сорбционных характеристик и получения материала, пригодного для активизации в конкретных условиях герметизации или склеивания. Типичная толщина геттерных пленок на уровне пластин составляет несколько микрон. Основными газами, которые могут быть поглощены пленкой геттера, являются  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$  и  $O_2$ . Геттер может быть активирован в процессе герметизации.

Довольно часто значительную часть остаточной атмосферы составляют пары воды, кислород и азот, но их концентрация не соответствует такой в нормальной атмосфере. Перечисленные газы не только увеличивают давление в герметичном объеме, но также могут вызвать негативные последствия для функциональности устройств. Два наиболее важных параметра характеризуют эффективность любого геттера: сорбционная ёмкость – количество газа, которое может быть им поглощено за единицу времени и избирательность – газы, по отношению к которым геттер проявляет активность. При известных скоростях утечек по соединению, а также величине дегазации нужно выбирать такой тип геттера, сорбционная ёмкость которого обеспечит требуемый уровень давления внутри изделия на протяжении всего периода эксплуатации [2].

### **Герметизация корпуса микроболометра**

После определения режимов разработана программа и проведена герметизация микроболометров в вакууме с одновременным проведением двух стадийной активации геттера при температуре 400 °С – 12 минут, (процесс проводился в две стадии для более полного удаления защитных окислов с поверхности геттера и адсорбции их в объеме геттера, активация геттера проверена по изменению уровня давления в рабочей камере). На рисунке 4 приведен внешний вид оснастки для загрузки комплектующих для герметизации на высоковакуумной печи герметизации модели 3150 SST International.

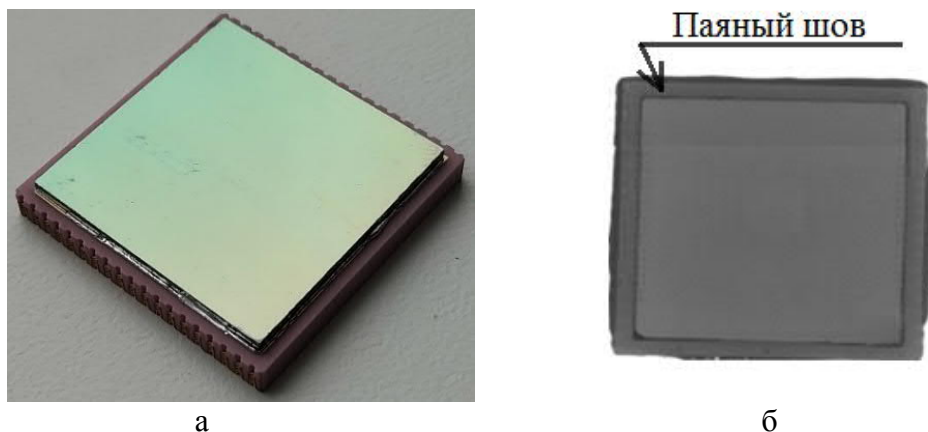


а – оснастка для загрузки германиевых стекол, б – оснастка для загрузки оснований корпусов  
 Рисунок 4 - Технологическая оснастка для герметизации микроболометров в вакууме

После получения экспериментальных образцов корпусов микроболометров (рисунок 5, а), загерметизированных в вакууме по разработанной программе процесса, проведена оценка качества герметизации и получены следующие результаты:

- смещение окна относительно основания корпуса не более 50 мкм,
- внешний вид сварного шва на отсутствие утяжек и выплеска припоя,
- оценка качества сварного шва с помощью УЗ-микроскопа и рентгена,
- оценка герметичности (не более  $10^{-7}$  мбар л/сек).

На рисунке 5,б изображены результаты рентгеновского контроля полученного экспериментального образца корпуса.



а б  
 Рисунок 5 – Внешний загерметизированного корпуса микроболометра

Паяный шов экспериментального образца однородный и не имеет пор, всплесков припоя, подтеков. Результаты проведения оценки скорости натекания положительные (от  $1,5 \cdot 10^{-8}$  до  $2,9 \cdot 10^{-9}$  мбар·л/с), что соответствует установленным требованиям.

### Литература

1. Маслов Д. М. Разработка неохлаждаемого болометра на основе пленок окислов ванадия : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.27.01 / Д. М. Маслов; Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Саратов, 2015. – 25 с.
2. Скупов А. Вакуумное корпусирование на уровне пластины - геттеры. / А. Скупов// Электроника. Наука. Технология. Бизнес, 2016. – № 5. – С. 54–59.