

УДК 621.315.59
EDN: WTDJLM

PACS: 85.60.-q

Прецизионное загрузочное устройство для группового формирования металлических контактных площадок вакуумных криогенных корпусов ИК фотоприёмных устройств

А. В. Трухачев, М. В. Седнев, Н. С. Трухачева

Рассмотрены конструктивные принципы создания загрузочных устройств для группового формирования контактных площадок на малоформатных монокристаллических растрах, используемых для монтажа и разварки выводов матричного модуля в вакуумном криогенном корпусе ИК фотоприёмных устройств. Представлены этапы создания загрузочного устройства, параметры полученных контактных площадок, сформированных магнетронным напылением, конструктивные параметры загрузочного устройства. Экспериментально показано влияние маски и конструкции загрузочного устройства на геометрические размеры металлизации контактных площадок малоформатных монокристаллических растров.

Ключевые слова: ИК-фотоприёмник; вакуумный криогенный корпус; магнетронное напыление; лейкосапфир Al_2O_3 ; керамика вакуумноплотная ВК-96.

DOI: 10.51368/2307-4469-2025-13-1-63-69

Введение

В конструкции корпуса фотоприёмника функционально необходим растр [1], который изготавливают из сапфира (лейкосапфира), вакуумноплотной керамики ВК-96 и других материалов. Сапфир пригоден для изготовления растров благодаря высокой теплопроводности (коэффициент теплопроводности $27 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), что обеспечивает эффективный отвод тепла от фоточувствительных элементов ИК-фотоприёмников, пригоден для эксплуатации при низких криогенных температурах, КТР: $5\div 7 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ близкий к КРТ, стекла,

подложек полупроводниковых материалов ИК-фотоприёмников $CdZnTe$, $GaAs$, $InSb$, удельному сопротивлению $5 \times 10^{18} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ (один из лучших диэлектриков) [2].

Вакуумноплотная керамика ВК-96 также имеет КТР: $6,8\div 8 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, близкий к КТР материалов ИК-фотоприёмников, незначительно уступает сапфиру по теплопроводности $25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Имеет преимущество по возможностям механообработки.

Расположение растра в конструкции фотоприёмного устройства представлено на рисунках 1 и 2. Растр обеспечивает расположение матричного модуля в фокальной плоскости на торце охлаждаемого пальца и необходим для обеспечения электрического контакта матричного модуля с интерфейсной платой через металлокерамический соединитель.

Для выполнения функционального назначения на поверхности растра необходимо сформировать контактные площадки под разварку микропроволками Au , Pt . Материал контактных площадок состоит из подслоя молибдена толщиной $0,03\div 0,035 \text{ мкм}$, и основно-

Трухачев Антон Владимирович, вед. инженер.
E-mail: orionmoscow@mail.ru
Седнев Михаил Васильевич, нач. участка, к.т.н.
Трухачева Наталия Сергеевна, инженер-технолог 2 кат.
АО «НПО «Орион».
Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

Статья поступила в редакцию 12.12.2024
После доработки 25.12.2025
Принята к публикации 10.01.2025
Шифр научной специальности: 1.3.11

© Трухачев А. В., Седнев М. В., Трухачева Н. С., 2025

го слоя золота 99,99 толщиной $0,3 \pm 0,35$ мкм. Сопротивление изоляции контактных площадок не менее 100 МОм.

Размер контактных площадок $0,25 \times 0,55$ мм, интервал между контактными площадками до 0,05 мм. Для прецизионного позиционирования фоточувствительных эле-

ментов (ФЧЭ) ИК фотоприёмника на растре и ФЧЭ располагают друг напротив друга позиционирующие элементы $0,4 \times 0,02$ мм в виде изготавливаемых фотолитографически металлических штрихов, позволяющие юстировать расположение ФЧЭ на растре с точностью до 10 мкм.



Рис. 1. Конструкция фотоприёмного устройства

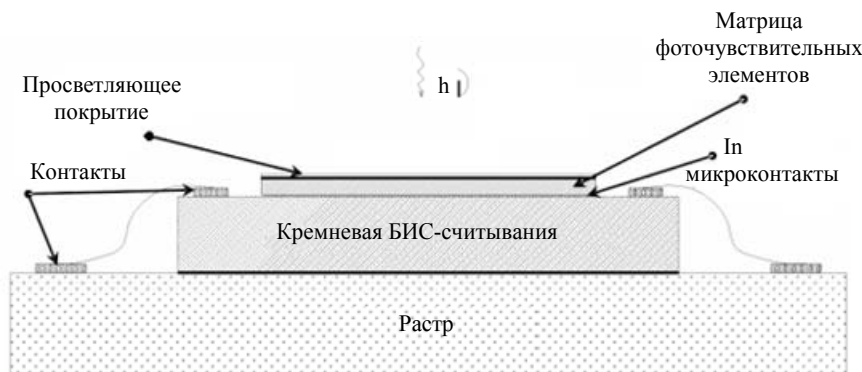


Рис. 2. Сборка матричного модуля с растром

Существуют различные способы формирования металлизации [3–6], включающие вакуумное напыление металлического покрытия, в том числе в сочетании с жидкостным гальваническим осаждением толстого слоя, пригодного для разварки, металла на поверхность напыленного металлического покрытия. Метод магнетронного распыления является предпочтительным для формирования металлизации геометрически сложных поверхностей. Высокая энергия осаждаемых атомов при распылении мишени по сравнению с термическим испарением навески способствует увеличению адгезии и позволяет получить покрытие с более высокой плотностью и однородностью.

Необходимость защиты краевой поверхности растра в процессе напыления металлизации вынуждает использовать в конструкции загрузочного устройства маскирующий элемент, касающийся поверхности растра. Высота и плотность контакта маски с растром может существенно влиять на толщину и геометрию металлизации контактных площадок растров.

Металлизация растров

Процесс формирования металлизации осуществляется на установке магнетронного распыления, укомплектованной магнетронами с распыляемыми мишенями Mo, Ni, Au диа-

метром 76 мм и станцией высокочастотного катодного распыления, предназначенной для очистки ионами аргона растров, закрепленных в загрузочном устройстве. Последовательное напыление металлических слоев обеспечено возможностью перемещения магнетронов относительно станции очистки, но без вращения последней относительно магнетронов.

Исследовались такие варианты металлизации:

Молибдена и золота (Mo/Au). Эта комбинация материалов обеспечивает высокую адгезию с поверхностью растра, достаточную толщину и пассивацию слоем золота на время межоперационного хранения перед разваркой.

Никеля и золота (Ni/Au), который обеспечивает также хорошую адгезию золота как к лейкосапфиру так и к керамике. Подслоем Mo выбран как основной благодаря лучшей адгезии золота с поверхностью растра, возможностью удаления в процессе плазмо-химического травления в плазме фреона CF₄ (хладон-14), тогда как для удаления Ni путем плазмо-химического травления требуется хлорная плазма.

Распределение толщины слоя металла напыленного на пластину диаметром 76 мм имеет осевую симметрию. Толщина слоя уменьшается на 25–30 % от значения в центре.

Толщина золотого покрытия 0,4 мкм с тонким адгезионным подслоем Mo оптимальна для разварки выводов фоточувствительного элемента на растр и с растра на выводы вакуумного криогенного корпуса золотой или платиновой микропроволкой диаметром 30 мкм предпочтительной для уменьшения теплопередачи.

Прецизионное загрузочное устройство

Необходимо обеспечить надёжную фиксацию, позиционирование и прижим краевой части малоформатного растра. Толщина растра обычно составляет 0,3÷1,0 мм с допуском 0,05 мм. Загрузочное устройство групповое, 16 растров участвует одновременно в процессе формирования металлизации контактных площадок. Следовательно, требовалось решить вопрос плотного и однородного контакта маски под напыление с растрами различной толщины. Для этого был реализован двойной пружинящий прижим. На нижнюю прижимную пластину толщиной 0,5 мм с направляю-

щими штифтами крепится нижний пружинящий прижим выполненной толщиной 0,05 мм, затем надевается универсальный сепаратор толщиной 0,25÷1,0 мм гнезда которого позволяют закреплять малоформатные растры двух типов. Сверху на сепаратор с загруженными в него растрами крепится маска толщиной 0,05 мм, защищающая краевую область растров в процессе формирования металлизации. Маска прижимается ответным пружинящим прижимом толщиной 0,1 мм. Окончательная сборка осуществляется установкой поворотного-прижимной пластины толщиной 0,5 мм и стягиванием загрузочного устройства винтами М3.

Использование двойного прижима различной толщины и конструкции позволило обеспечить надёжную фиксацию, позиционирование и прижим маски к лицевой поверхности растра. Более толстый верхний пружинящий прижим обеспечивает требуемое усилие для плотного контакта растра с маской, нижний пружинящий прижим, обладая меньшей толщиной, но более длинными лепестками позволяет скомпенсировать появляющиеся избыточные усилия.

Очень важными моментами оказались толщина универсального сепаратора и ответное расположение лепестков в пружинящих прижимах. Толщина исходного растра может варьироваться от 0,25 мм до 1,0 мм. Поэтому сепаратор и был изготовлен с возможностью изменять толщину от 0,25 до 1,0 мм, а внедренная в конструкцию ответная пружинящая прижимная система позволяет компенсировать перепад толщин до 50 мкм. При чередующемся расположении лепестков пружинящих прижимов контакт получался менее плотный, чем при зеркальном (друг напротив друга).

Используя компьютерное моделирование, экспериментальные исследования и предыдущий опыт разработки загрузочных устройств удалось разработать оптимальную конструкцию прецизионного группового загрузочного устройства и обеспечить предъявляемые параметры к малоформатным растрам.

Разработанное загрузочное устройство выполнено из нержавеющей стали 12X18H10T. Компьютерная модель загрузочного устройства для группового формирования контактных площадок на малоформатных монокри-

сталлических растрах вакуумных криогенных корпусов ИК фотоприёмных устройств пред-

ставлена в таблице 1, а реальное изображение на рисунке 3.

Таблица 1

Загрузочное устройство под напыление металлизации малоформатных растров

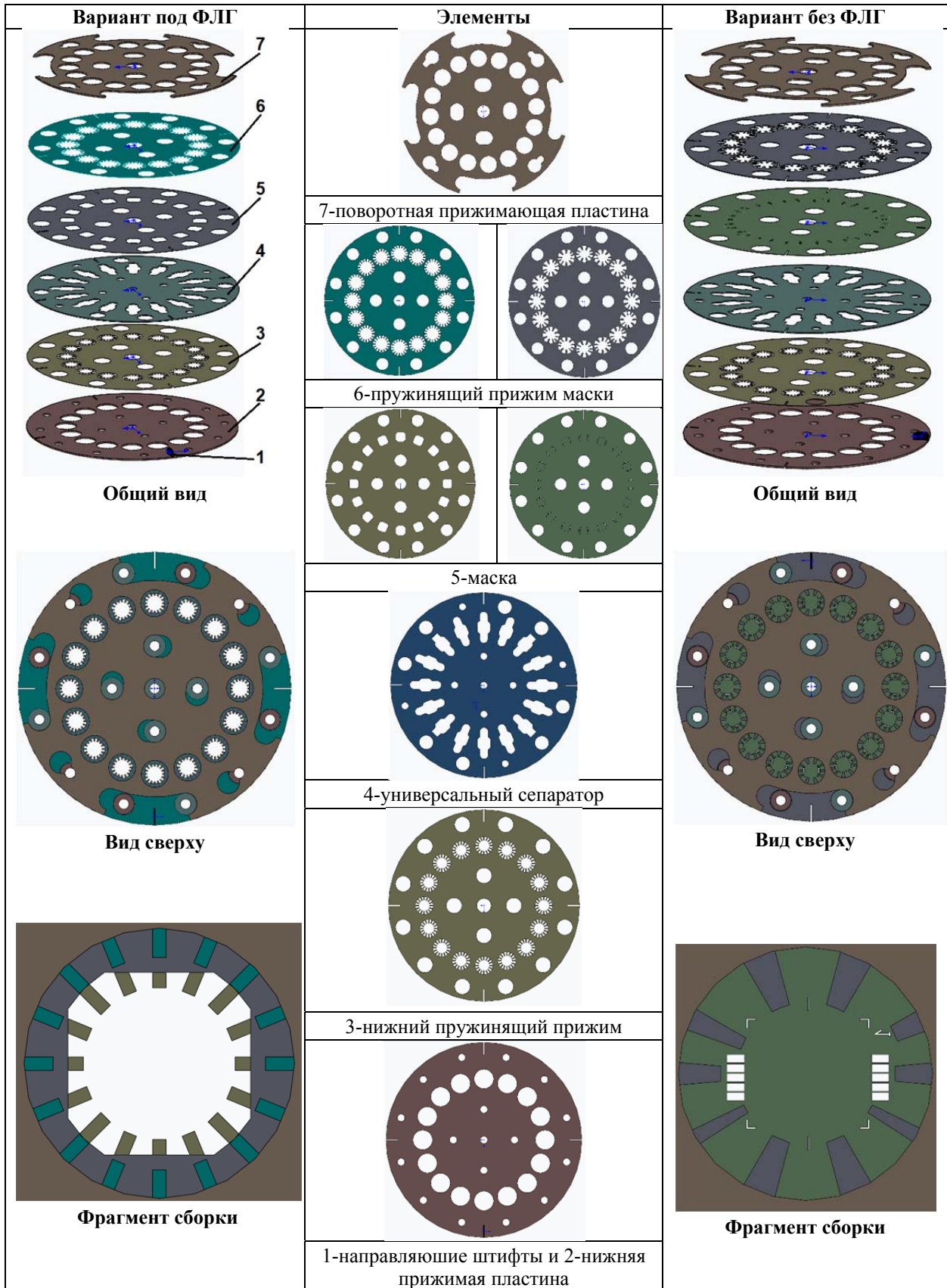




Рис. 3. Прецизионное загрузочное устройство для малогабаритных растров

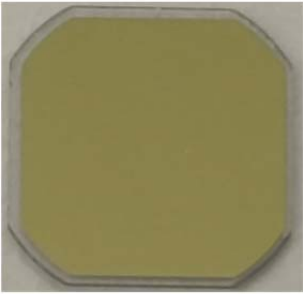
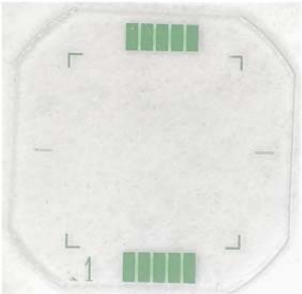
Экспериментальные результаты и обсуждение

Фотографии металлизации малоформатных растров, выполненных в прецизионном загрузочном устройстве после формирования металлизации и после фотолитографических процессов – в таблице 2.

Геометрию металлизации можно объяснить, изучая схему (рис. 4) процесса магнетронного распыления мишени на растр через маску.

Таблица 2

Выполненные малоформатные монокристаллические растры

	
Растр после напыления металлизации	Растр после фотолитографических процессов

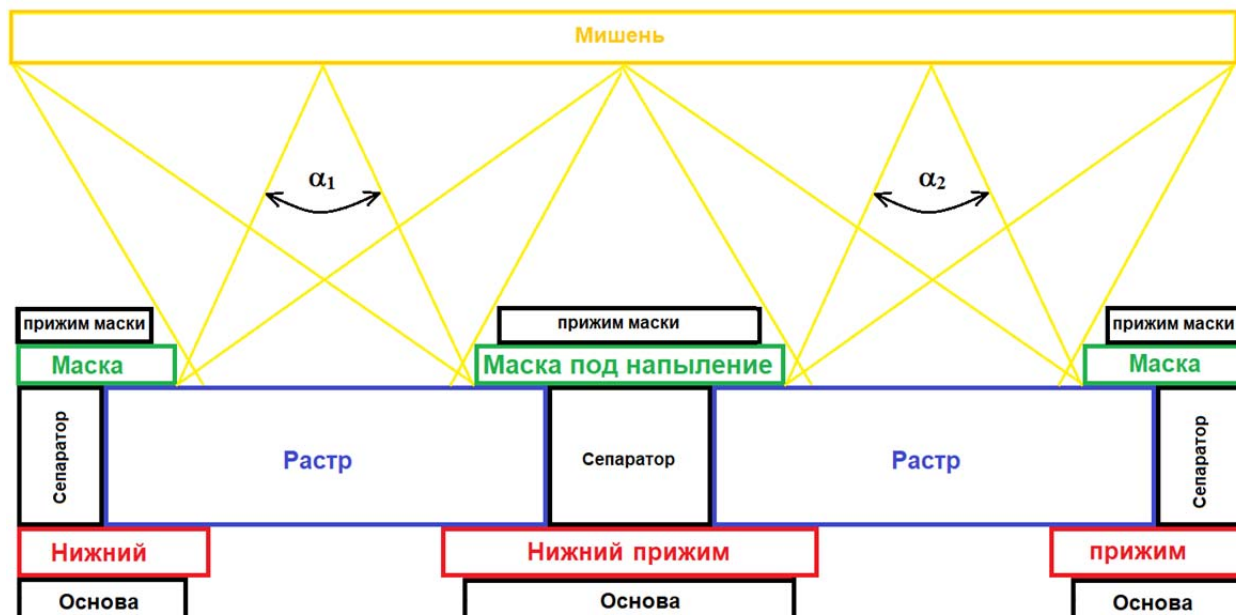


Рис. 4. Схема процесса магнетронного распыления мишени на растр через маску

При магнетронном распылении круглой мишени участвует вся поверхность, но вследствие взаимодействия скрещенных электрического и магнитного полей на мишени обра-

зуется кольцеобразная зона с максимальной скоростью распыления и толщина слоя на пластине, напыленного без маски, на краю меньше, чем в центре на 25÷30 %. Расстояние

между вершинами углов α_1 и α_2 соответствует диаметру этой зоны (см. рис. 4). В то же время, распределение толщины напыленного слоя можно рассматривать как совокупность действия точечных источников разной интенсивности, распределенных по поверхности мишени. Поэтому при формировании пленочных покрытий напылением в непосредственной близости от маскирующих пластину элементов на поверхности образуется область полутени, в которой толщина слоя стремится к нулю. При этом протяженность этой зоны пропорциональна высоте маскирующего элемента. Тем не менее, как видно из рисунка 4, изменяя толщину маски и конфигурацию пружинящего прижима маски, можно добиться оптимального результата.

Дальнейшее развитие прецизионного загрузочного устройства для малогабаритных растров вакуумных криогенных корпусов ИК фотоприёмных устройств связано с использованием маски с контактными площадками, что позволит уйти от фотолитографических процессов, тем самым уменьшив дефектность и повысив производительность. Компьютерная модель данной маски в оснастке представлена в таблице 1 (загрузочное устройство под напыление металлизации малоформатных растров) справа, как вариант без ФЛГ. Как описывалось ранее, толщина маски влияет на размер напыляемого элемента. Поэтому потребуется использовать маски толщиной менее 50 мкм, это ограничение приводит к низкому ресурсу маски и сложности её изготовления.

Заключение

Результаты работы показывают возможности вакуумных методов формирования металлизации на малогабаритные растры ваку-

умных криогенных корпусов, используемых в конструкциях ИК фотоприёмных устройств. Форма металлизации зависит от выбора напыляемых металлов, метода напыления металлизации и геометрии элементов загрузочного устройства.

Применение прецизионного загрузочного устройства с пружинящими прижимами, универсального сепаратора и минимальной высотой маскирующего элемента позволяет получить более точную геометрию элементов и однородную толщину металлизации малоформатного растра ИК фотоприёмного устройства, пригодную для монтажа и разварки микропроводами выводов матричного модуля в вакуумном криогенном корпусе фотоприёмного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трухачев А. В., Болтарь К. О., Мансветов Н. Г., Седнев М. В. / Успехи прикладной физики. 2023. Т. 11. № 6. С. 522–529.
2. Малоков С. П., Нелина С. Н., Стефанович В. А. Физико-технологические аспекты изготовления изделий из сапфира. – Германия: Lap Lambert Academic Publishing, 2012.
3. Болтарь К. О., Седнев М. В., Коротаев Е. Д. Способ герметизации вакуумных металлических конструкций с оптически-прозрачными элементами. Заявка № 2022133766 от 20.12.2022., решение о выдаче патента № 2022133766/05(073519) от 14.09.2023 (РФ).
4. Болтарь К. О., Седнев М. В., Трухачев А. В. Способ формирования краевой металлизации оптически-прозрачных элементов для герметизации пайкой вакуумных металлических конструкций. Заявка № 2022133838 от 12.12.2022., решение о выдаче патента № 2022133838/05(073519) от 02.10.2023 (РФ).
5. Седнев М. В., Трухачев А. В., Атрашков А. С. Способ изготовления матричного фотоприемник. Патент № RU 2749957 C2, (RU 2019139713A) (РФ). 2021.
6. Трухачев А. В., Трухачева Н. С., Седнев М. В., Алиев Р. М. / Успехи прикладной физики. 2020. Т. 8. № 5. С. 364–369.

Precision loading device for group formation of metal contact pads of vacuum cryogenic housings of IR photodetectors

A. V. Trukhachev, M. V. Sednev and N. S. Trukhacheva

Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia
E-mail: orionmoscow@mail.ru

Received 12.12.2024; revised 25.12.2025; accepted 10.01.2025

The article considers the design principles of creating loading devices for group formation of contact pads on small-format monocrystalline rasters used for mounting and welding of matrix module leads in a vacuum cryogenic case of IR photodetectors. The stages of creating a loading device, the parameters of the obtained contact pads formed by magnetron sputtering, and the design parameters of the loading device are presented. The effect of the mask and the design of the loading device on the geometric dimensions of the metallization of the contact pads of small-format monocrystalline rasters is experimentally shown.

Keywords: IR photodetector; vacuum cryogenic case; magnetron sputtering; leucosapphire Al_2O_3 ; vacuum-tight ceramics VK-96.

REFERENCES

1. Trukhachev A. V., Boltar K. O., Mansvetov N. G. and Sednev M. V., Usp. Prikl. Fiz. (Advances in Applied Physics) **11** (6), 522–529 (2023) [in Russian].
2. Malyukov S. P., Nelina S. N. and Stefanovich V. A. Physical and technological aspects of manufacturing sapphire products. Germany, Lap Lambert Academic Publishing, 2012.
3. Boltar K. O., Sednev M. V. and Korotaev E. D. Method for Sealing Vacuum Metal Structures with Optically Transparent Elements. Application № 2022133766 dated 20.12.2022, Decision to Grant Patent № 2022133766/05(073519) dated 14.09.2023 (RF).
4. Boltar K. O., Sednev M. V. and Trukhachev A. V. Method for Forming Edge Metallization of Optically Transparent Elements for Sealing Vacuum Metal Structures by Soldering. Application № 2022133838 dated 12.12.2022, Decision to Grant Patent № 2022133838/05(073519) dated 02.10.2023 (RF).
5. Sednev M. V., Trukhachev A. V. and Atrashkov A. S. Method for Manufacturing a Matrix Photodetector. Patent № RU 2749957 C2, (RU 2019139713A), reg. 04.06.2021 (RF).
6. Trukhachev A. V., Trukhacheva N. S., Sednev M. V. and Aliyev R. M., Usp. Prikl. Fiz. (Advances in Applied Physics) **8** (5), 364–369 (2020) [in Russian].