

УДК 621.383.4/5:621.315.59  
EDN: FXWDCO

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv



## Исследование качества гибридации матричных фотоприемных устройств на установке с автоколлиматором

Н. А. Иродов, К. О. Болтарь, А. А. Лопухин, В. М. Акимов

*Представлены результаты исследований процессов гибридации кристаллов БИС считывания и МФЧЭ матричных фотоприемных устройств ИК-диапазона, которые проводились на установках с автоколлиматором и без автоколлиматора методом перевернутого кристалла и определена необходимость использования автоколлиматора для различных фотоприемников. На основе проведенных исследований оптимизированы процессы гибридации. Установлено, что на установке с автоколлиматором надежнее и рациональнее гибридазировать крупноформатные МФЧЭ и БИС считывания формата более 640×512, а на установке без автоколлиматора – малогабаритные матричные фотоприемники и многорядные фотоприемные устройства.*

*Ключевые слова:* гибридазация, автоколлиматор, МФЧЭ, БИС считывания, МФПУ, кристалл.

DOI: 10.51368/1996-0948-2024-2-57-61

### Введение

Гибридазация является одной из важнейших операций изготовления матричных фотоприемников [1–3]. Матричное фотоприемное устройство (МФПУ) ИК-диапазона состоит из матрицы фоточувствительных элементов (МФЧЭ), соединенной с кремниевой БИС считывания того же формата, которые гибридазируются методом холодной сварки

давлением при помощи индиевых микроконтактов, сформированных на поверхностях МФЧЭ и БИС [4].

Гибридазация осуществляется с помощью индиевых микроконтактов, выполненных, как правило, в виде четырехгранных усеченных пирамид или конусов, которые при сварке упираются друг в друга вершинами, причем с практически одинаковыми геометрическими размерами для обоих кристаллов. Дополнительно сварное электрическое соединение необходимо реализовать с общим контактом к базе МФЧЭ. Сближение кристаллов МФЧЭ и БИС вызывает сплющивание пирамид. При сварке в твердом состоянии (сварке давлением) сближение атомов и активация поверхности достигаются за счет совместной упругопластической деформации соединяемых материалов, в нашем случае индиевыми микроконтактами [5]. Форма и размеры контакта к базе менее лимитированы. Это позволяет расположить базовые контакты большой площади по периферии области кристалла, сформировав из них ограничитель деформации контактов к меза-структурам при сварке [6]. С точностью до неровностей соединяемых поверхностей высота базового контакта после сварки не мо-

**Иродов Никита Александрович**<sup>1</sup>, вед. инженер.  
**Болтарь Константин Олегович**<sup>1,2</sup>, нач. НТК, д.ф.-м.н., профессор.

**Лопухин Алексей Алексеевич**<sup>1</sup>, нач. участка.

**Акимов Владимир Михайлович**<sup>1</sup>, гл. специалист.

<sup>1</sup> АО «НПО «Орион».

Россия, Москва, 111538, ул. Косинская, 9.

E-mail: irodov.merphi@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет).

Россия, 171701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер. 9.

Статья поступила в редакцию 12.03.2024

После доработки 26.03.2024

Принята к публикации 2.04.2024

Шифр научной специальности: 1.3.11

© Иродов Н. А., Болтарь К. О., Лопухин А. А.,  
Акимов В. М., 2024

жет быть меньше толщины напыленного слоя индия. Процесс гибридации производился при комнатной температуре без нагрева МФЧЭ и БИС считывания.

### Гибридация на установках с автоколлиматором и без автоколлиматора

Соединение индиевых столбчатых контактов осуществляется на установке гибридации, оснащенной двупольным ИК-микроскопом, включающей в себя следующие узлы:

- устройство крепления кремниевой БИС и МФЧЭ на столиках при помощи вакуума;
- автоколлиматор для выравнивания плоскопараллельности (при его наличии);
- нижний столик для совмещения индиевых столбчатых контактов;
- устройство сдавливания столбчатых индиевых контактов кремниевой БИС и МФЧЭ.

Гибридация проходит в несколько этапов диффузионной сварки индиевых столбчатых контактов, что позволяет обеспечить надежный контакт электрических соединений электронных компонентов – кремниевой БИС считывания и МФЧЭ при различных испытаниях образцов [7].

Одним из факторов надежности процесса гибридации является плоскопараллельность кристаллов относительно друг друга после гибридации. Соответственно величина перекоса должна быть минимальной и не превышать 2 мкм, так как при большем перекосе возникает вероятность отрыва индиевых микроконтактов во время процесса утоньшения МФЧЭ или во время контроля функционирования при температуре 77 °К.

На установке без автоколлиматора можно гибридазировать только плоскопараллельные кристаллы БИС считывания и МФЧЭ с перекосом не более  $\pm 0,5$  мкм, чего не всегда удается достичь. Из-за этого возникают перекосы МФЧЭ относительно БИС считывания после гибридации, что приводит к ухудшению качества и надежности гибридации и возможны случаи отсутствия контактов или пережима индиевых микроконтактов и, как следствие, замыкание индиевых микроконтактов между собой, что приводит к браку. Наличие автоколлиматора позволяет выравнивать не плоскопараллельные МФЧЭ относительно БИС считывания и тем самым улучшать качество и надежность гибридации.

Метод выравнивания при помощи автоколлиматора широко применяют при определении отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей [8]. При применении оптической системы в качестве автоколлиматора на оптический путь накладывается марка оптического прицела. Отраженное изображение марки на верхнем кристалле начинает поворачиваться с помощью джойстика, совмещается с изображением нижнего кристалла и отправляется на тринокуляр. Если кристаллы имеют недостаточные размер или отражающую способность для правильного отражения изображения марки, проецируемого источником света, то применение автоколлиматора невозможно, так как отражение будет идти не от соединяемых кристаллов, а от столиков, на которых они находятся.

В работе исследована необходимость использования автоколлиматора для различных фотоприемников, состоящих из БИС и МФЧЭ – крупноформатных, малогабаритных и многорядных. Некоторые МФЧЭ, исследуемые в работе, представлены на рисунке 1.

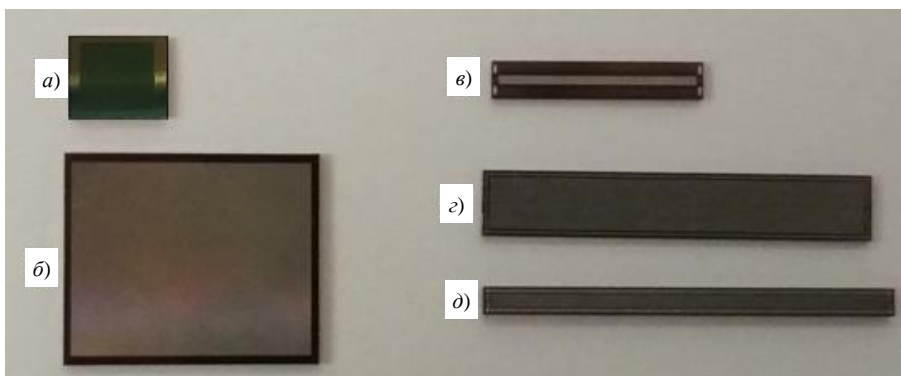


Рис. 1. Изображения МФЧЭ различных форматов: а) 64×64; б) 640×512 с шагом 15 мкм; в) 4×288; г) 10×1024; д) 6×576

### Исследование качества гибридации

Проведено значительное количество процессов гибридации кристаллов БИС и МФЧЭ формата 640×512 с шагом 15 мкм с габаритными размерами ~ 10×9 мм<sup>2</sup> (длина×ширина) (см. рис. 1б) на установках с автоколлиматором и без автоколлиматора.

Этот формат является наиболее сложным в плане гибридации, из-за небольших размеров индиевых микроконтактов, порядка 7×7 мкм<sup>2</sup>, высотой 5 мкм и с расстоянием между соседними элементами 15 мкм (рис. 2).

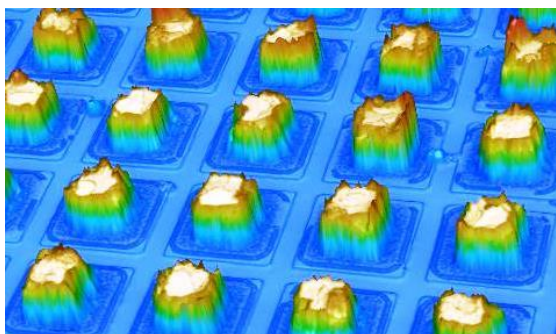


Рис. 2. Фрагмент МФЧЭ 640×512 с шагом 15 мкм с In микроконтактами порядка 7×7 мкм<sup>2</sup> и высотой 5 мкм

Измеренные по периметру зазоры между кристаллами БИС и МФЧЭ в трех точках по каждой стороне, показывают степень сжатия индиевых микроконтактов, по которым вычислен перекося кристалла МФЧЭ относительно БИС считывания [9]. Экспериментальные данные показывают, что перекося зазоров 80 % модулей после гибридации на установке без автоколлиматора находятся в пределах от 2,0 до 5,0 мкм, причем медианное значение перекося составляет 3,5 мкм, а на установке с автоколлиматором перекося зазоров 80 % модулей находятся в пределах от 1,0 до 3,0 мкм, и медианное значение перекося составляет 2,0 мкм (таблица). Это доказывает то, что процесс гибридации крупноформатных матриц целесообразнее проводить на установке с автоколлиматором. Это также подтверждено на графиках (рис. 3) интегральных функций распределения количества процессов гибридации кристаллов БИС считывания и МФЧЭ по величине перекося зазоров для установок с автоколлиматором и без автоколлиматора для формата 640×512 с шагом 15.

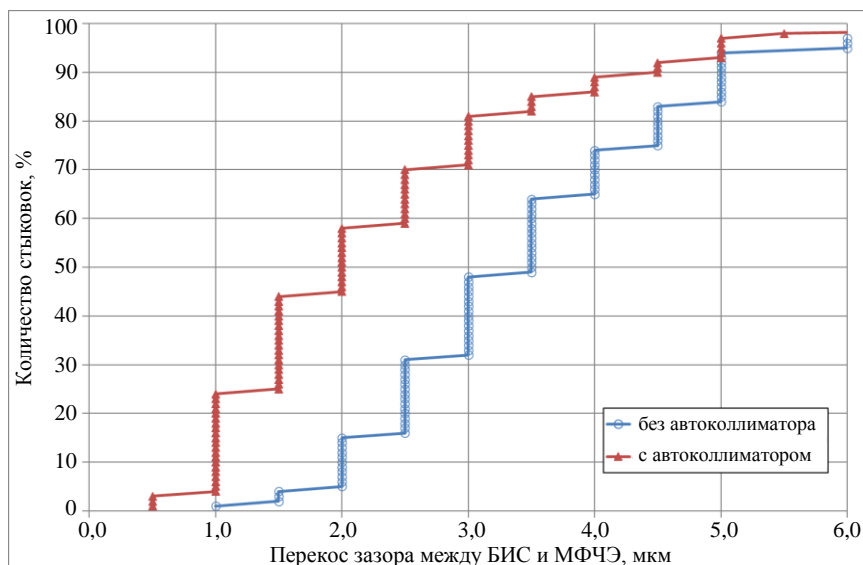


Рис. 3. Интегральные функции распределения количества процессов гибридации кристаллов БИС считывания и МФЧЭ по величине перекося зазоров для установок с автоколлиматором и без автоколлиматора

Таблица

Перекося зазора между БИС считывания и МФЧЭ для различных форматов

Формат	Нижний предел зазора, мкм	Верхний предел зазора, мкм	Медианное значение, мкм
640×512, шаг 15 мкм, с автоколлиматором	1,0	3,0	2,0
640×512, шаг 15 мкм, без автоколлиматора	2,0	5,0	3,5
320×256, шаг 30 мкм, с автоколлиматором	1,0	3,5	2,0
320×256, шаг 30 мкм, без автоколлиматора	3,0	5,0	4,0
384×288, шаг 25 мкм, с автоколлиматором	0,5	2,0	1,5
384×288, шаг 25 мкм, без автоколлиматора	2,0	4,0	3,0
640×512, шаг 20 мкм, с автоколлиматором	1,5	2,5	2,0

Проведено большое число процессов гибридации и последующие измерения зазоров между кристаллами БИС и МФЧЭ форматов  $320 \times 256$  с шагом 30 мкм,  $384 \times 288$  с шагом 25 мкм с габаритными размерами схожими с форматом  $640 \times 512$  с шагом 15 мкм на установках с автоколлиматором и без автоколлиматора (таблица). Эти результаты подтвердили данные, полученные для формата  $640 \times 512$  с шагом 15 мкм, и показывают, что перекося между кристаллами зависит не от формата изделия, а от габаритных размеров БИС и МФЧЭ.

Также проведены процессы гибридации и измерены зазоры между кристаллами БИС и МФЧЭ для формата  $640 \times 512$  с шагом 20 мкм с габаритными размерами несколько большими  $\sim 13 \times 11 \text{ мм}^2$ , чем у формата  $640 \times 512$  с шагом 15 мкм ( $\sim 10 \times 9 \text{ мм}^2$ ) на установках с автоколлиматором (таблица). На установке без автоколлиматора проведено недостаточное количество процессов гибридации формата  $640 \times 512$  с шагом 20 мкм для того, чтобы провести статистический анализ. Данные, представленные в таблице, также подтверждают, что гибридацию крупноформатных матриц целесообразнее проводить на установке с автоколлиматором.

Но встречаются случаи, когда использование автоколлиматора является нецелесообразным или невозможным. Экспериментально определено, что на установке с автоколлиматором нет возможности использовать автоколлиматор при гибридации многорядных фотоприемных устройств (длинные и узкие МФЧЭ, так называемые линейки) форматов  $4 \times 288$  (габариты  $\sim 9 \times 2 \text{ мм}^2$ , рис. 1в),  $10 \times 1024$  (габариты  $\sim 16 \times 3 \text{ мм}^2$ , рис. 1з),  $6 \times 576$  (габариты  $\sim 17 \times 1 \text{ мм}^2$ , рис. 1д). Это связано с тем, что для работы автоколлиматора МФЧЭ должен быть примерно с одинаковым соотношением сторон, а если одна из сторон будет узкая, то есть уже, чем марка автоколлиматора, то получится, что она будет отражаться не от МФЧЭ, а от столика, на котором находится кристалл и, следовательно, выравнивание плоскопараллельности будет выполняться относительно столика, что приведет к перекося гибридации. Также автоколлиматор не способен охватить всю длину некоторых линеек (рис. 1з, д).

Экспериментально определено, что при гибридации малогабаритных МФЧЭ и БИС считывания формата  $64 \times 64$  элементов (габариты  $\sim 3 \times 3 \text{ мм}^2$ , рис. 1а), использование автоколлиматора также является невозможным из-за недостаточных размеров кристаллов. Из-за мелких габаритов МФЧЭ имеют небольшую кривизну, а так как нижний столик всегда плоскопараллелен верхнему в установке без автоколлиматора, то величина зазора после гибридации не превышает установленные пределы.

Как видно из проведенных исследований установки с автоколлиматором и без него могут подходить для различных задач процесса гибридации. С автоколлиматором целесообразно проводить гибридацию крупноформатных матриц, таких как  $320 \times 256$  с шагом 30 мкм,  $640 \times 512$  с шагом 15 мкм и др., без автоколлиматора проводить гибридацию малогабаритных матричных фотоприемников формата  $64 \times 64$  и многорядных фотоприемных устройств формата  $4 \times 288$ ,  $10 \times 1024$  и др.

### Заключение

Исследованы процессы гибридации на установках с автоколлиматором и без автоколлиматора и статистика результатов измерения зазоров между кристаллами БИС и МФЧЭ форматов  $640 \times 512$  с шагом 15 мкм,  $320 \times 256$  с шагом 30 мкм,  $384 \times 288$  с шагом 25 мкм и  $640 \times 512$  с шагом 20 мкм. Определено, что на установке с автоколлиматором плоскопараллельность гибридируемых кристаллов лучше и медианное значение перекося составляет  $1,5 \div 2,0$  мкм, в отличие от установки без автоколлиматора с медианным значением перекося  $3,0 \div 4,0$  мкм.

На основе проведенных исследований оптимизированы процессы гибридации и установлено, что на установке с автоколлиматором надежнее и рациональнее гибридазировать крупноформатные МФЧЭ и БИС считывания, а на установке без автоколлиматора проводить процессы гибридации малогабаритных матричных фотоприемников формата  $64 \times 64$  из-за недостаточных размеров кристаллов для правильного отражения изображения марки автоколлиматора, и многорядных фотоприемных устройств формата  $4 \times 288$ ,

10×1024, так как автоколлиматор не способен работать на узких и длинных МФЧЭ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болтарь К. О., Киселева Л. В., Лопухин А. А., Савостин А. В. Способ изготовления матричного фотоприемника (варианты). Патент RU 2460174. 2012.
2. Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А., Полунеев В. В., Рябова А. А. / Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 6. С. 733.
3. Балиев Д. Л., Болтарь К. О., Власов П. В., Киселева Л. В., Ложников В. Е., Лопухин А. А., Мансветов Н. Г., Полунеев В. В., Рудневский В. С., Савостин А. В. / Прикладная физика. 2014. № 2. С. 41–44.

4. Lau J. H. Flip chip technologies. – McGraw-Hill, 1996.
5. Колобов Н. А. Основы технологии электронных приборов. – М.: Высш. школа, 1980. С. 209–233.
6. Болтарь К. О., Поварихина В. В., Иродов Н. А. Способ сборки ИК-фотоприемника. Патент RU 2526489. 2013.
7. Иродов Н. А., Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А. / Прикладная физика. 2016. № 5. С. 51–54.
8. Медянцева Л. Л., Горбачева В. В., Шарова Е. Е. Контроль прямолинейности и плоскостности поверхностей. – М.: Изд. Стандартов, 1972. С. 49–63.
9. Акимов В. М., Васильева Л. А., Болтарь К. О., Климанов Е. А. Способ оперативного контроля качества стыковки. Патент RU 2660020. 2018.

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

## Investigation quality of hybridization matrix photodetector devices on equipment with autocollimator

*N. A. Irodov<sup>1</sup>, K. O. Boltar<sup>1,2</sup>, A. A. Lopukhin<sup>1</sup> and V. M. Akimov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Orion R&P Association, JSC

9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology

9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

*Received 12.03.2024; revised 26.03.2024; accepted 2.04.2024*

***Results of researches hybridization of ROIC and Focal Plane Array (FPA) are discussed. Work was performed by flip chip method on hybridization equipment with an autocollimator and without an autocollimator. We investigated of necessity to use an autocollimator for various formats of photodetectors. Based on research the processes of hybridization were optimized. We were found that it is more reliable and rational to hybridize large-sized FPA and ROIC of 640×512 pixels on equipment with an autocollimator. And small-sized Detector Arrays and multi-row photodetectors are better to hybridize on equipment without an autocollimator.***

**Keywords:** hybridization, autocollimator, FPA, ROIC, MFPA, crystal.

#### REFERENCES

1. Boltar K. O., Kiseleva L. V., Lopukhin A. A. and Savostin A. V. Patent № 2460174 (RF). 2012.
2. Boltar K. O., Vlasov P. V., Lopukhin A. A., Poluneev V. V. and Ryabova A. A., Usp. Prikl. Fiz. (Advances in Applied Physics) **1** (6), 733 (2013) [in Russian].
3. Baliev D. L., Boltar K. O., Vlasov P. V., Kiseleva L. V., Lozhnikov V. E., Lopukhin A. A., Mansvetov N. G., Poluneev V. V., Rudnevskii V. V. and Savostin A. V., Applied Physics, № 2, 41 (2014) [in Russian].
4. Lau J. H., Flip Chip Technologies. McGraw-Hill, 1996.
5. Kolobov N. A., Basis of electronic devices. Moscow. Vysshaya shkola, 1980.
6. Boltar K. O., Povarikhina V. V. and Irodov N. A. Patent № 2526489 (RF). 2013.
7. Irodov N. A., Boltar K. O., Vlasov P. V. and Lopukhin A. A., Applied Physics, № 5, 51 (2016) [in Russian].
8. Medyantseva L. L., Gorbacheva V. V. and Sharova E. E., Control of straightness and flatness of surfaces. Moscow. Izd. Standartov, 1972.
9. Akimov V. M., Vasilyeva L. A., Boltar K. O. and Klimanov E. A. Patent № 2660020 (RF). 2018.