

УДК 621.315.5:621.3.049.77

Модифицированная топология индиевых микроконтактов

В. М. Акимов, К. О. Болтарь, Л. А. Васильева, С. С. Демидов,
Н. А. Иродов, Е. А. Климанов

При гибридизации кристаллов БИС считывания и матрицы фоточувствительных элементов (МФЧЭ) методом перевернутого монтажа используются индиевые микроконтакты, создаваемые на обоих кристаллах. В статье рассмотрена модифицированная топология индиевых микроконтактов, позволяющая повысить надежность гибридизации кристаллов. Проведены первые стыковки индиевых микроконтактов предложенной топологии, представлены фотографии рассстыкованных образцов.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: матричные фоточувствительные элементы, МФЧЭ, БИС, индиевые микроконтакты, гибридизация, стыковка, метод перевернутого монтажа.

Введение

Обычно индиевые микроконтакты при гибридизации кристаллов БИС считывания и МФЧЭ методом перевернутого монтажа выполняются в виде квадратных или круглых контактов, причем с практически одинаковыми геометрическими размерами для обоих кристаллов [1—2]. Однако во время гибридизации таких микроконтактов возможно закорачивание микроконтактов одного кристалла микроконтактами другого даже при небольшой погрешности их совмещения (рис. 1). Закорачивание индиевых микроконтактов происходит уже при погрешности совмещения более величины зазора между микроконтактами на кристалле, что обычно составляет 3—10 мкм при шаге микроконтактов 10—35 мкм. Ситуация усугубляется при пережатии микроконтактов, когда увеличивается их площадь, и при охлаждении сборки из-за разных температурных коэффициентов рас-

ширения материалов состыкованных кристаллов. В этом случае либо все ФЧЭ матрицы оказываются соединенными между собой, либо только вдоль строк или столбцов матрицы.

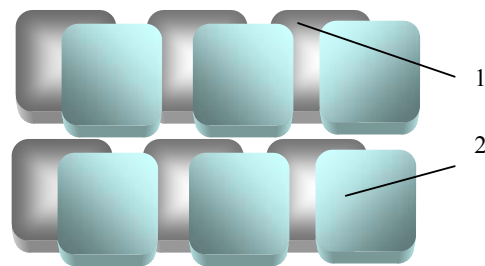


Рис. 1. Закоротки квадратных микроконтактов при рассовмещении. Здесь и далее: поз. 1 — микроконтакт БИС считывания, поз. 2 — микроконтакт МФЧЭ

Снизить вероятность закорачивания индиевых микроконтактов квадратной или круглой формы можно лишь при уменьшении их площади. Однако при этом уменьшается площадь контакта индия, как с нижележащими металлами каждого кристалла, так и с ответным индием стыкуемого микроконтакта, что снижает прочность соединения кристаллов.

Кроме того, при определенной форме микроконтактов, например, в виде конусов или пирамид, при их стыковке возможен неконтролируемый сдвиг микроконтактов кристаллов относительно друг друга (т. н. эффект «соскальзывания»), что также может привести к закорачиванию соседних микроконтактов.

Целью данной работы является исследование модифицированной топологии индиевых микроконтактов, при использовании которой исключается закорачивание соседних микроконтактов при совмещении [3, 4] и, тем самым, повышается надежность стыковки кристаллов.

Акимов Владимир Михайлович, главный специалист¹.
Болтарь Константин Олегович, начальник НТК¹, профессор².
Васильева Лариса Александровна, вед. инженер-конструктор¹.

Демидов Станислав Стефанович, ст. научный сотрудник¹.
Иродов Никита Александрович, инженер 2 кат.¹.

Климанов Евгений Алексеевич, гл. научный сотрудник¹, профессор².

¹ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.

Тел.: 8 (499) 374-94-00, 8 (499) 374-94-01.

Факс 8 (499) 373-68-62. E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт

(государственный университет).

Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный,

Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 5 декабря 2014 г.

© Акимов В. М., Болтарь К. О., Васильева Л. А., Демидов С. С., Иродов Н. А., Климанов Е. А., 2015

Модифицированная топология

Технический результат достигается тем, что индиевые микроконтакты на обоих кристаллах имеют конфигурацию вытянутых прямоугольников, причём размер каждого микроконтакта одного кристалла меньше зазора между микроконтактами другого кристалла, как по вертикали, так и по горизонтали. При этом микроконтакты на кристаллах БИС и МФЧЭ расположены под углом, например 90° , по отношению друг к другу (см. рис. 2).

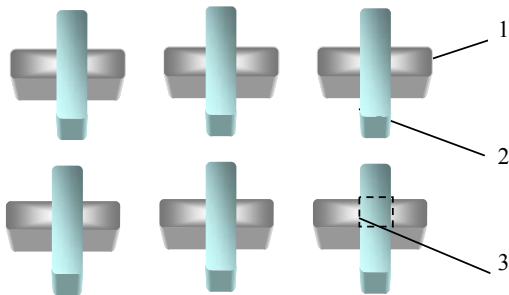


Рис. 2. Совмещение прямоугольных микроконтактов

В конечном итоге, достигнутые результаты можно охарактеризовать следующим образом.

1. Исключается возможность закорачивания соседних микроконтактов при совмещении, так как размеры и конфигурация микроконтактов подобраны так, что даже в самом худшем случае совмещения микроконтакты не смогут закоротиться (рис. 3, 4);

2. Исключается сдвиг микроконтактов во время стыковки (эффект «соскальзывания») за счёт отсутствия наклонных поверхностей в месте касания микроконтактов и, соответственно, в дальнейшем образования «замка» по индию (рис. 5, поз. 3);

3. Предоставляется возможность проведения повторной стыковки при неудачном попадании микроконтактов одного кристалла в зазоры между микроконтактами другого кристалла, так как микроконтакты при этом практически не деформированы.

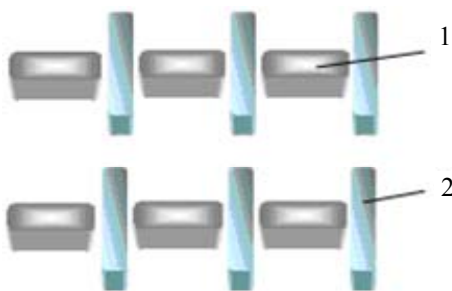


Рис. 3. Рассовмещение микроконтактов при отсутствии связи по узким сторонам

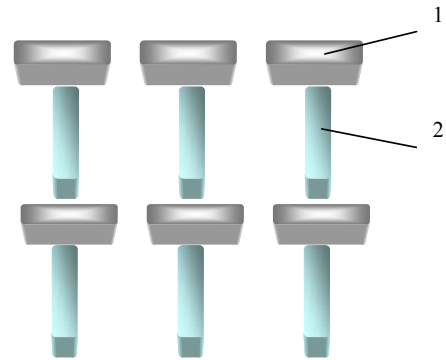


Рис. 4. Рассовмещение микроконтактов при отсутствии связи по широким сторонам

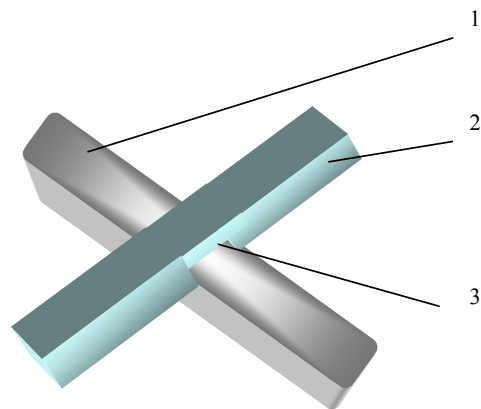


Рис. 5. Формирование индиевого «замка» при стыковке двух микроконтактов

На рис. 6 схематически показано расположение индиевых микроконтактов двух кристаллов при отсутствии связи между ними. Здесь 1 и 2 — микроконтакты на кристаллах БИС считывания и МФЧЭ соответственно. При этом условие отсутствия закорачивания микроконтактов двух кристаллов выглядит следующим образом:

$$T > W + L, \quad (1)$$

где T — шаг индиевых микроконтактов на кристаллах, W — ширина, L — длина микроконтактов.

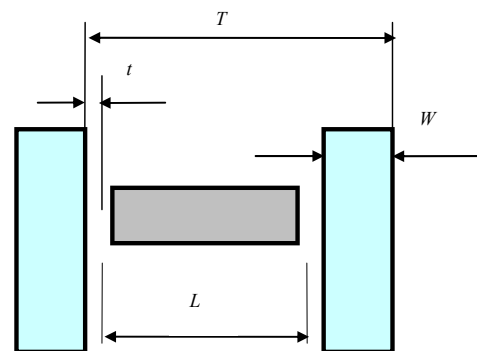


Рис. 6. Расположение микроконтактов при отсутствии связи между ними

При допустимом минимальном расстоянии между индиевыми микроконтактами двух кристаллов после стыковки, равном 1 мкм, получим соотношение:

$$T - 2 \text{ мкм} = W + L. \quad (2)$$

Индиевые микроконтакты прямоугольной формы могут быть изготовлены на поверхности обоих кристаллов любым из известных способов [5—8].

При гибридизации индиевых микроконтактов квадратной или круглой формы их стыковка происходит обычно плоскими вершинами с взаимной диффузией атомов индия. Из-за малой величины деформации окисной пленки на вершинах микроконтактов ее разрушение незначительно, и на поверхности микроконтактов формируются отдельные мелкие очаги чистого индия, создающие механический и электрический контакт с ответными микроконтактами. Поэтому в ряде случаев образуются не единый индиевый контакт двух столбиков, а контакт, подобный прижимному.

При использовании микроконтактов прямоугольной формы с разворотом на 90° по отношению друг к другу во время стыковки механическая и электрическая связь микроконтактов формируется не только вершинами микроконтактов, но и его боковыми стенками, которые создают своеобразный «замок» по индию. Это приводит к увеличению прочности сварки микроконтактов и исключает неконтролируемый сдвиг микроконтактов во время стыковки.

Проверка топологии

Проведены стыковки кристаллов формата 384×288 элементов с шагом 28 мкм. На обоих кристаллах сформированы индиевые микроконтакты прямоугольной формы размерами 18×7 мкм, повернутые на угол 90° относительно друг друга. Все контакты получены методом «взрывной» фотолитографии.

На рис. 7 представлена фотография исходных индиевых микроконтактов до стыковки кристаллов. Видно, что размеры индиевых микроконтактов удовлетворяют соотношению (2).

На рис. 8—10 представлены фотографии таких же микроконтактов после стыковки и последующей расстыковки. На рис. 8 показана фотография расстыкованных микроконтактов при точном совмещении индиевых микроконтактов, когда центр одного прямоугольного микроконтакта стыкуется с центром ответного прямоугольного микроконтакта. На рис. 9 воспроизведена соответствующая фотография при совмещении с рассогласованием, когда стыковка проходит по краю

индиевых микроконтактов. В обоих случаях заметна существенная разница в форме микроконтактов до и после стыковки. В месте соединения индиевый слой каждого микроконтакта испытывает сильное давление, что приводит к взаимному выдавливанию «лишнего» индия из зоны деформации двух микроконтактов (формирование индиевого «замка»). Это, в свою очередь, приводит к увеличению ширины микроконтактов по сравнению с исходным состоянием. Деформация индиевых микроконтактов в зоне «замка» происходит до тех пор, пока наиболее высокие столбы одного кристалла не достигнут поверхности другого кристалла (на вершинах микроконтактов виден отпечаток топологии ответного кристалла). Более высокое удельное давление в зоне контакта для прямоугольных микроконтактов по сравнению с квадратными приводит к сильной деформации индиевого слоя в месте стыковки, приводящей к разрыву окисной пленки, контактированию микроконтактов очищенными областями индия, что, в конечном итоге, снижает контактное сопротивление и улучшает механическую прочность сварки микроконтактов.

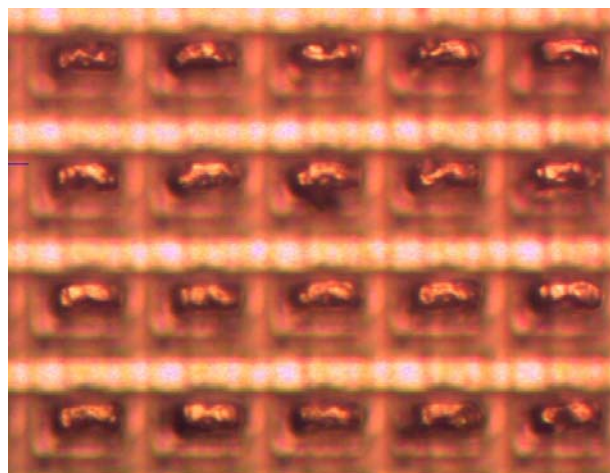


Рис. 7. Фотография микроконтактов на кристалле до стыковки

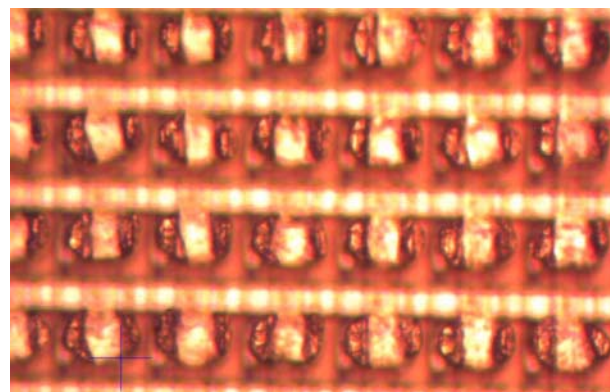


Рис. 8. Фотография микроконтактов при точной стыковке

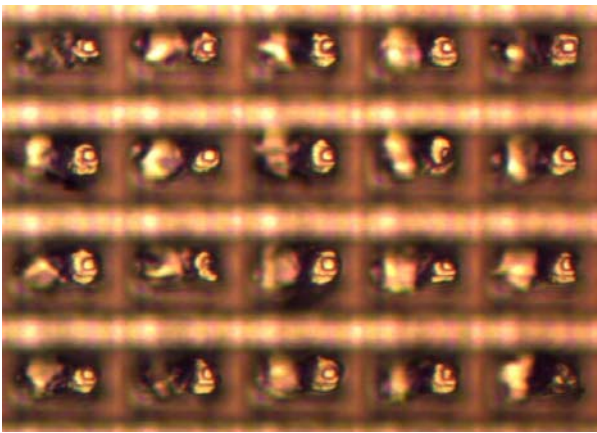


Рис. 9. Фотография микроконтактов при краевой стыковке

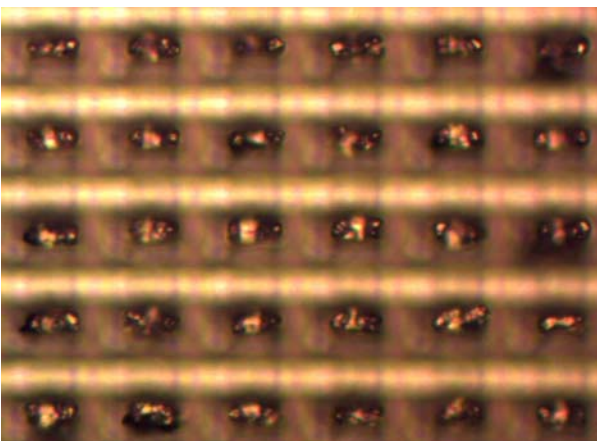


Рис. 10. Фотография микроконтактов на кристалле при точной стыковке и слабом давлении сжатия

На рис. 10 показан вид микроконтактов после расстыковки для случая гибридации при точном совмещении и малом давлении сжатия. На микроконтактах так же отчетливо заметен след от стыковки с ответными микроконтактами, в которых произошло нарушение целостности слоя окисла индия. При таком давлении сжатия не происходит сильного расширения микроконтактов.

После расстыковки кристаллов на всех образцах заметна деформация боковых стенок индиевого «замка» микроконтактов, связанная с разрывом связи между микроконтактами при механической расстыковке кристаллов, что свидетельствует о хорошем качестве сварки микроконтактов двух кристаллов. Это позволяет получить высокую прочность соединения микроконтактов в широком диапазоне температур без использования дополнительных приемов улучшения качества холодной сварки [9].

Состыкованные кристаллы с прямоугольной формой микроконтактов более устойчивы к термоциклированию по сравнению с кристаллами, имеющими квадратные или круглые микроконтакты. Во-первых, из-за формирования в месте кон-

такта «индиевого замка» (рис. 2, поз. 3), приводящего к увеличению прочности соединения микроконтактов. Во-вторых, из-за используемой формы микроконтактов (рис. 6), при которой уменьшается вероятность закорачивания между микроконтактами при изменении линейных размеров кристаллов.

Величина деформации индиевых микроконтактов зависит от их формы, структуры индия и величины приложенного давления, величина которого не должна выходить за допустимые пределы из-за опасности деградации p - n -переходов ФЧЭ.

Заключение

Для гибридации кристаллов БИС считывания и МФЧЭ методом перевернутого монтажа обычно используются микроконтакты квадратной или круглой формы. При небольшой погрешности совмещения кристаллов возможно закорачивание микроконтактов одного кристалла микроконтактами другого кристалла. В работе показано, что использование для гибридации микроконтактов прямоугольной формы позволяет исключить возможность появления подобных закороток при сохранении механической прочности соединения.

Рассмотрены геометрические соотношения между размерами микроконтактов, при которых выполняется условие отсутствия закороток микроконтактов двух кристаллов.

Проведен ряд стыковок кристаллов формата 384×288 с шагом 28 мкм с микроконтактами прямоугольной формы, повернутыми на угол 90° по отношению друг к другу. Представлены фотографии расстыкованных образцов. Показано, что при выполнении рекомендованных геометрических соотношений для размеров микроконтактов закорачивания не происходит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Method for electrically interconnecting large contact arrays using eutectic alloy bumping, US Patent 6,550,665 B1, Apr. 22, 2003.
2. Акимов В. М., Климанов Е. А., Лисейкин В. П. и др. // Прикладная физика. 2003. № 2. С. 80.
3. Акимов В. М., Болтарь К. О., Васильева Л. А. и др. Способ гибридации кристаллов БИС считывания и матрицы фоточувствительных элементов фотоприемных устройств. Заявка № 2013136307 от 1.08.13.
4. Акимов В. М., Болтарь К. О., Васильева Л. А. и др. / XXIII Междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, 28—30 мая 2014 г). Труды.
5. Акимов В. М., Болтарь К. О., Васильева Л. А. и др. Способ изготовления индиевых столбиков / Патент на изобретение № 2371808. Заявка № 2008111768 от 27.03.2008.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27.10.09.

6. Акимов В. М., Климанов Е. А., Лисейкин В. П. и др. // Прикладная физика. 2010. № 4. С. 99.

7. Болтарь К. О., Корнеева М. Д., Мезин Ю. С. и др. // Прикладная физика. 2011. № 1. С. 96.

8. Дирочка А. И., Климанов Е. А., Мезин Ю. С. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 1. С. 65.

9. Ribette G., Lecarpentier G., Ефимов В. М. и др. / XXII Междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, 22—25 мая 2012 г.). Тезисы докладов. С. 20.

Modified topology of indium microcontacts

V. M. Akimov¹, K. O. Boltar^{1,2}, L. A. Vasileva¹, N. A. Demidov¹,
N. A. Irodov¹, and E. A. Klimanov^{1,2}

¹Orion R&P Association, Inc.
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

²Moscow Institute of Physics and Technology (State University)
9 Institute al., Dolgoprudnyi, Moscow Region, 141700, Russia

Received December 5, 2014

Hybridization of ROIC crystals and matrix of photosensitive elements by flip chip technology is carried out by indium microcontacts, which are created on the both of crystals. Modified topology of indium microcontacts, which improves the reliability of crystals hybridization is discussed. The first assemblies of indium microcontacts of proposed topology are held. There photos of disassembled samples are presented.

PACS: 85.60.-q

Keywords: indium microcontacts, hybridization, docking, inverted location.

REFERENCES

1. Method for electrically interconnecting large contact arrays using eutectic alloy bumping, US Patent 6,550,665 B1, Apr. 22, 2003.
2. V. M. Akimov, E. A. Klimanov, V. P. Liseikin, et al., Prikladnaya Fizika, No. 2, 80 (2003).
3. V. M. Akimov, K. O. Boltar, L. A. Vasil'eva, et al., RF Patent Application No. 2013136307, August 1, 2013.
4. V. M. Akimov, K. O. Boltar, L. A. Vasil'eva, et al., in Proc. XXIII Intern. Conf. Photoelectronics (Moscow, May 28—30, 2014).
5. V. M. Akimov, K. O. Boltar, L. A. Vasil'eva, et al., RF Patent No. 2371808. October 27, 2009.
6. V. M. Akimov, E. A. Klimanov, V. P. Liseikin, et al., Prikladnaya Fizika, No. 4, 99 (2010).
7. K. O. Boltar, M. D. Korneeva, Yu. S. Mezin, et al., Prikladnaya Fizika, No. 1, 96 (2011).
8. A. I. Dirochka, E. A. Klimanov, Yu. S. Mezin, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki **1**, 65 (2013).
9. G. Ribette, G. Lecarpentier, V. M. Efimov, et al., in Proc. XXII Intern. Conf. Photoelectronics (Moscow, May 22—25, 2012), p. 20.