

УДК 621.383.4/5:621.315.59

Исследование сопротивления микроконтактов гибридной сборки матричных ФЧЭ и схем считывания

М. В. Седнев, А. А. Кочегаров, Э. А. Макарова

Изготовлены макеты контактной системы БИС считывания формата 320×256 с шагом 30 мкм на кремниевой пластине. Выполнено напыление слоев хрома, никеля и индия с последующим ионным травлением этих слоев через маску фоторезиста для формирования микроконтактов. Приведены результаты измерения сопротивлений соответствующих индиевых микроконтактов при комнатной температуре и при температуре жидкого азота.

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

Ключевые слова: индиевые микроконтакты, гибридизация, стыковка, метод перевернутого монтажа, сопротивление микроконтактов.

Введение

Важным направлением микроэлектроники является создание матричных фотоприемных устройств (МФПУ) [1]. Последние представляют собой устройства, состоящие из матричного фотоприёмника (МФП) и схемы обработки электрического сигнала — БИС считывания, объединенные единым корпусом и изготовленные методом гибридизации фоточувствительного элемента (ФЧЭ) и БИС считывания (см. рис. 1).

Многоэлементные ИК-приёмники излучения для тепловидения в настоящее время вытесняют линейки фотоприёмников с отдельными предварительными усилителями (ПУ) для каждого ФЧЭ [1, 2, 4—7].

Матричный фотоприемник — приемник, в котором ФЧЭ расположены в виде поля из большого количества элементов (матрица). Фоточувствительными элементами, как правило, являются фотодиоды. Матричная БИС считывания — это интегральная схема на основе кремния, которая

обеспечивает требуемые электрические режимы работы ФЧЭ, осуществляет считывание электрических сигналов, полученных в результате фотоэлектрического преобразования падающего на ФЧЭ ИК-излучения.

К параметрам МФПУ предъявляется ряд специфических требований. Для создания инфракрасных МФПУ с высоким пространственным и временным разрешением возникает необходимость применять малоинерционные и высокочувствительные приемники излучения. Сегодня этим требованиям удовлетворяют фотоэлектрические охлаждаемые приемники, обладающие малой инерционностью, достаточно высокой чувствительностью и низким уровнем шума. К числу наиболее распространенных МФП относятся: МФП на базе тройных соединений кадмий-ртуть-теллур, работающие как в средневолновом (3—5 мкм), так и в длинноволновом (8—14 мкм) диапазоне; МФП на базе антимонида индия InSb (3—5 мкм) и QWIP-структур. Такие приемники требуют охлаждения до достаточно низких температур, что заметно усложняет конструкцию ФПУ и всей инфракрасной системы. Широкое распространение получили ФЧЭ на основе гетероэпитаксиальных структур InGaAs и других. Сегодня технология их производства достаточно хорошо освоена, серийно изготавливаются МФП самых различных форматов (320×256, 640×512). Системы, в которых они используются, характеризуются высоким геометрическим и энергетическим (температурным) разрешением [1—7].

Седнев Михаил Васильевич, начальник участка¹.

Кочегаров Алексей Алексеевич, студент².

Макарова Элина Алексеевна, инженер НТК¹.

¹ АО «НПО «Орион».

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

Тел. 8 (499) 374-94-00. E-mail: orion@orion-ir.ru

² Московский физико-технический институт (МФТИ).

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

Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 3 июня 2016 г.

© Седнев М. В., Кочегаров А. А., Макарова Э. А., 2016



Рис. 1. Общий вид и поперечный разрез гибридной микросборки матрицы фотодиодов и БИС считывания.

Для соединения матриц фоточувствительных элементов с кремниевой БИС обработки сигнала используют индиевые микроконтакты, качество которых в значительной степени определяет как предельные параметры опико-электронного канала, так и эксплуатационную надежность ФПУ. Индий является наиболее пластичным материалом с низкой температурой плавления (~156 °С) и сохраняет свои свойства, в частности, пластичность, при температуре жидкого азота, которая является рабочей температурой наибольшего количества ИК ФПУ. Высокие микроконтакты из индия компенсируют деформации, вызванные различием коэффициентов термического расширения материалов матрицы и интегральной схемы считывания при охлаждении. Они позволяют нивелировать отклонения от плоскостности соединяемых пластичными микроконтактами поверхностей.

Соединение, выше обозначенных элементов гибридной сборки, выполняется методом холодной сварки, осуществляемой механическим сдавливанием [4—7].

Целью данной работы является измерение сопротивлений соответствующих индиевых микроконтактов при комнатной температуре и при температуре жидкого азота.

Микроконтакты для матричных фотоприемных устройств

Сборка фотоприемного модуля (ФПМ) методом перевернутого кристалла (flip-chip) открывает широкие возможности соединения МФЧЭ и кремниевой БИС считывания. При этом электрическое соединение обеспечивается посредством проводящих микроконтактов на поверхности кристаллов, в связи с чем процесс монтажа осуществляется «перевернутым» способом. Так как пе-

ревернутые кристаллы не требуют термокомпрессионных проволочных соединений, их размер существенно меньше их традиционных аналогов без потери надежности и работоспособности. Перевернутые кристаллы устранили проблему, связанную с индукцией и емкостным сопротивлением, ассоциируемые с обычными проволочными соединениями.

Гибридизация проводится с помощью специальной установки стыковки, оснащенной двупольным ИК-микроскопом. Это обеспечивает следующие возможности:

- совмещение индиевых столбчатых контактов;
- автосовмещение в момент деформации индиевых столбчатых микроконтактов;
- ограничение степени расплющивания индиевых столбчатых контактов.

Последовательность операций, используемых при формировании микроконтактов методом ионного травления, представлена в табл. 1. На форму и размеры индиевых микроконтактов влияет ряда факторов: размер ФЧЭ, микроструктура напыленного слоя индия, неровности поверхности (в том числе создаваемыми элементами топологии), толщина и профиль маски фоторезиста [4—7].

Важной характеристикой микроконтакта является электрическое сопротивление.

Для исследования сопротивления индиевых микроконтактов были изготовлены макеты контактной системы БИС считывания формата 320×256 с шагом 30 мкм на кремниевой пластине, включая напыление слоев хрома, никеля и индия и ионное травление этих слоев через маску фоторезиста для формирования микроконтактов. Толщины напыленных слоев представлены в таблице 2.

Таблица 1

	Фиг.1	Последовательность операций в методах ионного и химического травления
	Фиг.2	
	Фиг.3	
	Фиг.4	
	Фиг.5	
	Фиг.6	

Таблица 2

Толщина напыленных слоев

Слой металла	Толщина, мкм
Ti	0,03
Al	0,5
Cr	0,02
Ni	0,08
In	7,1

Техника эксперимента

Измерения сопротивлений индиевых микроконтактов макетов контактной системы БИС считывания формата 320×256 с шагом 30 мкм были выполнены на установке зондового контроля — ЭМ6040А (рис. 2) при комнатной температуре и при температуре жидкого азота. Аналитическая субмикронная установка зондового контроля ЭМ-6040А предназначена для измерения электрического сопротивления цепей объектов с элемен-

тами топологии ИС и металлизированных шин микронных и субмикронных размеров, а также для локализации отдельных элементов во время диагностических исследований состояния внутренних блоков ИС. Схема измерения представлена на рис. 3.



Рис. 2. Аналитическая субмикронная установка зондового контроля — ЭМ6040А.

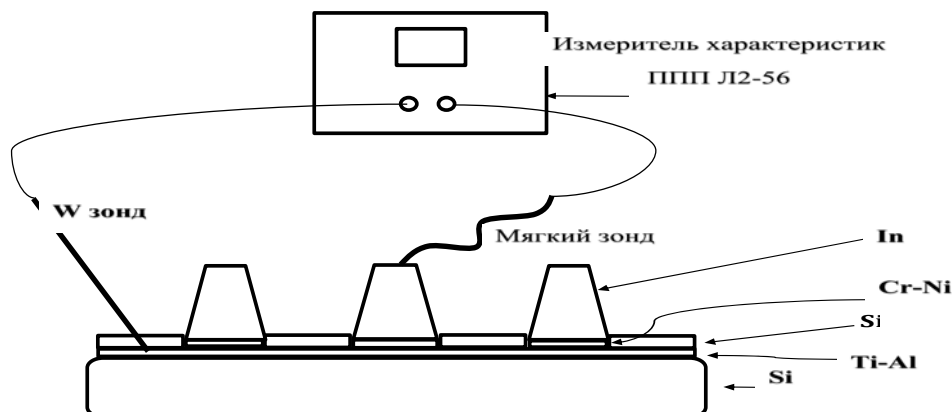


Рис. 3. Схема измерения.

При измерении использовались 2 зонда: один из вольфрама (жесткий) и второй из золота (мягкий). Жесткий зонд касался поверхности алюминия тонкопленочного базового слоя Ti-Al, а мягкий — индиевого столба. Измеренное значение сопротивления между двумя вольфрамовыми зондами, касающимися поверхности тонкопленочного базового слоя из алюминия, составило 5 Ом.

Расчет сопротивления

Зависимость электрического сопротивления постоянному току от длины проводника l и площади его поперечного сечения S выражается формулой:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

где ρ — удельное сопротивление материала.

Зависимость электрического сопротивления металлических проводников от температуры может быть выражена формулой:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha T),$$

где α — температурный коэффициент сопротивления. В табл. 3 приведены результаты расчета ожидаемых величин сопротивлений контактов.

Исходя из теоретически посчитанных значений, можно сказать, что сопротивления данных слоев при комнатной температуре и при температуре жидкого азота значительно меньше 1 Ом.

Таблица 3

Расчет сопротивления микроконтакта площадью 15×15 мкм при комнатной температуре и температуре жидкого азота

	Значения удельного сопротивления ρ , 10^{-6} Ом·см, при $T = 0$ °C	Значения температурного коэффициента сопротивления α , $10^{-3}/K$	Толщина слоя, мкм	R , Ом. $T = 0$ °C	R , Ом. $T = 77$ K
Cr-	14	3,01	0,03	0,000018	0,000017
Ni	6,14	6,92	0,08	0,000021	0,000016
Al	2,5	4,2	0,5	0,000055	0,000038
Ti	42	5,4	0,03	0,000056	0,000054
In	8,19	4,7	7,1	0,0026	0,0023

Экспериментальные результаты

Измеренные значения сопротивлений индиевых микроконтактов макетов контактной системы БИС считывания формата 320×256 с шагом 30 мкм представлены на рис. 4. Измерение сопро-

тивлений микроконтактов выполнено в одном направлении матрицы. Как видно из представленного рисунка, сопротивления микроконтактов в данном случае находятся в диапазоне от 4 до 9 Ом и незначительно зависят от температуры. Среднее значение сопротивлений $\approx 6,5$ Ом.

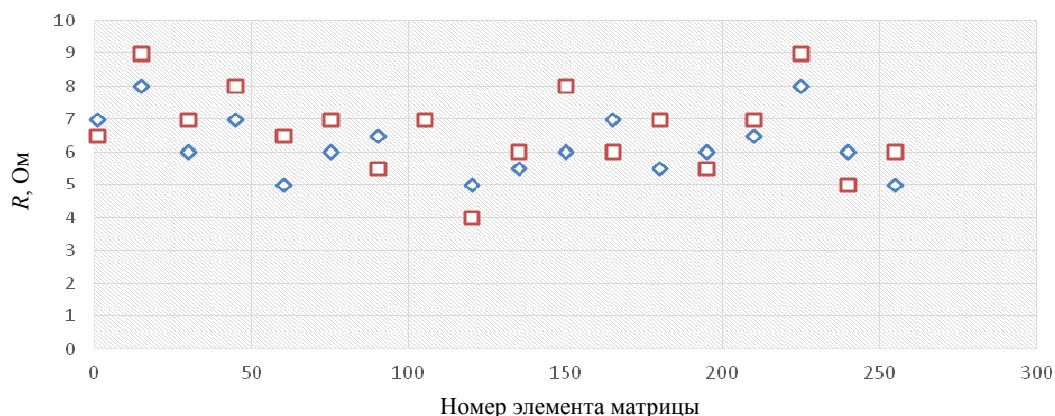


Рис. 4. Распределение сопротивления микроконтактов по матрице 320×256 с шагом 30 мкм. \diamond — R при $T = 300$ K, \square — R при $T 77$ K.

Для нормального функционирования фокальной матрицы переходные сопротивления между схемой считывания и ФЧЭ не должно превышать 500 Ом.

Заключение

В работе изготовлены макеты контактной системы БИС считывания формата 320×256 с шагом 30 мкм на кремниевой пластине. Выполнено

напыление слоев хрома, никеля и индия с последующим ионным травлением этих слоев через маску фоторезиста для формирования микроконтактов.

Приведены результаты измерения сопротивлений соответствующих индиевых микроконтактов при комнатной температуре и при температуре жидкого азота. Сопротивления микроконтактов схем считывания удовлетворяют техническим требованиям функционирования.

Использованные в работе способы обработки поверхности и формирования микроконтактов пригодны для изготовления матричных фоточувствительных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. — М.: Физматкнига, 2011.

2. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Седнев М. В. // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 58.

3. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Седнев М. В. Патент РФ № 2308788 от 20.01.2006.

4. Болтарь К. О., Смирнов Д. В., Савостин А. В., Шаронов Ю. П., Киселева Л. В. Патент РФ 2530458 от 13.08.2014.

5. Мартынов В. В., Базарова Т. Е. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. — М.: Высшая школа, 1990. .

6. Тарасов В. В., Якушников Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. — М.: Логос, 2004.

7. Панфилов Ю. // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3. С. 76.

8. Ефимов И. Е., Козыр И. Я. Основы микроэлектроники — СПб.: Лань, 2008.

9. Борисов В. Ф., Боченков Ю. И., Высоцкий Б. Ф. и др. Конструирование аппаратуры на БИС и СБИС. — М.: Радио и связь, 1989.

10. Данилина Т. И. Технология тонкопленочных микросхем. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006.

Measurements of impedances of indium microcontacts for the FPA and reading circuit

M. V. Sednev¹, A. A. Kochegarov², and E. A. Makarova¹

¹ Orion R&P Association, Inc.

9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia

E-mail: orion@orion-ir.ru

² Moscow Institute of Physics and Technology

9 Institute al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

Received June 3, 2016

The model of a LSI contact system of format of 320×256 elements with 30-micron pitch on silicon wafer is made. Deposition of chromium, nickel and indium layers with subsequent ion etching of these layers, performed through the photoresist mask to form microcontacts, is carried out. The measurements of impedances of indium microcontacts at room and liquid nitrogen temperatures are performed.

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

Keywords: indium microcontacts, hybridization, interfacing, resistance of microcontacts.

REFERENCES

1. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *The Current Status and Main-Line Trackage for Development of Photoelectronics* (Fizmatkniга, Moscow, 2011) [in Russian].
2. I. D. Burlakov, K. O. Boltar, and M. V. Sednev, *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 58 (2007).
3. I. D. Burlakov, K. O. Boltar, and M. V. Sednev, RF Patent No. 2308788, 20.01.2006.
4. K. O. Boltar, D. V. Smirnov, A. V. Savostin, Yu. P. Sharonov, and L. V. Kiseleva, RF Patent No. 2530458, 13.08.2014.
5. V. V. Martynov and T. E. Bazarova, *Technology of Semiconductor Devices* (Vyssh. Shkola, Moscow, 1990) [in Russian].
6. V. V. Tarasov and Yu. G. Yakushnikov, *IR Systems of Looking Type* (Logos, Moscow, 2004) [in Russian].
7. Yu. Panfilov, *Technologies in Electronic Industry*, No. 3, 76 (2007).
8. I. E. Efimov and I. Ya. Kozyr', *Foundations of Microelectronics* (Lan', SPb, 2008) [in Russian].
9. V. F. Borisov, Yu. I. Bochenkov, B. F. Vysotskii, et al., *Designing the Apparatus on the LSI and VLSI* (Radio Svyaz', Moscow, 1989) [in Russian].
10. T. I. Danilina, *Technology of the Thin-Film Microsystems* (Tomsk, 2006) [in Russian].