

УДК 621.3.049.77:621.383

Выявление скрытых дефектов в БИС считывания МФПУ

В.М. Акимов, К.О. Болтарь, Л.А. Васильева, Е.А. Климанов, В.П. Лисейкин

Для обнаружения дефектов в матричных БИС считывания обычно применяются тестовые МОП-транзисторы, расположенные в каждой ячейке. Однако этот метод регистрации дефектов обладает существенными недостатками: уменьшается полезная площадь ячейки (до 50 %) и уменьшается процент выхода годных кристаллов из-за наличия схемы тестирования. Предложен метод выявления «скрытых» дефектов путем закорачивания всех истоков мультиплексора на подложку слоем металла.

PACS: 85.40._e; 84.40.Lj; 85.60.Dw

Ключевые слова: измерение параметров, скрытые дефекты, гибридная сборка, индиевые столбики.

Введение

На протяжении многих лет проявляется повышенный интерес к созданию матричных фотоприемных устройств (МФПУ), предназначенных для считывания тепловизионной информации. В многоэлементных приемниках, собранных по гибридной схеме, преобразование оптического сигнала в электрический и последующая его обработка происходят отдельно в двух составных частях, а именно, в матрице фоточувствительных элементов (МФЧЭ) и в БИС считывания. Соединение двух кристаллов производится методом перевернутого монтажа с помощью индиевых столбиков, формируемых на лицевой стороне каждого кристалла.

Для получения БИС считывания, пригодного для гибридизации с МФЧЭ, проводится полный комплекс измерений на каждом этапе изготовления кристаллов. Однако существуют дефекты, называемые скрытыми, которые не фиксируются при стандартной методике изме-

рений. Эти дефекты проявляются только после стыковки кристаллов БИС считывания и матрицы фотоприемников, что, естественно, снижает процент выхода годных структур. В связи с этим необходима более полная диагностика кристаллов БИС считывания до их стыковки с МФЧЭ.

Целью данной работы является обоснование метода выявления «скрытых» дефектов путем закорачивания всех истоков мультиплексора на подложку слоем металла, а также выявление его преимущества по сравнению с существующими методами.

Обзор методов контроля дефектов в БИС считывания

По-видимому, самым простым методом регистрации дефектов является метод визуального контроля дефектов (контроль внешнего вида) кристаллов БИС под микроскопом, который позволяет выявлять различные систематические и случайные дефекты фотолитографии (проколы слоя окисла, царапины, трещины, посторонние включения, качество травления и др.), возникающие вследствие дефектов, имеющих на фотошаблонах, и качества выполнения операций фотолитографии.

Одновременно при визуальном контроле определяют размеры элементов и точность совмещения слоев. Однако из-за индивидуальных особенностей зрения эффективность визуального контроля невысока. Потому во всех принципиально возможных случаях заменяют визуальный контроль электрическим. Это уменьшает субъективные ошибки, повышает производительность измерений параметров и позволяет организовать автоматизированный

Акимов Владимир Михайлович, главный специалист¹.

Болтарь Константин Олегович, начальник НТК¹, профессор².

Васильева Лариса Александровна, ведущий инженер-конструктор¹.

Климанов Евгений Алексеевич, главный научный сотрудник¹, доцент³.

Лисейкин Виктор Петрович, старший научный сотрудник¹.

¹ОАО «НПО «Орион».

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

Тел.: 8 (499) 374-81-30. E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт (ГУ).

Россия, 141700, г. Долгопрудный МО, Институтский пер., 9.

³МИРЭА (Технический университет).

Россия, 119454, Москва, пр-т Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 10 июня 2013 г.

© Акимов В.М., Болтарь К.О., Васильева Л.А., Климанов Е.А., Лисейкин В.П., 2013.

контроль [1]. Обычно метод визуального контроля сочетается с различными методами электрического контроля.

Обнаружение дефектов и их локализация на кристаллах БИС считывания, в рассматриваемом случае, а именно, в МОП-мультиплексорах, может быть осуществлено с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) методом анализа и регистрации в полупроводнике проводящих неоднородностей с помощью тока, обусловленного возникающими зарядами [2]. Так, например, анализ на отказ вида «замыкания поликремния на сигнальную шину» проводился методом наведенного тока в растровом электронном микроскопе [3, 4]. Появление случайного электрического контакта с сигнальной шиной, либо со стоком ключевого транзистора приводило к детектированию сигнала наведенного тока, что и являлось критерием отказа. Для точной локализации дефекта и выявления его природы использовалась комбинация методов наведенного тока и потенциального контраста. Строка с дефектом определялась по сигналу наведенного тока, точное положение – столбец – по отсутствию потенциального контраста поликремниевых затворов за счет утечки на подложку.

Данный метод позволяет выявить основные виды дефектов мультиплексоров, провести их детальный анализ и внести корректировки в технологический процесс, что, в конечном итоге, привело бы к увеличению процента выхода годных структур. Однако этот метод имеет несколько недостатков. Во-первых, он требует наличия в измерительном комплексе довольно дорогого оборудования – растрового электронного микроскопа и соответствующих специалистов, во-вторых, производительность этого метода из-за большого числа подготовительных операций низкая, что особенно критично для серийного производства. В-третьих, точность метода невысокая из-за эффекта растекания заряда. В связи с этим использование данного метода ограничено научно-исследовательскими работами.

В настоящее время основным методом контроля параметров кристаллов мультиплексоров является электрический метод. Весь комплекс электрических измерений может быть разделен на две группы: технологические измерения специальных тестовых структур и контроль работоспособности кристалла МОП-мультиплексора. Технологические измерения позволяют определить электрофизические характеристики материала, элементов и узлов схемы.

Контроль работоспособности кристалла МОП-мультиплексора производится после формирования рисунка металлизации на специальном стенде измерения параметров с использованием автоматической зондовой установки (зондового автомата, управляемого ПЭВМ) или полуавтоматической зондовой установкой.

В обоих случаях для контактирования к кристаллу используются многозондовые головки. Формирование необходимой импульсной последовательности и постоянных питающих напряжений для работы мультиплексора, а также обработка выходного сигнала осуществляется с помощью блока сопряжения.

Как показали исследования мультиплексоров, основными дефектами, приводящими к снижению процента выхода годных структур, являются проколы в полевом, подзатворном и межфазном окислах, обрывы и короткие замыкания (КЗ) проводящих шин, а также наличие встроенного заряда в окисле. Большинство из этих дефектов приводит к выходу из строя адресной или выходной шин или к их замыканию. При формате мультиплексора 256×256 неисправность одной шины приводит к дефектности в 0,4 %, а одной ячейки – 0,0015 %.

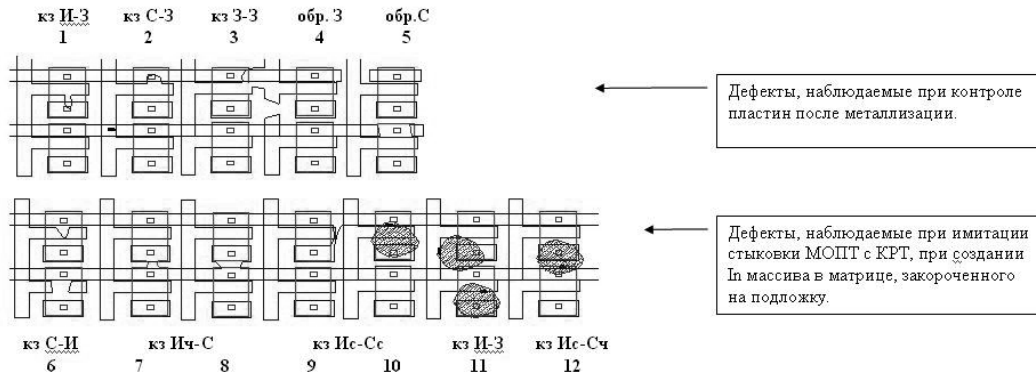
Использование метода для выявления скрытых дефектов рассмотрим на примере МОП мультиплексора, реализующего режим прямой инжекции заряда в специальной секции накопления и содержащего в ячейке матрицы ключевого транзистор, стоки и затворы которого образуют двухкоординатную систему, а истоки подсоединены к индиевым столбикам.

Во время контроля работоспособности мультиплексора выявляются следующие дефекты, приводящие к полному или частичному выходу из строя шины (см. таблицу):

1. утечка шин стоков и затворов на подложку;
2. утечка шин однотипных стоков или затворов между собой;
3. утечка разнотипных шин между собой (КЗ сток–затвор или исток–затвор);
4. обрывы шин стоков и затворов;
5. КЗ шины стоков с истоком.

Первые четыре дефекта регистрируются на этапах разбраковки кристаллов на пластине и во время отбраковки кристаллов с индиевыми столбиками в виде выбросов на сигнальной дорожке на экране осциллографа или в виде горизонтальных или вертикальных полос на экране видеомонитора. Пятый тип дефектов (КЗ шины стоков с истоком) не фиксируется при стандартной методике измерений. Это связано

Таблица



Вид дефекта	кз И-З	кз С-З	кз З-З	обр. З	обр. С	кз С-И	кз Ич-С		кз Ис-Сс		кз И-З	кз Ис-Сч
№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Причина	Изменение конфигурации шины Затвора		Обрыв шины Затвора	Обрыв шины Стока	Утожнение затвора МОПТ или его обрыв	Соединение n+ областей разных МОП	Соединение данных областей (чужого Истока и своего Стока)	Металлическое соединение данных областей (своего Истока со своим Стоком)	Соединение данных областей через пору в защитном диэлектрике при формировании In столбиков и стыковке		кз И-З	кз Ис-Сч
	Прокол межслойной изоляции											
На какой операции	фотолитография								Создание защитного магнетронного окисла			

с тем, что в каждой ячейке мультиплексора исток, соединенный со стыковочным индиевым столбиком электрически ни с чем не связан. Получается, что к 256 $p-n$ -переходам сток-подложка КЗ подсоединяет еще один $p-n$ -переход, а именно, исток-подложка. Такой дефект стандартный метод измерения параметров просто не замечает. Этот дефект проявляется только на этапе измерения параметров модуля после операции стыковки кристаллов мультиплексора и матрицы фотоприемников. В этом случае истоки мультиплексора становятся подсоединенными к подложке мультиплексора через малое сопротивление кристалла матрицы фотоприемника при комнатной температуре, что проявляется на экранах осциллографа и видеомонитора в виде утечки. Такой дефект в штатном режиме работы при криогенных температурах дает двойную величину выходного сигнала с этого стока, что приводит к существенному снижению процента выхода годных структур и, следовательно, к потере кристалла матрицы фотоприемника.

Для исключения пропуска на стыковку мультиплексора с дефектом КЗ исток-сток в каждую ячейку мультиплексора встраивают тестовый МОП-транзистор, исток которого соединен с подложкой кристалла, а сток с истоком ключевого транзистора в ячейке [5]. При этом затворы всех тестовых транзисторов объединены общей шиной с внешней контактной площадкой для подачи на транзистор тестирующего сигнала. Однако этот метод регистра-

ции дефектов обладает двумя существенными недостатками. Во-первых, значительно уменьшается полезная площадь ячейки (до 50 %) и, во-вторых, сама цепь тестирования может содержать дефектные элементы, что дополнительно снижает процент выхода годных структур.

Предлагаемый метод регистрации скрытых дефектов

Для обнаружения дефекта типа короткого замыкания исток-сток до стыковки кристаллов мультиплексора и матрицы фотоприемника был разработан метод регистрации дефектов путем закорачивания всех истоков мультиплексора на подложку промежуточным слоем индия, из которого впоследствии будет сформирован массив индиевых столбиков для стыковки с кристаллом матрицы фотоприемников [6, 7].

Фактически метод состоит из двух составляющих – технологической и измерительной. На измеряемом кристалле необходимо выполнить определенные технологические операции для последующей регистрации дефектов. Последовательность технологических операций для реализации разработанного метода представлена на рис. 1–4, где использованы следующие обозначения:

- 1 – фрагмент кремниевой пластины с годным кристаллом МОП-мультиплексора;
- 2 – слой защитного окисла;

3 – контактные окна к металлизированным площадкам истоков МОП-транзисторов;

4 – контактное окно к подложке;

5 – слой индия;

6 – область индия, сформированная фотолитографической обработкой, для закорачивания всех истоков МОП-транзисторов мультиплексора на подложку;

7 – контактные площадки для контроля функционирования МОП-мультиплексора;

8 – индиевые столбики.

Метод обнаружения скрытых дефектов МОП-мультиплексоров осуществляется в следующей последовательности: – на кремниевую пластину с годными МОП-мультиплексорами и со вскрытыми окнами к истокам в слое защитного окисла (рис. 1) напыляется слой индия толщиной не менее толщины слоя окисла (рис. 2); – проводится фотолитографическая

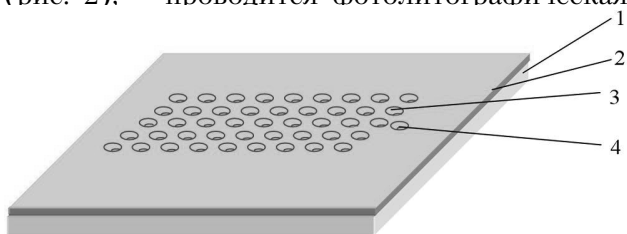


Рис. 1. Кремниевая пластина с МОП-мультиплексорами.

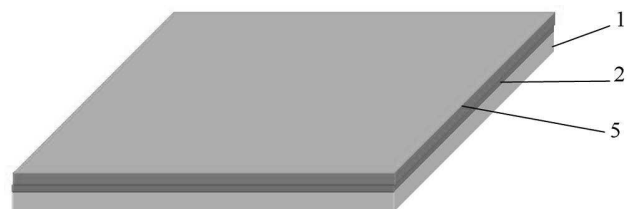


Рис. 2. Напыление слоя индия на кремниевую пластину.

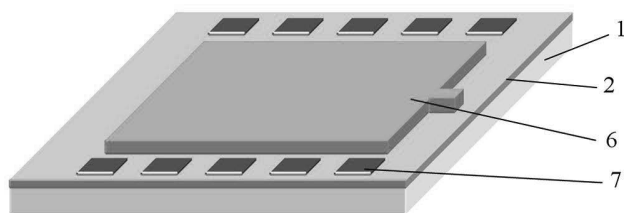


Рис. 3. Фотолитографическая обработка по слою индия.

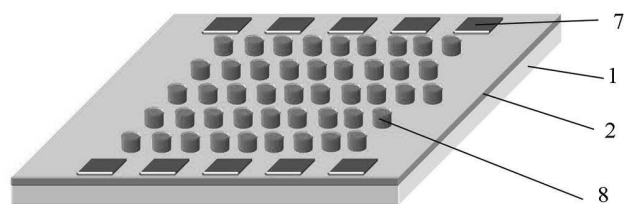


Рис. 4. Травления индия для формирования столбиков.

обработка по слою индия для получения области индия, которая закорачивает все истоки МОП-транзисторов на подложку – индиевый прямоугольник (рис. 3); – проводится контроль функционирования годных МОП-мультиплексоров с выявлением скрытых дефектов, т.е. закороток исток–сток; – осуществляется травление индия для формирования столбиков (рис. 4); – определяются координаты скрытого дефекта.

Контроль функционирования годных МОП-мультиплексоров с индиевым прямоугольником производится следующим образом. Подготовленный образец устанавливают на предметный столик микроскопа, контактируют через многозондовую головку с измерительной аппаратурой стенда измерений и включают режим регистрации дефектов МОП-мультиплексора. Выходной сигнал мультиплексора наблюдается на экране осциллографа, причем утечки стоков видны в виде отрицательных импульсов различной амплитуды относительно средней величины сигнала. Далее отмечают вновь появившиеся дефекты и определяют номера шин стоков, имеющих новые утечки.

Предлагаемый способ обнаружения дефектов гармонично вписывается в технологию изготовления МОП-мультиплексоров. Для получения индиевых столбиков необходимой высоты используются известные способы.

После формирования массива индиевых столбиков из индиевого прямоугольника, измеряемый кристалл подключается к измерительной установке стенда. Для определения координат новой утечки (номера шины затворов) осциллограф переводится в режим просмотра полного кадра. Скрытые дефекты сток – исток проявляются в виде характерных меток на экране осциллографа. Утечка сток – исток находится на пересечении шины стока с новой утечкой и шины затвора, найденной по соответствующей метке. В зависимости от типа закоротки сток – исток проводится либо устранение закоротки известными способами, либо снятие индиевого столбика с истока МОП транзисторного ключа. В этом случае линейный дефект шины стока (двойной величины выходной сигнал) исправляется на одиночный дефект в виде обрыва одной ячейки из-за отсутствия индиевого столбика.

Следует отметить, что рассмотренный метод выявления скрытых дефектов может быть использован для нахождения коротких замыканий и утечек между входом ячейки с други-

ми ее элементами в более сложных матрицах, в т.ч. в мультиплексорах с накоплением информационного заряда в ячейке. С помощью предложенного метода можно автоматизировать процесс выявления скрытых дефектов в МОП-мультиплексоре с выдачей координат дефектных ячеек. Кроме того, метод позволяет обнаруживать ячейки МОП-мультиплексора с повышенным контактным сопротивлением схемы к индиевому столбику, а также фиксировать неравномерность выходного сигнала по полю МОП-мультиплексора.

Заключение

Описаны наиболее распространенные методы обнаружения скрытых дефектов при измерении параметров кремниевых МОП-мультиплексоров до операции стыковки с матрицей фотоприемников. Показано, что метод закорачивания сигнальных входов мультиплексора на подложку слоем индия, дает возможность выявлять скрытые дефекты без включения в схему дополнительных тестовых элементов.

Литература

1. Семенов Ю.Г. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. Кн. 10. Контроль качества. – М.: Высшая школа, 1990
2. Цербтс М. Контрольно-измерительная техника. Пер с нем. – М.: Энергоиздат, 1989.
3. Акимов В.М., Дремова Н.Н., Якунин С.Н. Анализ отказов специализированных интегральных схем считывания и обработки сигналов матричных ИК фотоприемников. / XX Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. 2008 г. Москва, Тезисы докладов.
4. Акимов В.М., Дремова Н.Н., Якунин С.Н. // Прикладная физика, 2008, № 2/ С. 56
5. Kosonocky Walter F. and et al. // SPIE. V. 2226. P. 152.
6. Акимов В.М., Васильева Л.А., Климанов Е.А., Лисейкин В.П. Патент на изобретение №2388110. Заявка №2010104027 от 05.02.2010. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27.04.10.
7. Акимов В.М., Васильева Л.А., Есина Ю.В., Климанов Е.А., Лисейкин В.П. Патент на изобретение №2415493. Заявка №2009105899 от 19.02.2009. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27.03.11.

Detection of latent defects in the LSIC reading FPA

V.M. Akimov, K.O. Boltar, L.A. Vasilyeva, E.A. Klimanov, and V.P. Liseikin

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

For the detection of defects in the reading LSIC matrix, the test MOS transistors arranged in each cell are commonly used. However, this method of detecting defects has significant drawbacks: reduced effective area of the cell (up to 50%) and percentage of yield of crystals due to testing circuit. A method for identifying "hidden" defects by short-circuiting all the sources of the multiplexer to the substrate intermediate layer of metal is given.

PACS: 85.40._e; 84.40.Lj; 85.60.Dw

Keywords: electronic component measurement, latent defects, hybrid assembly, indium columns.

Bibliography – 7 references

Received June 10, 2013