

УДК 621.383.4/5

Методы создания системы металлизации с индиевыми микроконтактами для кремниевых матричных МОП-мультиплексоров

В. М. Акимов, Л. А. Васильева, Н. Б. Каган, Е. А. Климанов, И. Ю. Курбет,
В. П. Лисейкин, А. Р. Микертумянц, М. В. Седнев, Н. Н. Серегина, С. В. Щукин
ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Рассмотрены особенности различных вариантов технологических маршрутов изготовления многослойной системы металлизации с индиевыми микроконтактами (системы V—Al—Mo, V—Al—V, V—Al—Cr—Ni). Приведены данные, обосновывающие применение каждого из слоев металла для достижения необходимых электрических параметров мультиплексоров и обеспечения нужной адгезии индия к верхнему слою металла при формировании индиевых микроконтактов.

Для формирования металлической разводки применялась трехслойная система металлизации ванадий—алюминий—молибден. Все три слоя формировались магнетронным методом распыления в едином технологическом процессе. Толщина слоев, мкм: ванадия 0,1; алюминия 0,7; молибдена 0,05. Слой ванадия использовался в качестве буферного слоя для предотвращения прокола алюминием мелких *p-n*-переходов. Верхний слой молибдена предназначался для формирования на нем впоследствии индиевых столбиков (микроконтактов). Основное его назначение заключалось в обеспечении надежного и с малым сопротивлением электрического контакта между индием и алюминием. Система металлизации V—Al—Mo успешно использовалась при изготовлении линейных и малоформатных матричных мультиплексоров с высотой индиевых микроконтактов (столбиков) 4—6 мкм. Однако при переходе к форматам 256×256 и 384×288 требуется увеличение высоты столбиков до 10 мкм для повышения надежности контакта между кремниевым мультиплексором и фотоприемником при термоциклировании [1], что предъявляет повышенные требования к адгезии верхнего слоя металла к индию.

Определение адгезии индиевого столбика к нижележащему слою металла проводилось методом сдвига столбика тонкой металлической иглой с величиной закругления 3—4 мкм. Полученные результаты свидетельствуют об улучшении адгезии к индию в следующем ряду металлов: Mo—V—Ni. Поэтому в матричных мультиплексорах больших форматов использовались системы металлизации V—Al—V и V—Al—Cr—Ni.

Операция формирования индиевых микроконтактов проводится на завершающей стадии технологического маршрута. Надо отметить, что по существующей сейчас технологии травление индия

как материала, близкого по свойствам к алюминию, происходит в том же самом травителе. Поэтому для избежания повреждения алюминиевой металлизации при травлении индия она должна быть надежно защищена. С этой целью наряду с защитным слоем магнетронного окисла толщиной 0,4 мкм в качестве дополнительной защиты используется слой фоторезиста, который после травления окон в окисле под индиевый столбик не удаляют.

Технология изготовления индиевых микроконтактов

В технологии изготовления матричных и многорядных ФПУ применяется техника соединения фотоприемника и БИС-считывания (мультиплексора) методом flip-chip, где в качестве материала микроконтактов используется индий благодаря его высокой пластичности, сохраняемой до гелиевых температур, и возможности использования холодной сварки.

Из-за существенного различия в коэффициентах термического расширения (КТР) кремния и материала фотоприемника (CdHgTe или антимоноида индия) индиевые столбики испытывают тангенциальные напряжения сдвига при изменении температуры между 300 и 77 К

$$\gamma = \frac{\Delta l}{H} = \frac{l}{H}(\lambda_{\text{CdHgTe}} - \lambda_{\text{Si}}),$$

где l — расстояние от центра гибридного модуля до основания индиевого столбика;

H — высота столбика;

λ_{CdHgTe} , λ_{Si} — КТР материала фотоприемника (ФП) и кремния.

Поэтому в каждом цикле включения и выключения МФПУ соединения столбиков с контактными

ми площадками и соединения столбиков БИС и ФП между собой подвергаются циклическим напряжениям сдвига, приводящим к нарушению контактов (расстыковке). В работе [2] приведено выражение для количества термоциклов, которое выдерживает контактное соединение:

$$N \sim \frac{1}{2} \left(\frac{\gamma}{0,65} \right)^{-2} = \frac{1}{2} [0,65 H / l (\lambda_{\text{CdHgTe}} - \lambda_{\text{Si}}) \Delta T]^2,$$

из которого следует, что основным способом улучшения надежности соединения является увеличение высоты столбиков.

Для решения этой задачи используются различные методы:

- напыление индия термическим испарением через металлическую маску [3];
- гальваническое осаждение индия [4, 5];
- термическое испарение индия с последующей фотолитографией [3];
- комбинации вышеприведенных методов;
- сочетание гальванического осаждения с напылением через маску [1];
- напыление, фотолитография с последующим оплавлением в различных средах (reflow) [2, 6, 7].

В работе были исследованы методы получения индиевых микроконтактов, рассмотренные ниже.

Метод напыления через маску

Для формирования столбиков использовалось термическое испарение индия через металлические маски, изготовленные в ГУП "НИИТАП" [3]. Изображения столбиков, полученных указанным методом, приведены на рис. 1.

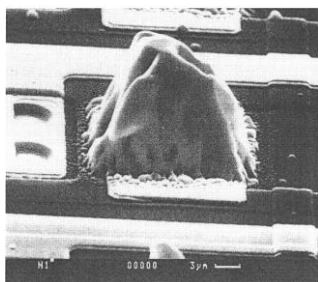


Рис. 1. Индиевый столбик, полученный напылением через маску

Метод отличается простотой, однако ему присущи следующие недостатки:

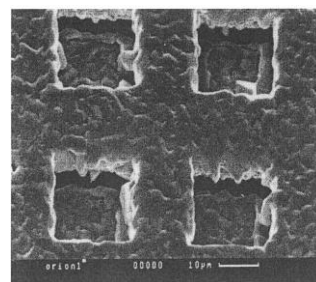
принципиальное ограничение высоты столбиков, что связано с эффектом тени из-за конечной толщины маски (рис. 2);

смещение столбиков относительно центра контактных площадок при удалении от центра кристалла;

подпыление индия под металлическую маску из-за неплотного прилегания ее к поверхности кристалла;

недолговечность металлической маски.

Рис. 2. Изображения столбиков с металлической маской



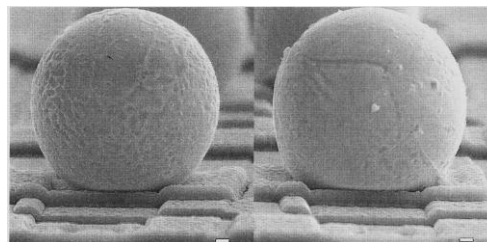
Перечисленные недостатки позволяют использовать данный метод только в сочетании с другими методами и ограничивают его применение при уменьшении размеров ячейки (пикселя) БИС.

Метод оплавления индиевых столбиков

Преимущество метода — получение столбиков достаточной высоты оплавлением изолированных областей индия, полученных с помощью фотолитографии из напыленных слоев небольшой толщины. Так, из простых геометрических соображений следует, что при одинаковом объеме индия диаметр шарика (D), получаемого после оплавления существенно превышает высоту (h) первоначального слоя индия площадью a^2 :

$$(D/h) = (1,82) (a/h)^{2/3}.$$

Поскольку процессу оплавления на воздухе препятствует образование окислов индия, процесс проводится в вакууме или олеиновой кислоте. Индиевые площадки размером $12 \times 12 \times 5$ мкм оплавливались в диапазоне температур $160\text{—}175$ °С до получения микроконтактов с формой, близкой к шаровой (рис. 3). Основной проблемой при получении слоев данным методом являлось сохранение удовлетворительной адгезии индия к подслою при переходе к сферической форме в процессе оплавления. На рис. 3 показана форма микроконтактов при различной адгезии к подслою.



а

б

Рис. 3. Форма микроконтактов:

а — плохая адгезия In к подслою; б — хорошая адгезия

В качестве подслоя под индий были опробованы слои Mo, V и Ni, и наилучшие результаты были получены при использовании ванадия, однако воспроизводимость процесса оставалась неудовлетворительной.

Пример системы микроконтактов на матричном мультиплексоре приведен на рис. 4.

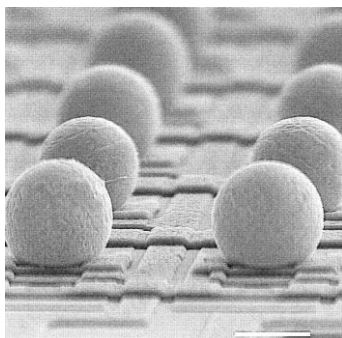


Рис. 4. Индиевые микроконтакты, полученные методом оплавления

Двухстадийный метод получения столбиков

В данном методе микроконтакты изготавливались фотолитографией по слою индия, полученным термическим испарением. Вследствие изотропности жидкостного травления обеспечить удовлетворительные размеры и форму столбиков при толщине слоя индия порядка 10 мкм с помощью одного процесса травления не удастся. Поэтому был разработан технологический цикл изготовления микроконтактов, в котором используются один процесс напыления и три фотолитографические обработки. Цикл состоит из следующих основных операций:

получение фоторезистивной маски, предотвращающей проникновение индия через дефекты защитного диэлектрика;

напыление слоя индия заданной толщины;

получение фоторезистивной маски для 1-го травления слоя индия;

травление индия на глубину 2—4 мкм в зависимости от толщины слоя на целой пластине;

получение фоторезистивной маски для 2-го травления слоя индия;

резка пластины на кристаллы;

травление индия на отдельных кристаллах на оставшуюся глубину 6—7 мкм;

снятие фоторезиста.

Наиболее критичные операции цикла:

сушка нижнего слоя фоторезиста, обеспечивающая полное удаление растворителя, что необходимо для устранения локального отслаивания фоторезиста от подложки при последующих обработках;

получение достаточно толстой фоторезистивной маски (2—4 мкм) после 1-го травления, обеспечивающей удовлетворительную планаризацию поверхности (для этой цели использовался фоторезист S1818 SP-16 фирмы Shepley). Фотография индиевого столбика, полученного данным методом, приведена на рис. 5.

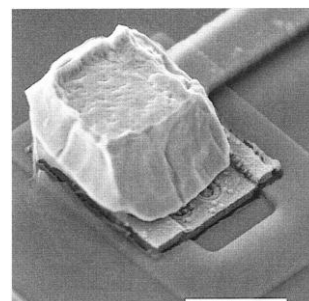


Рис. 5. Индиевый столбик, полученный двухстадийным методом

10 мкм 45 град.

Двухстадийный метод получения индиевых микроконтактов характеризуется достаточно высокой воспроизводимостью и в настоящее время является основным в технологии изготовления матричных мультиплексоров.

Л и т е р а т у р а

1. Клименко А. Г., Войнов В. Г., Новоселов А. Р., Недосекина Т. Н., Васильев В. В., Захарьян Т. И., Овсяк В. Н. Особо пластичные индиевые микростолбы для матричных ФПУ на CdHgTe// Автометрия, 1988. № 4. С. 105—112.
2. Kim Y.-H., Choi J.-H., Choi K.-S., Lee H. C., Kim C.-K. New reflow Process for Indium Bump// Proc. SPIE. 1997. P. 60—67.
3. Научно-технический отчет по ОКР "Разработка базового технологического процесса формирования матричной системы индиевых микроконтактных столбиков на МФЧЭ из КРТ и охлаждаемых кремниевых ИС предварительной обработки сигнала методом свободных масок". — М.: ГУП "НИИТАП", 2002. — 40 с.
4. Jiang J., Tsao S., O'Sullivan T., Ruzeghi M., Brown G./ Fabrication of indium bumps for hybrid infrared focal plane array applications// Infrared Physics & Tehnology, 2004. № 45. P. 143—151.
5. Нестеров Д. В. Получение и соединение индиевых микроконтактов в изделиях микроэлектроники: Автореф. дис. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук. — М., 2004.
6. Ziegler J., Bruder M., Wendler J., Maier H. Second generation — FPA with MCT sensors arrays in gibrid approach// Proc. SPIE. 1992. V. 1735. P. 151.
7. Tissot J. L., Marion F. Collective flip-chip technology for IRFPA// Ibid. 1996. V. 2894. P. 115—122.

Статья поступила в редакцию 15 марта 2007 г.

Methods creations contact metallization with In bump to silicon matrix MOS multiplexers

V. M. Akimov, L. A. Vasilieva, N. B. Kagan, E. A. Klimanov, I. U. Kjurbet, V. P. Liseykin, A. R. Michertumeynz, M. V. Sednev, N. N. Seregina, S. V. Shuckin
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Information about multi-film metallization of silicon multiplexers with indium bump is given. In the report is grounded every film of metal for achievement necessary electric characteristics and good adhesion in bump to upper metallic surface.

УДК 621.383

P-n-переходы на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$, полученные облучением низкоэнергетичными ионами индия и аргона

Н. Д. Исмаилов, Э. К. Гусейнов, И. С. Гасанов, С. А. Гейдаров
Институт физики НАН Азербайджана, г. Баку, Республика Азербайджан

*Приведены результаты экспериментального исследования свойств фотодиодных структур на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($0,2 \leq x \leq 0,3$), изготовленных методом обработки поверхности материала *p*-типа ионами индия с энергией 1—5 кэВ и ионами аргона с энергией 250 эВ. На основе анализа электрических и фотоэлектрических свойств полученных структур сделан вывод о более качественных структурах, полученных при обработке ионами индия, чем при обработке ионами аргона. Сделано предположение, что это связано с меньшими на два порядка дозами облучения ионами индия, необходимыми для формирования инверсного слоя, чем дозами облучения ионами аргона.*

В настоящее время узкозонные материалы $Cd_xHg_{1-x}Te$ сохраняют свое лидирующее место в ИК-оптоэлектронике. Основное развитие ИК-фотоприемников происходит в направлении создания большеформатных фотодиодных матриц [1]. В большинстве случаев формируют фотодиоды n^+ -*p*-типа с использованием ионной имплантации элементов Hg, В, Н, Ве, Al, In, Ag с энергией 30—200 кэВ и дозами 10^{12} — 10^{15} см⁻² в вакансионно-легированный материал [2, 3]. При этом *p-n*-переход формируется на глубине 1—3 мкм, которая значительно превышает субмикронную область имплантированных ионов, а уровень легирования инверсного n^+ слоя намного выше, чем доза имплантации. Необходимости в посимплантационном отжиге не появляется, особенно при малых дозах облучения, хотя в некоторых случаях при имплантации донорных примесей указывается на улучшение параметров перехода [4].

Метод низкоэнергетичной ионной обработки (НИО), широко используемый в технологии изготовления ИК-фотоприемников, выступает в качестве альтернативы традиционной ионной имплантации для изготовления *p-n*-переходов в основе

$Cd_xHg_{1-x}Te$ [5]. В отличие от имплантации ионами больших энергий НИО позволяет получать слои *n*-типа проводимости с низкой концентрацией электронов, высокой их подвижностью и высокими значениями времени жизни носителей заряда. Глубина залегания *p-n*-перехода зависит от исходных параметров материала (состава *x*, исходной концентрации вакансий или примесей) и параметров процесса НИО. При одинаковых параметрах подложки для получения глубины залегания перехода в несколько микрон необходимая доза ионов при НИО на несколько порядков превышает их значения при ионной имплантации. При этом происходят распыление и удаление части верхних слоев. Вопрос формирования инверсного слоя в *p*-типе $Cd_xHg_{1-x}Te$ как при НИО, так и при ионной имплантации остается еще предметом обсуждений.

В этом смысле представляет определенный интерес исследование свойств инверсного слоя, полученного обработкой поверхности *p*- $Cd_xHg_{1-x}Te$ низкоэнергетичными ионами донорных примесей.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования свойств фотодиодных структур, полученных обработкой поверхно-