

К. т. н. З. В. БЕРИШВИЛИ, Л. В. ДЖАНГИДЗЕ,
Г. А. СХИЛАДЗЕ, к. т. н. Р. Г. МЕЛКАДЗЕ, Т. М. ЛЕЖНЕВА,
Г. Г. ПЕРАДЗЕ

Грузия, Тбилисский гос. университет им. Ив. Джавахишвили
E-mail: nt@gol.ge

Дата поступления в редакцию
21.05 2004 г.
Оппонент к. ф.-м. н. А. В. РЫБКА
(ННЦ "ХФТИ", г. Харьков)

ФОРМИРОВАНИЕ СТОЛБИКОВЫХ ВЫВОДОВ ДЛЯ GaAs ПИКсельНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Разработан и исследован процесс формирования столбиковых выводов из Pb/Sn и In на сенсорных GaAs-матрицах.

Одним из направлений полупроводниковой электроники является разработка детекторов различного вида излучений и, в частности, детекторов рентгеновского излучения для применения в медицинской диагностике. На сегодняшний день для этой цели наиболее хорошо разработаны гибридные детекторы, состоящие из двух чипов — GaAs-чипа с пиксельной сенсорной матрицей и Si-чипа со считывающими электронными схемами [1, 2]. В сенсорной матрице под

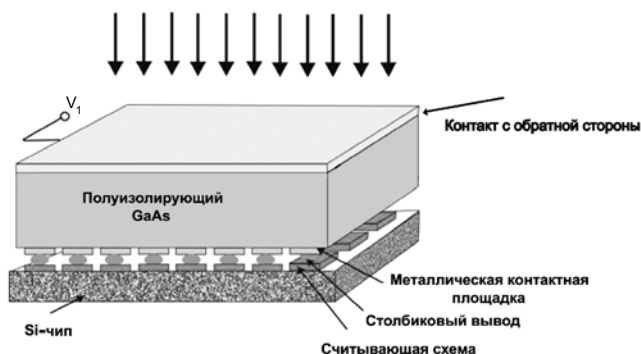


Рис.1. Общий вид гибридного детектора

воздействием рентгеновского излучения возникают заряды, которые в считывающем чипе преобразуются в электрические сигналы, с помощью которых на дисплее создается изображение исследуемого объекта. Общий вид такого гибридного детектора схематически представлен на **рис. 1**.

Важной составляющей изготовления гибридных детекторов является процесс электрического подсоединения сенсорного чипа к чипу со считывающим устройством. Осуществляется эта операция с помощью столбиковых выводов методом перевернутого кристалла (наиболее употребительный термин — флип-чип-технология) [2, 3]. Преимуществом этого метода, по сравнению со стандартными проволочными соединениями, является улучшение электрических параметров, повышение надежности и, самое главное, возможность значительного повышения плотности упаковки. В настоящее время данный способ успешно применяется при изготовлении полупроводниковых детекторов, содержащих около 4000 пиксе-

лов с шагом 170 мкм [1, 2], и в стадии разработки находится технология подсоединения матриц, содержащих более 60000 пикселей с шагом около 50 мкм [4]. (Под шагом подразумевается расстояние между центрами двух соседних пикселей.)

Столбиковые выводы из припоя формируются к контактными площадкам, расположенным на лицевой стороне как сенсорной матрицы, так и считывающего устройства. Соединение чипов осуществляется в специальной установке. Чипы располагают лицевыми сторонами друг к другу, совмещают столбиковые выводы, которые затем соединяются методом сплавления или компрессии. Существенным моментом при формировании столбиковых выводов является создание между столбиком и контактной площадкой пикселя слоя так называемой «подстолбиковой» металлизации, который служит для улучшения адгезии, а также для предотвращения диффузии материала столбика в контактную площадку пикселя.

В качестве материала для столбиковых выводов в основном используют сплавы Pb/Sn [3, 5], Au/Sn [3], а также In [3, 5, 6]. При этом индий является наиболее перспективным материалом, поскольку позволяет получить столбики меньшего размера и с меньшим шагом, а возможность соединения чипов методом холодной компрессии исключает проблемы, связанные с влиянием температуры на параметры детектора и возникновение напряжения в чипах [3, 5]. Для подстолбиковой металлизации используются композиции TiW/Cu [2], Ni/Au/Cu [3], Ni/Au [6] или только Au [1].

Следует отметить, что в современной технологии наблюдаются тенденции, направленные на исключение из применения свинца.

Целью настоящей работы была разработка эффективной технологии формирования столбиковых выводов для гибридных детекторов рентгеновского излучения.

Разработка технологии создания столбиковых выводов и подстолбиковой металлизации проводилась на пластинах полупроводящего GaAs, содержащих сенсорные матрицы. Каждая матрица содержала 64×64 пикселя с шагом 170 мкм. Общая площадь матрицы составляла порядка 1,5 см². Диаметр пластин GaAs был равен 50 мм, а толщина — 300 мкм. На одной пластине размещалось 5 матриц.

На **рис. 2** представлена последовательность технологических процессов получения столбиковых выводов.

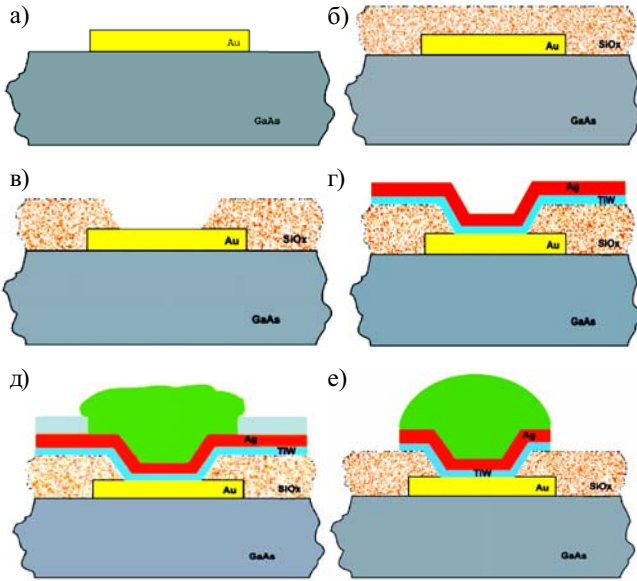


Рис. 2. Последовательность технологических процессов формирования столбиковых выводов:
a — GaAs-пластина с металлическими контактами; *б* — нанесение слоя SiO_x; *в* — формирование окон Ø24 мкм в слое SiO_x; *г* — нанесение металлизационной системы TiW/Ag; *д* — осаждение сплава Pb/Sn в окна фоторезиста Ø32 мкм; *е* — Pb/Sn столбиковый вывод после процесса оплавления

На лицевой стороне матриц находились пиксельные контактные площадки размерами 150×150 мкм из Ti/Pt/Au общей толщиной 0,3 мкм (рис. 2, *a*). Пластины покрывались слоем пассивирующего диэлектрика, в качестве которого был использован SiO_x толщиной 0,5 мкм (рис. 2, *б*), полученный методом контролируемого окисления моносилана кислородом. В слое диэлектрика над контактными площадками пикселей с помощью фотолитографии и химического травления формировались окна диаметром 24 мкм (рис. 2, *в*). Затем на пластину наносился сплошной слой TiW/Ag, предназначенный для подстолбиковой металлизации (рис. 2, *г*). Столбиковые выводы выращивались гальваническим методом через маску фоторезиста AZ 4562 толщиной 6 мкм, при этом сплошной слой TiW/Ag служил для прохождения тока (рис. 2, *д*). Диаметр окна в фоторезисте составлял 32 мкм.

После выращивания столбиков и снятия маски фоторезиста слой TiW/Ag удалялся с поля путем жидкостного травления в составе NH₄OH:H₂O₂:H₂O, так что TiW/Ag оставался только под столбиками. Для придания столбиковым выводам шарообразной формы проводился процесс оплавления (рис. 2, *е*).

В качестве подстолбиковой металлизации была разработана и опробована композиция TiW/Ag, которая наносилась на пластину сплошным слоем. Нанесение системы TiW/Ag осуществлялось методом магнетронного распыления в вакууме. В данном методе используется высокоэффективное планарное распылительное устройство с вращающимся магнитным блоком [7, 8]. Конструкция устройства обеспечивает постепенное распыление металла со всей поверхности дисковой мишени, т. е. ее равномерный износ. Это позволяет повысить однородность наносимых металлических пленок как по составу, так и по толщине,

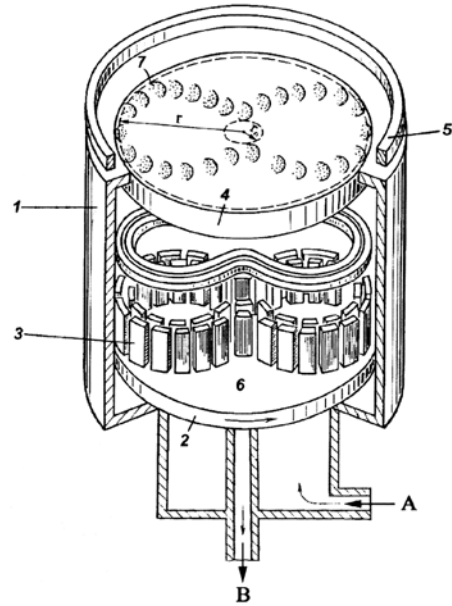


Рис. 3. Конструкция подколпачного устройства установки магнетронного распыления:
 1 — корпус катода; 2 — лопасти держателя магнитной системы; 3 — постоянные магниты; 4 — мишень; 5 — анод; 6 — магнитный блок; 7 — зона плазмы;
 А, В — соответственно вход и выход воды

не, а также получить хорошее запыление ступенек рельефа. Внутренняя конструкция устройства приведена на рис. 3. Держатель с GaAs-пластиной находится над мишенью на расстоянии 10 см.

Режим распыления TiW и Ag был следующим: начальный вакуум в камере 10⁻⁵ Па; рабочее давление в камере (с напуском Ar) — 10⁻¹—10⁻² Па, напряжение на катоде 400—500 В, ток разряда 1—1,5 А. В результате были получены качественные металлические слои с толщинами TiW — 0,25 мкм, Ag — 2,00 мкм, с хорошей адгезией и общим слоевым сопротивлением 0,02 Ом/□.

В качестве материала для столбиков исследовались Pb/Sn и In. Столбики из Pb/Sn выращивались в борфтористоводородном электролите. Выбранный состав и режим (плотность тока 1,2 А/см², время осаждения 15 мин) обеспечивали соотношение Pb:Sn — 90:10, высоту столбиков 20 мкм, диаметр — 50 мкм.

Для получения столбиков из In применялся хлоридный электролит (плотность тока ≈ 0,75 А/см², время осаждения — 20 мин). Столбики имели высоту 12 и диаметр 45 мкм. Затем проводился процесс оплавления столбиков в вакууме при температуре 165°C для In и 190°C для Pb/Sn, в результате которого столбики приобретали более шарообразную форму (рис. 2, *е*). После процесса оплавления размеры столбиков несколько менялись, высота увеличивалась примерно на 10 мкм, а диаметр уменьшался примерно на 15 мкм.

Разработанная технология совместима с технологическими процессами изготовления GaAs сенсорной матрицы. В результате проведенной работы на GaAs-матрицах были сформированы столбиковые выводы, имеющие следующие параметры:

| Параметр | Материал для столбиков | |
|------------------------|------------------------|--------------------|
| | Pb/Sn | In |
| Диаметр, мкм | 35 | 30 |
| Высота, мкм | 30 | 20 |
| Сопротивление, Ом | 1—3 | 0,5—2,0 |
| Механическая прочность | Удовлетворительная | Удовлетворительная |

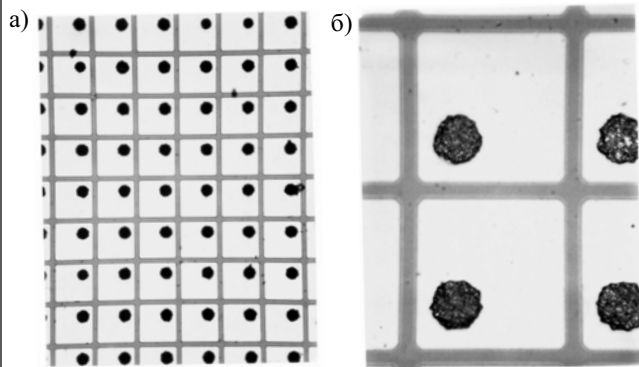


Рис. 4. Фрагменты GaAs сенсорной матрицы 64×64 со столбиковыми выводами из индия:
а — увеличение ×33; б — увеличение ×133

Фрагменты GaAs-матрицы с окончательно сформированными столбиковыми выводами из In приведены на рис. 4.

Выводы

Разработана технология изготовления столбиковых выводов из Pb/Sn и In. В отличие от известных литературных данных, для создания подстолбико-

вой металлизации впервые использована композиция TiW/Ag, которая наносится методом магнетронного распыления. Таким образом, столбик выращивается на слое серебра, что позволяет исключить из технологии такие металлы как Cu и Au.

На основе разработанного метода были сформированы столбиковые выводы на GaAs пиксельной матрице 64×64, предназначенной для детекторов рентгеновского излучения. Характеристики столбиковых выводов свидетельствуют о том, что эта технология может быть использована для флип-чип-процессов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Schwarz C., Campbell M., Goeppert R. et al. X-ray imaging using a hybrid photon counting GaAs pixel detector // Nuclear Physics B (Proc. Suppl.).— 1999.— Vol. 78.— P. 491—496.
- Schwarz C., Campbell M., Goeppert R. et al. Measurements with Si and GaAs pixel detectors bonded to photon counting readout chips // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research.— 2001.— Vol. A 466.— P. 87—94.
- Lozano M., Cabruja E., Collado A. et al. Bump bonding of pixel systems // Ibid.— 2001.— Vol. A 473.— P. 95—101.
- Fanti V., Marzeddu R., Randaccio P. Medipix2 parallel readout system // Ibid.— 2003.— Vol. A 509.— P. 171—175.
- Cihangir S., Kwan S. Characterization of indium and solder bump bonding for pixel detectors // Ibid.— 2002.— Vol. A 476.— P. 670—675.
- Breibach J., Lubelsmeyer K., Masing Th., Rente C. Development of a bump bonding interconnect technology for GaAs pixel detectors // Ibid.— 2001.— Vol. A 470.— P. 576—582.
- А. с. 1160761 СССР. Устройство ионно-плазменного распыления в вакууме / З. В. Беришвили, Г. А. Схиладзе, Ш. И. Шиошвили.— 1983.
- А. с. 1244960 СССР. Устройство ионно-плазменного распыления материалов в вакууме / З. В. Беришвили, И. Г. Гадахададзе, Ш. И. Шиошвили, Г. А. Схиладзе.— 1984.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Варадан В., Виной К., Джозе А. ВЧ МЭМС и их применения.— М.: Техносфера, 2004.— 448 с.

Книга В. К. Варадана, К. Д. Виноя и К. А. Джозе «ВЧ МЭМС и их применения» посвящена обзору состояния дел в области разработки и изготовления электромеханических систем и их компонентов. В ней подробно рассмотрены вопросы проектирования и технологические аспекты производства разнообразных микроустройств: переключателей, регулируемых индукторов и конденсаторов, фильтров, фазовращателей, линий передач и антенн, приведены преимущества и недостатки каждой отдельной конструкции и указаны способы их оптимизации. Целая глава книги посвящена такой важной теме как монтаж микросистем, где обсуждаются методы построения корпусов микросистем и способы их сборки. Детальное описание методов изготовления микроустройств, как традиционных, применяемых в микроэлектронной промышленности, так и современных, разработанных специально для микросистем, является достоинством данной книги.

Актуальность книги обусловлена быстрым прогрессом в области беспроводных систем связи, повлекшим за собой расширение областей применения ВЧ и СВЧ микротехники. Для России, где наблюдается существенное отставание в технологии изготовления микроэлектронных устройств, а развитие электромеханических микросистем и вовсе только начинается, актуальность книги во много раз возрастает.

Достоинством книги является также то, что в ней использованы материалы, написанные ведущими разработчиками микросистем всего мира.

Данная книга предназначена, в первую очередь, для инженеров-разработчиков ВЧ и СВЧ электромеханических микросистем и их компонентов. Она будет полезна специалистам, занимающимся разработкой мобильных систем связи.

