

УДК 621.3.049.776

Д. т. н. В. Г. СПИРИН

Россия, Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ

E-mail: spv149@mail.ru

МИКРОСБОРКА НА КРЕМНИЕВОЙ ПЛАТЕ ДЛЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Рассмотрена конструкция и технология микросборки для акселерометра, выполненной на кремниевой плате с тремя уровнями коммутации и тонкопленочными резисторами на обеих ее поверхностях.

Ключевые слова: многоуровневая плата, тонкопленочная микросборка.

В современных акселерометрах конструкция электронного преобразователя представляет собой металлическую пластину, на противоположных поверхностях которой установлены ситалловые платы с компонентами. Одна из плат функционально является генератором, другая — усилителем. Для того чтобы исключить воздействие помех со стороны генератора на усилитель, общие шины каждой платы соединяют с металлической пластиной проволочными перемычками [1]. Недостатками этой конструкции микросборки (МСБ) являются большие габариты и масса. Поскольку акселерометры широко применяются в летательных аппаратах, где задаются жесткие требования по массе и габаритам в целом, габариты и массу МСБ нужно существенно уменьшить. Это можно сделать, если плату выполнить на кремнии и использовать ее в качестве несущей конструкции.

Считается, что монокристаллический кремний является довольно хрупким материалом, не поддающимся пластической деформации, как большинство металлов. Однако он не такой хрупкий, как это может показаться. Ошибочное представление о его хрупкости появилось из-за того, что при освоении полупроводниковой технологии кремний формировался в виде пластин диаметром 5—13 см и толщиной 250—500 мкм. Даже листы из нержавеющей стали таких габаритов легко поддаются необратимой (пластической) деформации [2, с. 546]. Модуль Юнга кремния ($1,9 \cdot 10^{11}$ Н/м²) сравним с модулем Юнга нержавеющей стали и выше, чем коэффициент упругости кварца и большинства стекол. Это указывает на то, что монокристаллический кремний может быть использован в качестве несущей конструкции при условии уменьшения размеров пластин. Возможность создания тонкопленочных МСБ на подложках из кремния рассматривалась в [3, 4]. Однако приведенные в этих статьях материалы носят общий характер и нуждаются в уточнении.

Существует еще одно обстоятельство, которое ограничивает применение кремниевых подложек в тонкопленочных МСБ. Традиционно в России в качестве резистивных материалов в МСБ используются резистивные сплавы (например, РС-3710) или керметы (например, К-50С). Для их обработки применяют сильные травители, в состав которых, как правило, входит плавиковая кислота, растворяющая диоксид кремния. Альтернативным вариантом травления указанных резистивных материалов является «сухое» травление. Однако оно не получило широкого распространения на Российских предприятиях, и это тоже сдерживает применение кремниевых подложек в тонкопленочных МСБ.

Целью настоящей работы являлась разработка основных элементов конструкции и технологии изготовления микросборки на кремниевой плате с высокой плотностью упаковки, которая используется в качестве электронного преобразователя для акселерометра.

Учитывая высокую прочность кремния, плату на его основе можно использовать как несущую конструкцию. В этом случае на обеих сторонах подложки формируют хотя бы по одному уровню коммутации, причем не всегда нужно выполнять сквозные переходные отверстия. В данной конструкции функционально законченные узлы располагают на противоположных поверхностях платы с минимальными связями между ними, которые при необходимости можно соединить между собой с помощью проволочных перемычек или гибких шлейфов.

В случае применения низкоомного кремния (с удельным сопротивлением менее 0,01 Ом·см) общую шину можно выполнить на самом кремнии, получив таким образом три уровня коммутации. Для этого перед напылением проводящей структуры в диоксиде кремния вскрывают окна и путем напыления многослойных тонких проводящих пленок обеспечивают контакт металлизации с кремнием. Коммутация, сформирован-

ная из многослойных пленок, имеет повышенную надежность и обеспечивает омический контакт к кремнию любого типа проводимости в широком диапазоне концентрации легирующих примесей n - или p -типа ($10^{17} - 10^{21} \text{ см}^{-3}$) [5, с. 76].

На платы с тремя уровнями коммутации возможна двусторонняя установка компонентов, выводы которых присоединяются как пайкой, так и сваркой. Технологические процессы по формированию рисунка таких плат хорошо отработаны. В качестве примера рассмотрим конструкцию платы, выводы компонентов к которой присоединяются сваркой (рис. 1). Особенностью данного конструктивно-технологического варианта является формирование проводников общей шины как на поверхности кремния, так и на поверхности оксида кремния. Учитывая, что толщина диэлектрика составляет 4–5 мкм, соединение проводников общей шины, расположенных в разных уровнях, становится проблематичным ввиду возможного обрыва проводников на ступеньках диэлектрика. Поэтому соединение этих проводников производится с помощью золотой или алюминиевой проволоочной перемычки. К проводникам общей шины, формируемым на диэлектрике, подключаются тонкопленочные элементы, например резисторы, а к проводникам и контактным площадкам (КП) общей шины, формируемым на кремнии, присоединяются выводы компонентов и периферийные КП.

Если все компоненты или их часть имеют выводы, присоединяемые пайкой, то применяют

способы соединения проводников общей шины, расположенных в разных уровнях, по технологиям, описанным в [6].

Для уменьшения падения напряжения на кремнии проводники 5 и 6 общей шины, расположенные на одной поверхности (см. рис. 1), делают максимально длинными и располагают на минимальном расстоянии друг от друга. Проводники 6 и 7 общей шины, расположенные на разных поверхностях кремниевой платы, должны иметь максимальную площадь перекрытия.

Экранирование компонентов высокочастотных цепей является обязательным. Для улучшения экранирования всю незазанятую тонкопленочными элементами поверхность кремния металлизуют. Металлизация под компонентами не нарушит надежность работы конструкции, т. к. на обе поверхности платы наносится защитная изоляция толщиной 20–30 мкм, которая предотвращает замыкание корпуса или кристалла компонента на металлизацию, расположенную под ним.

При конструировании топологии платы необходимо учитывать, что между проводниками и общей шиной ввиду малой толщины слоя диоксида кремния образуется значительная емкость: при толщине диоксида кремния 4 мкм удельная емкость составляет 7–10 пФ/мм². В связи с этим сигнальные проводники в высокочастотных цепях должны иметь минимальную площадь для уменьшения времени задержки. Для шин питания увеличение удельной емкости, наоборот, является благоприятным фактором, и они могут быть выполнены с большой площадью.

В таблице приведена краткая технологическая схема изготовления платы вышеописанной

Последовательность технологических операций изготовления трехуровневой платы

Операция	Толщина слоя, мкм
Термическое окисление кремния во влажном кислороде	1,5–2,0
Ионно-плазменное напыление оксида кремния	2,5–3,0
Двусторонняя фотолитография. Травление оксида кремния в отверстиях. Удаление фоторезиста	—
Двустороннее напыление проводящей структуры Cr–Al	1,0–1,5
Двусторонняя фотолитография и травление алюминия. Удаление фоторезиста	—
Двусторонняя фотолитография и травление хрома. Удаление фоторезиста	—
Двустороннее нанесение и формирование защитной изоляции	20–30
Разделение пластин на платы	—

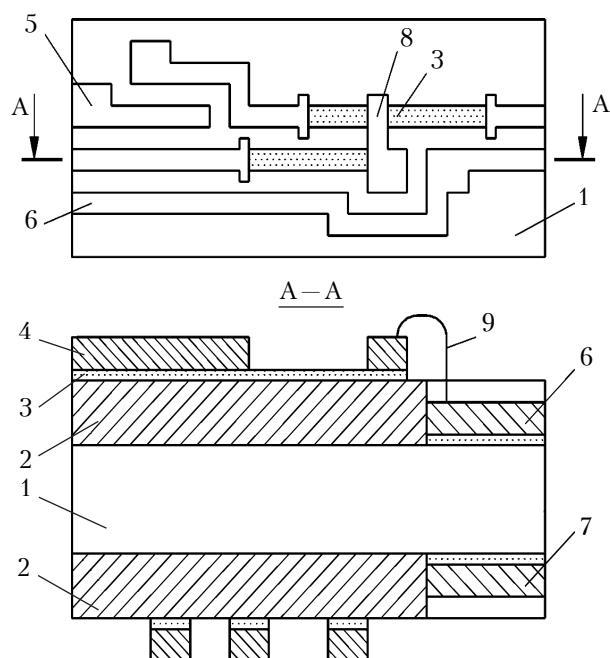


Рис. 1. Конструкция кремниевой платы с тремя уровнями коммутации:

1 — подложка; 2 — диоксид кремния; 3 — слой хрома; 4 — слой алюминия; 5–7 — проводники общей шины на кремнии; 8 — проводник общей шины на диоксиде кремния; 9 — проволоочная перемычка

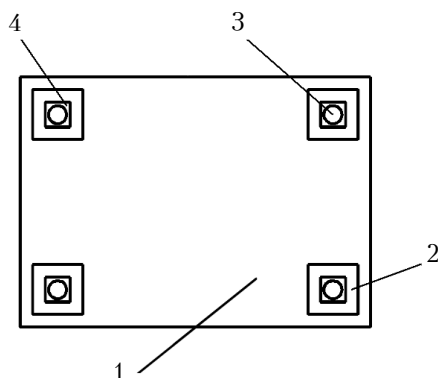


Рис. 2. Крепление платы к основанию с помощью проволоки:
1 — плата; 2 — КП; 3 — стержень; 4 — отверстие

конструкции. В качестве материалов адгезионного слоя могут быть использованы такие материалы, как титан, молибден, хром. В данной технологии применен хром с удельным поверхностным сопротивлением $\rho=250-500 \text{ Ом}/\square$, который является уникальным материалом, т. к. его можно использовать одновременно и в качестве резистивного слоя. Такое решение несколько увеличивает площадь тонкопленочных резисторов (ТПР), однако при этом можно значительно снизить себестоимость МСБ за счет исключения напыления резистивного материала, который, как правило, наносится в отдельном технологическом цикле перед напылением проводящего слоя. Как известно, травление хрома производится серной или соляной кислотой, к которым устойчив диоксид кремния. Стабильность сопротивления резистора из пленки хрома практически не уступает стабильности ТПР из резистивных сплавов [7].

Если на противоположных сторонах платы расположить разные функциональные узлы, причем один из них будет являться генератором помех для другого, то общая шина на кремнии будет выполнять функцию экрана.

Учитывая, что удельная мощность рассеяния таких устройств не превышает $2 \text{ Вт}/\text{см}^2$, крепление платы к основанию МСБ можно осуществить двумя способами.

При креплении платы к основанию с помощью проволоки один конец проволочного луженого стержня присоединяется к основанию из ковара, например, методом пайки в глухое отверстие, а другой конец стержня вставляется в крепежное металлизированное отверстие платы и запаивается (рис. 2). Лучше всего применять медную проволоку из мягкой отожженной меди, которая будет легко деформироваться при значительных изменениях температуры. В этом случае кроме крепления платы проволока также будет выполнять роль теплоотвода. Очевидно, что данный метод монтажа может применяться для плат небольшого размера и с невысокой мощностью рассеивания.

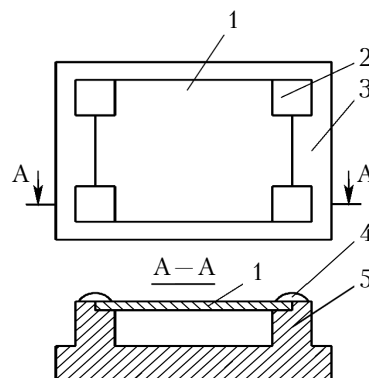


Рис. 3. Крепление платы к основанию методом пайки ее контактных площадок:
1 — плата; 2 — КП; 3 — основание; 4 — припой; 5 — выступ

Крепление платы к основанию МСБ можно осуществить также методом пайки ее контактных площадок (рис. 3). В выступе основания из ковара делается вырез, глубина которого равна толщине платы. Плату помещают в углубления выступа и расплавляют ее КП к предварительно облуженным поверхностям выступа.

Практика проектирования электронного преобразователя для акселерометра в виде кремниевой платы с тремя уровнями коммутации, которая содержит тонкопленочные резисторы на обеих поверхностях, показывает, что конструкция электронного преобразователя уменьшается в 2–3 раза по сравнению с прототипом, за счет исключения одной ситалловой платы и металлического основания. Объем разработанной МСБ — $0,13 \text{ см}^3$, плотность упаковки по сравнению с прототипом возросла в 6,67 раза, в основном за счет уменьшения толщины МСБ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Спирин В. Г. Особенности проектирования электронных преобразователей датчиков первичной информации // Тр. Российского науч.-технич. общества радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная дню Радио. — 2005. — Вып. 60–2. — С. 71–75. [Spirin V. G. // Tr. Rossiiskogo nauch.-tekhnich. obshchestva radiotekhniki, elektroniki i svyazi im. A. S. Popova. Seriya: Nauchnaya sessiya, posvyashchennaya dnyu Radio. 2005. Iss. 60–2. P. 71]
2. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. — Москва: Техносфера, 2005. [Fraiden Dzh. Sovremennye datchiki. Spravochnik. — Moskva: Tekhnosfera, 2005]
3. Черный А., Черный Б. Проблемы разработки и производства многокристалльных модулей // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. — 2008. — № 3. — С. 40–43. [Chernyi A., Chernyi B. // Elektronika: Nauka. Tekhnologiya. Biznes. 2008. N 3. P. 40]
4. Спирин В. Г. Конструкторско-технологические варианты коммутационных плат с подложкой из кремния // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2005. — № 1. — С. 48–50. [Spirin V. G. // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature. 2005. N 1. P. 48]
5. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. — Москва: Радио

и связь, 1989. [Koledov L. A. Tekhnologiya i konstruksii mikroskhem, mikroprotssorov i mikrosborok. — Moscow: Radio i svyaz', 1989.]

6. Спирин В. Г. Многоуровневые платы с толстоленочной полимерной изоляцией // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2012. — № 5. — С. 3–7. [Spirin V. G. // Tekhnologiya i konstruirovanie v elektronnoi apparature. 2012. N 5. P. 3]

7. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность. — Москва: Высш. школа, 1986. [Efimov I. E., Kozyr' I. Ya., Gorbunov Yu. I. Mikroelektronika. Fizicheskie i tekhnologicheskie osnovy, nadezhnost'. — Moscow: Vyssh. shkola, 1986]

*Дата поступления рукописи
в редакцию 17.01 2013 г.*

Spirin V. G. **Microassembly on silicon board for accelerometer.**

Keywords: *multilevel circuit board, thin-film micromodule.*

The paper presents microassembly design and technology for accelerometer, carried out on a silicon plate with three commutation levels and thin film resistors on both of its surfaces.

Russia, Arzamas Polytechnic Institute (branch) of the NSTU.

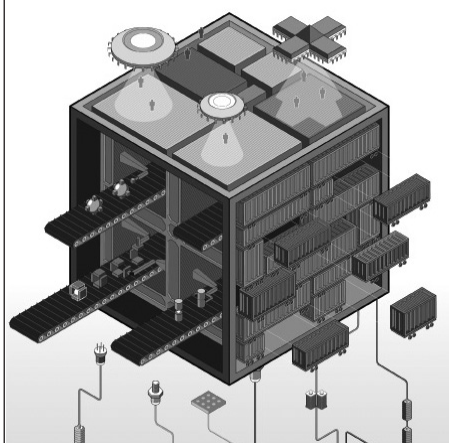
Спирин В. Г. **Мікроборка на кремнієвій платі для акселерометра.**

Ключові слова: *багаторівнева плата, тонкоплівкова мікроборка.*

Розглянуто конструкцію і технологію мікроборки для акселерометра, виконаної на кремнієвій платі, з трьома рівнями комутації та тонкоплівковими резисторами на обох її поверхнях.

Росія, Арзамаський політехнічний інститут (філія) НДТУ.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ



newElectronics® ChipEXPO
RUSSIA

НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА — 2014 главная российская выставка электронных компонентов и модулей

25—27 марта
Москва, Экспоцентр на Красной Пресне

Тематические разделы выставки

Полупроводниковые устройства
Активные компоненты
Пассивные компоненты
Оптоэлектроника
Радио- и СВЧ-компоненты
Датчики, сенсоры, средства контроля
Дисплеи
Источники питания
Компоненты АСУ ТП
Компоненты ЦОС
Соединители

Трансформаторы и ферромагнитные компоненты
Электромеханические компоненты
Материалы, инструменты для электроники
Приборы, тестовое оборудование
Программно-аппаратные средства разработки
Производство электронных компонентов
Поставка электронных компонентов
Разработка и производство электроники
Контрактное производство электроники
Информационные и консультационные услуги