

## Способ прецизионного соединения твердотельных материалов и структур

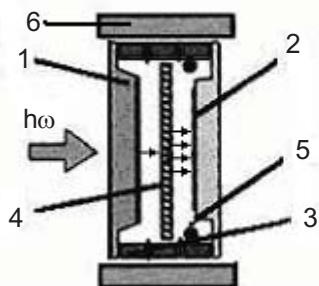
*Константинов П. Б., Концевой Ю. А., Сопов О. В., Чернокожин В. В.*

Рассмотрен способ соединения несмачиваемых припоем образцов диэлектрических и полупроводниковых материалов и структур. Приведён пример использования разработанного способа при создании конструкции и технологии изготовления формирователя сигнала изображения для ЭОП 5<sup>го</sup> поколения.

### Введение

В настоящее время концепция формирования наиболее совершенных электронно-оптических преобразователей (ЭОП) для приборов ночного видения (П.Н.В.) базируется на введении в конструкцию ЭОП электронно-чувствительной ПЗС-матрицы (ЭЧПЗС), обеспечивающей электронный выход получаемого изображения на телевизионный монитор [1]. Конструкция такого ЭОП показана на рис. 1.

Как видно из рисунка, вместо традиционного люминесцентного экрана в этих так называемых ЭОП 5<sup>го</sup> поколения используется электронно-бомбардируемая ПЗС-матрица (electron-bombarded CCD-EBCCD), смонтированная на металлокерамическом держателе, являющимся частью металлокерамического корпуса ЭОП. В работе [2], посвящённой разработке этой части ЭОП, предложена и терминология для её обозначения - «формирователь сигнала изображения электронный» (ФСИЭ). Конструкция ФСИЭ представлена на рис. 2.

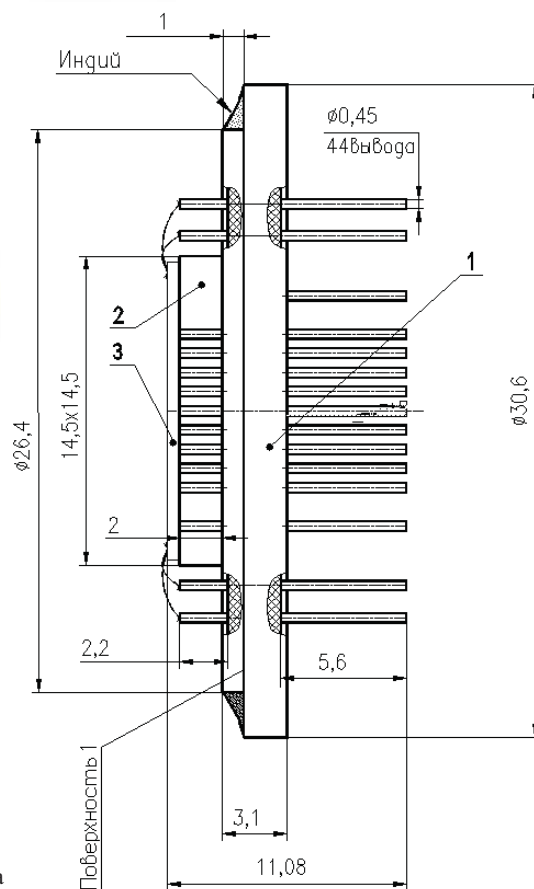


**Рис. 1**

Схема

электронно-оптического преобразователя:

- 1 - GaAs фотокатод; 2 - ПЗС матрица;
- 3 - корпус; 4 - МКП; 5 - газопоглотитель;
- 6 - ВИП



**Рис. 2**

Конструкция ФСИЭ:

- 1 - основание держателя;
- 2 - пьедестал держателя; 3 - ПЗС-матрица

---

Она состоит из многоштырькового металлокерамического держателя с размещённой на нём ЭЧПЗС-матрицей. Здесь необходимо отметить следующие моменты:

1. должна быть обеспечена высокая степень плоскопараллельности рабочей поверхности матрицы и поверхности 1 основания, к которой присоединяется керамическое кольцо корпуса ЭОП, являющееся держателем микроканальной пластины. Это необходимо для обеспечения равномерного по ширине зазора между МКП и ПЗС-матрицей, определяющего равномерность по площади основных характеристик ЭОП;

2. технология крепления ПЗС-матрицы на металлокерамический держатель должна быть совместимой с технологией изготовления ЭОП. Возникающие здесь ограничения связаны с тем, что в процессе сборки ЭОП изделия отжигаются при температуре 350-400°C в течение 24-48 часов.

Первый шаг на пути обеспечения требуемой плоскопараллельности (см. п. 1) состоит в том, что конструкция металлокерамического держателя выполняется сборной – она состоит из двух керамических деталей: дискообразного основания и пьедестала. Обе детали проходят операцию шлифовки. Затем на основание напаиваются 44 вывода с использованием припоя ПСР-72, после чего следует операция соединения пьедестала с основанием. Для посадки матрицы на пьедестал поверхность пьедестала металлизуется.

Для посадки кремниевых кристаллов матрицы на пьедестал естественно было попытаться воспользоваться традиционно применяемой в практике изготовления корпусированных кремниевых приборов технологией пайки с помощью эвтектики кремний-золото ( $T_{эв} = 370^\circ\text{C}$ ). Здесь могли возникнуть два ограничения:

– смещение и перекося кристалла матрицы относительно плоскости поверхности пьедестала при отжиге ЭОП, если температура отжига будет выше температуры эвтектики;

– диффузия золота в процессе отжига ЭОП через толщу кристалла матрицы к активной области ПЗС-структуры, приводящая, как правило, к резкому возрастанию обратных токов фотодиодов элементов матрицы.

Из-за отсутствия надёжных данных по коэффициенту диффузии золота в кремнии для интересующих нас температур (350-400°C) был поставлен прямой эксперимент. На образцы линейных ФПЗС с архитектурой ячейки и толщиной кристалла кремния, аналогичных обсуждаемой ЭЧПЗС, нанесли золото на обратную часть кристаллов, после чего образцы отожгли в вакууме при 350°C в течение 24 часов. Толщина кристаллов составляла 380 мкм. Параметры линеек измерялись до и после проведения отжига. На всех образцах наблюдалось катастрофическое увеличение темнового тока, свидетельствующее о том, что золото продиффундировало через всю толщу кристалла ЛФПЗС.

Таким образом, все варианты напайки кристаллов матрицы на пьедестал держателя с использованием эвтектики золото-кремний отпали.

Кстати, оценка по этим данным величины коэффициента диффузии золота в кремнии при 350° показывает, что он не меньше величины  $5 \cdot 10^{-8} \text{см}^2/\text{с}$ .

Из приведённой схемы изготовления ФСИЭ следует, что необходимо было разработать два процесса, отвечающих перечисленным выше требованиям: процесс соединения пьедестала с основанием и процесс соединения матрицы с пьедесталом. При этом температура соединения матрицы с пьедесталом ограничивается температурой отжига ЭОП (350-400°C), а температура соединения пьедестала с основанием должна находиться между температурой присоединения матрицы и температурой пайки выводов (840°C).

---

### *Способ соединения образцов из твердотельных материалов*

Невозможность использования для пайки кристаллов золотосодержащих припоев привела к необходимости поиска альтернативных способов прецизионного соединения элементов конструкций. В качестве такой альтернативы был опробован новый метод бесфлюсовой пайки [3]. Известно [4], что пайка – процесс, включающий в себя операцию размещения припоя между соединяемыми образцами и нагрев образцов до температуры выше температуры плавления припоя. В процессе нагрева жидкий припой смачивает поверхность соединяемых образцов либо материал соединяемых образцов частично растворяется в материале припоя. Для улучшения смачиваемости соединяемых поверхностей применяются различные флюсы. Серьезный недостаток метода пайки, помимо проблем с обеспечением смачиваемости по всей площади соединяемых поверхностей, заключается в том, что после операции пайки невозможно проводить какие-либо технологические операции при температуре, превышающей температуру плавления припоя.

Разработанный способ позволяет соединять многие материалы, в том числе диэлектрические, поверхности которых не смачиваются припоем. Суть метода заключается в том, что вначале на соединяемые поверхности проводят напыление по меньшей мере двух слоёв металла или сплава, образующих припой. Каждый последующий слой имеет температуру плавления ниже температуры плавления предыдущего слоя. В качестве первого слоя выбирается материал, обеспечивающий адгезию с соединяемой поверхностью (например титан, хром, ванадий), а каждый из последующих – с предыдущим слоем, причём последний слой имеет температуру плавления более низкую, чем температура плавления материалов соединяемых образцов и остальных напылённых слоёв. Затем образцы приводят в соприкосновение нанесёнными слоями, прилагают к ним сжимающее усилие и нагревают в течение времени, достаточного для плавления внешних слоёв. При этом в зоне пайки образуются соединения, имеющие температуру плавления выше температуры плавления припоя.

Разработанный метод позволяет решить обе задачи – и задачу соединения керамического пьедестала с керамическим основанием, и задачу напайки ПЗС-матрицы на керамический пьедестал. Для первого случая использовалась система титан-алюминий, для второго – титан-индий.

Апробация предложенного способа проводилась следующим образом. На пластины кремния диаметром 76 мм, покрытые слоем диоксида кремния, напыляли последовательно слои титана или хрома, или ванадия толщиной 0,1-0,2 мкм, а затем слои алюминия или сплава алюминия с кремнием, или индия толщиной 1-3 мкм. Затем образцы прижимали друг к другу запылёнными поверхностями, прикладывали сжимающее усилие 0,5-1,0 кГ и помещали в нагреваемый реактор. Температуру в реакторе в случае напылённого алюминия или сплавов на его основе повышали до 680-750°C, образцы выдерживали 30 мин и охлаждали. В случае напылённого индия температура нагрева составляла 180-300°C. Пайку проводили в атмосфере формирующего газа или в вакууме не хуже  $10^{-3}$  мм рт. ст. В водороде пайку не проводили, так как известно, что результаты пайки в водороде не хуже результатов пайки в формирующем газе.

Качество соединения проверяли двумя способами.

В первом случае из соединённых пластин вырезали квадратные образцы размером 1,4x1,4 см<sup>2</sup>. К образцам приклеивали с двух сторон металлические цилиндрические «тяги» клеем «РохіроI», на которые подавали растягивающее усилие. В случае использования напылённого алюминия при величине усилия разрыва порядка 70 кГ/см<sup>2</sup>

происходил отрыв «тяги» по месту склеивания – разрушался клей, а место соединения пластин не разрушалось. При использовании индия усилие разрыва составляло 15-35 кГ/см<sup>2</sup>. При втором способе проверки пластины в вертикальном положении помещались в нагреваемый реактор и выдерживались в нем в течение часа при температуре 1100°С в случае использования алюминия или сплава алюминия с кремнием, и при 400°С – в случае использования индия. При этом расслаивание пластин не происходило. Использование в качестве первого слоя хрома или ванадия не выявило существенных отличий прочности соединения по сравнению с титаном. Сравнение качества соединения, проведённого в различных средах, показало, что при использовании индия лучшие результаты получены при соединении образцов в вакууме: усилия разрыва составляли 25-35 кГ/см<sup>2</sup>.

На рис. 3 показана структура соединённых образцов.

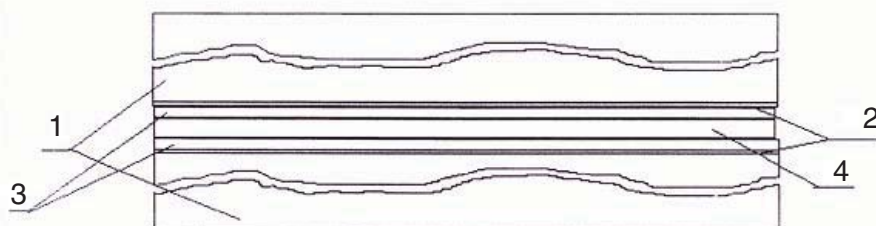


Рис. 3

Структура соединённых образцов:

1 - пластины кремния; 2 - слой SiO<sub>2</sub>; 3 - слой титана; 4 - слой алюминия

На рис. 4 представлена схема приспособления для испытания на механическую прочность соединения.

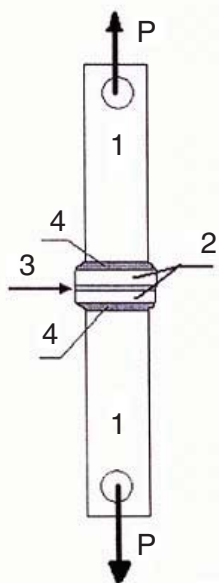


Рис. 4

Схема приспособления для испытания на механическую прочность соединения: 1 - «тяги»; 2 - соединённые пластины; 3 - слой соединения; 4 - отверждённый клей

С использованием разработанных методов пайки пьедестала к основанию и ЭЧПЗС-матрицы к пьедесталу изготавливались ФСИЭ с характеристиками, изложенными в [2]. Измерение степени плоскопараллельности «Δ» рабочей поверхности матрицы относительно верхней «посадочной» поверхности основания держателя показало, что величина «Δ» не превышает 15 мкм. Работоспособность образцов ФСИЭ в составе ЭОП после технологического отжига (350°С, 24 часа) не изменялась.

#### Выводы

Таким образом, в результате проделанной работы был разработан новый метод соединения твердотельных материалов и структур типа диэлектрик-диэлектрик, диэлектрик-полупроводник. Разработанная методика использована при создании конструкции формирователя сигнала изображения для ЭОП 5<sup>го</sup> поколения.

#### Литература

1. Куклев С. В., Соколов Д. С., Зайдель И. Н. Электронно-чувствительные преобразователи. – М., 2004.
2. Константинов П. Б., Костюков Е. В., Чернокожин В. В., Скрылёв А. С., Борисов И. С., Маклаков А. М. Электронный формирователь сигнала изображения для электронно-оптических преобразователей 5<sup>го</sup> поколения. – Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы, вып. 2 (223), 2009, с. 62-68.
3. Патент на изобретение №2342231 от 7.11.2006. Константинов П. Б., Концевой Ю. А., Сопов О. В., Чернокожин В. В.
4. Сварка, пайка, склейка и резка металлов и пластмасс / Справочник – М.: Металлургия, 1985.