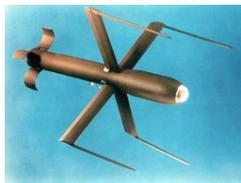


Кафедра Микроэлектроника

курсы:

«Компьютерные интегрированные системы «Разработка-
производство изделий»;
«Конструирование радиоэлектронной аппаратуры».





Герметизация компонентов РЭА. Способы контроля герметичности.

Радиоэлектронная аппаратура эксплуатируется в различных климатических условиях и на надежность ее работы оказывают влияние такие параметры окружающей среды, как **температура, влажность, наличие микроорганизмов, пыли, радиации.**

Все методы герметизации можно условно разделить на две группы: **бескорпусную** и **корпусную** герметизацию.



**пропитка, обволакивание,
пассивирование, литьевое
прессование**

**в корпусах из неорганических
материалов, опрессовка, заливкой и
капсулированием**

Вне зависимости от метода герметизации для обеспечения качества и эффективности процессов необходимо выполнить следующие условия:

1. Тщательно очистить изделия от всех видов загрязнений и полностью удалить присутствующую в них влагу;
2. При выборе материалов предпочтение следует отдавать химически чистым, с низким значением влагопроницаемости и высокой нагревостойкостью;
3. Температурные коэффициенты линейного расширения герметизирующих материалов, материалов корпусов и электрических выводов должны быть максимально сближены;
4. Режим отверждения герметичных материалов необходимо выбирать в зависимости от температуры эксплуатации изготовленных изделий с учетом нагревостойкости применяемых материалов и предельно допустимой температуры ЭРЭ;
5. Остаточные напряжения не должны превышать прочность на разрыв герметизируемого материала; изделия, чувствительные к механическим усилиям, возникающим при отверждении, рекомендуется покрывать демпфирующим слоем из эластичного материала;
6. В процессе эксплуатации герметизированных изделий не должно происходить выделения летучих веществ и должен быть обеспечен нормальный температурный режим работы;
7. Процессы приготовления герметизирующих смесей не должны загрязнять исходные материалы, а используемые растворители удалены при полимеризации.

Структура процесса герметизации

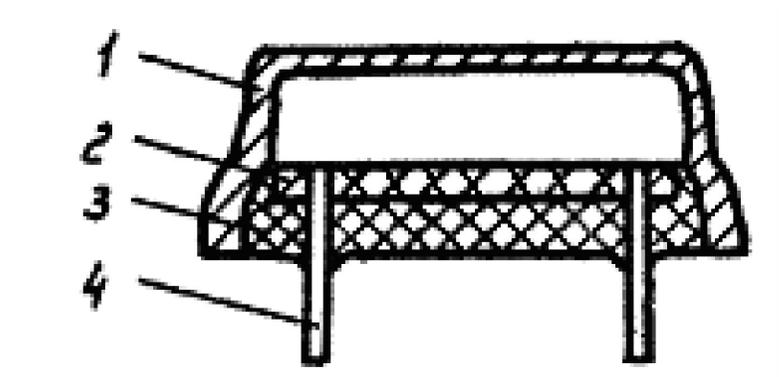


Корпусная герметизация

Корпуса предназначены для защиты элементов и компонентов ИС от климатических (влага, газы) и механических воздействий и светового облучения. Корпус обеспечивает эффективный отвод тепла от тепловыделяющих элементов и компонентов микросхемы. Металлический корпус осуществляет также экранирование от воздействия электростатических, а в некоторых случаях и магнитных полей. Корпус имеет выводы, с помощью которых микросхему монтируют на печатную плату. Контактные площадки платы ИС электрически соединены с выводами корпуса.

В зависимости от материалов корпуса делятся на следующие типы: стеклянные, керамические, пластмассовые, металлостеклянные, металлокерамические, металлополимерные, стеклокерамические.

Герметичность корпуса достигается применением непроницаемых для влаги и газов материалов и вакуумплотным соединением этих материалов.





Герметизация

В зависимости от конструкции корпуса, применяемых материалов и особенностей микросхемы используют следующие методы герметизации:

1. Сварка:

- *Холодная сварка;*
- *Электроконтактная конденсаторная сварка (ЭКС);*
- *Аргонно-дуговая сварка;*
- *Термокомпрессионная сварка;*
- *Сварка давлением с косвенным импульсным нагревом (СКИН);*
- *Сварка сдвоенным (расщепленным) электродом;*
- *Ультразвуковая сварка;*
- *Роликовая сварка;*
- *Электроннолучевая сварка;*

2. Пайка

- Пайка припоями;
- Пайка стеклом;

3. Заливка

4. Опрессовка

5. Герметизация капсулированием

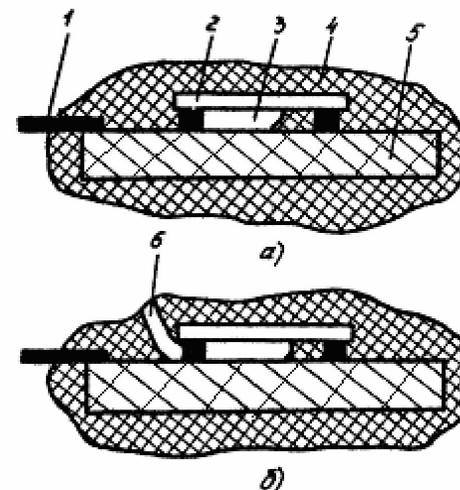
6. Герметизация в вакуум-плотных корпусах.

Бескорпусную герметизацию выполняют пропиткой, обволакиванием герметиком, заливкой полимером, а также опрессовкой расплавленным термопластическим или термореактивным материалом.

Обволакивание - наиболее простой способ, при котором каплю герметика наносят на сборку или кратковременно погружают сборку в герметик. Этот способ используют для предварительной защиты изделий перед заливкой или опрессовкой.

Заливку выполняют в специальные многократного использования литые формы из силиконовой резины. Заливка может быть свободной или в вакууме.

Литьевое прессование является наиболее совершенным способом создания бескорпусных оболочек, применяемым в серийном производстве. Этот способ основан на использовании разъемных пресс-форм и пресс-порошков, получаемых из эпоксидных и кремнийорганических смол или их композиций.



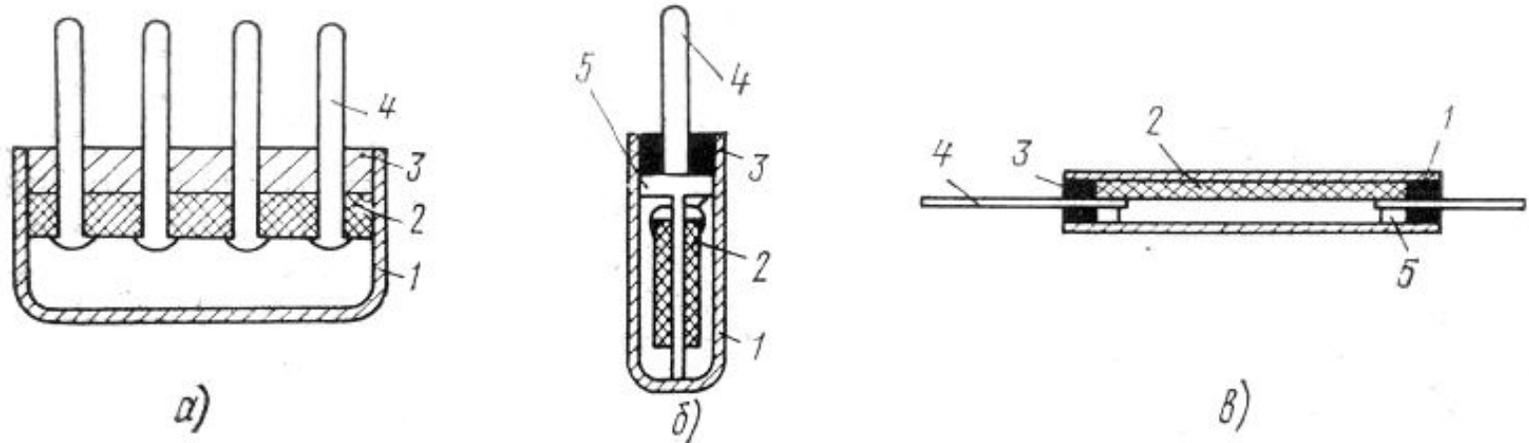
Пропитка - процесс герметизации гигроскопичных (поглощение влаги) изделий путем заполнения пор, капилляров, трещин, воздушных зазоров диэлектрическими материалами, которые после обработки могут оставаться жидкими, застывать или отвердевать. Проводится при атмосферном давлении (открытая пропитка), в вакууме, путем чередования пониженного и повышенного давления (циклическая пропитка) под действием центробежных сил и ультразвука.

Обволакивание - процесс получения защитных покрытий путем погружения изделия в жидкий лак или компаунд и последующего их отверждения. Он нашел широкое применение в массовом производстве из-за простоты реализации и экономичности оборудования.

Заливка - это процесс заполнения лаками, смолами или компаундами свободного пространства между изделием и специальной съемной формой. Он проводится в вакууме (остаточное давление 4...6,5 кПа) при атмосферном или повышенном давлении.

Наиболее дешевыми являются полимерные корпуса, получаемые путем **опрессовки** микросхемы компаундом. Полимерные корпуса используют в основном для толстопленочных гибридных и полупроводниковых интегральных микросхем, работающих в нормальных условиях (промышленная и бытовая аппаратура).

Опрессовку микросхем осуществляют методом литья под давлением во временные формы компаундов горячего отверждения. Ввиду давления и высокой температуры требуется предварительная защита собранного узла (особенно проволочных перемычек) с помощью компаундов холодного отверждения.



Герметизация способом капсулирования: а - изделие со штыревыми выводами; б - односторонний пенальный корпус; в - двусторонний: 1 – капсула; 2 – подложка; 3 – герметизирующий компаунд; 4 – вывод; 5 – прокладка

Герметичность металлополимерного корпуса в целом во многом определяется герметичностью выводов в плате.

Качественная металлизация площадки платы около выводов и хорошее лужение обеспечивают герметичность корпусов.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГЕРМЕТИЗАЦИИ

Методы выходного контроля разделяются на две группы: **неразрушающие** и **разрушающие**.

К группе **неразрушающих** методов относятся: контроль внешнего вида на отсутствие пор, трещин, сколов, газовых включений, определение геометрических параметров и физико-механических характеристик (внутренних напряжений, влагопроницаемости, теплопроводности и др.), проверка функционирования и герметичности.

При **разрушающем** контроле изделие после испытаний вскрывают и проверяют наличие обрывов и коротких замыканий токопроводящих элементов, следов коррозии, возможные каналы потери герметичности.

Для оценки герметичности разработан ряд методов (жидкостной, масс-спектрометрический, галогенный, радиоактивный, электронного захвата и др.), каждый из которых характеризуется своей чувствительностью. Выбор метода контроля определяется требованиями к степени герметичности, направлением и величиной газовой нагрузки на оболочку, пробными веществами, допустимыми к применению, и экономичностью. Процедура испытания строится на последовательной отбраковке изделий с большими течениями и переходе на контроль малых течей.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГЕРМЕТИЗАЦИИ

Наиболее точным является **радиоактивный метод** (чувствительность $10^{-8} \dots 5 \cdot 10^{-9}$ мкм рт.ст. -л/с). Образцы, подлежащие испытанию, герметизируются в атмосфере сжатого радиоактивного газа (например, Kг^{85}). При испытании с помощью счетчиков регистрируется интенсивность гамма-излучения газа, вытекающего из корпуса. Вследствие сложности и высокой стоимости этот метод используется только в экспериментальном производстве (отработка конструкции корпуса или технологии герметизации).

Масс-спектрометрический метод основан на обнаружении гелиевым течеискателем гелия, предварительно введенного в корпус прибора. Применение гелия обусловлено его высокой проникающей способностью (малые размеры молекул). Чувствительность метода определяется чувствительностью течеискателя. Высокая проникающая способность гелия затрудняет обнаружение больших течей, так как к моменту испытания гелий может полностью вытечь из корпуса. Поэтому для образцов, подлежащих испытанию, целесообразно вводить гелий после герметизации, но непосредственно перед испытанием. Масс-спектрометрический метод целесообразен только для выборочного контроля.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГЕРМЕТИЗАЦИИ

При проверке герметичности **вакуум-жидкостным методом** микросхемы помещают в емкость с керосином или уайт-спиритом, над которым создается разрежение (10...15 мм рт. ст.). Вытекающий из корпуса газ (непрерывная струйка пузырьков) позволяет определить не только интенсивность, но и место расположения течи. Чувствительность метода $5 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст. Он является весьма распространенным в производстве для выборочного метода контроля.

Компрессионно-термический метод отличается от предыдущего тем, что испытуемые микросхемы погружают в нагретое масло. При этом давление газа внутри корпуса повышается и чувствительность метода несколько увеличивается ($4 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.).

Разработаны и выпускаются стекла двух типов: некристаллизующиеся (vitreous glasses) и кристаллизующиеся (crystallising glasses). Некристаллизующееся монолитное, обычно прозрачное стекло при нагревании и охлаждении сохраняет стеклообразное состояние. Кристаллизующееся стекло при нагревании в области температур кристаллизации превращается в стеклокерамику в результате образования кристаллической фазы. Эти стекла имеют более высокие механическую прочность и допустимую температуру нагрева.

Кроме того, разработаны различные композиции стекол разного состава и стекла с керамическим наполнителем.

Выпускаются следующие изделия из стекла:

1. Горячетянутые трубки, капилляры и штабики (стержни) из стекла различных марок. Трубки и капилляры изготавливают с точностью наружного и внутреннего диаметров $\pm 0,05$ мм.

2. Порошки из стекла различных марок. Порошки получают сухим или мокрым (в воде или в спирте) помолом в шаровых мельницах. После помола стекло просеивают через сита со стандартными размерами ячеек. Для порошков основным параметром является распределение частиц по размерам — PSD (particle size distribution). PSD характеризуется величиной максимально допустимого (D99) и среднего (D50) размеров частиц.



Чем мельче порошок, тем сложнее его изготавливать и тем дороже он стоит. Для кристаллизующихся стекол размеры частиц порошка особенно сильно влияют на КЛТР, вязкостные свойства и прочность стекла.

3. Прессованные и спеченные стеклотаблетки и таблетки из монолитного стекла (glass preforms).

4. Стеклянные диски.

5. Пасты на основе стеклянного порошка.

6. Структурированные стеклянные подложки.

7. Прессованный гранулят.



Область применения

1. Основное назначение стекла в электронике — получение герметичных спаев с металлами и керамикой. Такие спаи применяют при изготовлении транзисторов, диодов, тиристоров, корпусов интегральных схем, низкочастотных и высокочастотных вводов, коаксиально-микроразъемных переходов и др. Для этой цели используют предварительно изготовленные стеклотаблетки из монолитного или прессованного и спеченного стекла.

2. Стеклоприпои различных размеров и формы применяют для герметизации откачиваемых электронных приборов, для герметичной установки зеркал лазеров, панелей дисплеев и др. 3. Специальные стеклянные порошки используют в составе серебряных и алюминиевых паст для солнечных батарей.

4. Порошки стекол с низкими диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь применяют при создании многослойной низкотемпературной керамики LTCC (low temperature co-fired ceramic).

5. Порошковое стекло входит в состав различных паст для толсто пленочной металлизации диэлектриков.

6. Пассивирующие стекла с низким содержанием щелочей и железа применяют в производстве высоковольтных транзисторов, диодов, тиристоров, термисторов для механической и химической защиты поверхностей полупроводниковых структур.

7. Стеклянные подложки и окна выводов энергии применяют в изделиях микроэлектроники.



БСС, ФСС

ОСТ11027.003-73 - все стекла подразделяют на семь классификационных групп в зависимости от диапазона значений КЛТР — как показано в таблице.

Группа стекол	Диапазон значений КЛТР·10⁷, 1/°С
Кварцевая	0...10
Промежуточная	10...30
Вольфрамовая	30...45
Молибденовая	45...60
Титановая	60...80
Платиновая	80...100

- Боросиликатные стекла.** Стеклообразующими окислами этих стекол являются B_2O_3 (более 8 %) и SiO_2 . В свою очередь, боросиликатные стекла делятся на 3 подгруппы:
- Боросиликатные стекла без щелочно-земельных металлов. В состав этих стекол входят 12...13% B_2O_3 и более 80% SiO_2 . Стекла отличаются высокой химической стойкостью и низким КТЛР ($33 \cdot 10^{-7} 1/^\circ C$).
 - Щелочно-земельные боросиликатные стекла. В дополнение к 75% SiO_2 и 8...12% B_2O_3 они содержат до 5% окислов щелочно-земельных металлов и Al_2O_3 . КТЛР стекол ($40...50$) $\cdot 10^{-7} 1/^\circ C$.
 - Высокоборатные стекла. Состав этих стекол: 65...70% SiO_2 , 15...25% B_2O_3 и небольшое количество щелочей и Al_2O_3 . Из-за высокого содержания B_2O_3 химическая стойкость этих стекол понижена.

Стеклоприпой применяют для соединения стекла с металлами, керамикой и другими стеклами без расплавления соединяемых материалов. Пайка происходит при вязкости стеклоприпоя 10^4 — 10^5 пуаз.

Для пассивации полупроводниковых структур применяют стекла с содержанием свинца и бессвинцовые стекла. Содержащие свинец (от 5 до 30 вес.%) стекла являются композициями типов Pb-B-Zn и Pb-B-Si. Их КЛТР $(36...66) \cdot 10^{-7}$ 1/°C, температура пайки $(520...760)^\circ\text{C}$, толщина пассивирующего слоя стекла $(5...30)$ мкм.

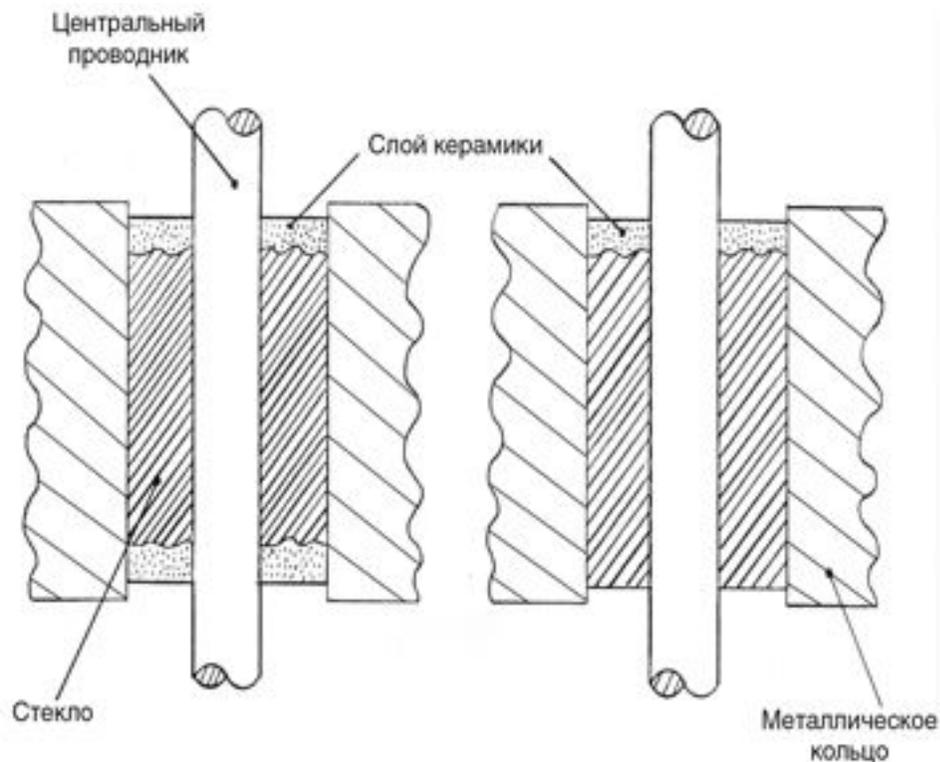
Бессвинцовые стекла синтезированы в системах Zn-B-Si, Bi-Zn-Si. КЛТР этих стекол $(37...94) \cdot 10^{-7}$, 1/°C, температура пайки $(396...576)^\circ\text{C}$.

Тонкие слои трехкомпонентного борофосфоросиликатного стекла, получаемые методами химического осаждения из газовой фазы, используются в качестве планаризирующего изолирующего геттерирующего материала между затворами МДП-транзисторов и первым уровнем алюминиевой металлизации интегральных микросхем.



Горячепрессованные и полированные заготовки из боросиликатного стекла используют для изготовления окон выводов энергии, выпуклых и вогнутых линз.

Оригинальной разработкой (патент США 4716082 от 29 декабря 1987 года) является стекло, покрытое защитным слоем керамики — MAG I,III (Military Armor Glass или Duplex Glass). Оно применяется в стеклотаблетках для согласованных и сжатых спаев в герметичных выводах энергии. Защитный слой керамики может быть на одном или обоих торцах таблетки.



Вывод энергии, герметизированный стеклом MAG, с двухсторонним и односторонним слоем керамики

Термическое окисление

В процессе изготовления интегральной схемы отдельные участки поверхности полупроводниковой пластины легируются донорными или акцепторными примесями (бором, фосфором, мышьяком и т.д.), причем концентрация примесей вблизи поверхности может изменяться в чрезвычайно широких пределах - от 10^{15} до $5 \cdot 10^{20}$ см^{-3} . Физические процессы, происходящие в ходе окисления на границе раздела оксид - кремний и в объеме оксидной пленки, будут зависеть от содержания примеси в исходном материале. Экспериментально установлено, что скорость окисления сильнолегированных областей ($N \gg 10^{19}$ см^{-3}) выше, чем низколегированных. Это может быть обусловлено либо изменением скорости реакции окисления на границе раздела $\text{Si} - \text{SiO}_2$, либо изменением коэффициента диффузии окислителя в слое оксида. Действительно, высокая концентрация примеси в кремнии у поверхности раздела $\text{Si} - \text{SiO}_2$ может модифицировать его решетку и тем самым ослабить прочность связей $\text{Si} - \text{Si}$. В результате скорость окисления на реакционной поверхности увеличивается и характеризуется большей константой линейного роста.