МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Московский государственный институт электроники и математики
(Технический университет)

Кафедра технологических систем электроники

ФОРМИРОВАНИЕ СПАЯ СТЕКЛА С МЕТАЛЛОМ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Технология материалов и изделий электронной техники»

Москва 2006

Составитель канд.техн.наук. Б.А. Лапшинов

УДК 621.52

Формирование спая стекла с металлом: Метод. указания к лабораторной работе по дисциплине «Технология материалов и изделий электронной техники» / Моск. гос. ин-т электроники и математики; Сост. Б.А. Лапшинов. М., 2006. – 28с.

Содержанием работы является изучение технологических процессов создания металло-стеклянных спаев при изготовлении различных изделий электронной техники.

Для студентов III курса ФЭ.

Ил. 8. Библиогр.: 2 назв.

ISBN 5-94506-133-6

1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение технологического процесса получения спая стекла с металлом и определение влияния отжига на качество полученного спая.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основой подавляющего большинства электровакуумных приборов является стеклянная колба (рис. 1), позволяющая изолировать внутреннюю среду прибора от атмосферы и создать условия, наиболее благоприятные для его функционирования. Казалось бы, учитывая грандиозные успехи химии в создании синтетических материалов, давно нужно было бы создать заменитель стекла – менее хрупкий, может быть, легко гнущийся. Но реальной замены стеклу как электровакуумному материалу пока нет. Это обусловлено наличием у стекла целого ряда важных свойств:
а) прозрачность для всего спектра видимого излучения, а также и для излучений ближнего ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов;
б) высокое качество его как вакуумного материала – низкая газопроницаемость, невысокая сорбционная способность, к тому же сопровождающаяся возможностью десорбции путем прогрева в вакууме, химическая стойкость, в том числе к воздействию низкотемпературной плазмы газового разряда;
в) высокое электрическое сопротивление;
г) достаточно высокая механическая прочность, и в то же время умеренная хрупкость;
д) легкость обработки в пламени специальной горелки для придания ему необходимой формы, спаивания, резки и т.п.

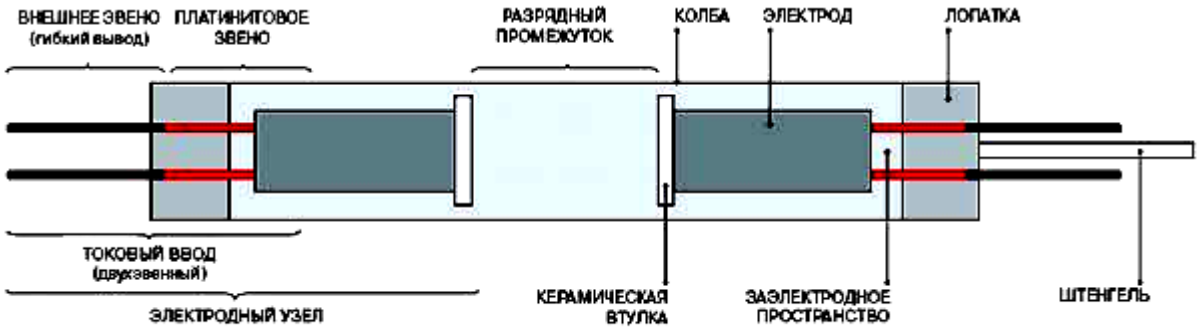


Рис. 1. Конструкция газоразрядной лампы

Классическое определение стекла, приводимое в большинстве справочников, исчерпывающе характеризует его основные свойства, отличающие стекло от других материалов. Стеклом называются все

аморфные тела, получаемые путем переохлаждения расплава, независимо от их химического состава и температурной области затвердевания, и обладающие (в результате постепенного увеличения вязкости) механическими свойствами твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым.

Выделим из сказанного главное: во-первых, стекло аморфно, т.е. сочетает в себе свойства жидкости и твердого тела, и, во-вторых, стекло легко может переходить из своей аморфно твердой в жидкую фазу – что и наблюдается при его нагревании. Обратим на это особое внимание: при нагревании стекло не плавится, а постепенно размягчается, а при остывании – вновь затвердевает. В этом отличие аморфного тела от кристаллических структур, свойственных, например, металлам.

С химической точки зрения стекло – сплав, состоящий из силикатов металлов (в основном щелочных и щелочноземельных – натрия Na_2O, калия K_2O, кальция CaO, магния MgO) и кремнезема SiO_2 (содержание последнего в стекле колеблется от 60 до 80%), а также ряда других оксидов – бора B_3O_3, фосфора P_2O_5, свинца PbO и бария BaO. Каждый из этих компонентов придает стеклу вполне определенные свойства, поэтому содержание их в стеклах разных марок различно.

Важнейшим свойством стекла является его способность постепенно и непрерывно изменять вязкость в определенном интервале температур. Именно это свойство и лежит в основе метода газопламенной обработки стекла, используемого при стеклодувных работах.

По химическому составу (рис.2) стекла подразделяют на:
а) боросиликатные – в их составе содержание оксида бора B_2O_3 меньше содержания диоксида кремния SiO_2. Отличаются высокой механической прочностью, термо- и химической стойкостью. Применяются для изготовления оптических и термостойких изделий, химической посуды, электровакуумных приборов. Важнейшим представителем этой группы является стекло пирекс (Pirex, торговая марка фирмы Corning Glass, США; другие аналогичные марки – Simax (Чехия), Duran-50 (Великобритания));
б) фосфатные – применяются для изготовления технических и оптических стеклоизделий, стеклоэмалей, специальных электровакуумных приборов. Характеризуются высоким содержанием оксида фосфора P_2O_5;
в) силикатные – большинство промышленных стекол, основой которых служит кремнезем SiO_2. Это листовые, архитектурные, тарные, сортовые стекла. В свою очередь, среди силикатных выделяют свинцовые (свинцово-калиевые) стекла, отличающиеся высоким содержанием оксида свинца (максимальным содержанием P_2O_5 – порядка 24% – характеризуется хрусталь), содовые (натриевые), натроизвестковые стекла, известково-калиевые, известково-натриево-калиевые.

Рис.2. Разделение стекол по химическому составу

Основные свойства стекол

Не ограничиваясь общей характеристикой стекол, рассмотрим их важнейшие свойства.

Стекло отличается малой прочностью при растяжении и достаточно большой прочностью при сжатии. Его механическая прочность повышается при увеличении содержания оксида кремния (кремнезема), оксидов кальция, бария и бора и уменьшается при увеличении содержания оксидов свинца, натрия и калия. Но в значительно большей степени прочность стеклоизделия зависит от его размеров, формы, состояния поверхности и режима термической обработки. Кроме того, стекло плохо переносит динамические нагрузки, т.е. оно хрупко.

Термические свойства стекла определяют:

* **термическое расширение при нагреве**, которое способствует возникновению механических напряжений в зонах стекла с различной температурой и в зонах спая стекла с другими стеклами и металлами при одинаковой их температуре из-за различия величины коэффициентов термического расширения КТР. У различных стекол КТР изменяется в пределах $6 \cdot 10^{-7}..9{,}8 \cdot 10^{-8}$ °С$^{-1}$.

ТКР показывает относительное приращение длины стеклянного образца при нагреве его на 1 °С:

$$\alpha = \Delta l / l \, \Delta T,$$

где l – первоначальная длина образца, мм; Δl – приращение длины образца при нагреве, мм; ΔT – приращение температуры, °С.

* **температуру трансформации** - это температурный переход из области с малыми коэффициентами термического расширения в область с большим КТР. У кристаллических материалов при температуре трансформации

меняется не только КТР, но и удельное сопротивление, показатель преломления и плотность. Практически стекло выше температуры трансформации не разрушается ни при механических ударах, ни при резком увеличении температуры. Температура трансформации для различных стекол меняется в пределах 300...1100 °С.

* **термостойкость** - это свойство противостоять разрушению при резком изменении температуры, она прямо пропорциональна механической прочности стекла и обратно пропорциональна модулю упругости и коэффициенту термического расширения. Это свойство характеризует допустимую скорость охлаждения и нагрева стеклоизделий; для массовых электроламповых стекол термостойкость находится в интервале от 120 до 280°С и определяется путем погружения нагретого образца стекла в воду. Более высокой термостойкостью обладают твердые стекла, а термостойкость кварца достаточна, чтобы раскаленное изделие охлаждать не на воздухе, а погружением в ванну с водой.

Кроме того, термостойкость зависит от размеров, формы и толщины стенок изделия и от дефектов в стекле. Термостойкость стекла в основном зависит от КТР:

КТР=$90\cdot10^{-7}$ °C^{-1} термостойкость 140 °С,

КТР=$6{,}0\cdot10^{-7}$ термостойкость 1200 °С

соответственно для стекол спаиваемых платинитом и кварцевого стекла.

* **зависимость вязкости от температуры**. Вязкость стекла при нагревании постепенно уменьшается, и при повышении температуры позволяет формовать стекло в изделие (1070...1300 °С). Очень важное практическое значение имеют еще два свойства стекол, характеризующих условия их термической обработки. Первое из них – температура размягчения, при которой стекло начинает деформироваться под действием собственного веса. Для платинитовых стекол это 500–560°С, для молибденовых – 585–665°С, для вольфрамовых – около 620°С, а для кварцевого стекла – около 1500°С. Второе важное свойство – скорость изменения вязкости стекла при изменении температуры. Это понятие имеет простой и наглядный смысл: одни стекла при нагревании быстро размягчаются и долго сохраняют пластичность, другие же размягчаются лишь после продолжительного нагревания и весьма быстро вновь затвердевают.

Так как при формовании стекло неравномерно охлаждается, то в нем возникают остаточные напряжения. Остаточные напряжения можно за короткое время устранить путем нагрева стекла до температуры отжига.

Электрические свойства стекол. Стекло в электронике используется для создания электрических вакуумных вводов, через которые может протекать постоянный, переменный и высокочастотный ток, а напряжение между близко расположенными вводами может достигать десятков киловольт. Важнейшими электрическими свойствами стекол являются:

* удельное объемное и поверхностное электросопротивление стекол - с увеличением температуры уменьшается.
* угол диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость стекол. Угол диэлектрических потерь tgδ существенно меняется с частотой тока: сначала он уменьшается при увеличении частоты до 10^6, а затем увеличивается. Поэтому стекла характеризуются обычно tgδ при частоте10^6 (у свинцового стекла tgδ = $1.7x10^{-3}$, у барийлитиевого стекла tgδ =$2.1x10^{-5}$). Диэлектрическая проницаемость, особенно при высоких температурах, изменяется у стекол незначительно. Для стеклянных изоляторов, рассчитанных на токи высокой частоты, используют стекла с низким углом диэлектрических потерь tgδ<$50x10^{-4}$.

Вакуумные свойства стекла определяются его газопоглощением (и, соответственно, газоотдачей) и газопроницаемостью. В стекле содержится достаточно большое количество газов и паров воды, причем особенно богата ими его поверхность. Свинцовые и боросиликатные стекла поглощают газы в меньшей степени. К существенному насыщению стекла парами воды и газами приводит хранение его во влажной среде.

Для обезгаживания стекла его нагревают. Нагретое стекло выделяет значительную часть сорбированных им на поверхности газов, основную долю которых составляют пары воды и меньшую – углекислый газ CO_2, кислород O_2, азот N_2 и оксид углерода CO. У стекла наблюдаются два максимума газовыделения: при температуре около 150°С (для мягких стекол) происходит максимальное выделение газов, накопленных на поверхности стекла. По мере истощения запаса этих газов газовыделение уменьшается. Однако при температуре около 350°С (для мягких стекол) наблюдается второй максимум газовыделения – это газы, растворенные в объеме стекла, а также выделяющиеся в результате начавшегося разложения его химических соединений.

Наибольшую скорость диффузии через стекло имеет гелий, затем водород. Скорость диффузии значительно возрастает с повышением температуры и уменьшается с увеличением толщины стенки стекла.

Применяемые в промышленности электровакуумные стекла подразделяются по общепринятой классификации на ряд групп, основными из которых являются тугоплавкие стекла (С38-1, ИС4-1, С48-1, С49-2) и легкоплавкие стекла (С87-1, С90-1, С89-5). Легкоплавкие стекла характеризуются коэффициентом термического расширения, лежащим выше $6 \cdot 10^{-6}$ °С.

Тугоплавкие стекла, в основном боросиликатного и алюмосиликатного состава, характеризуются малым коэффициентом термического расширения, не превышающим обычно 5,5 • 10^{-6} °С, и подразделяются в свою очередь на молибденовые (С49-2, С50-1) и вольфрамовые (С38-1, С39-1).

Алюмосиликатные стекла, например С48-3, имеют температуру размягчения на 200 - 300 °С выше, чем стекло боросиликатной группы С49-2, и позволяют поднять температуру нагрева вакуумных приборов до 700° С. Они относятся к молибденовой группе.

Тугоплавкие стекла широко применяются в производстве электровакуумных приборов и генераторных ламп, а также в производстве полупроводниковых приборов. Легкоплавкие стекла нашли широкое применение в производстве приемно-усилительных ламп, электронно-лучевых трубок и некоторых других приборов.

Основы теории спаев металла со стеклом

Существует несколько теорий, по-разному объясняющих природу соединения стекла с металлом.

Широкое распространение получила гипотеза, согласно которой связь между металлом и стеклом осуществляется за счет растворения окисной пленки металла в соединяемых материалах и образования переходной зоны с плавным изменением концентрации растворенной окиси. Образование спая, таким образом, происходит в результате физико-химических процессов, приводящих к возникновению переходного слоя.

По другой - гипотезе механической связи, связь стекла с металлом осуществляется за счет простого механического зацепления в поверхностных неровностях и действия поверхностных сил. Согласно этой гипотезе расплавленное стекло удерживается в спае поверхностью металла благодаря охвату выступов и заполнению впадин и микронеровностей.

Назначение окисной пленки состоит в придании поверхности металла желательной шероховатости.

Однако наиболее полно основной механизм спаев - адгезию жидкости к твердому металлу, объясняет электронная теория. Адгезия внешне проявляется в смачивании металла жидкостью. Смачивание - это проявление межмолекулярного воздействия жидкости и твердого тела, поэтому смачивание поддается управлению при помощи адсорбирующих добавок. Для силикатных расплавов этими добавками являются окислы кобальта, никеля, молибдена и др. Во многих случаях адсорбирующим слоем может быть пленка карбида, нитрида, силиката и других основных металлов и наоборот эти пленки могут препятствовать смачиванию. Установлено, что наилучшим смачиванием расплавленное стекло на поверхности окисленного металла обладает при минимальном угле смачивания. Минимальный угол смачивания для всех стекол имеет место при отношении радиуса иона металла к радиусу иона кислорода, равном 0,65. Таким образом, при радиусе иона кислорода 1,4 Å окисел должен иметь ионный радиус 0,91 Å. Считают, что в зоне спая построена решетка из анионов кислорода и катионов двух различных видов: катиона кремния

в стекле и катиона металла в окисле. Силы взаимодействия между частицами решетки проявляются благодаря их сближению в результате тесного контакта стекла и металла при спаивании: анионы кислорода, связанные с катионами кремния, будут притягиваться катионами металла, равно как и анионы окисла металла, связанные с катионами металла, будут притягиваться катионами кремния.
Процесс спаивания металла со стеклом разделяют на два этапа:
1. предварительный, во время которого осуществляется сближение поверхностей спаиваемых материалов до молекулярных расстояний. Процессы в этой стадии управляются электростатическими силами;
2. конечный, во время которого образуются прочные связи, в основном - ковалентные.

Металлы, применяемые для пайки с электровакуумными стеклами, должны обладать следующими свойствами:

- иметь в интервале температур от -120° С до точки перехода стекла из хрупкого состояния в пластичное коэффициент термического расширения, равный или близкий коэффициенту термического расширения стекла. Разница в коэффициентах линейного расширения стекла и металла не должна быть больше $1 \cdot 10^{-6}$; при большей разности спаи становятся несогласованными и имеют большие внутренние напряжения, под действием которых они, в конечном счете, разрушаются.
- обладать пластичностью, обеспечивающей изготовление из них ленты, проволоки и деталей сложной конфигурации методом глубокой вытяжки, штамповки или выдавливанием; желательно, чтобы эти операции проводились без подогрева;
- при температурах пайки иметь на поверхности прочно сцепленную с основным металлом окисную пленку, хорошо растворимую в стекле;
- иметь температуру плавления не менее чем на 200° С выше температуры пайки со стеклом;
- удовлетворительно свариваться или спаиваться с другими металлами, используемыми в электровакуумном производстве.

Широко распространены спаи со стеклом следующих металлов и сплавов: вольфрама, молибдена, титана, циркония, платинита; сплавов железа, никеля, кобальта, хрома; аустенитных нержавеющих сталей, ковара.

В электровакуумном производстве для соединения со стеклом марки С49-2 (ЗС-5К) применяется в основном ковар 29НК, а со стеклом С39-1 (ЗС-9)—ковар марки Н3ОК13Д.

Наиболее распространенными дефектами спаев стекла с коваром являются газовые пузыри, наличие которых может приводить к медленному натеканию приборов. Газовые пузыри образуются в основном из-за следующих причин: плохое обезгаживание ковара перед пайкой; повышенное содержание углерода в коваре перед пайкой; плохое

обезжиривание поверхности ковара перед межоперационными отжигами в процессе его вытяжки.

Внутренние напряжения в стекле

Под влиянием механических или тепловых воздействий в стекле создаются внутренние напряжения. Они подразделяются на временные (переходные) и постоянные (остаточные). Причиной и тех, и других является низкая теплопроводность стекла.

При нагревании стеклянного изделия температура наружных его слоев растет значительно быстрее, чем внутренних. Так как стекло еще не размягчилось и продолжает сохранять твердое состояние, наружные слои, стремясь под воздействием нагрева расшириться, сделать это не могут. Внутренние силы, стремящиеся расширить стеклянное изделие, порождают в его наружных слоях напряжения сжатия. Внутренние же слои в это время испытывают под действием наружных напряжений напряжение растяжения. При выравнивании температур между всеми точками изделия напряжения исчезают – это и есть временные напряжения. Именно из-за них лопается тонкостенный стеклянный стакан, в который налили кипяток – в нем величина напряжений превышает предел механической прочности стекла.

При быстром охлаждении стеклянного изделия, нагретого до точки размягчения стекла или выше, возникает второй, более опасный вид напряжений – постоянные. Причина, порождающая их, та же, однако при выравнивании температуры изделия они не исчезают. В стеклах с высоким ТКР величина остаточных напряжений выше, поскольку сжатие их при охлаждении сильнее.

Другими причинами возникновения значительных остаточных напряжений могут быть: большое различие ТКР спаиваемых материалов, неудачная конструкция стеклоизделия (резкие переходы тонких стенок в толстые, что встречается при сгибании трубок) и т.п.

Остаточные напряжения опасны тем, что без всяких предварительных проявлений изделие, в котором они присутствуют, может самопроизвольно разрушиться при нагреве или при незначительном механическом воздействии – по этой причине иногда взрываются отключенные лампы накаливания и лопаются пустые стеклянные бутылки. Поэтому после выполнения термических работ обязательной является процедура снятия остаточных напряжений. Полностью устранить их невозможно, поэтому задача сводится к снижению их до приемлемой безопасной величины.

Для этого выполняется отжиг, сущность которого в нагревании стекла до температуры, при которой оно еще не размягчается, но частицы его уже обретают достаточную подвижность для снятия остаточных

напряжений. Диапазон температур, при которых производится отжиг, носит название зоны отжига.

Для определения термических напряжений в стекле используется специальный прибор – полярископ, позволяющий рассматривать стеклоизделие в поляризованном свете. Поскольку слои с разной величиной остаточных напряжений по-разному меняют угол поляризации света, то под стеклом анализатора полярископа можно наблюдать красивую картину, наглядно отображающую распределение напряжений.

Конструкции спаев

В зависимости от соотношения температурных коэффициентов расширения стекла и металла спаи могут быть согласованными и несогласованными.

Согласованные спаи характеризуются различием ТКР стекла и металла не более чем на $10 \cdot 10^{-7}$ °C^{-1} (во всем интервале температур, до которых могут нагреваться или охлаждаться спаи в процессе изготовления или эксплуатации прибора).

Следует отметить, что чем больше размер металлической детали, тем меньше должна быть разность между ТКР металла и стекла. Это связано с тем, что электролиз стекла спаев, изменение его плотности при облучении и другие процессы, имеющие место при работе приборов, могут привести к изменению ТКР стекла и нарушению согласования ТКР стекла и металла и вызвать растрескивание спая.

В электровакуумных приборах применяют различные конструкции спаев стекла с металлом.

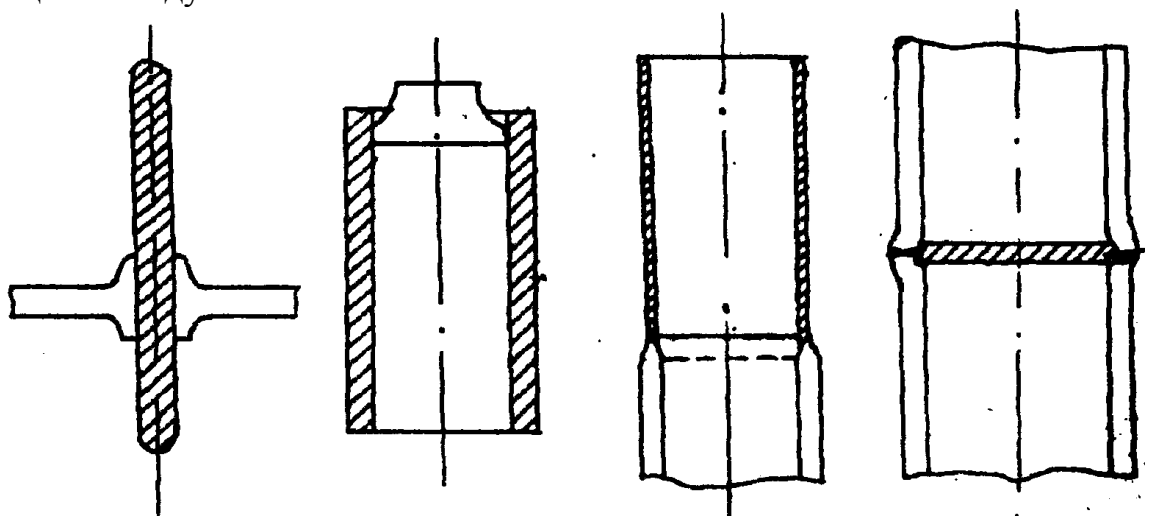
Бусинковые (стержневые) спаи (рис.3, а). В бусинковых спаях металл применяется в виде стержня, проволоки или плющенки и обеспечивает электрический контакт с электродами прибора и с элементами электрической схемы, а также является держателем для крепления внутренней арматуры.

Окошечные (внутренние) спаи (рис. 3, б). В этих спаях металл окружает стекло в виде наружного кольца или пластинки с отверстием. Таким образом, стекло является либо смотровым окном, либо выходом электромагнитных волн, либо изолятором, в который вваривается один или несколько вводов. В последнем случае спай называется комбинированным .

Трубчатые (рантовые) спаи (рис.3, в). В этих спаях металлическая трубка припаивается к стеклянной трубке в торец. В трубчатых спаях стекло может охватывать металл трубки или с обеих сторон, или только с внутренней или только с внешней стороны.

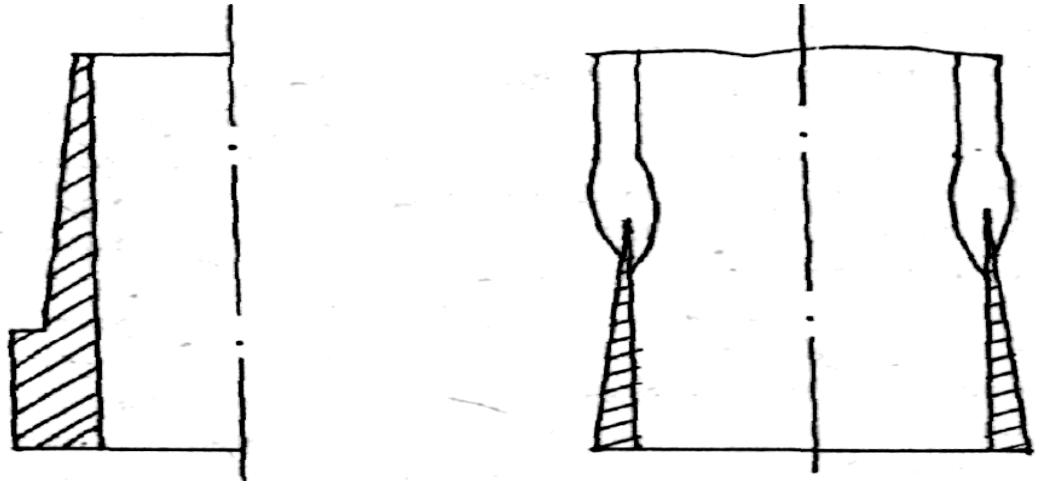
Дисковые спаи (рис.3, г). Эти спаи обычно представляют собой металлическую перегородку в стеклянной трубке или соединение торца

стеклянной трубки с плоскостью металлического кольца или диска. В трубчатых и дисковых спаях стекло обеспечивает механическое соединение металлических деталей и вместе с тем электрическую изоляцию между ними.



а) б) в) г)

Рис.3 Конструкции согласованных спаев:
а - бусинковый; б - окошечный; в - трубчатый; г - дисковый



а) б)

Рис.4 Лезвенный спай: а - форма лезвия; б - двусторонний спай

Несогласованные спаи характеризуются большой разностью ТКР стекла и металла. К несогласованным спаям относятся, например, спаи меди (ТКР $165 \cdot 10^{-7}$ °C^{-1}) со стеклами, имеющими ТКР $40 \cdot 10^{-7}$ °C^{-1}.

Для предотвращения разрушения несогласованных спаев в качестве металлических деталей для спаев применяют:

1) тонкие проволоки, тонкостенные трубки, металлическую фольгу, так как с уменьшением размера металла снижается возникающее

напряжение в спае;

2) мягкие пластичные металлы (например, медь), способные деформироваться при напряжениях, меньших предела прочности стекла: деформация металла в спае компенсирует наличие напряжений в стекле;

3) металлические детали с утоненными краями; в этом случае спаиваемая металлическая деталь приобретает форму лезвия, а спай называется лезвенным (рис.4, а). Усилие, которое необходимо для пластической деформации тонкого лезвия, обычно значительно меньше прочности стекла на растяжение. К недостаткам лезвенного спая относятся малая механическая прочность и низкая термостойкость тонкостенного лезвия (особенно при длительных циклических нагрузках), а также вероятнсть межкри-сталлитной коррозии, приводящей к потере герметичности спая.

В двусторонних лезвенных спаях (рис.4, б) металл с внешней стороны должен быть меньше покрыт стеклом, чем с внутренней. В противном случае произойдет отрыв металла от стекла, так как граница стекло - металл находится под напряжением растяжения. Удлиненная внутренняя часть стеклянной оболочки, которая напряжена на сжатие, препятствует отрыву металла от стекла. Этому же способствует несимметричная впайка лезвия (металл обычно впаивают ближе к наружной поверхности стекла).

Технология получения спаев состоит из следующих этапов.

1.Подготовка металлических деталей перед спаиванием. Этот процесс сводится к очистке поверхности детали промывкой, травлением и последующим окислением до окисла низшей валентности. Это обеспечивает чистоту поверхности металла и улучшает смачиваемость металла стеклом. Для повышения надежности и герметичности спая иногда металлические детали в месте будущего спая предварительно остекловываются (эмалируются). В этом случае поверхность металлической детали покрывается суспензией порошкообразного стекла, которая потом сплавляется с металлом в электропечи.

2.Спаивание металла со стеклом. На этом этапе образуется прочное сцепление металла со стеклом, т.е. собственно спай. Для его осуществления стекло и металлическая деталь разогреваются до температуры, при которой обеспечивается хорошее растворение окислов металла в стекле. Эта температура обычно на 100-200 °С превышает температуру размягчения стекла.

В качестве источника нагрева чаше всего применяется пламя газовой горелки. Однако этот способ нагрева имеет ряд недостатков, которые связаны с трудностью создания стабильного режима и влиянием продуктов сгорания газа на качество спая. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получил электрический, в частности, индукционный

нагрев.

3.Отжиг спаев. Отжиг заключается в медленном принудительном охлаждении спая с определенной скоростью. Этот процесс аналогичен отжигу любых стеклянных деталей после их огневой обработки.

В данной работе изучается процесс получения дискового согласованного спая методом индукционного нагрева. Такой спай широко применяется в фотоэлектронных умножителях, колбы которых изготавливаются из стекла С91-2. обладающего следующими основными параметрами: ТКР стекла -91·10^{-7} °C^{-1}, температура размягчения - 57 0±10 °С.

В это стекло впаивается металлический диск из сплава фуродит (Х28), состоящего из железа, никеля и хрома: никеля – не более 0,6%., хрома - не более 30% и углерода - не более 0,15%. ТКР этого сплава в интервале температур 20-300 С лежит в пределах 102·10^{-7} °C^{-1}, что достаточно близко к ТКР стекла. Перед впаиванием в стекло вводы из сплава фуродит после тщательной очистки подвергаются отжигу во влажном водороде при температуре 750 ± 25 °С в течение 20 минут для получения прочной и равномерной окисной пленки на поверхности детали (эта операция в данной лабораторной работе не предусмотрена). В лабораторной работе используется следующее оборудование :

1 - стол спая стекла с металлом:
2 - вспомогательный генератор:
3 - милливольтметр:
4 - печь отжига:
5 - полярископ:
6 - термопара.

Стол_спая_стекла_с металлом

Стол представляет собой универсальную конструкцию (рис.5), предназначенную для пайки стекла с металлом. На данном столе производятся следующие операции:

а) зажим и взаимное центрирование свариваемых деталей и индукционной катушки;

б) нагрев спаиваемых деталей токами высокой частоты;

в) сближение спаиваемых деталей.

Конструкция стола допускает взаимное перемещение спаиваемых деталей и индуктора в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Генератор

Генератор предназначен для прогрева арматуры и деталей электровакуумных приборов в производственных условиях.

Милливольтметр

Милливольтметр с двухпозиционным регулирующим устройством типа МР-64-02. Этот милливольтметр предназначен для измерения и двухпозиционного регулирования температуры.

Печь отжига

Лабораторная печь отжига мощностью 2,6 кВт с воздушным обдувом. Максимальная температура - 600°С.

Термопара

Термопара хромель-алюмель укреплена на задней стенке внутренней поверхности печи.

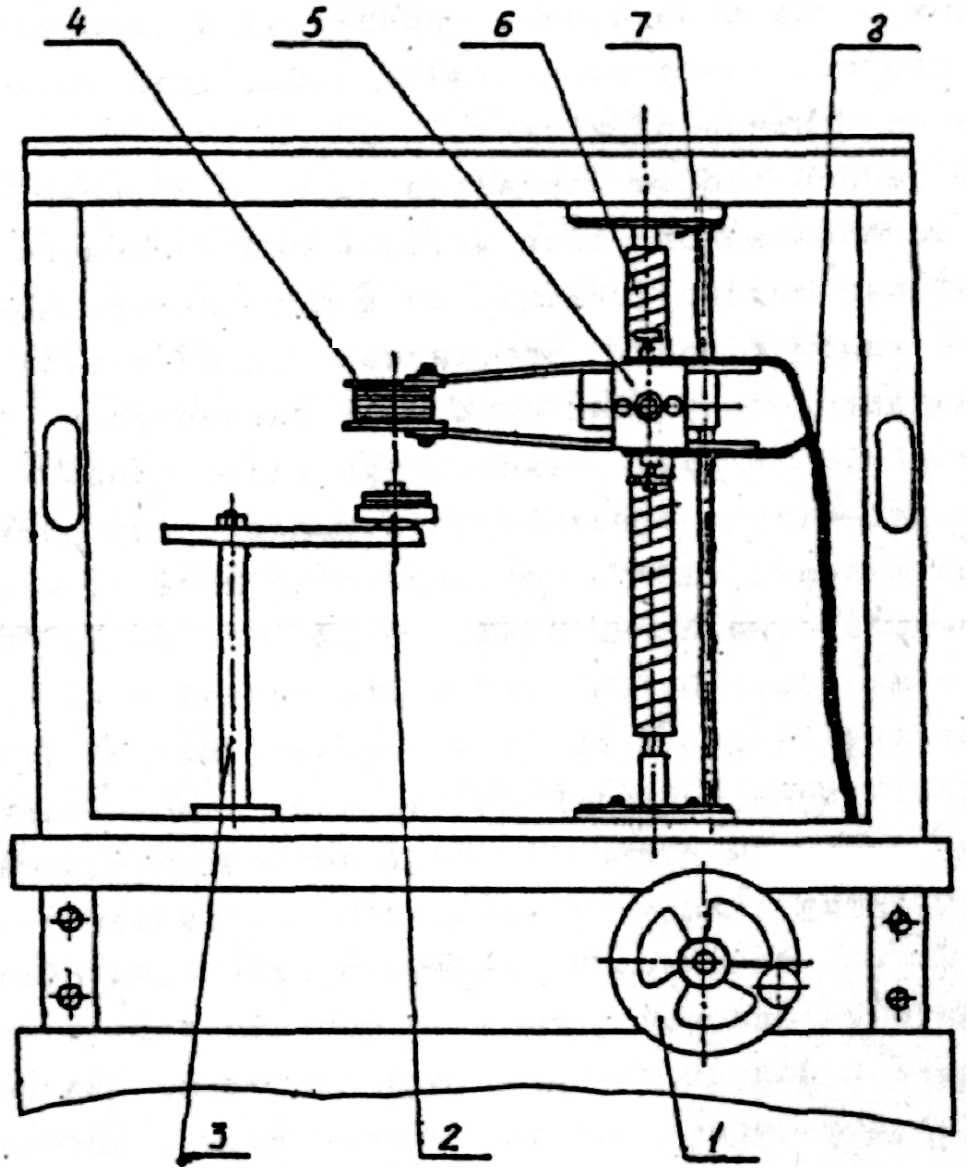


Рис.5. Стол спая стекла с металлом

1 – маховое колесо; 2 – столик для образцов; 3 – держатель столика; 4 – индуктор; 5 – крепление индуктора; 6 – ходовой винт; 7 –

направляющая; 8 - токоподводы

Полярископ

Поляризационные приборы основаны на явлении поляризации света и предназначены для получения поляризованного света и изучения тех или иных процессов, происходящих в поляризованных лучах.

Поляризационные приборы широко применяют в кристаллографии и петрографии для исследования свойств кристаллов; в оптической промышленности для определения напряжений в стекле; в машиностроении и приборостроении для изучения методом фотоупругости напряжений в деталях машин и сооружений; в медицине; в химической, пищевой, фармацевтической промышленности для определения концентрации растворов. Поляризационные приборы получили распространение также для изучения ряда явлений в электрическом и магнитном поле.

Рис. 6. “Мгновенный портрет” электромагнитной волны

Световые волны представляют собой поперечные электромагнитные волны. В такой волне вектор напряженности электрического поля *E* перпендикулярен вектору напряженности магнитного поля *H* и направлению распространения волны r (рис. 6). Плоскость, содержащую луч и электрический вектор, называют плоскостью колебаний, а плоскость, содержащую луч и магнитный вектор - плоскостью поляризации. Плоскополяризованный свет можно получить из естественного света с помощью приборов, называемых поляризаторами. Эти приборы свободно пропускают колебания, параллельные плоскости, которую называют плоскостью поляризатора, и полностью задерживают колебания, перпендикулярные к этой плоскости.

Поляризационные приборы служат для обнаружения и количественного определения степени поляризации частично поляризованного света. Простейшими из них являются полярископы — двулучепреломляющие пластинки, в которых используется интерференция света в сходящихся поляризованных лучах (хроматическая поляризация). Типичный полярископ - полярископ Савара, который состоит из двух

склеенных пластинок кристаллического кварца одинаковой толщины *d*, вырезанных так, что их оптические оси составляют с осью полярископа углы в 45° (пластинка Савара), и жестко связанного с ней анализатора, плоскость поляризации которого направлена под углом 45° к главным сечениям этой пластинки

Элементом большинства поляризационных приборов является схема, состоящая из последовательно расположенных на одной оси линейного поляризатора и анализатора. Если их плоскости поляризации взаимно перпендикулярны, схема не пропускает света (установка на гашение). Изменение угла между этими плоскостями приводит к изменению интенсивности проходящего через систему света по закону Малюса (пропорционально квадрату косинуса угла).

Полярископ ПКС-56 предназначен для определения разности хода, вызванной двойным лучепреломлением в прозрачных деталях и заготовках. Определенная разность хода характеризует остаточные внутренние напряжения в образце.

Полярископ применяется в массовом производстве для обработки деталей до 150х150х150 мм, а также стеклянных колб с максимальным объемом до 1 л.

Полярископ-поляриметр ПКС-56 (рис. 7) состоит из источника света 1 (лампа накаливания), матового стекла 2, поляризатора 3 (поляроид, вклеенный между стеклами), пластинки 5 в 1/4 волны, анализатора 6 (аналогичного поляризатору 3) и светофильтра 7 (на длину волны 0,54 мкм).

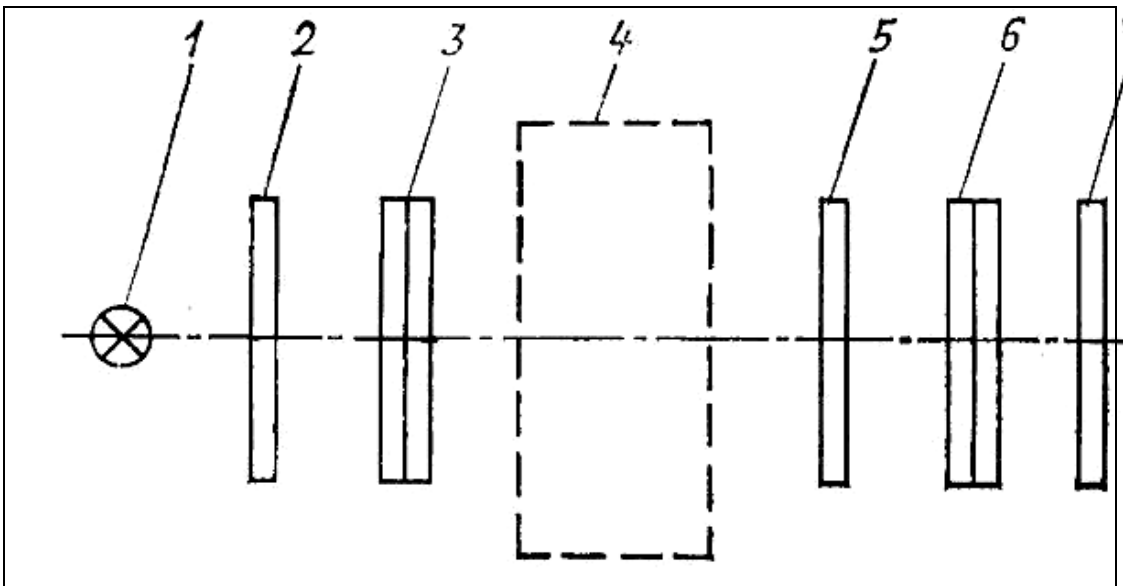


Рис. 7. Схема полярископа-поляриметра ПКС-56

Порядок измерения на приборе следующий: скрещивают поляризатор и анализатор (отсчет по лимбу анализатора 0°, поле зрения

темное); устанавливают образец 4 (если он обладает двойным лучепреломлением, то в поле зрения наблюдается просветление); поворачивают анализатор до максимального потемнения в середине образца; по лимбу отсчитывают угол поворота Δβ анализатора.

Зная Δβ , можно определить $n_0 - n_e$ из соотношения

$$n_o - n_e = \frac{\Delta\beta\lambda}{\pi l},$$

где *l* — толщина образца в направлении просмотра.

При *l* = 10 мм погрешность измерения $n_0 - n_e$ составляет $\pm 3 \cdot 10^{-7}$. С увеличением *l* погрешность уменьшается.

Конструктивная схема полярископа представлена на рис.8.

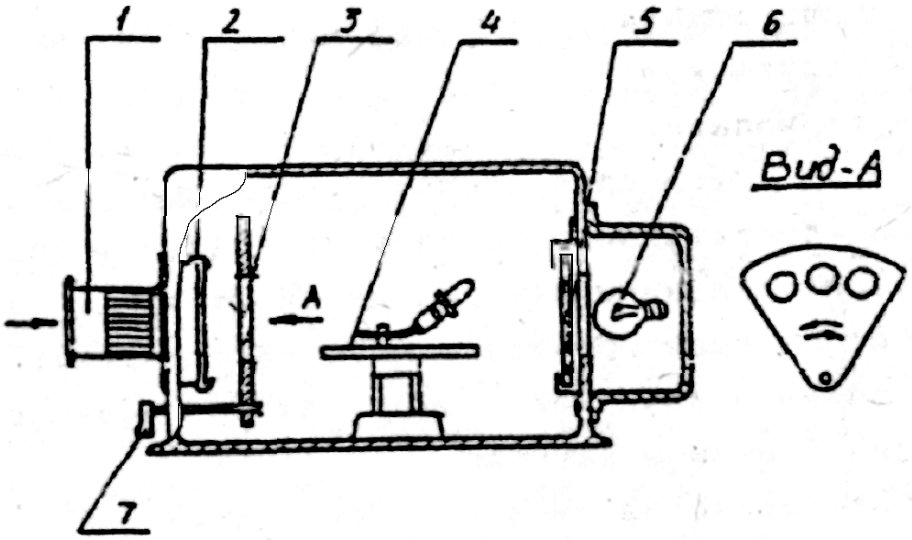


Рис. 8. Конструктивная схема полярископа:
1 – окуляр; 2 - анализатор; 3 - чувствительная пластина;
4 - установочный стол; 5 - полярископ; 6 - источник света;
7 - ручка для перемещения чувствительной пластины

Принцип действия прибора основан на свойстве стекла, имеющего внутренние напряжения, разлагать проходящий через него плоскополяризованный луч света на два поляризованных луча, колебания которых взаимно перпендикулярны и смещены по фазе.

Лучи от источника света, проходя матовое стекло и поляризатор, выходят плоскополяризованными. Плоскополяризованный пучок света, попадая на испытуемый прозрачный образец, имеющий внутренние напряжения, разлагается на два луча: обыкновенный и необыкновенный.

Известно, что на границе анизотропных прозрачных тел (в первую

очередь кристаллов) свет испытывает двойное лучепреломление, т.е. расщепляется на два взаимно перпендикулярно поляризованных луча, имеющих различные скорости распространения в среде - обыкновенный и необыкновенный. Первый из них поляризован перпендикулярно оптической оси кристалла и распространяется в нем как в изотропной среде. Второй луч поляризован в главной плоскости кристалла и испытывает на себе все "превратности анизотропии". Так, его коэффициент преломления изменяется с направлением, он преломляется даже при нормальном падении на кристалл.

Плоскости колебаний этих лучей взаимно перпендикулярны и сдвинуты по фазе на большую или меньшую величину, в зависимости от величины напряжения и длины хода луча в испытуемом образце.

Анализатор приводит колебания обыкновенного и необыкновенного лучей в одну плоскость, в результате чего происходит интерференция света.

Яркость и цвет интерференционной картины зависит от разности хода, получившейся в результате прохождения света через испытуемый образец. Следовательно, по интерференционной картине можно качественно судить о напряжениях в образце. Но рассмотренная схема прибора без чувствительной пластины имеет существенный недостаток, который заключается в том, что интерференционные цвета при такой схеме наблюдаются, начиная с разности хода, равной 300 мкм. При разности хода меньше 300 мкм имеет место только большее или меньшее просветление наблюдаемого поля, что не может служить достаточно точной характеристикой величины напряжения.

Поэтому в тех случаях, когда разность хода в исследуемых образцах невелика, между образцом и анализатором вводят чувствительную пластину, которая, так же как и напряженное тело, разлагает луч света на два взаимно перпендикулярных колебания и задает некоторую разность фаз.

В приборе имеется возможность ввести в ход лучей две пластины:

- чувствительную пластину, задающую разность хода в 1λ;
- компенсационную пластину, задающую разность хода в $1/4\ \lambda$ (называемую пластиной "четверть волны").

Чувствительность пластины в 1λ установлена так, что направление ее главных плоскостей составляет угол 45° с направлениями плоскостей поляризации поляризатора и анализатора. Интерференционная окраска поля зрения при этом приобретает пурпурно-фиолетовый цвет.

Если теперь ввести какое-либо двупреломляющее тело между поляризатором и чувствительной пластиной, то, поворачивая это испытуемое тело определенным образом относительно осей поляризации прибора, легко можно найти такое положение, при котором разность хода лучей в образце будет суммироваться или вычитаться с разностью хода луча в чувствительной пластине.

Разность хода лучей пропорциональна величине имеющихся напряжений и толщине стенки стеклянной детали. Это обстоятельство используется для количественной оценки напряжений в стекле при помощи условной единицы, выражающейся как

$$\Gamma = n / \delta \text{, нм/см,}$$

где n - разность хода лучей: δ - толщина стенки.

Величину n в нм на данном приборе при введенной чувствительной пластине в 1λ определяют по цвету интерференционной картины с

помощью таблицы.

Порядок испытания на полярископе

При работе на приборе с чувствительной пластиной в 1λ поворачивают испытуемый образец до получения максимальной яркости интерференционной картины. По наблюдаемой окраске находят разность хода в нм, пользуясь таблицей. Замеряют толщину стекла в см и по формуле $Г = n / \delta$, нм/см определяют величину напряжения в стекле.

Таблица интерференционных цветов в напряженном образце в зависимости от разности хода

Цвета	Разность хода, n мкм
1. Желто-зеленый	275
2. Зеленый	200
3. Голубовато-зеленый	145
4. Голубой	115
5. Пурпурно-фиолетовый	0
6. Красный	25
7. Оранжевый	120
8. Светло-желтый	200
9. Желтый	260
10.Белый	310

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Проверить положение переключателей на генераторе и включить пакетный переключатель.

2. Включить накал с помощью тумблера "Вкл", расположенного на передней панели, прогреть тиратрон (время предварительного прогрева тиратрона должно быть не менее 3-х мин.).

3. Включить высокое напряжение тумблером "Вкл. в.н."

4. Включить нагрев печи отжига и следить за повышением температуры по показанию милливольтметра (температура печи 500°С)

После выполнения пунктов 1,2,3,4 можно приступить к работе на столе спая, для чего:

1. Установить, сцентрировать детали на столе спая и закрыть дверку блокировки.

2. Производить изменение выходной мощности ручкой потенциометра "Рег.мощн. В.Ч.".

Контроль работы генератора осуществляется по показанию прибора

ИП1. Значение среднего тока через тиратрон не должно превышать 300 ма.

После этого приступаем к изготовлению спая:

1. Плавно опустить индуктор до уровня фуродитового кольца и следить за его разогревом и наплывом на кольцо расплавленного стекла (изделие можно считать спаянным, если стекло растеклось по кольцу на 1мм кругом).

2. Ручку потенциометра "Рег.мощн. В.Ч. " вывести в крайнее положение, вращая против часовой стрелки.

3. Выключить высокое напряжение тумблером "Вкл. В.Ч.".

4. Снять изделие со стола спая и быстро поместить его в печь отжига (Т печи = 500 °С).

5. Выдержать изделие в течение 10 минут в печи при указанной температуре, после чего включить обдув печи. За температурой в печи следить по показаниям милливольтметра через каждые 5 минут, фиксируя его показания (охлаждение печи вести до 180 °С). По полученным данным построить кривую отжига спая.

6. Дав детали остыть, перейти к измерению внутренних напряжений с помощью полярископа.

ФОРМА ОТЧЕТА

1. Указать название, цель и порядок проведения работы.
2. Схема установки для изготовления спаев.
3. Чертеж конструкции согласованного и несогласованного спая.
4. Режим изготовления спая и величина напряжения в стекле.
5. Кривая отжига спая.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды спаев применяют в производстве ЭВП?
2. Требования к металлам, спаиваемым со стеклом.
3. За счет чего осуществляется сцепление металла со стеклом?
4. Какие конструкции спаев вам известны?
5. Назначение отжига.
6. Принцип работы полярископа.
7. Перечислить этапы технологического процесса получения спая.
8. Способы нагрева спая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конспект лекций по дисциплине «Технология материалов и изделий ЭТ»;
2. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: Учебник для вузов. 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2002.