

УДК 621.382.002

Разработка технологии и установки термодиффузионной сварки фотокатодных гетероэпитаксиальных структур со стеклянным входным окном для электронно-оптических преобразователей

И. А. Ахмадеев, А. В. Долгих, П. П. Корсунь
ОАО "Катод", г. Новосибирск, Россия

При производстве GaAs-, InGaAs-, InGaP-фотокатодов электронно-оптических преобразователей (ЭОП) для присоединения фотокатодной гетероэпитаксиальной структуры (ГЭС) к стеклянному входному окну используется вакуумная термодиффузионная сварка (ТДС). При существующей технологии ТДС возникает ряд проблем, связанных с хрупкостью, деформацией, термической согласованностью используемых материалов, а также с термическими напряжениями в свариваемых материалах. Дано описание методики решения конкретных проблем, сопутствующих ТДС.

При производстве ЭОП с GaAs-, InGaAs-, InGaP-фотокатодами для присоединения к входному стеклянному окну фотокатодной гетероэпитаксиальной структуры используется ТДС. Для обеспечения большого объема производства создана высокопроизводительная и надежная установка и разработана технология термодиффузионной сварки. В настоящей статье изложены результаты разработки технологии и высокопроизводительной установки ТДС для серийного производства ЭОП.

Краткие технические данные установки

Производительность, шт./цикл, не менее.....	24
Длительность технологического цикла, ч, не более	13
Предельное остаточное давление в технологической камере за время откачки 120 мин, Па, не хуже	5·10 ⁻⁵
Занимаемая площадь, м ² , не более	2
Масса, кг, не более	300

Вакуумная термодиффузионная сварка основывается на диффузионном взаимодействии двух поверхностей при высокотемпературном стимулировании под действием приложенного усилия сжатия. Процесс взаимодействия поверхностей представлен тремя этапами. На первом этапе происходит сближение соединяемых поверхностей в результате пластической деформации стеклянной детали до появления физических сил взаимодействия, обусловленных силами Ван-дер-Ваальса, т. е. образование физического контакта. На втором этапе — активация поверхностей, следствием которой являются образование активных центров и переход атомов из состояния физической адсорбции в состояние химической адсорбции. На третьем, заключительном, этапе развиваются процессы диффузии, которые в свою очередь придают развитию соединения объемный характер [1].

При существующем объеме производства ЭОП в ОАО "Катод" установка термодиффузи-

онной сварки испытывает большие эксплуатационные нагрузки — порядка 20 рабочих циклов в месяц. Комплекующие для нее выбирались не только по качественным характеристикам, но и с максимальными надежностью и долговечностью.

Разработанная установка, показанная на рис. 1, состоит из технологической камеры, откачного агрегата, стойки управления и загрузочного вентилируемого бокса. Установка имеет компактные размеры, удобна в обращении, надежна и экономична в эксплуатации, имеет возможность автоматизированного управления в линии.



Рис. 1. Общий вид установки вакуумной термодиффузионной сварки

Вакуумный агрегат состоит из форвакуумного насоса с азотной ловушкой, 1500-литрового турбомолекулярного и магниторазрядного насосов, электромагнитных вентилей и шиберов.

Стойка управления содержит блок управления электромагнитными клапанами, вакуумметры с вакуумными реле, блоки питания турбомолекулярного и магниторазрядного насосов, терморегуляторы управления нагревом и блок управления нагрузкой сжатия. Технологическая камера содержит два нагревательных элемента (верхний и нижний) с измерительными термопарами, многослойный экран и механизм подачи нагрузки сжатия на свариваемые детали.

Стекланные диски и полупроводниковые структуры помещаются в металлографитовые кассеты, которые устанавливаются в технологической камере в специальные гнезда. Технологическая камера откачивается до вакуума $\sim 10^{-4}$ Па. Процесс термодиффузионной сварки состоит из нескольких этапов (рис. 2):

А — нагрев стеклнного диска и полупроводниковой структуры до температуры обезгаживания стекла и выдержка при данной температуре $\sim 1,5$ ч;

Б — остывание стеклнного диска до температуры, при которой деформация стекла при подаче нагрузки сжатия будет минимальна, но в то же время не будут появляться непроплавы в спае ГЭС—стекло;

В — непосредственно процесс сварки, т. е. подача давления сжатия на свариваемые детали;

Г — снятие нагрузки сжатия, нагрев сваренного узла до температуры отжига стекла и 15-минутная выдержка при данной температуре;

Д — ответственное охлаждение сваренного узла до 450°C ;

Е — естественное неуправляемое остывание.

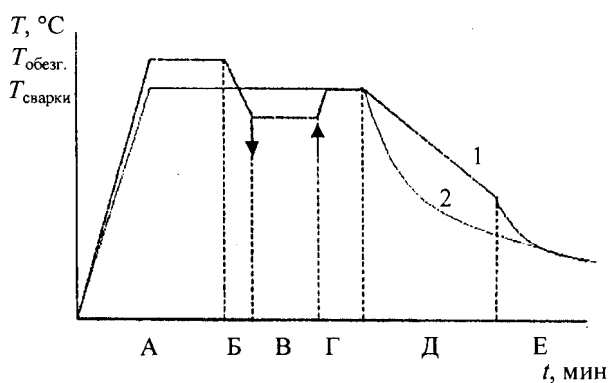


Рис. 2. Температурные режимы процесса сварки:
1 — стеклнного диска;
2 — ГЭС

При разработке технологии ТДС был решен ряд проблем, связанных с хрупкостью, деформацией, термической согласованностью используемых материалов, а также с термическими напряжениями в свариваемых материалах.

В самой ГЭС между слоями GaAs и GaAlAs существуют значительные термические напряжения, и несмотря на хорошее согласование кристаллических решеток, плотность дислокаций несоответствия на границах между слоями достигает 10^2 — 10^4 см $^{-2}$. Температурные зависимости термического расширения GaAs, GaAlAs и стекла (даже А54-1 и С57, в наибольшей степени согласованных с GaAs) сильно различаются в диапазоне температур выше 450°C . При остывании спае стекло—ГЭС после сварки под действием термических напряжений происходит пластическая деформация структуры, сопровождающаяся размножением дислокаций несоответствия на гетерограницах между ее слоями и ухудшением рекомбинационных и в конечном итоге эмиссионных свойств фотокатода [2, 3]. Поэтому для уменьшения деградации фотокатодной гетероструктуры после сварки производится нагрев сваренной детали до верхней температуры отжига стекла и выдержка при этой температуре ~ 15 мин. Затем выбирается такой режим ответственного охлаждения свариваемых деталей, чтобы в соединении снизились остаточные напряжения за счет вязкостной релаксации напряжений в стекле в спае ГЭС—стекло. В нашей установке охлаждение происходит со скоростью $\sim 0,3^\circ\text{C}/\text{мин}$ до 450°C . При более низких температурах стекло становится практически твердым, релаксации напряжений не происходит и скорость охлаждения можно увеличивать до неуправляемой естественной.

Из-за хрупкости полупроводниковой ГЭС термодиффузионную сварку невозможно осуществлять при давлениях $\sim 10^7$ Па, типичных для обычных пар материалов, таких как металл—металл, металл—керамика: ГЭС будет просто раздавлена. Типичное значение прикладываемого давления сжатия при ТДС полупроводниковых ГЭС и стекла $\sim 10^5$ Па. Чтобы компенсировать малое прикладываемое давление сжатия, необходимо обеспечить сближение поверхностей свариваемых деталей на расстояние межатомного взаимодействия и стимулировать микродиффузионный обмен атомами между свариваемыми материалами, нужно так увеличить температуру стекла, чтобы благодаря своей вязкой податливости оно за ~ 5 мин вдавливалось в микрорельеф ГЭС до межатомного расстояния, а еще через ~ 30 мин — на 90 % поверхности образовались химические связи. Практически для стекол А54-1 и С57 температура сварки составляет $\sim 600^\circ\text{C}$.

Вязкоэластичное состояние стекла при температуре ТДС создает проблему деформации стеклнного диска под действием прикладываемого давления сжатия во время сварки. Для обеспечения максимальной параллельности фотокатода с другими узлами ЭОП после сборки, а также для совместимости его с корпусом прибора требуется, чтобы разброс размеров и непараллельности эмиссионной поверхности фотокатода

и поверхности сочленения с корпусом был не более 0,02 мм.

Так как вязкость стекла (и, соответственно, деформация стеклодиска под действием усилия сжатия) сильно зависит от температуры, то точность регулирования и поддержания температуры в процессе сварки должна быть ~ 1 °С. Деформация стеклодиска также зависит от величины прикладываемого давления сжатия. Поэтому в многопозиционной установке ТДС разброс температур между отдельными позициями не должен превышать 1 °С, и следует предусмотреть возможность регулирования величины давления сжатия по отдельным позициям. В конечном итоге при обеспечении указанных пространственной и временной точности поддержания и регулирования температуры и величины прикладываемого давления сжатия происходит деформация стеклянного диска с увеличением размеров диаметров на $\sim 0,1 \pm 0,02$ мм и непараллельности указанных поверхностей на $\sim 0,02$ мм, что вполне приемлемо для производства качественных ЭОП.

Оснастка и технологические приспособления для выполнения ТДС должны обеспечивать точность сборки, предупреждать перекосы, осуществлять равномерную передачу давления на соединяемые поверхности, защищать стеклянные детали от возможных термоударов при нагреве и охлаждении, кроме того, их материал должен быть инертным по отношению к соединяемым стеклу и полупроводниковой гетероструктуре.

При изготовлении оснастки для ТДС стеклянного диска и полупроводниковой структуры используются мелкопористый графит и металлические сплавы, термически согласованные между собой и исключающие заклинивание механизмов при повышенных температурах из-за разницы ТКЛР.

При отработке технологии термодиффузионной сварки для контроля качества сваренных фотокатодов использовались контроль изменения размеров стеклодисков, изменения среднего (по площади) сигнала фотолюминесценции структуры после сварки относительно первоначального уровня, контроль непроваров в спае под микроскопом, измерение эволюций термических напряжений в спае при различных режимах сшивания методом двойного лучепреломления.

В результате доводки механизмов и устройств установки вакуумной ТДС и отработки технологического процесса при 24 сварочных позициях был достигнут выход годных более 90 %, что обеспечивает объем производства 150 ЭОП в месяц.

Литература

1. Бачин В. А. Диффузионная сварка керамики и стекла с металлами. — М.: Энергия, 1986.
2. Отчет НИР "Контур-М2"/ ИФП СО АН СССР. — Новосибирск, 1985.
3. Мильвидский М. Г., Освенский В. Б. Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников. — М.: Металлургия, 1985.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Technology and setup development for thermomdiffusion welding of photocathode heteroepitaxial structures with glass input windows for image intensifier tubes (I²)

I. A. Akhmadeev, A. V. Dolgikh, P. P. Korsun
Joint Stock Company "Katod", Novosibirsk, Russia

In GaAs-, InGaAs-, InGaP-photocathodes for I² to bond heteroepitaxial structures (HES) with input glass windows vacuum thermomdiffusion welding (TDW) is used. By existing technology of TDW some problems are appeared, that connected with fragility, deformation, thermic matching of materials, also with thermic stresses in welded materials. In this report describe the methods of concrete problem-solving, that attend TDW is described.

* * *