

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ  
СТЕКЛОПОРОШКОВ И СТЕКЛОПРИПОЕВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ****А. В. Попель***Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель А. А. Алексеенко

В процессе конструирования и создания современных изделий электронной техники неуклонно растет сложность в изготовлении как отдельных элементов, так и процесса получения стыковых соединений в узлы при их финишной сборке. Вследствие решения ряда конструкторских задач возникает необходимость соединения материалов, часто обладающих природной несовместимостью. Примерами могут служить узлы электронной техники, требующие соединения между собой таких разнородных веществ, как металлы, стекла, керамика и ситаллы. В силу своих свойств, востребованных при изготовлении изделий электронной техники, данные материалы давно получили широкое распространение в производстве электронных компонентов, но при условии решения проблемы их надежного соединения друг с другом. Из приведенного выше перечня веществ стекло является наиболее эффективным материалом с широкой областью применения, способным выполнять функцию связующего вещества-припоя, обладающего высокой контактной адгезией, качественными изолирующими характеристиками, низкой диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь. При соединении разнородных материалов стекло играет роль «переходного» слоя, одинаково эффективно взаимодействующего с соединяемыми материалами. Очевидно, что для каждого случая состав стеклопорошков или стеклоприпоев подбирается отдельно, в соответствии с требованиями по коэффициенту линейного термического расширения (КЛТР), термостойкости, химической стойкости, вязкости стекла в зависимости от температуры, диэлектрической и газовой проницаемостью и т. д. [1].

Целью проводимых исследований являлось изучение возможности получения стеклопорошков с физико-химическими свойствами, модифицированными в результате применения элементов нанотехнологий, а именно – путем проведения структурирующей термообработки стеклопорошка известного состава в восстановительной газовой среде или введением в стеклопорошок (стеклоприпой) наночастиц восстановленных металлов. В результате ожидалось уменьшение температуры плавления конечного стеклоприпоя и увеличение его адгезионного взаимодействия с контактирующей поверхностью. В качестве исходного образца было выбрано легкоплавкое стекло марки С52-1 следующего состава:  $\text{SiO}_2$  – 72,84 %,  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 17,44,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,17,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 4,54,  $\text{K}_2\text{O}$  – 3,0 % (концентрации указаны в молярных процентах). Данное стекло относится к молибденовой группе и используется для изготовления баллонов электронных ламп и изоляционных бус в электровакуумных полупроводниковых приборах и гибридных интегральных схемах [1], [2]. Основные свойства стекла приведены в таблице.

Стекло данной марки (и последующий стеклопорошок, получаемый на его основе) было синтезировано при помощи оборудования и исходных материалов, имеющих на базе Центра коллективного пользования дорогостоящим и уникальным оборудованием (находящегося в НИЛ ТКН УО «ГГТУ им. П. О. Сухого»). Для получения указанных выше молярных пропорций проводился пересчет имеющихся химических реагентов (солей и гидроксидов) в их соответствующие весовые концен-

трации с последующей предварительной термообработкой получившейся шихты до  $T = 300\text{--}400$  °С. Далее осуществлялся ее размол до тонкодисперсного состояния с применением шаровой планетарной мельницы «Пульверизетте 5».

### Основные физические свойства стекла марки 52-1 [1]

Параметр	Значение
Термическая стойкость при толщине образца 4 мм	180 °С
Средний коэффициент линейного температурного расширения в интервале температур от 20 до 300 °С/ТКР/	52,0×10 (7),1/К
Температура стеклования	522 °С
Температура размягчения (деформация)	585 °С
Температура размягчения (точка Литтлтона)	720 °С
Тангенс угла диэлектрических потерь при 106 Гц и температуре 20 °С	40×10 <sup>4</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 106 Гц и температуре 20 °С	7,5

Полученный порошок (шихта) компактировался в фарфоровом тигле и проходил термообработку на воздухе до состояния расплава в программируемой высокотемпературной электропечи «Heraeus, BL-1801». После проведения этапа варки стекла сформированная после инерционного остывания стекломасса извлекалась из тигля и переводилась или в состояние стеклопорошка, или вместе с тиглем проходила структурирующую термообработку в среде водорода. В дальнейшем полученный стеклопорошок (по составу соответствующий стеклу марки С52-1) разделялся на фракции при помощи вертикального колебательного ситового грохота модели «Аннализетте 3» и подвергался термообработке в среде водорода при  $T = 350\text{--}450$  °С. Технология получения стекла и программа его варки в программируемой высокотемпературной электропечи «Heraeus, BL-1801» приведены на рис. 1.

Непосредственная модификация свойств вещества проводилась в кварцевом реакторе, соответствующем ГОСТ 18897–98 [3], и конструктивно состоящем из следующих элементов:

- электрическая трубчатая печь: для получения нужного диапазона температур и контроля над протекающими химическими реакциями;
- генератор водорода: для получения молекулярного водорода с постоянной скоростью подачи методом электролиза бидистиллированной воды;
- осушитель водорода на основе цеолита (является фильтром для сорбции молекул воды, содержащейся в водороде): для повышения степени чистоты протекающих реакций и достоверности проводимых экспериментов;
- запирающий водяной затвор, препятствующий попаданию и смешиванию атмосферного кислорода с разогретым до высоких температур водородом, находящимся в реакционной камере (а также и самим восстанавливаемым веществом).

В результате термообработки стеклопорошка в восстановительной среде на поверхности и по глубине исследуемого вещества протекали промежуточные восстановительные реакции. В частности, проходило восстановление оксидов до более низкой валентности и восстановление некоторых химически связанных веществ до элементного состояния. В общем случае при условии обработки стеклопорошка (или монолитного стекла) в водороде образуются некомпенсированные валентные связи, что, в свою очередь, приводит впоследствии к образованию общих валентных связей с контактирующим веществом и увеличивает адгезионные параметры контактного

слоя на этапе пайки. При указанной термообработке стеклопорошков также происходит восстановление поверхностного слоя отдельных частиц, сопровождающееся их структурированием по всей глубине (как результат высокой проницаемости водорода). Возникает эффект активации поверхности частицы, дополненный изменением ее основных физико-химических постоянных. Управляя температурой, временем обработки, давлением и типом газовой среды в реакторе (водород, аргон, кислород), становится возможным изменять ряд свойств обрабатываемого материала, причем на любом этапе структурных превращений в шихте, предназначенной для изготовления стекла: предварительный отжиг, размягчение, стеклование, плавление или инертное остывание стекломассы.

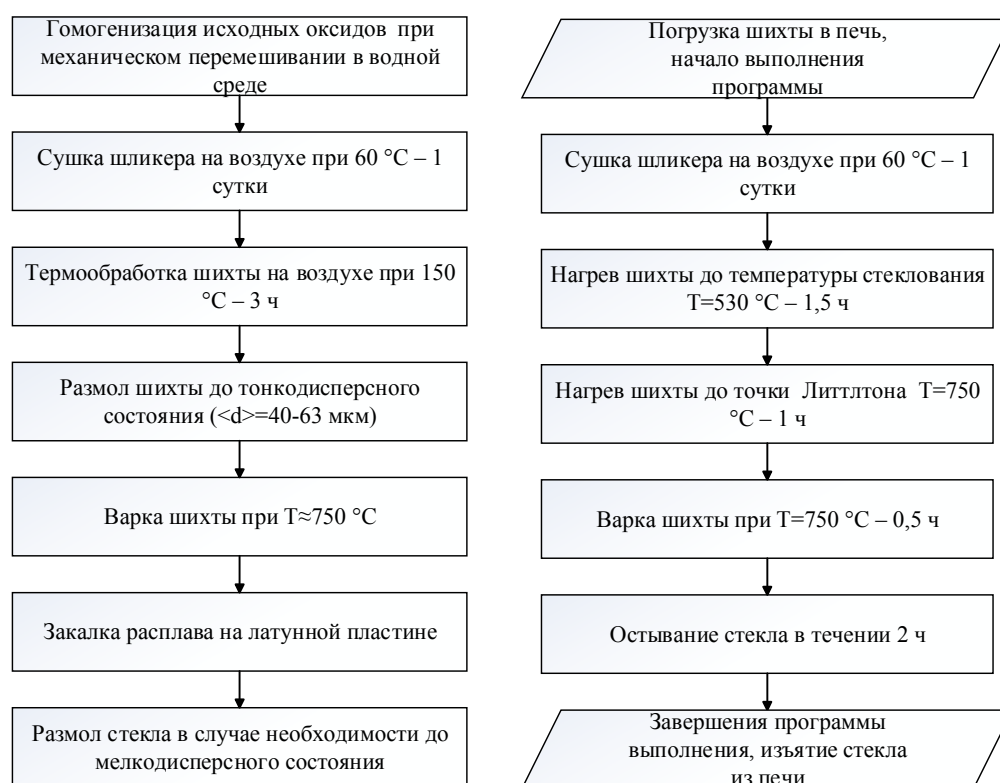


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема получения стекла марки C52-1 (слева) и блок-схема программы варки стекла в высокотемпературной электропечи модели «Heraeus, BL-1801» (справа)

В результате структурирующей термообработки планируется получить стеклопорошок со сниженной температурой плавления и улучшенной растекаемостью расплава относительно исходного материала, что позволит не только уменьшить энергозатраты при пайке, но и приведет к увеличению механической прочности, улучшению адгезионных свойств контактных соединений, а также понизит их газопроницаемость. Функциональные характеристики полученного стеклопорошка планируется протестировать в производственном цикле ОАО «ИНТЕГРАЛ» при производстве соответствующих компонент микросхемотехники.

#### Литература

1. Джурицкий, К. Б. Стекла зарубежных компаний для электронной техники / К. Б. Джурицкий // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. – 2009. – № 5. – С. 45–52.

2. Павлушкин, Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н. М. Павлушкин – М. : Стройиздат, 1983. – 432 с.
3. ГОСТ 18897–98 (ИСО 4491-2–97). Межгосударственный стандарт. Порошки металлические. Определение содержания кислорода методами восстановления. Потери массы при восстановлении водородом (водородные потери) // Изд. офиц. Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 2011. – Режим доступа: <http://standartgost.ru/ГОСТ%2018897-98>.