

# **МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СТЕКЛОПОРОШКИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ: ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ**

**А. В. Попель**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель А. А. Алексеенко

Стекло, керамика и ситаллы как материалы, обладающие уникальными физическими и химическими характеристиками, являются важными элементами в производстве ряда изделий электронной техники. Благодаря эффективному адгезионному взаимодействию с металлами и друг с другом, они позволяют решать технологические проблемы, возникающие при конструировании новых узлов, механизмов и приборов современной электроники. По причине природной несовместимости некоторых материалов при сварке и плавлении в случае необходимости их контактного соединения используется технологический прием в виде пайки. Для надежного спаивания стекла и сохранения функциональных характеристик получаемого изделия необходимо учитывать такие параметры, как коэффициент линейного термического расширения (КЛТР), термостойкость, химическая стойкость, вязкость стекла (в зависимости от температуры), диэлектрическая и газовая проницаемости и т. д.

Существует два варианта спаивания стекла: согласованный ненапряженный и несогласованный сжатый спай. Надежность несогласованного сжатого спаивания обусловлена тем, что прочность стекла на сжатие значительно больше, чем на растяжение. При согласованном ненапряженном спаивании стекла с каким-либо материалом важнейшим параметром является КЛТР. При условии совпадения температурных кривых расширения значение КЛТР стекла и спаиваемого материала, их КЛТР не должны различаться более чем на 10 %. В противном случае в стекле появится опасное напряжение, способное разрушить целостность получаемого соединения. Именно из-за необходимости соблюдения данного условия приходится синтезировать различные марки стекол, имеющих узкую направленность дальнейшего практического применения. Значение КЛТР определяется химическим составом шихты, предназначенной для приготовления стекла, технологическими особенностями варки и последующего остывания стекломассы. В свою очередь, КЛТР также определяет и ряд других физико-химических параметров стекла [2], [3].

Цель проводимой работы заключалась в улучшении функциональных свойств стеклопорошка заданного химического состава путем его структурирующей обработки в контролируемой газовой среде. В результате обработки стеклопорошка (в специальном лабораторном реакторе из кварцевого стекла) на поверхности и по глубине исследуемого вещества происходили восстановительные реакции. В частности, наблюдалось восстановление оксидов до более низкой валентности или восстановление некоторых химически связанных веществ до элементного состояния. В общем случае при условии обработки стеклопорошка (или монолитного стекла) в

водороде образуются нескомпенсированные 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 обработке стеклопорошков происходит восстановление поверхностного слоя отдельных частиц, а также их структурирование по всей глубине. Возникает эффект активации поверхности частицы, дополненный изменением ее основных физико-химических констант. Фактически, в результате поверхностного наноэффекта и структурной модификации микрочастицы происходят следующие изменения [2], [3]:

- фазовые превращения (позволяющие понизить температуру плавления микрочастиц стекла);
- смещение значений некоторых термодинамических постоянных (аномально высокие параметры коэффициентов диффузии, повышение теплоемкости, снижение теплопроводности);
- электрические (повышение электросопротивления, возрастание диэлектрической проницаемости);
- механические (повышение предела текучести, твердости, вязкости разрушения, износостойкости, проявление сверхпластичности при высоких температурах).

В качестве исследуемого стекла (и получаемого стеклопорошка на его основе) нами было выбрано стекло марки С52-1 (щелочно-земельное боросиликатное стекло), имеющее следующий молярный состав (мол. %):  $\text{SiO}_2$  – 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 %. Данное стекло по своим физико-химическим характеристикам относится к «молибденовой» группе стекол и применяется для изготовления баллонов электронных ламп, изоляционных бус электровакуумных полупроводниковых приборов, а также гибридных интегральных схем [1], [2]. Основные свойства стекла приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные физические свойства стекла марки С52-1 [2], [3]

Параметр	Значение
Термическая стойкость при толщине образца 4 мм, °С	180
Средний коэффициент линейного температурного расширения в интервале температур от 20 до 300 °С/ТКР/, 1/К	$52,0 \cdot 10^{-7}$
Температура стеклования, °С	522
Температура размягчения (деформация), °С	585
Температура размягчения (точка Литтлтона), °С	720
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ Гц и температуре 20 °С	$40 \cdot 10^{-4}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ Гц и температуре 20 °С	7,5

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 и инерционное остывание стекломассы. В результате обработки стеклопорошка в контролируемой газовой среде предполагалось добиться эффекта снижения его температуры плавления, что позволило бы создавать контактные соединения элементов электронной техники не только при пониженных

температурах, но и более эффективными в отношении механической прочности и газопроницаемости. В итоге предполагалось общее снижение энергозатрат при создании блоков и узлов конечного оборудования.

Как было указано выше, модификация стеклопорошка возможна как на любом из этапов формирования получаемого стекла, так и при измельчении уже готового сертифицированного образца [1], [4].

Для синтеза стекла, стеклопорошка на его основе и выполнения указанной модифицирующей обработки в контролируемой газовой среде было использовано оборудование, имеющееся как в НИЛ ТКН, так и Центре коллективного пользования дорогостоящим и уникальным оборудованием:

1) программируемая высокотемпературной электропечь «Heraeus, BL-1801», предназначенная для обработки образцов и изделий на воздухе (до  $T = 1850$  °С);

2) шаровая планетарная мельница «Пульверизетте 5» (основные технические характеристики приведены в табл. 2);

3) вертикальный колебательный лабораторный ситовой грохот «Анализетте 3» (основные технические характеристики приведены в табл. 3);

4) лабораторный реактор, состоящий из следующих конструктивных элементов:  
 – печь лабораторная электрическая, с трубчатым муфелем (для получения нужного диапазона температур и контроля над протекающими химическими реакциями);  
 – генератор водорода (предназначен для получения молекулярного водорода с постоянной скоростью подачи методом электролиза бидистиллированной воды);  
 – осушитель водорода (является фильтром для отсеивания молекул нераспавшейся воды на выходе из генератора водорода, что повышает степень чистоты протекающих реакций и достоверность проводимых экспериментов);  
 – водяной затвор, представляющий собой в упрощенном виде гидравлическое запирающее устройство, препятствующее попаданию и смешиванию атмосферного кислорода с разогретым до высоких температур водородом из реакционной камеры (а также и с самим восстанавливаемым веществом).

Таблица 2

#### Основные технические характеристики шаровой планетарной мельницы «Пульверизетте 5»

Наименование	Планетарная мельница «Пульверизетте 5»
Производитель	«Fritsch GmbH», Германия
Назначение	Сверхтонкое измельчение сухих лабораторных проб до коллоидного состояния
Основные технические характеристики	1. Полезный объем – до 4 x 225 мл 2. Крупность загружаемого материала < 10 мм 3. Конечная тонкость < 1 мкм 4. Мелющая среда – двуокись циркония (94,8 % ZrO <sub>2</sub> )

**Основные технические характеристики вибрационного ситового грохота «Аннализетте 3»**

Наименование	Вибрационный ситовой грохот «Аннализетте 3»
Производитель	«Fritsch GmbH», Германия
Назначение	Точное разделение и сортировка материалов по размерам частиц
Основные технические характеристики	1. Укомплектован рассеивочными ситами с размером ячейки 40; 50; 100 и 140 мкм 2. Параметры сухого отсева: – амплитуда и время отсева 2,5–3 мм и 10–20 мин, соответственно (для крупного материала) – амплитуда и время отсева 1,5–2,5 мм и 15–30 мин, соответственно (для мелкого материала)

Свойства полученных образцов стеклопорошков планируется протестировать в производственном цикле ОАО «ИНТЕГРАЛ» при производстве компонент микроэлектроники.

**Литература**

1. Джурицкий, К. Б. Стекла зарубежных компаний для электронной техники / К. Б. Джурицкий // Производство электроники. – 2009. – № 5.
2. Дембовский, С. А. Стеклообразование / С. А. Дембовский, Е. А. Чечеткина. – М. : Наука, 1990. – 124 с.
3. Любимов, М. Л. Спаи металла со стеклом / М. Л. Любимов. – М. : Энергия, 1968. – 280 с.
4. ОСТ 11ПО.735.002–73.