



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИШНПТ
К.К. Манабаев

_____ « ____ » _____ 2021 г.

**ВАРКА ЛЕГКОПЛАВКОГО ЦВЕТНОГО
СТЕКЛА**

Методические указания к выполнению лабораторной и
самостоятельной работы по курсу
«Общая технология силикатов»
для студентов направления подготовки **бакалавров**
18.03.01 Химическая технология

УДК 666.1.01 (031)

Варка легкоплавкого цветного стекла

Методические указания к лабораторному практикуму и самостоятельной работе студентов по курсу «**Общая технология силикатов**» для студентов направления подготовки бакалавров **18.03.01 Химическая технология**

Томск: Изд. ТПУ, 2021.- 15 с.

Составители: **д.т.н., профессор Казьмина О.В.**
к.т.н., ст. преподаватель Сударев Е.А.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром НОЦ Н.М Кижнера
«__» _____ 2020 г.

Заведующий кафедрой - руководитель
научно-образовательного центра
на правах кафедры, д.х.н, профессор _____ Е.А. Краснокутская

Рецензент

Доктор технических наук, профессор ТПУ
В.И. Верещагин

1. Общие теоретические сведения

Окрашивание стекла – прекрасный способ сделать изделие более ценным.

Для получения цветных стекол в шихту добавляют различные красители, которые при варке растворяются или равномерно распределяются в виде коллоидных частиц, обуславливая в том и другом случае избирательное поглощение стеклом световых лучей.

Спектральная кривая окрашенного стекла характеризуется появлением избирательной или сплошной полосы поглощения в видимой области спектра (рис.1). Природа компонентов и соединений, способных окрашивать стекла, различна. Можно выделить три группы красителей: ионные, молекулярные, коллоидные. Они отличаются химическим состоянием красителей в стекле и различным механизмом окрашивания стекол.

К группе ионных красителей принадлежат катионы переходных и редкоземельных элементов (3d- и 4f-элементы), особенность электронного строения которых состоит в том, что в ионном состоянии они имеют неспаренные электроны или незаполненные орбитали (табл.1). При введении таких катионов в любую среду (прозрачные кристаллы, стекла, растворы) возникают типичные спектры поглощения, характерные для ионного состояния данного компонента. Поглощение света в видимой части спектра вызывает возбуждение электронов вещества, изменяет их энергетическое состояние. При этом электроны переходят с одних орбит атомов на другие, вызывая окрашивание вещества.

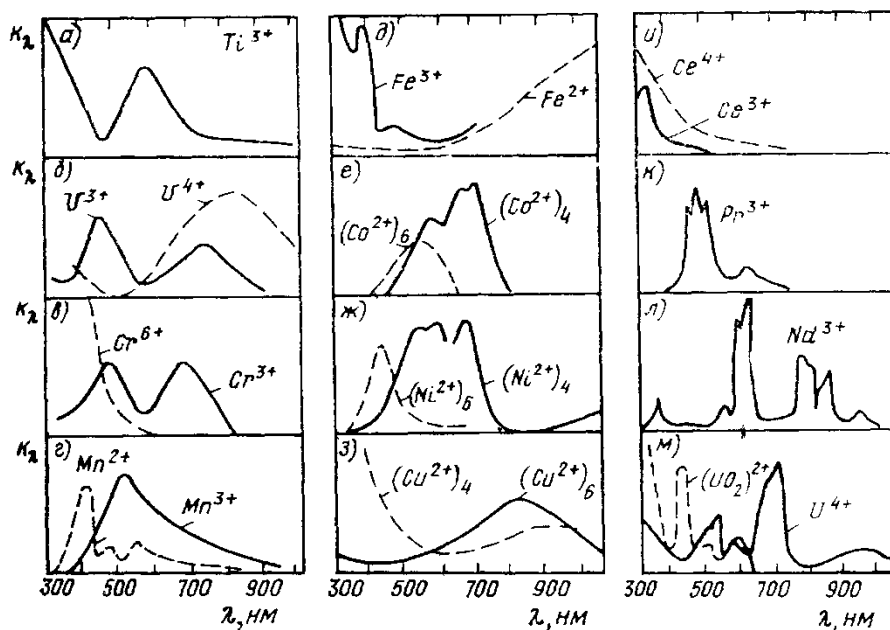


Рис.1. Спектры поглощения стекол, окрашенных ионными красителями: титаном (а), ванадием (б), хромом (в), марганцем (г), железом (д), кобальтом (е), никелем (ж), медью (з), церием (и), празеодимом (к), неодимом (л), ураном (м)

В структуре стекла ионы красителей выполняют в основном функции модификаторов, располагаются в полостях структурной сетки, связаны через кислород с кремнекислородной сеткой. Координационное окружение красящих катионов состоит из мостиковых и немостиковых атомов кислорода.

Цвет, который придают ионы стеклу, зависит от их валентного состояния. Между разновалентными состояниями одного компонента в стекле устанавливается равновесие, определяемое составом стекла, температурой варки, окислительно-восстановительными условиями в расплаве и воздушной среде.

Таблица 1

*Электронное строение внешних орбиталей ионов,
вызывающих окрашивание стекла*

Ион	Электронное строение внешних орбиталей	Вероятные координационные числа относительно	Цвет, сообщаемый стеклу
Ti³⁺	3s ² 3p ⁶ 3d	6	Коричневый
Ti⁴⁺	3s ² 3p ⁶	4,6	Не окрашивает
V³⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ²	6	Зеленый
V⁴⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ²	6	Синий
V⁵⁺	3s ² 3p ⁶	4	Не окрашивает
Cr³⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ³	6	Зеленый
Cr⁶⁺	3s ² 3p ⁶	4	Желтый
Mn²⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ⁵	4,6	Слабо-розовый
Mn³⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ⁴		Красно-фиолетовый
Fe²⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ⁶	6	Голубой
Fe³⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ⁴	4,6	Желтый, коричневый
Co²⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ⁷	4	Синий
		6	Розовый
Ni²⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ⁸	4	Фиолетовый
		6	Желтый
Cu⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	6	Не окрашивает
Cu²⁺	3s ² 3p ⁶ 3d ⁹	4'	Зеленый
		6	Синий
Ce³⁺	4d ¹⁰ 4f ¹ 5s ² 5p ⁶	6,8	Не окрашивает
Ce⁴⁺	4d ¹⁰ 4f ⁰ 5s ² 5p ⁶	6,8	Желтый
Pr³⁺	4d ¹⁰ 4f ² 5s ² 5p ⁶	6,8	Желтовато-зеленый
Nd³⁺	4d ¹⁰ 4f ³ 5s ² 5p ⁶		Красно-фиолетовый,
		6,8	голубовато-фиолетовый
U⁴⁺	4d ¹⁰ 5f ²	6,8	Желто-оранжевый
U⁶⁺	5d ¹⁰	6	Слабо-желтый

При окраске стекла растворением красителей применяют главным образом оксиды различных металлов, образующие в стекле с кремнеземом окрашенные силикаты. Если стекло содержит борную кислоту, то таким же образом могут образовываться окрашенные бораты. Эти силикаты и бораты, растворяясь в массе стекла, сообщают ему ту или иную окраску точно также, как различные цветные соли, растворяясь в воде, окрашивают ее. Некоторые красители могут находиться в стекле лишь водной определенной степени окисления. Например, соединения кобальта, независимо от того, в каком виде они были введены в шихту, при варке стекла всегда образуются лишь силикаты оксида кобальта. Другие красители, например соединения марганца, наоборот, могут находиться в стекле в различных степенях окисления.

Наиболее широко распространенной примесью, встречающейся в стекле, являются оксиды железа. Для двухвалентного железа характерна интенсивная широкая полоса поглощения в ближней ИК-области спектра (1100 нм), коротковолновый край которой может простираться в видимую область. В УФ-области Fe^{2+} имеет слабую полосу поглощения, в то время как Fe^{3+} поглощает интенсивно, частично смещая край полосы поглощения в видимую область. В стекле присутствуют обычно ионы как Fe^{2+} , так и Fe^{3+} , которые окрашивают стекло в различные оттенки зеленовато-желтого, голубого или коричневого цветов.

Интенсивность окрашивания стекла ионами трехвалентного железа значительно ниже, чем ионами двухвалентного железа.

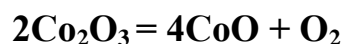
При высокой концентрации железа в стекле возможно образование хромофорных интенсивно красящих группировок типа $\text{Fe}^{3+}\text{-O-Fe}^{2+}$.

Технология листового стекла допускает использование песка с примесью оксидов железа не более **0,15 масс. %**, отдельных видов тарного стекла – до **1,5 масс. %**, теплозащитных стекол – от **0,5 до 1,5 масс. %**.

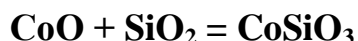
Для сортовых и художественных стекол, для которых слабая окраска ионами железа является нежелательной, проводят «обесцвечивание» стекол. Известны два способа «обесцвечивания»: *химическое* и *физическое*.

Химическое обесцвечивание состоит в том, что переводят железо в трехвалентное состояние путем введения в шихту добавок окислителей – нитратов, оксидов сурьмы и мышьяка, созданием окислительной газовой среды в процессе варки. При *физическом обесцвечивании* в состав стекла вводят строго контролируемые количества добавок красителей – соединения кобальта, никеля, – которые окрашивают стекло в цвет, дополняющий спектр поглощения железа до нейтрального. В результате устраняется зеленоватая окраска, стекло приобретает нейтральный серый оттенок, хотя интегральное пропускание несколько понижается.

Цвет стекла также зависит от количества содержащегося в нем красящего оксида. Оксид кобальта, например, при малом содержании дает голубое стекло, а при большом – фиолетово-синее с заметным красноватым оттенком. В процессе варки стекла оксид кобальта (3) разлагается, выделяя кислород:

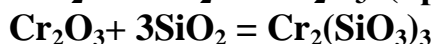
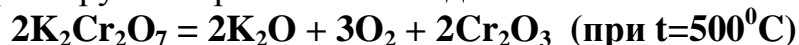


Оксид кобальта (2), взаимодействуя с кремнеземом, образует силикат кобальта:



Окраска получаемого стекла при **0,002 %** CoO *синеватая*, при **0,1-0,5 %** *ярко-синяя*, при комбинации с солями хрома и меди – от *зеленовато-синей* до *зеленой*.

Для получения зеленого стекла обычно вводят соли хромовой кислоты, например, бихромат калия. В процессе варки они разлагаются, образуя окись хрома, затем реагируют с кремнеземом и дают зеленый силикат хрома:

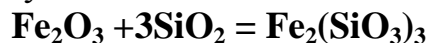


Окись хрома добавляют в шихту в небольших количествах, не более **0,5%** весового состава шихты. При увеличении содержания окиси хрома в стекле из-за ее плохой растворимости выделяются мелкие зеленоватые блестки окисла. Это свойство используют в стеклоделии для получения художественного стекла, получившего название *авантюринового*. Для получения стекла чисто *зеленого* цвета добавляют оксид меди и варку ведут в окислительной среде.

Сильное изменение окраски вызывается, кроме того, различным содержанием в стекле отдельных стеклообразующих оксидов. Особенно сильно влияют щелочи, а также оксид свинца и бора. Оксид меди, например, в известково-натриевом стекле дает *голубой* цвет, а в цинково-калиевом – *зеленый*. Оксид марганца в первом случае дает *красно-фиолетовую* окраску, во втором – *сине-фиолетовую*. Для получения оксида марганца (3) используют марганцовокислый калий KMnO_4 . Стекло получают *фиолетового* цвета при концентрации Mn_2O_3 до **3 %** и *черного* до **12-20 %**.

Оксид свинца чрезвычайно усиливает цвет стекла и дает особенно яркие оттенки. Борная кислота также сильно изменяет цвет окрашенных стекол, однако действие ее в зависимости от красителей различно.

При наличии в стекле оксида железа (3), который часто попадает в стекло вместе с песком, образуется силикат железа:



Силикат железа растворяется в расплавленном стекле и придает ему грязную *темно-зеленую* окраску. При изменении валентности металла, например если железо восстановить до 2 валентного, то окраска станет *сине-зеленой*. Соединения железа применяют для окрашивания дешевых изделий, так как они не дают ярких окрасок.

Введение оксида меди (2) придает стеклу *голубую* с легким зеленоватым оттенком окраску при концентрации CuO **0,1-1 %**, для этого применяют оксид меди и медный купорос ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). В присутствии восстановителя образуется коллоидная медь Cu_2O и тогда стекло окрашивается в *красный* цвет.

Цветные светотехнические стекла с избирательным поглощением применяют для регулирования спектрального состава светового потока, для изготовления сигнальных стекол, светофильтров для железнодорожного, морского, городского, шоссейного и авиационного транспорта.

Широкое применение в стекольной промышленности для получения художественного, сортового и технического стекла получили оксиды редкоземельных элементов: *церия Ce*, *празеодима Pr*, *неодима Nd*, *самария Sm*, *гольмия Ho* и *эрбия Er*. Особенность электронного строения редкоземельных компонентов состоит в том, что незаполненной является внутренняя *4f-оболочка*. Стекла окрашенные оксидами редкоземельных металлов отличаются прозрачностью и чистотой цвета: CeO_2 (золотисто-желтая окраска), Pr_2O_3 (зелено-золотистый), Nd_2O_3 (пурпурно-фиолетовый).

Группу молекулярных красителей составляют *сульфиды, селениды* и смешанные кристаллы *сульфоселенидов* тяжелых металлов – *кадмия, сурьмы, висмута, свинца, железа, серебра, меди* и др. Эти соединения являются полупроводниками. В стекле они присутствуют в виде микрокристаллических образований, размер которых не превышает 50 нм, равномерно распределенных в объеме стекла. Формирование и выделение микрокристаллической фазы полупроводникового соединения в стекле, обусловленное его малой растворимостью в стекломассе, осуществляется с помощью специальной технологической операции – «наводки», которая предусматривает термическую обработку изделий вблизи температуры стеклования. Поглощение света обусловлено возбуждением электронов из валентной зоны в зону проводимости соответствующего полупроводникового соединения.

Группу коллоидных красителей составляют тяжелые металлы *Cu, Ag, Au, Pt, Bi* и др., которые могут легко восстанавливаться в стекле до атомарного состояния и образовывать стабильные коллоидные частицы, равномерно распределенные в объеме стекла.

Природа окрашивания стекол коллоидными красителями состоит в рассеянии света на коллоидных частицах металла определяющими факторами в данном случае являются разность показателей преломления двух фаз – стеклообразной среды и дисперсной фазы, а также размер коллоидных частиц. Стекла, окрашенные медью, имеют различные оттенки *красного* цвета (медный рубин). Коллоидное золото окрашивает стекло в *красно-фиолетовый, пурпурный* цвет (золотой рубин). Серебро окрашивает стекло в *желтый* цвет (серебряный рубин). Известно, что коллоидные системы в зависимости от размера частиц и разности показателей преломления со средой могут обеспечить достижение любого спектрального цвета.

От размера коллоидных частиц зависит цвет стекла (**табл.2.**). В стеклах, окрашенных коллоидным способом, краситель распределен в виде мельчайших, невидимых простым глазом частиц - коллоидов. Если стекло рассматривать в микроскоп при боковом освещении (так называемый ультрамикроскоп), то эти окрашивающие частицы будут заметны в виде ярко

свпяющихся точек. Для коллоидной окраски стекла применяют соединения селена, золота, меди, серебра и некоторые другие вещества.

Таблица 2

Размер частиц, нм	Цвет стекла в отраженном свете
0-25	синий
25-55	зеленый
35-45 50-60	желтовато-зеленый
70-80	коричневый
120-130	коричневый

В стеклах, окрашенных коллоидным способом, краситель распределен в виде мельчайших, невидимых простым глазом частиц - коллоидов. Если стекло рассматривать в микроскоп при боковом освещении (так называемый ультрамикроскоп), то эти окрашивающие частицы будут заметны в виде ярко свпяющихся точек. Для коллоидной окраски стекла применяют соединения селена, золота, меди, серебра и некоторые другие вещества. Золото и медь при коллоидном распределении в стекле окрашивают его в *красный* цвет (золотой или медный рубин), а серебро - в *желтый*. Соединения селена окрашивают стекло в цвета от *розового* до *желтовато-красного*.

При коллоидной окраске важным фактором является температура, так как от нее в значительной мере зависит размер получающихся коллоидных частиц. При варке стекло, окрашиваемое *селеном, золотом, медью и серебром* бесцветно. Лишь при температуре меньшей, чем температура выработки, когда стекло становится более вязким, начинается укрупнение частичек красителя и выделение их в виде коллоида, при этом стекло постепенно меняет свой цвет.

Коллоидные частицы тяжелых металлов платины и висмута не дают такого разнообразия цветовых оттенков: частицы *висмута* интенсивно окрашивают стекло в *темно-коричневый* или *черный* цвет, а частицы *платины* – в нейтральный *серый* цвет.

2. Лабораторная работа

Синтез цветных стекол на основе системы $PbO-B_2O_3-SiO_2$

Цель работы: синтезировать цветные легкоплавкие стекла на основе системы $PbO-B_2O_3-SiO_2$ и качественно оценить полученные образцы.

Стекла на основе свинцовоборатной системы относятся к классу легкоплавких оксидных стекол. Благодаря своим уникальным свойствам широко распространены в качестве спаев и покрытий для металлов, полупроводников и керамики. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими классами оксидных стекол: это низкие температуры размягчения, что особенно важно для получения спаев, высокую плотность, отличную адгезию к ряду конструкционных материалов, высокий коэффициент преломления, и высокую рентгенопрозрачность.

В оптических стеклах, отличающихся высокой однородностью, различают две большие группы – кроны и флинты, по содержанию двух основных компонентов BaO – в кронах и PbO – во флинтах. Рассматриваемые стекла на свинцовоборатной основе можно отнести к классу особых флинтов оптических стекол.

2.1. Характеристика сырьевых материалов

Для получения свинцовоборатных стекол используют следующие сырьевые материалы:

Сурик является основным сырьевым материалом с помощью которого в состав стекла вводится оксид свинца. Стекло в этом случае сильно преломляет лучи света и имеет характерный блеск. Оксид свинца значительно повышает удельный вес стекла, делает его более легкоплавким, легко поддающимся механической обработке – гранению, шлифовке, полировке и т.д. Многие красящие вещества в стеклах, содержащих оксид свинца, дают лучшую окраску и более красивую игру цвета, чем в обычных известково-натриевых стеклах. Химический состав сурика выражается формулой Pb_3O_4 или $2PbO \cdot PbO_2$. По внешнему виду это порошок от ярко-красного до оранжевого цвета в зависимости от способов получения. Сурик применяется при варке хрустали и некоторых сортов посудного стекла, а также оптического стекла, искусственных драгоценных камней, эмалей и глазурей. Силикаты свинца отличаются значительной легкоплавкостью, вследствие чего их синтез можно вести в обычных шамотных тиглях и лабораторных муфельных печах.

Борная кислота является сырьем, с которым в стекло вводится оксид бора (борный ангидрид). Этот оксид вводится обычно в состав стекол, от которых требуется высокая химическая и термическая стойкость. Среди стеклообразующих оксидов борный ангидрид – единственный оксид, на основе которого могут быть получены стекла, эффективно поглощающие медленные нейтроны. Борный ангидрид в составе стекла делает его более

легкоплавким, понижает вязкость стекломассы, ускоряет варку и облегчает очистку стекла, понижает склонность стекломассы к кристаллизации, увеличивает показатель преломления стекла. *Борная кислота (H_3BO_3)* – кристаллическое вещество, имеющее вид жирных, блестящих чешуек или бесцветных мелких кристаллов, она хорошо растворима в воде; теоретический состав ее следующий: **56,45 % B_2O_3** и **43,55 % H_2O** . При высокой температуре борная кислота разлагается на борный ангидрид и воду. Борный ангидрид плавится при температуре **600 °C** и при охлаждении застывает в прозрачную стекловидную массу, которая на воздухе постепенно мутнеет вследствие поглощения влаги. Для введения в состав стекла борного ангидрида может применяться также бура. В природе бура встречается в виде минерала *тинкала* $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ бесцветного или же серого, желтоватого и зеленоватого цветов с жирным блеском. В стекловарении в основном применяется безводная или кальцинированная бура $Na_2B_4O_7$, получаемая прокаливанием водной буры. Кальцинированная бура плавится при **747 °C** и при охлаждении дает прозрачную стеклообразную массу.

Силикагель – сырье, через которое в стекло можно ввести оксид кремния. Силикагель – ангидрид кремневой кислоты. Это белый аморфный порошок с сильно развитой поверхностью. *Молекулярный вес 60,08, плотность 2,70-2,65 г/см³, температура плавления 1500-1700 °C, температура кипения 2230-2600 °C.* Реактив растворим в воде, растворим во фтористоводородной кислоте и растворах щелочей.

2.2. Расчетно-аналитическая работа

Задачи:

1. Анализ диаграммы состояния системы $PbO-B_2O_3-SiO_2$ и определение точки состава.
2. Расчет шихты заданного состава.
3. На представленной диаграмме определить точку исследуемого состава и предполагаемую температуру варки (см. приложение А и Б).

2.3. Экспериментальная часть

1. Для получения стекла требуемого вида рассчитывается состав шихты, используя данные химического анализа применяемых сырьевых материалов (*табл.3.*) и согласно заданному составу стекла: в *мас. % $SiO_2 - 10; B_2O_3 - 20; PbO - 70.$*

Расчет шихты по заданному химическому составу стекла производим путем решения системы уравнений.

Таблица 3. Химический состав сырьевых материалов.

Химические реактивы	Содержание оксидов в мас. %				ГОСТ
	Pb ₃ O ₄	B ₂ O ₃	SiO ₂	ппп	
Силикагель	–	–	100	0	3956
Борная кислота	–	56,0	–	44,0	9656
Свинцовый сурик	100	–	–	0	3956

!!! При расчете шихты учитывают, что в среднем в процессе варки стекла улетучивается следующее количество оксидов, %: PbO – 1,4 %, B₂O₃ – 15 %, Na₂O – 3,2 %.

2. Приготовление шихты: сырьевые материалы предварительно измельчают в фарфоровой ступке и отвешивают на аналитических весах, согласно составу шихты, полученную смесь тщательно перемешивают в фарфоровой чашке. Хорошее смешивание шихты облегчает в дальнейшем варку стекла, дает более однородное стекло высокого качества. Подбор красителя осуществляется с помощью таблицы 4.

Таблица 4. Важнейшие красители стекла и примерные нормы их введения

Красители	Кол-во оксида, мас. %	Окраска стекла
Оксид железа (II)	0,2...0,3	Зеленая, голубая
Оксид железа (III)	0,3...0,5	Желто-зеленая
Оксид кобальта (II)	0,003...0,1	Синяя
Оксид никеля (II)	0,2...0,3	Фиолетовая
Оксид меди (II)	0,1...2,0	Голубая, синяя
Оксид меди (II) в присутствии восстановителей	0,1...2,0 0,01...0,1	Красная, рубиновая Зеленая
Оксид хрома (III)	0,01...0,03	Желтая
Оксид марганца (II)	0,01...0,03	Пурпурно-фиолетовая
Оксид марганца (III)	0,1...0,3	Желтая
Серебро в виде солей	0,001...0,003	Красная, рубиновая
Золото в виде соли	0,1...0,3	Розовая, красная
Селен	1...2	Рубиновая
Сера	0,1...1,0	Черная

3. Варка стекла осуществляется в лабораторной печи с силитовыми нагревателями, при максимальной температуре **600 °C**, в режиме выдержки **30 минут**. Температура контролируется термопарой, температурный режим варки стекла нужно представить в отчете в виде графика. Образцы получают методом отливки в металлическую форму в виде пластины **50x40 мм** при толщине **3мм** и отжигают в муфельной печи при **400 °C**.

4. Для полученных образцов производится визуальная оценка качества, результаты которой можно представить в виде таблицы.

Образец стекла	Краситель	Количество красителя, %	Описание образца		
			провар	осветление	прозрачность, окрашенность
1					
2					
3					

По результатам исследований делают необходимые **выводы** по работе.

Вопросы коллоквиуму:

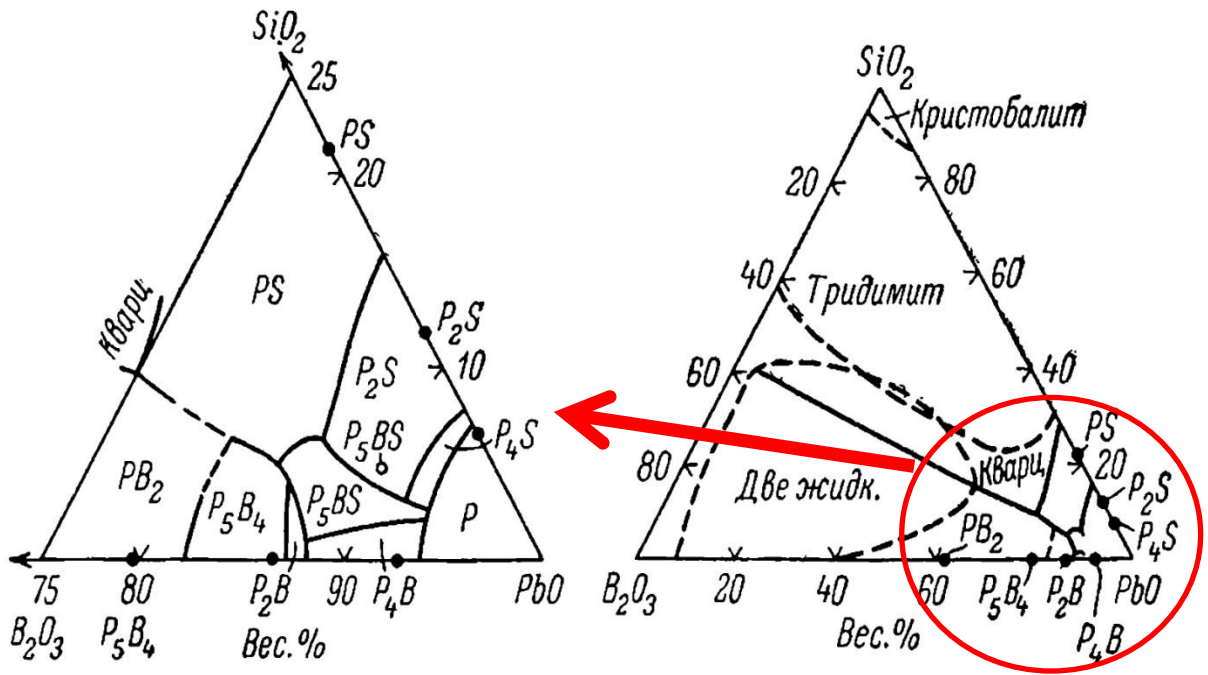
1. Механизм окрашивания.
2. Классификация красителей.
3. От чего зависит цвет получаемого стекла.
4. Сущность химического и физического обесцвечивания стекла.
5. Можно ли получить стекло из одного сырьевого материала – борной кислоты? Напишите уравнение реакции нагревания борной кислоты.
6. Интенсивность окрашивания стекла какими ионами железа значительно ниже и почему.
7. Какие сырьевые материалы применяют для изготовления легкоплавких стекол.
8. Влияние оксидов свинца, бора и кремния на свойства стекол.

Литература:

1. Гулоян Ю.А. Технология стеклотары и сортовой посуды. - М.: Легпромбытиздат, 1986.- 264 с.
2. Ланцетти А.Г., Нестеренко Г.Н. Изготовление художественного стекла. - М.: Высшая школа, 1983.- 245 с.
3. В.Ф.Лясин, П.Д.Саркисов. Новые облицовочные материалы на основе стекла - М.: Стройиздат, 1987.- 193 с.
4. Химическая технология стекла и ситаллов. Под ред. Н.М. Павлушкина, - М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
5. Власова С. Г. Основы химической технологии стекла. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013 – 108 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Диаграмма состояния системы **PbO-B₂O₃-SiO₂**



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Инвариантные точки системы **PbO-B₂O₃-SiO₂**
(по Геллеру и Бантингу)

Фазы	Процесс	Состав, вес. %			Температура, °C
		PbO	B ₂ O ₃	SiO ₂	
SiO ₂ + PbO · SiO ₂ + PbO · 2B ₂ O ₃ + + жидкость	Реакция	75	15	10	540 ± 10
PbO · SiO ₂ + PbO · 2B ₂ O ₃ + 5PbO · · 4B ₂ O ₃ + жидкость	»	81	13	6	527 ± 5
5PbO · B ₂ O ₃ · SiO ₂ + PbO · SiO ₂ + + 5PbO · 4B ₂ O ₃ + жидкость	Эвтектика	84.5	11.0	4.5	484 ± 2
5PbO · B ₂ O ₃ · SiO ₂ + PbO · SiO ₂ + + 2PbO · SiO ₂ + жидкость	Реакция	86.3	7.6	6.1	530 ± 3
5PbO · B ₂ O ₃ · SiO ₂ + 2PbO · SiO ₂ + + 4PbO · SiO ₂ + жидкость	»	91.5	5.3	3.2	538 ± 2
5PbO · B ₂ O ₃ · SiO ₂ + 4PbO · SiO ₂ + + PbO + жидкость	»	92.7	4.5	2.8	534 ± 2
5PbO · B ₂ O ₃ · SiO ₂ + 4PbO · B ₂ O ₃ + + PbO + жидкость	Эвтектика	92.7	4.8	2.5	532 ± 2
5PbO · B ₂ O ₃ · SiO ₂ + 4PbO · B ₂ O ₃ + + 2PbO · B ₂ O ₃ + жидкость	»	87.5	11.4	1.1	488 ± 2
5PbO · B ₂ O ₃ · SiO ₂ + 2PbO · B ₂ O ₃ + + 5PbO · 4B ₂ O ₃ + жидкость	Реакция	86.0	10.6	3.4	486 ± 2

Учебное издание

ВАРКА ЛЕГКОПЛАВКОГО ЦВЕТНОГО СТЕКЛА

Методические указания к выполнению лабораторной и самостоятельной
работы по курсу «**Общая технология силикатов**»
для студентов направления подготовки **бакалавров**
18.03.01 Химическая технология

Составители

Казьмина Ольга Викторовна
Сударев Евгений Александрович

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
С качеством представленного оригинал-макета

Подписано к печати 05.11.2010. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл. печ.л. 9,01. Уч.-изд. л. 8,16.


Заказ . Тираж 20 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательство Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ** . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru