

Повышение модуля вязкости стеклофазы стеклокристаллической композиции с 1,5 до 1,8 приводит к росту коэффициента вспенивания в интервале температур 800 – 850 °С с 45 до 85 %, что связано с увеличением содержания в стекле SiO_2 и Al_2O_3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Китайгородский И. И., Кешишян П. И. Пеностекло. — М.: Промстройиздат, 1953. — 80 с.
2. Шил Ф. Пеностекло. — М.: Стройиздат, 1965. — 307 с.
3. Демидович Б. К. Пеностекло. — Минск: Наука и техника, 1975. — 248 с.
4. Повитков Г. Ф. Расчеты в производстве строительного стекла: Уч. пособие. — Саратов, 2004. — 84 с.
5. Поплетнева Ю. В., Верецагин В. И., Казьмина О. В. Пено-стеклокристаллические материалы на основе природного алюмосиликатного сырья // Современные техника и технологии: Тр. XIV Междунар. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — Т. 2. — С. 148 – 149.

УДК 666.175.6:666.24:546.82'665

ПРИРОДА ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ ПРИ ВВЕДЕНИИ ДОБАВОК ОКСИДОВ ЦЕРИЯ И ТИТАНА

Е. Е. Трусова¹ (e-mail: trusovakaterina@mail.ru), д-р техн. наук Н. М. Бобкова¹, канд. хим. наук В. С. Гурин², Е. А. Тявловская³

¹ Белорусский государственный технологический университет (Беларусь, г. Минск)

² НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета (Беларусь, г. Минск)

³ Институт физики НАН Беларуси им. Б. И. Степанова (Беларусь, г. Минск)

Ключевые слова: силикатные стекла, добавки оксидов церия и титана, центры окрашивания, светофильтры

Актуальность и важность проблемы создания новых оптических материалов в стекольной промышленности связана с управлением их колориметрическими характеристиками. Стекла должны надежно функционировать в период эксплуатации и сохранять оптические свойства. Примером служат стекла для ламп накаливания автомобильных сигнальных фар, светофильтров и других светотехнических изделий. Введение в качестве добавок соединений переходных и редкоземельных элементов, способных окрашивать матрицу стекла, — это один из часто применяемых способов получения различных цветовых оттенков стекла [1], однако подобные задачи решаются в основном эмпирическим путем. Переходные и редкоземельные элементы, вводимые в составы стекол, могут находиться в ионном виде, в виде хромоформных центров разного состава или образовывать малоатомные кластеры и нанокристаллические фазы (оксидные, халькогенидные при введении халькогенов и др.).

В этой связи возникает необходимость более детального исследования физико-химических аспектов состояния форм тяжелых элементов в стеклах, в рамках данной работы — церия и титана.

Стекла с комбинацией добавок CeO_2 и TiO_2 представляют собой один из перспективных вариантов оптических материалов для изготовления светофильтров в ближней ультрафиолетовой и видимой областях спектра [2, 3]. Особенности электронной структуры ионов церия и титана обеспечивают избирательное поглощение, а при их комбинации возможно образование двойных оксидов и стабилизация низших валент-

ных состояний, что расширяет оптические и эксплуатационные свойства стекол.

Настоящая работа посвящена синтезу и исследованию свойств силикатных стекол при введении добавок в виде комбинаций оксидов церия и титана в широком молярном соотношении с целью установления состояния этих элементов в стеклах и выяснения возможной природы образующихся хромоформных центров. Работа является продолжением ранее проведенных исследований [4] при существенном расширении концентраций вводимых элементов в качестве добавок и использовании методов фотolumинесценции и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

Была применена стеклянная матрица на основе алюмосиликатной барий-стронциевой стеклообразующей системы $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaO} - \text{BaO} - \text{SrO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{Li}_2\text{O}$. Для исследований выбраны две серии стекол с переменным содержанием TiO_2 — от 0 до 25 %*: 1 – 1,5 % CeO_2 и 2 – 10,0 % CeO_2 (содержание CeO_2 и TiO_2 рассчитывали сверх 100 % остальных компонентов стеклообразующей системы). В качестве основного параметра, описывающего состав стекол, использовали молярное соотношение $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$. Молярное соотношение $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$ в сериях исследуемых стекол, их цвет, значения крутизны спектров пропускания $K_{\max} = (dT/d\lambda)_{\max}$, рассчитанные для спектров $T(\lambda)$ на рис. 1, и длин волн, соответствующих максимальной крутизне, приведены в таблице.

* Здесь и далее — массовое содержание.

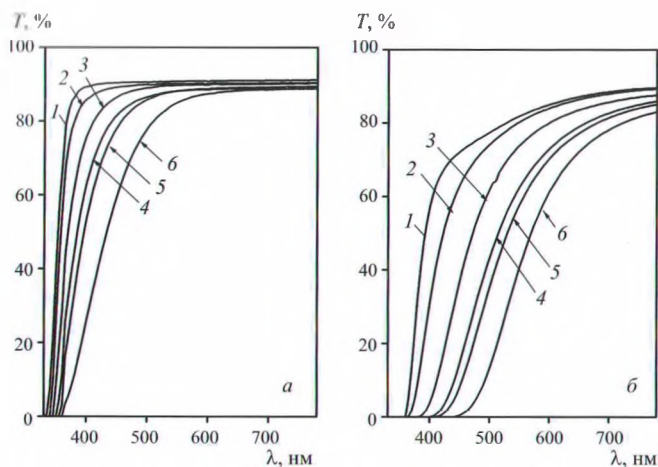


Рис. 1. Спектры оптического пропускания стекол при различном молярном соотношении $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$
a и *б* — серии 1 и 2 соответственно; номера кривых соответствуют номерам стекол в таблицах

Достаточно широкое изменение соотношения $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$ позволяет провести сравнительный анализ зависимости оптических характеристик от содержания вводимых оксидов. В то же время обе рассматриваемые серии образцов по колориметрическим свойствам представляют практический интерес. Указанные концентрации CeO_2 выбраны для получения серий с малым содержанием церия, при котором уже наблюдается его заметное влияние на оптические свойства, и с высоким содержанием CeO_2 , оказывающим еще более значительное влияние на изменение оптических характеристик. Введение TiO_2 ограничено 25 % вследствие кристаллизации стекла при большем его содержании.

Синтез стекол осуществляли в фарфоровых тиглях в газовой печи при температуре 1450–1500 °С, с выдержкой при максимальной температуре 2 ч. В результате синтеза получены равномерно окрашенные стекла, которые по физико-техническим свойствам (ТКЛР — $87 \cdot 10^7 - 92 \cdot 10^7 \text{ K}^{-1}$, удельное электрическое сопротивление при температуре 350 °С — более $10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) соответствуют цветным стеклам, использу-

емым для изготовления светофильтров и колб автомобильных ламп накаливания.

Оптическое светопропускание измеряли на спектрофотометре МС 122 в интервале длин волн 300–780 нм, спектры фотолюминесценции — на флюориметре Fluoromax-2 ($\lambda_{\text{возб}} = 325 \text{ нм}$). Для оптических исследований использовали плоскопараллельные полированные образцы стекол толщиной 0,4 мм. Спектры люминесценции нормировались на единицу по максимальной интенсивности, коррекция на спектр приемника излучения осуществлялась только средствами самого флюориметра. Спектры РФЭС получены на электронном спектрометре ЭС 2401 (MgK_α -излучение, 1253,6 эВ) непосредственно для образцов стекол без их разрушения, перед снятием спектра проводилась ионная очистка поверхности в вакууме. Калибровка положения максимумов спектров РФЭС выполнялась по линии $\text{C } 1s$ с энергией связи 284,6 эВ [5].

Оптическая спектроскопия. Спектры пропускания для указанных серий стекол приведены на рис. 1. В общем случае они имеют вид, близкий к ступенчатому с разной крутизной, что обусловлено наличием края поглощения (пропускания) стекол без выраженных полос в исследуемой области спектра. При длинах волн менее 350 нм сильно поглощает собственно матрица стекла, поэтому возможные полосы поглощения в более коротковолновой области наблюдать невозможно. Введение до 10 % CeO_2 (см. рис. 1, *a, б*, кривые 1) смещает край поглощения от 330 до 380 нм. В длинноволновой части спектра пропускание достигает 90 %, но оно несколько снижается с введением TiO_2 (см. рис. 1, *a, б*, кривые 2–6). Для серии 1 (содержание 1,5 % CeO_2) характерны высокая крутизна спектра — $3,5 \text{ нм}^{-1}$, заметно уменьшающаяся при увеличении содержания TiO_2 . Однако спектр стекол, содержащих только CeO_2 (см. рис. 1, *a*, кривая 1), не сильно отличается от такового при дополнительном введении TiO_2 — 2,5 % (см. рис. 1, *a*, кривая 2). Введение TiO_2 свыше 1,5 % (см. рис. 1, *a*, кривые 3–6) снижает крутизну спектра до $0,8 \text{ нм}^{-1}$.

Для стекол серии 2 с содержанием 10 % CeO_2 край полосы поглощения для стекла 1 (без TiO_2) располагается при 360 нм, спектр более пологий (крутизна $1,95 \text{ нм}^{-1}$), чем при низком содержании CeO_2 . Это свидетельствует о том, что увеличение содержания CeO_2 приводит к длинноволновому смещению спектра даже без TiO_2 . Введение TiO_2 заметно смещает край полосы поглощения до 450 нм и снижает крутизну до $0,58 \text{ нм}^{-1}$. В общем случае в церий- и титансодержащих стеклах повышение содержания как TiO_2 , так и CeO_2 приводит к длинноволновому смещению спектров и заметному уменьшению их крутизны.

Стекла, содержащие только TiO_2 [6], имеют значительно отличный спектр пропускания, формирующийся за счет поглощения света ионами Ti^{3+} в области 500–600 нм. Таким образом, вклад титана в оптические свойства исследуемых стекол не может быть отнесен к ионам Ti^{3+} , и состояние титана существенно

Стекло	Молярное соотношение $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$	Цвет стекла	$K_{\text{max}} / \lambda_{\text{max}}$
Серия 1:			
1	0,3 : 0,0	Светло-желтый	3,50/350
2	0,3 : 1,0	"	3,30/356
3	0,3 : 3,0	"	2,50/361
4	0,3 : 5,0	Желтый	2,20/363
5	0,3 : 6,5	"	1,88/366
6	0,3 : 10,0	Темно-желтый	0,80/398
Серия 2:			
1	2,0 : 0,0	Желтый	1,95/375
2	2,0 : 1,0	"	1,20/391
3	2,0 : 3,0	"	0,75/437
4	2,0 : 5,0	Оранжевый	0,62/472
5	2,0 : 6,5	"	0,59/482
6	2,0 : 10,0	Темно-оранжевый	0,58/487

изменяется, если он присутствует в стеклах совместно с CeO_2 .

Изменение спектра поглощения при увеличении содержания CeO_2 (без TiO_2) можно объяснить изменениями валентного состояния церия, при этом при низком его содержании образуется преимущественно Ce^{3+} [7], а при увеличении концентрации можно ожидать частичное превращение его в Ce^{4+} [8]. Для стекол различного состава, содержащих ионы Ce^{3+} и Ce^{4+} , характерен ряд полос поглощения в области 250 – 400 нм [7 – 9], но только их длинноволновая часть может вносить вклад в приведенные спектры вследствие поглощения матрицей стекла.

Отмеченные изменения спектров при увеличении содержания TiO_2 (совместно с CeO_2) можно объяснить, предполагая взаимодействие обоих оксидов при формировании стекла, вследствие чего поглощение определяется не совокупностью вкладов ионов церия и титана, а поглощением новой оксидной фазы, стабилизированной в стекле. Ее состав зависит от соотношения $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$, и более интенсивная окраска стекол при уменьшении соотношения $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$ может свидетельствовать о том, что число атомов титана превышает число атомов церия в формуле такой оксидной фазы. Большая разница в ионных радиусах церия и титана определяет формирование более стабильных именно таких фаз, например $\text{Ce}_4\text{Ti}_9\text{O}_{24}$ [10].

Фотолюминесценция. Выводы, которые можно сделать из рассмотренных изменений спектров пропускания стекол, ограничены областью прозрачности матрицы стекла и тем, что отдельных выраженных полос пропускания (и соответственно поглощения) для данного материала не наблюдается. В связи с этим фотолюминесценция — более гибкий оптический метод, поскольку ее возбуждение может осуществляться при разных длинах волн, и эмиссия, как правило, представляется полосами излучения, которые несут информацию о состоянии излучающих центров в материале. Для серии спектров фотолюминесценции исследуемых стекол использовалась длина волны возбуждения 325 нм (выбрана экспериментально), при которой поглощение матрицы стекла еще не полное, и эта длина волны попадает в область возбуждения ионов церия и титана, образующихся в стекле.

Полученные для двух серий образцов спектры фотолюминесценции приведены на рис. 2. Стекла, содержащие только CeO_2 (кривые 1 для обеих серий), имеют вид, достаточно характерный для материалов, содержащих ионы церия — преимущественно в виде Ce(III) как стеклообразных, так и кристаллических сред [11 – 13]. Такой вид обусловлен тем, что переход $5d \rightarrow 4f$ из возбужденного состояния ионов Ce^{3+} происходит в расщепленный f -уровень на $2F_{5/2}$ и $2F_{7/2}$ состояния [14], и спектр состоит из по крайней мере двух полос разной интенсивности.

Для стекол, содержащих TiO_2 (см. рис. 2, а, б, кривые 2 – 6), вид спектров люминесценции существенно изменяется, и уже при минимальном содержании TiO_2 (см. рис. 2, а, б, кривые 2) заметно появление длинно-

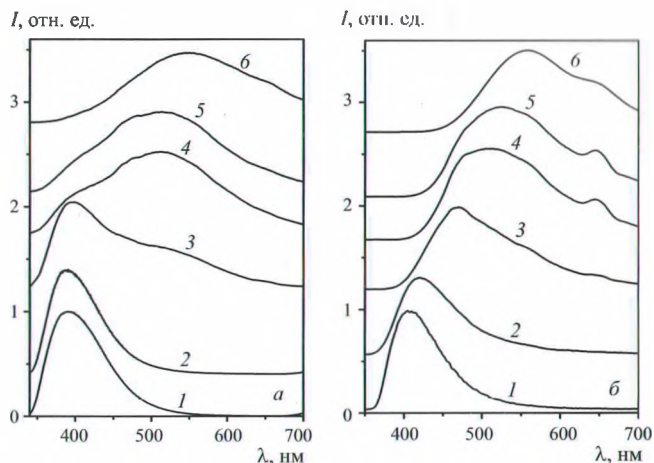


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции церий- и титансодержащих стекол (спектры нормированы в максимуме к единице и смещены по оси интенсивностей на произвольную величину) Обозначения те же, что на рис. 1

волновых компонент, преобладающих при высоком содержании TiO_2 на последующих спектрах. Резкое изменение вида спектров происходит при переходе к образцам, содержащим 12 – 25 % TiO_2 . В стеклах 4 – 6 обеих серий вклад от компоненты, составляющей главную часть образцов, содержащих только CeO_2 , практически отсутствует, что, однако, может быть усилено перепоглощением в образцах в области 400 – 500 нм (см. рис. 1). Но эти спектры весьма широки и даже без учета перепоглощенных полос включают как минимум три компоненты. Таким образом, стекла с низким содержанием TiO_2 можно охарактеризовать, как включающие состояния Ce^{3+} и вклад от новой формы, образующейся от взаимодействия с TiO_2 . Следует заметить, что фотолюминесценция состояний Ti^{3+} [15] попадает в более длинноволновую область (880 – 980 нм), а для Ti^{4+} , напротив, характерна люминесценция в области 500 – 560 нм и при этом обычно ионы титана находятся в составе сложных оксидных соединений [16]. По спектрам поглощения оба валентных состояния титана также достаточно легко различаются. Следовательно, состояния Ti^{4+} можно рассматривать как основные для титана при интерпретации наблюдаемых спектров люминесценции церий- и титансодержащих стекол.

Если сравнить пары образцов при молярном соотношении $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2 = 0,3 : 1,0$ и $2,0 : 1,0$ и $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2 = 0,3 : 3,0$ и $2,0 : 3,0$, можно отметить, что спектры для этих пар весьма сходны, т. е. влияние концентрации церия незначительно. Это может означать, что состояние титана изменяется уже при наличии минимальных количеств церия и состав возможных фаз (соединений) между церием и титаном в церий- и титансодержащих стеклах непостоянный, а изменения в свойствах при вариации соотношения $\text{Ce} : \text{Ti}$ плавные при исследуемом достаточно широком интервале изменения концентрации титана.

При аналогичном сравнении пар образцов с более высоким содержанием титана (см. рис. 2, а, б, кривые 4 – 6) также можно заметить их достаточно большое

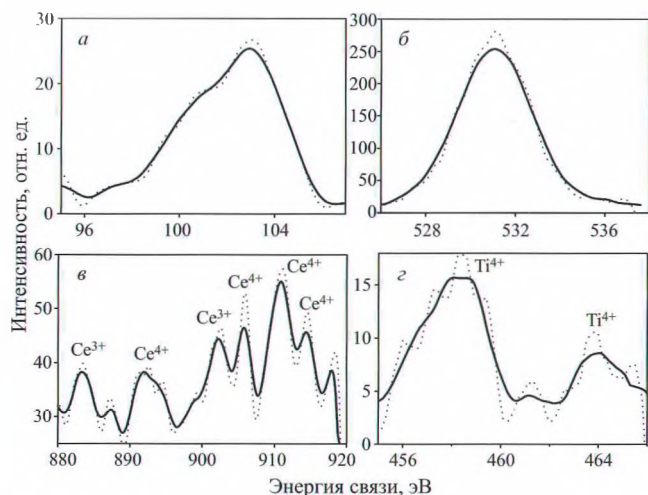


Рис. 3. РФЭ-спектры для основных уровней Si 2p (а), O 1s (б), Ce 3d (в), Ti 2p (г) церий- и титансодержащих стекол с соотношением $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2 = 1,0 : 6,5$

сходство, а повышение содержания церия более чем в 6 раз (от 1,5 до 10 %) практически не приводит к смещению максимума в спектрах люминесценции, но заметно падает интенсивность коротковолнового участка. Учитывая сопровождающее это увеличение концентрации церия смещение в спектрах пропускания (см. рис. 1, б), можно отнести срезание коротковолнового участка к эффекту перепоглощения. Таким образом, сходство закономерностей фотолюминесценции для образцов с разным содержанием церия становится еще более явным. Появление небольшого максимума при длине волны 650 нм для стекол с соотношением $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2 = 2,0 : 5,0$, $2,0 : 6,5$ и $2,0 : 10,0$ (см. рис. 2, б) пока не ясно в рамках имеющихся данных и с учетом того, что стекла такого состава были получены впервые, предполагает продолжение специального исследования именно таких составов дополнительными методами.

РФЭС. Рассмотренные оптические свойства церий- и титансодержащих стекол показывают, что состояния как церия, так и титана заметно изменяются по сравнению со стеклами, dopированными только одним элементом, и при этом нельзя отвергать присутствие в разных образцах Ce^{3+} , Ce^{4+} , а также разных состояний титана — Ti^{4+} и Ti^{3+} , но последний вероятен в незначительной степени. Метод РФЭС может предоставить дополнительную независимую от оптических методов информацию о валентных состояниях этих элементов, а также других элементов, входящих в состав стекол. В рамках настоящей работы результаты РФЭС приведены для одного образца ($\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2 = 1,0 : 6,5$), в котором соотношение $\text{CeO}_2 : \text{TiO}_2$ соответствует их соотношению в стекле с наиболее интенсивной окраской [4], и по представленным выше данным оптических исследований эффект от изменения концентрации церия незначителен. Стекло такого состава можно рассматривать как представительный образец для обеих серий, приведенных в оптических исследованиях, с содержанием 1,5 – 1,0 % CeO_2 .

На рис. 3 рентгенофотоэлектронные (РФЭ) спектры показаны отдельно для элементов, составляющих основу матрицы стекла, — Si, O, и для Ce и Ti, формирующих хромофорные центры. РФЭ-спектры Si 2p (см. рис. 3, а) заметно асимметричны, что может свидетельствовать о наличии состояний кремния, отличных от обычного для SiO_2 , смещенных в сторону меньших энергий связи. Такие изменения в положении линии Si 2p показывают, что частичное химическое взаимодействие образующихся центров окраски с матрицей стекла имеет место, и его природа требует дополнительного исследования, поскольку к настоящему времени по данным других методов (например, ИК-спектроскопии [4]) изменений в полосах поглощения SiO_2 в указанной стеклянной матрице практически не наблюдалось. Снижение энергии связи уровней Si 2p по сравнению с таковой, характерной для SiO_2 [5], можно ассоциировать с образованием группировок Ti – O – Si и Ce – O – Si, в случае появления которых эффективная степень окисления части атомов кремния будет несколько ниже, чем в SiO_2 и щелочных силикатах.

Для кислорода по области энергий, соответствующей уровню O 1s, используемому в РФЭС широкого круга кислородсодержащих соединений (см. рис. 3, б), отмечается достаточно широкий, но симметричный спектр. Такой его вид соответствует тому, что доля оксидов с низкими степенями окисления (например, Ce_2O_3 и Ti_2O_3) в исследуемом стекле невелика либо они отсутствуют совсем.

По линиям Ce 3d (см. рис. 3, в) присутствие атомов церия в разных валентных состояниях (Ce^{3+} и Ce^{4+}) следует из сравнения РФЭ-спектров изученных стекол и других церийсодержащих материалов [17]. За присутствие Ce^{4+} могут быть ответственны пики при энергиях связи 910, 914, 905 и 892 эВ, а Ce^{3+} — пики меньшей интенсивности при 883 и 902 эВ. Основываясь на соотношении интенсивности пиков, можно заключить, что церий находится двух валентных состояниях, но Ce^{4+} — в заметно большей концентрации.

РФЭ-спектр для титана (см. рис. 3, г) не представлен парой симметричных пиков для уровней Ti 2p_{1/2} и Ti 2p_{3/2}, легко наблюдаемых для TiO_2 , но это можно отнести в основном к состояниям Ti^{4+} [18]. В связи с низкой интенсивностью всего спектра для титана, одной из причин чего является меньшее сечение фотоэмиссии для титана, чем для церия, говорить обоснованно о выделении каких-либо нескольких состояний трудно, но Ti^{4+} , вероятно, преобладает.

Таким образом, по результатам РФЭС можно заключить, что в составе стекла церий находится в разных состояниях — Ce^{3+} и Ce^{4+} , а спектр для титана не противоречит его преимущественному присутствию как Ti^{4+} .

Введение добавок оксидов церия и титана в силикатные стекла позволяет получить окрашенные стекла с регулируемым поглощением в видимой области спектра, представляющие практический интерес для изготовления светофильтров в ближней ультрафиоле-

товой и видимой областях спектра. Измерение оптического пропускания, фотолюминесценции и данные РФЭС показали, что появление характерной окраски определяется не совокупностью вкладов ионов церия и титана, а поглощением новой оксидной фазы, стабилизированной в стекле. Для состава окрашивающих центров установлено преимущественное нахождение титана в виде ионов Ti^{4+} , а церия — в двух состояниях: Ce^{3+} и Ce^{4+} , но их связанный характер усложняет спектроскопическое проявление. Соотношение CeO_2 и TiO_2 , вводимых в стекла, является эффективным средством управления их спектральными и цветовыми характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коцик И., Небренский И., Фандерлик И. Окрашивание стекла. — М.: Стройиздат, 1983. — 211 с.
2. Богданова Г. С., Антонова С. Л., Джурицкий Б. Ф. О механизме окрашивания стекол ионами церия и титана // Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы. — 1970. — Т. 6. — № 5. — С. 944 – 948.
3. Xu S. Tang W., Huang W. Fusion of Glasses Containing Ceria and Titania // J. Non-Cryst. Solids. — 1989. — V. 112. — P. 186 – 189.
4. Трусова Е. Е., Бобкова Н. М., Гурин В. С., Горбачук Н. И. Формирование красящих комплексов в стеклах, окрашенных оксидами церия и титана // Стекло и керамика. — 2007. — № 10. — С. 13 – 17.
5. Trusova E. E., Bobkova N. M., Gurin V. S., Gorbachuk N. I. Formation of Coloring Complexes in Glass Colored with Cerium and Titanium Oxide // Glass and Ceram. — 2007. — V. 64. — № 9 – 10. — P. 346 – 348.
6. Нефедов В. И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений: Справ. — М.: Химия, 1984. — 256 с.
7. Ходаловская Р. Я. Химия титансодержащих стекол и ситаллов. — М.: Химия, 1978. — 288 с.
8. Каранетян Г. О. Люминесценция стекол, содержащих церий // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1959. — Т. 23. — № 11. — С. 1382 – 1385.
9. Арбузов В. И., Белянкин Н. Б. Спектроскопические и фотохимические свойства церия в силикатном стекле // Физика и химия стекла. — 1990. — Т. 16. — № 14. — С. 593 – 604.
10. Каранетян Г. О. Влияние окислительно-восстановительных условий на спектры поглощения и люминесценции ионов церия в стекле // Оптика и спектроскопия. — 1957. — Т. 3. — Вып. 6. — С. 641 – 645.
11. Леонов А. И. Высокотемпературная химия кислородных соединений церия. — Л.: Наука, 1969. — 201 с.
12. Арбузов В. И., Грабовский В. Я., Дзенис Я. Я. Особенности возбуждения люминесценции ионов Ce^{3+} и Tb^{3+} в силикатном стекле // Физика и химия стекла. — 1992. — Т. 18. — № 2. — С. 96 – 105.
13. Прохорова Т. И., Острогина О. М. Спектрально-люминесцентные свойства кварцевых стекол с церием // Физика и химия стекла. — 1981. — Т. 7. — № 6. — С. 678 – 685.
14. Karar N., Chander H. Luminescence Properties of Cerium Doped Nanocrystalline Yttrium Silicate // J. Phys.: D. — 2005. — V. 38. — P. 3580 – 3583.
15. Kasuya R., Isobe T., Kuma H., Katano J. Defect Structure of Rare Earth Aluminium Garnets Obtained by the Glycothermal Method // J. Phys. Chem.: B. — 2005. — V. 109. — P. 22126 – 22130.
16. Батяев И. М., Леонов А. В. Оптические свойства калийалюмофосфатного стекла, активированного ионами трехвалентного титана // Оптика и спектроскопия. — 2005. — Т. 99. — № 4. — С. 606 – 608.
17. Konijnendijk W. J., Blasse G. On the Luminescence of Ti^{4+} in $Mg_3SnB_2O_{10}$ and $Mg_3ZrB_2O_8$ // Mater. Chem. Phys. — 1985. — V. 12. — P. 591 – 599.
18. Тетерин Ю. А., Тетерин А. Ю., Лебедев А. М., Уткин И. О. Структура рентгеноэлектронных спектров кислородсодержащих соединений церия // Радиохимия. — 1998. — Т. 40. — № 2. — С. 96 – 102.
19. Yao J., Shao J., He H., Fan Z. Optical and Electrical Properties of TiO_2 thin Films Deposited by Electron Beam Evaporation // Vacuum. — 2007. — V. 81. — P. 1023 – 1028.

На книжную полку

Новая книга

Вышла в свет новая книга д-ра техн. наук Ю. А. Гулояна “Физико-химические основы технологии стекла”

Книга рекомендуется для использования в качестве учебного пособия в ВУЗах, колледжах, при научном и производственном обучении. Материалы книги могут помочь студентам в усвоении учебного материала, а специалистам стекольных заводов — в самостоятельном и плодотворном анализе возникающих технологических ситуаций. Сведения, содержащиеся в книге, могут быть также полезны аспирантам и специалистам при проведении исследовательских работ научного и производственного характера.

Книга является хорошим дополнением к ранее изданному автором учебнику “Технология стекла и стеклоизделий”.

В книге приведены основные положения и закономерности физической химии и показана их роль при осуществлении технологических процессов стекольного производства, а также изложены основы нанотехнологий.

Материал книги изложен в достаточно доступной форме с использованием теоретических положений, практических примеров, несложных наглядных схем и рисунков.

В книге 23 главы (736 страниц), есть предметный указатель и приложения, в которых приведены справочные данные по физической химии и технологии стекла, в том числе расчеты свойств стёкол и режимов отжига.

Следует отметить тот факт, что книга издана при финансовой и организационной поддержке предприятий, организаций и специалистов стекольной промышленности, а также смежных отраслей, учебных заведений.

По вопросам приобретения книги следует обращаться к автору.

Тел.: (49241) 2-29-86 • Факс: (49241) 2-53-28 • E-mail: yu_guloyan@mail.ru