

Научная статья

УДК 53; 536.6; 544.236.2

DOI 10.25205/2541-9447-2023-18-3-61-70

Температурная зависимость удельной теплоемкости стекол, полученных на основе $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{Bi}_2\text{O}_3$

Давлатназар Сохибназарович Кучакшоев¹

Александр Гулямович Джабаров²

Алимахмад Холов³

¹⁻³Физико-технический институт им. С. У. Умарова НАНТ
Душанбе, Республика Таджикистан

¹k.davlat@mail.ru

²jabarovag@rambler.ru

³alikhlov@mail.ru

Аннотация

В данной работе экспериментально в процессе охлаждения исследована температурная зависимость удельной теплоемкости стекол, полученных на основе соединения $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{Bi}_2\text{O}_3$ с разной концентрацией тетрабората натрия и оксида висмута в исходной смеси. Экспериментально показано, что с изменением концентрации исходных веществ меняется удельная теплоемкость образцов, наблюдается сдвиг максимумов в сторону низких температур с увеличением концентрации оксида висмута. Дана физическая интерпретация природы максимума на температурной зависимости удельной теплоемкости.

Ключевые слова

удельная теплоемкость, стекло, температура, скорость охлаждения

Для цитирования

Кучакшоев Д. С., Джабаров А. Г., Холов А. Температурная зависимость удельной теплоемкости стекол, полученных на основе $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{Bi}_2\text{O}_3$ // Сибирский физический журнал. 2023. Т. 18, № 3. С. 61–70. DOI 10.25205/2541-9447-2023-18-3-61-70

Temperature Dependence of the Specific Heat Capacity Glasses Produced Based on $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{Bi}_2\text{O}_3$

Davlatnazar S. Kuchakshoev¹, Alexander G. Dzhabarov²,
Alimakhmad Kholov³

¹⁻³S. U. Umarov Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan,
Dushanbe, Republic of Tajikistan

¹k.davlat@mail.ru

²jabarovag@rambler.ru

³alikhlov@mail.ru

Annotation

In this work, the temperature dependence of the specific heat capacity of glasses obtained on the basis of the $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{Bi}_2\text{O}_3$ compound with different concentrations of sodium tetraborate and bismuth oxide in the initial mixture was studied experimentally during cooling. It has been experimentally shown that with a change in the concentration of the initial substances, the specific heat capacity of the sample's changes, and a shift of the maxima towards low temperatures is observed with an increase in the concentration of bismuth oxide. A physical interpretation of the nature of the maximum on the temperature dependence of the specific heat is given.

Keywords

specific heat capacity, glass, temperature, cooling rate

For citation

Kuchakshoev D. S., Dzhabarov A. G., Kholov A. Temperature dependence of the specific heat capacity glasses produced based on $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{Bi}_2\text{O}_3$. *Siberian Journal of Physics*, 2023, vol. 18, no. 3, pp. 61–70 (in Russ.). DOI 10.25205/2541-9447-2023-18-3-61-70

Введение

Стеклообразное состояние вещества открывает широкие технологические возможности для получения разнообразных материалов и изделий. Стекло и изделия на его основе находят широкое применение во многих областях народного хозяйства. Стекло превратилось в незаменимый материал строительного и конструкционного назначения, прочно утвердилось в элементах конструкций транспортной, электронной, атомной, ракетной и других отраслей техники, стало неотъемлемой частью бытовых потребностей населения [1]. Стекла стали заменять, в частности, и кристаллы.

В этом ряду ученые исследуют свойства стекол разных составов. В том числе хорошо изученные соединения боратов висмута, которые обладают высокими значениями показателя преломления, широкой областью прозрачности в видимом и ИК-диапазонах. Это позволяет создавать на их основе кристаллические материалы и стекла для нелинейной оптики, лазерной и оптоволоконной техники, что делает их весьма перспективными для различных приложений нелинейной оптики [2–4]. Так, стекло на основе соединений B_2O_3 характеризуется широкими областями стеклообразования [5], что позволяет изменять состав и свойства стекол в широких пределах.

Существует мало литературных источников по физико-химическим свойствам соединений $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{Bi}_2\text{O}_3$, в которых кроме бора и висмута важную роль играет еще и натрий. Методом ДТА и РФА была изучена вероятность появления тройного соединения, содержащее В, Вi и Na [6; 7]. Обнаружено, что в широком диапазоне концентраций получают многофазные соединения различного состава, включающего как кристаллические, так и аморфные фазы. Однако среди различных по составу и структуре компонент кристаллической фазы не обнаружено тройных соединений, содержащих В, Вi и Na. Тем не менее в интервале молярных концентраций Bi_2O_3 менее 30 % получены качественные прозрачные стекла [8], однородные по составу и структуре, оптические и электрические свойства которых зависят от состава и технологических факторов.

Материалы и методы

Для получения стекол были использованы следующие исходные компоненты: тетраборат натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, ЧДА, ГОСТ 4199-66) и оксида висмута (Bi_2O_3 , ХЧ, ГОСТ 10216-75). С целью удаления воды исходные вещества прокаливались в муфельной печи в течение двух часов при температуре 573 К в среде атмосферного воздуха. Далее для получения стекол, содержащих В, Вi и Na, к тетраборату натрия добавлялось необходимое соотношение Bi_2O_3 (10, 20 и 30 %), т. е. добавлены те концентрационные соотношения оксида висмута, при которых получают прозрачные стекла. Так как при добавке выше 30 % оксида висмута к тетраборату натрия получают мутные (не прозрачные) образцы. Полученная смесь размалывалась в шаровой мельнице в течение часа с целью гомогенизации состава и плавилось при 1050 К в платиновом тигле, с выдержкой в течение 7 часов, после чего расплав быстро охлаждался в керамическом тигле. Полученные образцы имели цилиндрические формы с размерами 10–12 мм в диаметре и 2–10 мм в толщине [8].

Теплоемкость определялась на установке, описанной в работе [9], при непрерывном свободном охлаждении расплава в окружающую среду методом сравнения с удельной теплоемкостью эталона, в качестве которого использовался пустой платиновый тигель с крышкой, теплоемкость которого во всем измеряемом интервале температур известна [10]. Измерения проводились в условиях непрерывного свободного охлаждения образцов в окружающую среду, которые соответствовали условиям охлаждения расплава при получении образцов от расплава до комнатной температуры.

Результаты и обсуждение

Целью данной работы является измерение температурной зависимости удельной теплоемкости стекла на основе $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ методом сравнения при непрерывном свободном охлаждении в окружающую среду от температур расплава до температур, близких к комнатным. В случае получения стеклообразных образцов на основе соединений $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ содержание Na по отношению к В для всех концентраций не меняется и равно $\frac{1}{2}$.

Известно, что одно из понятий, характеризующих тепловые свойства тел, которую используют в термодинамике, – это теплоемкость. Простого математического соотношения, которое могло бы выражать зависимость теплоемкости твердого тела от температуры в широких ее пределах, не имеется. На основе квантово-механических представлений о строении материи наиболее точные выражения выведены в виде формул или функций Дебая, Эйнштейна и Нернста – Линдемана, но при высоких температурах теплоемкость веществ с более сложной структурой отклоняется от теории Дебая. Одним из распространенных методов, который позволяет установить зависимость теплоемкости от температуры ($c_p = f(T)$) в области высоких температур, является метод сравнения скоростей охлаждения двух образцов (исследуемого и эталонного) по закону охлаждения Ньютона – Рихмана. В связи с этим, как отмечено в работе [9], чтобы проследить молекулярные процессы, протекающие при изготовлении образцов стекол в процессе охлаждения расплава, был проведен ряд экспериментов по определению удельной теплоемкости в условиях, приближенных к условиям получения образцов. Удельную теплоемкость рассчитывали по известной формуле [9], полученной на основе уравнения Ньютона – Рихмана. Сначала определяли удельную теплоемкость тигля с образцом $c_{p,x}$, а затем по формуле $c_{p,s} = \frac{c_{p,x} \cdot m_x - c_{p,t} \cdot m_t}{m_s}$ рассчитывали удельную теплоемкость образца, где m_s ; m_t ; m_x – массы образца, пустого платинового тигля, платинового тигля с образцом, а $c_{p,s}$; $c_{p,t}$; $c_{p,x}$ – удельные теплоемкости образца, пустого платинового тигля, платинового тигля с образцом соответственно.

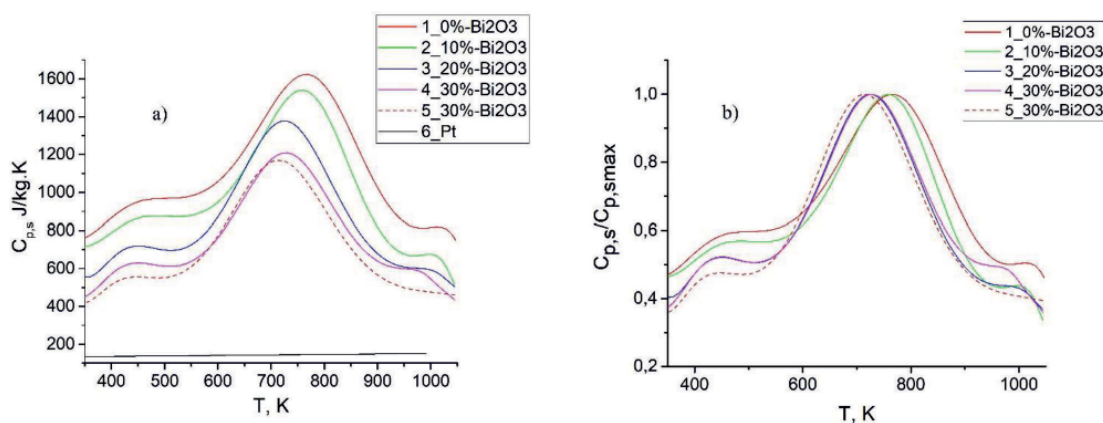


Рис. 1. Температурная зависимость удельной теплоемкости стекол состава $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$: *a* – в координатах $c_{p,s} - T$; *b* – в координатах $c_{p,s}/c_{p,s,max} - T$

Fig. 1. Temperature dependence of the specific heat capacity of glasses of composition $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$: *a* – in coordinates $c_{p,s} - T$; *b* – in coordinates $c_{p,s}/c_{p,s,max} - T$

Рассчитанные удельные теплоемкости образцов стекол состава $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ для разных мольных концентраций α представлены на рис. 1. Мольная концентрация $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3$ в образцах, полученных с длительной выдержкой расплава, равна: 1–0; 2–10; 3–20; 5–30 %. Образец 4 по составу соответствует образцу 5, но получен без длительной выдержки расплава. Видно, что зависимости $c_p(T)$ для всех образцов проходят через максимум. В максимуме удельная теплоемкость уменьшается при увеличении мольной концентрации Bi_2O_3 от 0 до 30 % и изменяется от 1650 Дж/(кг К) для $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ до 1200 Дж/(кг К) для стекол с 30 % добавкой Bi_2O_3 . Положение максимума также меняется, что хорошо видно на рис. 1, *b* и отражено в табл. 1. С ростом концентрации Bi_2O_3 максимум $c_p(T)$ сдвигается в сторону низких температур от 770 К для стекла $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ до 710 К для стекла $3\cdot\text{Bi}_2\text{O}_3 + 7\cdot\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

Таблица 1

Сдвиг максимума температуры и теплоемкости образцов
на основе соединения $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

Table 1

Shift of maximum temperature and heat capacity of samples
based on $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ compounds

Образец	Bi_2O_3 , %	Максимум	
		T , К	c_p , Дж/(кг·К)
1	0	770	1623
2	10	760	1541
3	20	720	1376
4	30	729	1209
5	30	710	1169

Согласно данным табл. 1 и построенных на их основе графиков, показанных на рис. 2, наблюдается уменьшение удельной теплоемкости с ростом концентрации Bi_2O_3 .

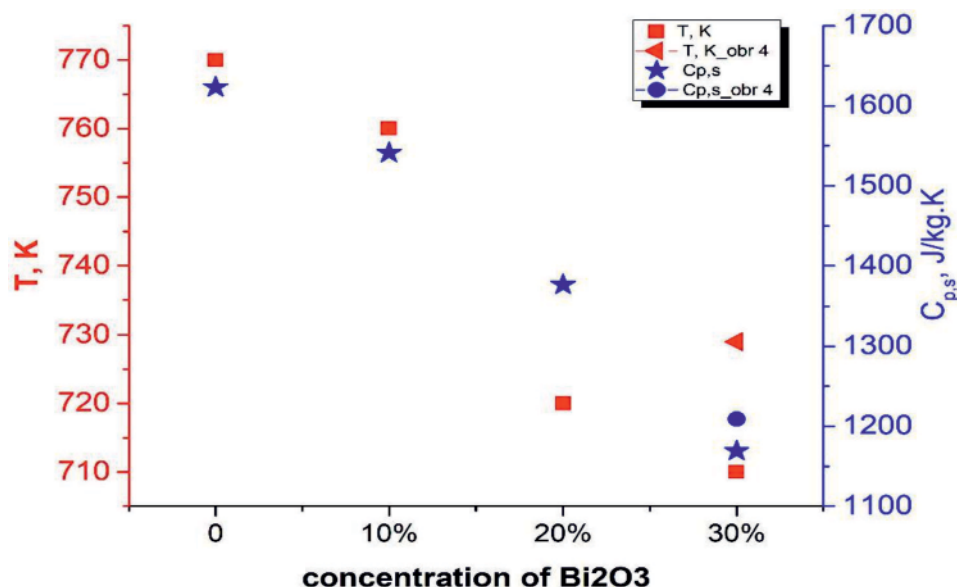


Рис. 2. Изменение температуры максимума T_m и удельная теплоемкости $c_p(T)$ образцов $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ с ростом концентрации Bi_2O_3

Fig. 2. Changes in the maximum temperature T_m and specific heat capacity $c_p(T)$ of the $\alpha\text{Bi}_2\text{O}_3 + (1-\alpha)\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ samples with increasing Bi_2O_3 concentration

Образец 4 имеет такой же состав, как и образец 5, но отличается тем, что получен быстрым охлаждением расплава сразу после достижения его температуры 1050 K, тогда как образец 5 получен быстрым охлаждением расплава после длительной выдержки (> 10 часов) при той же температуре. Исследования с помощью электронного сканирующего микроскопа показали (рис. 3), что структура образца 5 (см. рис. 3, *d*) однородна, распределение Na, В и Вi также распределены по образцу равномерно. На картинках видно, как меняются образцы в зависимости от концентрации Bi_2O_3 в их составе. Образец 4 (см. рис. 3, *e*) имеет мозаичную структуру, в которой Na, В и Вi распределены неравномерно: существуют области с повышенным содержанием В и с повышенным содержанием Вi.

В областях с повышенным содержанием В помимо Вi присутствует Na, концентрация которого больше, чем в областях с повышенным содержанием Вi. Расплавы всех образцов обладают высокой вязкостью, что обуславливает большие времена релаксации процесса молекулярной перегруппировки, образования молекулярной пространственной сетки, характерной для боратных стекол [11].

Рентгенофазовый анализ этих образцов показал, что данные образцы аморфные и имеют малую долю кристаллических фаз (рис. 4, *a, b*). С целью определения доли кристаллической и аморфной фазы образцов была использована программа Search-Match с дополнительным привлечением программы OriginLab 2015. Содержание аморфной фазы χ_{am} (содержание кристаллической фазы $\chi_{cr} = 1 - \chi_{am}$) в образцах определяли по отношению площади фона к площади спектра, которые рассчитывали с помощью программы OriginLab. Полученные дифрактограммы исследованных образцов приведены на рис. 4, *a*.

Как видно из рис. 4, дифрактограммы всех образцов представляют собой спектры с широкими размытыми дифракционными максимумами, что свидетельствует о существовании большой аморфной фазы этих образцов. Кристаллические дифракционные пики можно различать только на уровне фона.

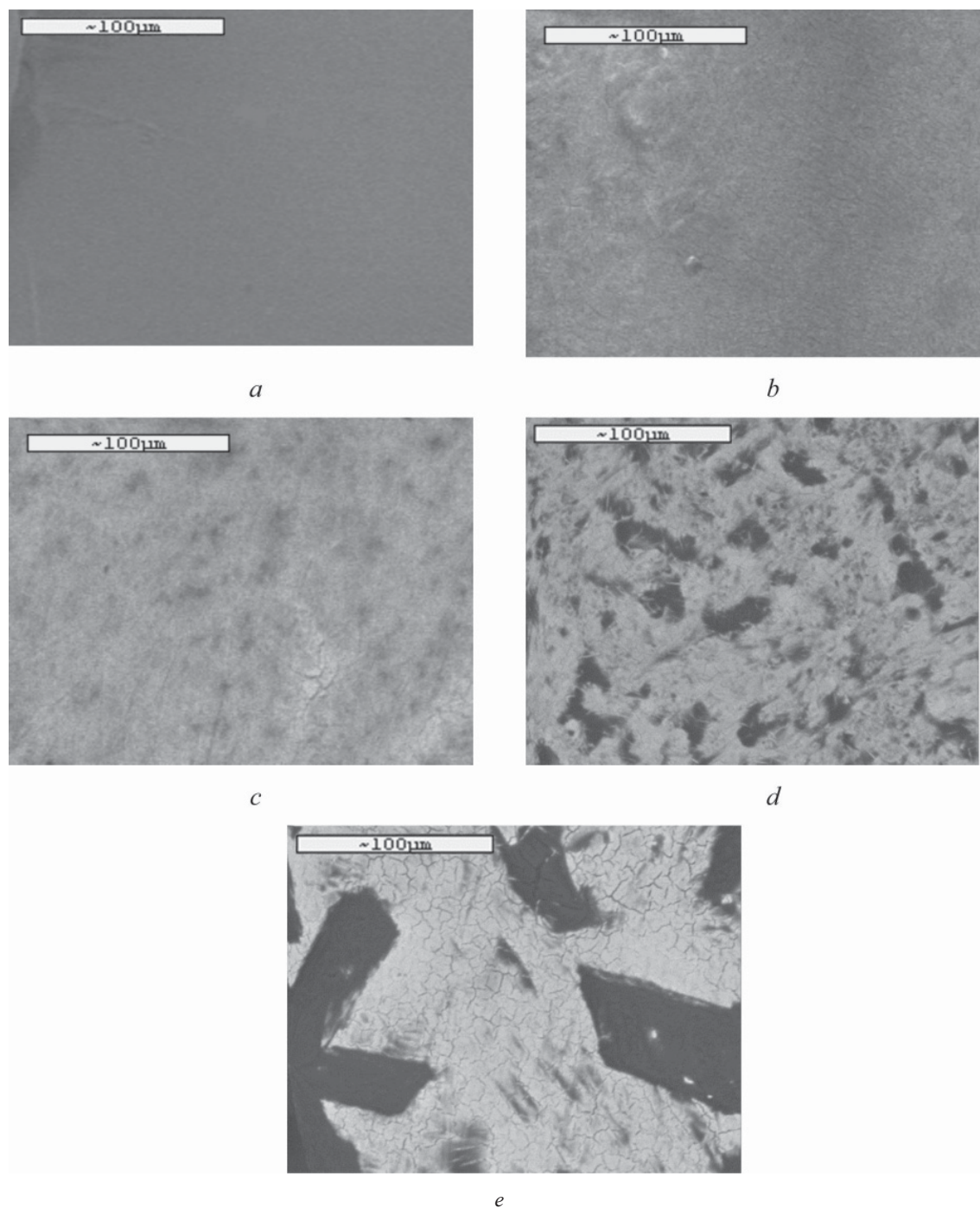


Рис. 3. Изображения исследованных образцов в отраженных электронах BSE, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа при разных концентрациях Bi_2O_3 в составе: $a - 0\%$; $b - 10\%$; $c - 20\%$; $d - 30\%$; $e - 30\%$ (без длительной выдержки в расплаве)

Fig. 3. Images of experimental samples in reflected BSE electrons, obtained by scanning a microscope at different concentrations of Bi_2O_3 in the composition: $a - 0\%$; $b - 10\%$; $c - 20\%$; $d - 30\%$; $e - 30\%$ (excluding long exposure)

Расчеты содержания аморфной фазы образцов, приведенные в табл. 2, показывают, что при малой концентрации Bi_2O_3 наблюдается уменьшение содержания кристаллической фазы, но увеличение концентрации оксида висмута приводит к росту кристаллической фазы.

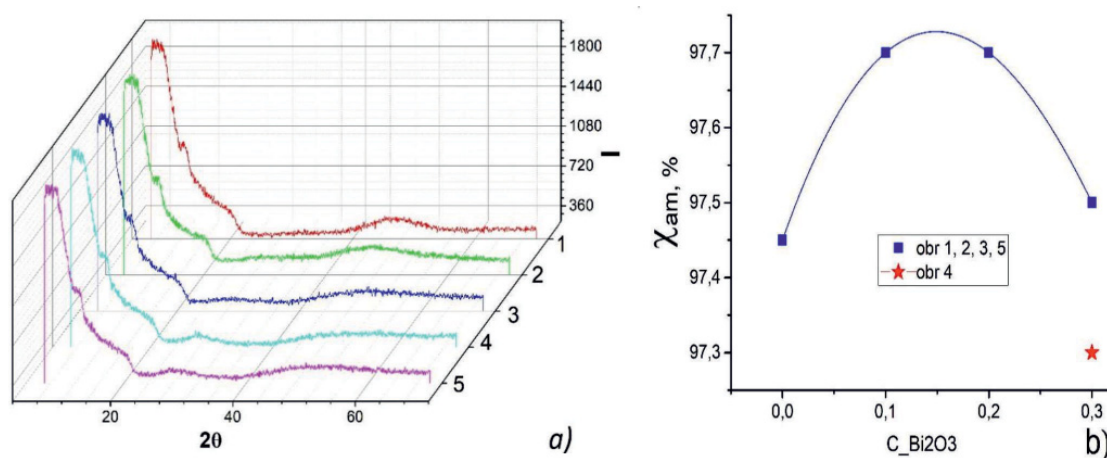


Рис. 4. Рентгенофазовый анализ стекол состава $\alpha Bi_2O_3 + (1 - \alpha) Na_2B_4O_7$ в зависимости от концентрации Bi_2O_3 в образцах: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 20; 4, 5 – 30 % (a); зависимость изменения содержания аморфной фазы от концентрации Bi_2O_3 в образцах (b)

Fig. 4. X-ray phase analysis of glasses with the composition $\alpha Bi_2O_3 + (1 - \alpha) Na_2B_4O_7$ depending on the concentration of Bi_2O_3 in the samples: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 20; 4, 5 – 30 % (a); changes in the content of the amorphous concentration of Bi_2O_3 in the samples (b)

Таблица 2

Содержание аморфной фазы образцов при разной концентрации Bi_2O_3
в исходной смеси

Table 2

The content of the amorphous phases of the samples at different concentrations of Bi_2O_3
in the initial mixture

Образец	$Bi_2O_3, \%$	Аморфная фаза, %
1	0	97,45
2	10	97,7
3	20	97,7
4	30	97,3
5	30	97,5

Наблюдаемая неоднородность структуры и распределения Na, B и Bi в образце 4 является следствием дефицита времени для перестройки структуры из-за больших времен релаксации. Выдержка расплава в течение длительного времени (~10 часов) приводит к равномерному распределению химических элементов, образованию новых связей и молекулярной структуры в целом. В образце 4 с незавершенным структурообразованием величина максимума удельной теплоемкости и его температура несколько выше, чем для образца 5 с однородной структурой. Это может быть связано с тем, что в силу незавершенности процессов структурообразования в образце 4 присутствует значительное количество атомов Na, которые либо свободны, либо слабо связаны с образующейся молекулярной сеткой стеклообразных образцов. О существовании свободных атомов Na свидетельствует обнаруженный нами факт наличия спектральных полос в спектрах пропускания в видимой области, характерных для дуплетных переходов атомов Na [12; 13] и которые не наблюдаются в спектрах образца 5. В стеклообразном состоянии (вблизи температуры стеклования, температуры максимум, показанной в табл. 1) подвижность

таких атомов оказывается размороженной, что обуславливает их дополнительный вклад в процесс теплопереноса, в величину теплоемкости.

Природа основного максимума в исследованных материалах связана с молекулярными процессами стеклообразования при охлаждении расплава до низких температур, характер которого обусловлен особенностями молекулярной подвижности в широком интервале температур и скоростью отбора энергии на контакте тигля с образцом и окружающей средой (воздух).

Известно, что расплав стекол исследованных веществ в том числе имеет высокую вязкость. Характер молекулярной подвижности на стадии размягчения носит кластерный характер, который сохраняется вплоть до температур плавления [14]. Такому характеру молекулярной подвижности присущи большие времена релаксации, определяющие скорость изменений молекулярной структуры. При больших скоростях охлаждения на начальной стадии (~ 2000 К/мин) и больших временах релаксации кластерный механизм подвижности оказывается «замороженным», не вносит вклад в измеряемую удельную теплоемкость, что обуславливает ее значения на уровне значений при низких температурах (близких к комнатной), которые определяются локальной колебательной молекулярной подвижностью.

Заключение

На основе проведенных исследований следует отметить, что в процессе охлаждения расплава его скорость экспоненциально уменьшается, что приводит к динамическому «размораживанию» кластерной молекулярной подвижности, вследствие чего расчетная (кажущаяся) удельная теплоемкость начинает расти. Рост удельной теплоемкости продолжается до температуры максимума (температуры стеклования). При дальнейшем охлаждении, когда температура образца оказывается меньше температуры стеклования, времена релаксации значительно возрастают, а скорость охлаждения падает (до десятков – сотен К/мин), рост удельной теплоемкости сменяется на ее уменьшение – наступает процесс структурного стеклования. Все молекулярные процессы при охлаждении образцов (от расплава до твердого состояния) протекают в неравновесных условиях, в силу чего значения рассчитанной (кажущейся) удельной теплоемкости несколько отличаются от значений, приведенных в работе [15], – наши температурные зависимости удельной теплоемкости более пологи и более растянуты по температуре.

Список литературы

1. Гулоян Ю. А. Технология стекла и стеклоизделий: Учебник для средних специальных учебных заведений, систем профессионально-технического и производственного обучения. Владимир: Транзит-Икс, 2003. 480 с.
2. Hasu H., Ito T., Hase H., et al. Third-Order Optical NonLinearity of Bi_2O_3 -Based Glasses // J. Non-Cryst. Solids. 1996. Vol. 204, no. 1. P. 78–82.
3. Becker P. Thermal and Optical Properties of Glasses of the System Bi_2O_3 - B_2O_3 // Cryst. Res. Technol. 2003. Vol. 38, no. 1. P. 74–82.
4. Ehrt D. The Effect of ZnO , La_2O_3 , PbO and Bi_2O_3 on the Properties of Binary Borate Glasses and Melts // Phys. Chem. Glasses. 2006. Vol. 47, no. 6. P. 669–674.
5. Мазурин О. В., Стрельщина М. В., Швайко-Швайковская Т. П. Свойства стекол и стеклообразующих расплавов: Справочник. СПб.: Наука, 1998. Т. 6, ч. 2. 523 с.
6. Кучакшоев Д. С., Джабаров А. Г. Дифференциально-термический анализ бинарной системы $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // ДАН РТ. 2015. Т. 58, № 12. С. 1096–1099.
7. Каргин Ю. Ф., Егорышева А. В. Фазовые взаимоотношения в системе Na_2O - Bi_2O_3 - B_2O_3 // ЖНХ. 2005. Т. 50, № 12. С. 2068–2071.
8. Кучакшоев Д. С., Джабаров А. Г., Холлов А. Свойства стекол на основе соединений Bi_2O_3 и $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // ДАН РТ. 2020. Т. 63, № 7–8. С. 488–493.

9. **Кучакшоев Д. С., Джабаров А. Г., Холов А.** Определение удельной теплоемкости стекол на основе боратов висмута // Изв. НАНТ. Отд-ние физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2022. № 4(189). С. 77–83.
10. **Zinoviev V. E.** Thermophysical properties of metals at high temperatures. Reference edition, M.: Metallurgiya, 1989. 384 p.
11. **Бартенев Г. М., Сандитов Д. С.** Релаксационные процессы в стеклообразных системах. Новосибирск: Наука, 1986. 240 с.
12. **Кучакшоев Д. С., Джабаров А. Г., Холов А.** Компьютеризованная установка для исследования спектральных характеристик неорганических и органических материалов на базе ГУР-5 и МДР-23 / XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан»: Сб. материалов. 24 октября 2019 г. Душанбе, 2020. С. 81–83.
13. **Кучакшоев Д. С., Джабаров А. Г., Холов А.** Синтез и оптические свойства стекол на основе $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // Проблемы современной физики полупроводников: Материалы науч.-практ. конф. Куляб, 2019. С. 34–37.
14. **Сандитов Д. С., Бартенев Г. М.** Физические свойства неупорядоченных структур. Новосибирск: Наука, 1982. 258 с.
15. **Иртюго Л. А., Денисов В. М., Жереб В. П. и др.** Высокотемпературная теплоемкость стекол боратов висмута // Журн. СФУ. Химия. 2011. Т. 4, № 4. С. 344–349.

References

1. **Guloyan Yu. A.** Technology of glass and glass products: a textbook for secondary specialized educational institutions, systems of vocational and industrial training. Vladimir, Transit-X, 2003, 480 p. (in Russ.)
2. **Hasu H., Ito T., Hase H., et al.** Third-Order Optical NonLinearity of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--Based}$ Glasses // J. Non-Cryst. Solids. 1996. Vol. 204, no. 1. P. 78–82.
3. **Becker P.** Thermal and Optical Properties of Glasses of the System $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--B}_2\text{O}_3$ // Cryst. Res. Technol. 2003. Vol. 38, no. 1. P. 74–82.
4. **Ehrt D.** The Effect of ZnO , La_2O_3 , PbO and Bi_2O_3 on the Properties of Binary Borate Glasses and Melts // Phys. Chem. Glasses. 2006. Vol. 47, no. 6. P. 669–674.
5. **Mazurin O. V., Strelytsina M. V., Shvaiko-Shvaykovskaya T. P.** Properties of glasses and glass-forming melts: a Handbook. St. Petersburg, Nauka, 1998, vol. 6, part 2, 523 p.
6. **Kuchakshoev D. S., Dzhabarov A. G.** Differential thermal analysis of the binary system $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // DAN RT. 2015. Vol. 58, no. 12. P. 1096–1099.
7. **Kargin Yu. F., Egorysheva A. V.** Phase relationships in the $\text{Na}_2\text{O--Bi}_2\text{O}_3\text{--B}_2\text{O}_3$ system // ZhNKh. 2005. Vol. 50, no. 12. P. 2068–2071.
8. **Kuchakshoev D. S., Dzhabarov A. G., Kholov A.** Properties of glasses based on Bi_2O_3 and $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ compounds // DAN RT. 2020. Vol. 63, no. 7–8. P. 488–493.
9. **Kuchakshoev D. S., Dzhabarov A. G., Kholov A.** Determination of the specific heat capacity of glasses based on bismuth borates // Izvestiya NANT. Department of Physical and Mathematical, Chemical, Geological and Technical Sciences. 2022. No. 4 (189). P. 77–83.
10. **Zinoviev V. E.** Thermophysical properties of metals at high temperatures. Reference edition, Moscow, Metallurgiya, 1989, 384 p.
11. **Bartenev G. M., Sanditov D. S.** Relaxation processes in glassy systems. Novosibirsk, Nauka, 1986, 240 p.
12. **Kuchakshoev D., Dzhabarov A. G., Kholov A.** Computerized setup for studying the spectral characteristics of inorganic and organic materials based on GUR-5 and MDR-23. Collection of materials XV Numanov's readings «The current state of chemical science and the use of its achievements in the national economy of the Republic of Tajikistan.» October 24, 2019, p. 81–83.

13. **Kuchakshoev D., Dzhabarov A. G., Kholov A.** Synthesis and optical properties of glasses based on $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // Material scientific-practical conference on the topic «Problems of modern semiconductor physics». Kulyab, December 21, 2019, p. 34–37.
14. **Sanditov D. S., Bartenev G. M.** Physical properties of disordered structures. Novosibirsk, Nauka, 1982, 258 p.
15. **Irtiyugo L. A., Denisov V. M., Zhereb V. P., et al.** High-Temperature Heat Capacity of Bismuth Borate Glasses // Zh. SFU. Chemistry. 2011. Vol. 4, no. 4. P. 344–349.

Информация об авторах

Давлатназар Сохибназарович Кучакшоев, соискатель

Александр Гулямович Джабаров, кандидат физико-математических наук

Алимахмад Холов, кандидат химических наук

Information about the Author

Davlatnazar S. Kuchakshoev, Senior Researcher

Alexander G. Dzhabarov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Alimakhmad Kholov, Candidate of Chemical Sciences

*Статья поступила в редакцию 19.09.2022; одобрена после рецензирования 06.09.2023;
принята к публикации 30.10.2023*

*The article was submitted 19.09.2022; approved after reviewing 06.09.2023;
accepted for publication on 30.10.2023*