

Научная статья
УДК 544-016 544-032
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.009

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СТЕКОЛ В РАЗРЕЗЕ $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ — $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ НАТРИЕВО-БАРИЕВО-БОРАТНОЙ СИСТЕМЫ

**Ирина Георгиевна Полякова¹, Елена Олеговна Лушникова², Зоя Геральдовна Тюрнина³,
Наталья Геральдовна Тюрнина⁴**

^{1, 2, 3, 4}Институт химии силикатов имени И. В. Гребенщикова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

¹ira_pp@list.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8022-1297>

²elitovchik@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2614-8690>

³turnina.zg@isrcas.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3134-7309>

⁴turnina.ng@isrcas.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9410-8917>

Аннотация

Приведены результаты кристаллизации порошков стекол диборатного разреза системы Na_2O - BaO - B_2O_3 . Методами ДТА и РФА определены температуры стеклования, температурные области кристаллизации при скорости нагрева 10 К/мин, идентифицированы образующиеся кристаллические фазы, установлены природа и температуры их плавления. Показано, что исследуемый разрез не является псевдобинарной системой, это лишь частное сечение натриево-бариево-боратной системы. Фазой первичной кристаллизации в разрезе является соединение $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 9\text{B}_2\text{O}_3$, его поле охватывает подавляющую часть разреза. Второе известное тройное соединение, $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3$, по-видимому, плавится перитектически. Установлено, что при длительной выдержке стекол в монокристаллическом состоянии в них образуется новая фаза с ориентировочным составом $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 6\text{B}_2\text{O}_3$.

Ключевые слова:

боратные стекла, кристаллизация, фазовые равновесия

Благодарности:

работа выполнена в рамках государственного задания по теме научно-исследовательской работы Института химии силикатов имени И. В. Гребенщикова Российской академии наук (№ 0097-2022-0003) (№ 0081-2022-0005), субсидия Минобрнауки России.

Для цитирования:

Кристаллизация стекол в разрезе $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ — $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ натриево-бариево-боратной системы / И. Г. Полякова [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 4. С. 56–61. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.009

Original article

CRYSTALLIZATION OF GLASSES IN $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ — $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ SECTION OF THE SODIUM-BARIUM-BORATE SYSTEM

Irina G. Polyakova¹, Elena O. Lushnikova², Zoya G. Tyurnina³, Natalia G. Tyurnina⁴

^{1, 2, 3, 4}Institute of Silicate Chemistry, Russian Academy of Sciences (ISC RAS), St. Petersburg, Russia

¹ira_pp@list.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8022-1297>

²elitovchik@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2614-8690>

³turnina.zg@isrcas.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3134-7309>

⁴turnina.ng@isrcas.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9410-8917>

Abstract

The results of crystallization of glass powders of the diborate section of the Na_2O - BaO - B_2O_3 system are presented. The glass transition temperatures and temperature regions of crystallization at a heating rate of 10 K/min were determined by DTA and XRD methods; the formed crystalline phases were identified, and the nature and temperatures of their melting were established. It is shown that the section under study is not a pseudobinary system, but only a partial section of the sodium-barium borate system. It is shown that the $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 9\text{B}_2\text{O}_3$ compound is the phase of primary crystallization in the section; its field covers the majority of the section. The second known ternary compound, $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3$, apparently melts peritectically. It has been established that during long-term heat treatment of glasses in a monolithic state, a new phase is formed in them with an approximate composition of $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 6\text{B}_2\text{O}_3$.

Keywords:

borate glasses, crystallization, phase equilibria

Acknowledgments:

the article was supported from the topic of state assignment for Institute of Silicate Chemistry, Russian Academy of Sciences (ISC RAS) (No 0097-2022-0003) (No 0081-2022-0005), subsidy of the Ministry of Education and Science of Russia.

For citation:

Crystallization of glasses in $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ — $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ section of the sodium-barium-borate system / I. G. Polyakova [et al.]
// Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 56–61.
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.009

Введение

Тройная система Na_2O – BaO – B_2O_3 стала вызывать устойчивый интерес исследователей после того, как более 30 лет назад в ней удалось вырастить крупные монокристаллы $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_3$ (ВВО) с выдающимися нелинейно-оптическими свойствами и высокой химической устойчивостью [1]. Из-за наличия высокотемпературного фазового перехода в α -фазу, не обладающую нелинейно-оптическими свойствами, ВВО можно выращивать только методом раствора-расплава, при этом оксид натрия используется как плавление [2, 3]. Фазовая диаграмма системы изучалась именно в свете этих интересов, начиная с бинарного метаборатного разреза $\text{BaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ и далее в область уменьшения содержания оксида бора, поскольку выяснилось, что из обогащенного оксидом бора расплава вырастить совершенные монокристаллы невозможно [4]. Делались попытки синтезировать в области с содержанием B_2O_3 более 50 мол. % тройные нецентросимметричные соединения, потенциально обладающие нелинейно-оптическими свойствами. Так, в работе [5] синтезировано и кристаллографически охарактеризовано такое соединение — $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 9\text{B}_2\text{O}_3$ (1 : 2 : 9), однако существенными нелинейно-оптическими свойствами оно не обладает. Позже в высокоборатной области системы было получено еще одно тройное соединение — $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3$ (1 : 2 : 5) [6], также не имеющее каких-либо выдающихся нелинейно-оптических свойств.

Область стеклообразования в системе Na_2O – BaO – B_2O_3 ранее не изучалась, но очевидно, что она должна располагаться в части системы с высоким содержанием стеклообразователя (более 50 мол. % оксида бора). Сравнительно подробно были изучены свойства стекла, имеющего состав упомянутого выше кристалла со стехиометрией 1 : 2 : 9 [7–10], однако взятые изолированно, вне сравнения с другими стеклами системы, эти данные не вызывали большого интереса. Единственная работа, где ряд стекол системы Na_2O – BaO – B_2O_3 исследован систематически, изучены температуры стеклования (T_g) и коэффициенты термического расширения в диборатном разрезе системы ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ – $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$) — [11], и для этих свойств обнаружено проявление поликатионного эффекта.

Целью данной работы было изучение кристаллизации стекол разреза $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ – $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ и их фазовых превращений при нагревании.

Обозначения

Все стекла изучаемого разреза содержат 66,7 мол. % B_2O_3 , поэтому их состав может обозначаться одним числом — содержанием оксида натрия. Так, стекло состава $11,1\text{Na}_2\text{O} \cdot 22,2\text{BaO} \cdot 66,7\text{B}_2\text{O}_3$ будет записано как NaBaB-11,1 . Дибораты натрия и бария обозначаются как Na_2B и Ba_2B соответственно.

Объекты и методы

Десять стекол диборатного разреза были предоставлены для исследования авторами работы [11], еще девять стекол синтезированы авторами данной работы. Условия синтеза были одинаковыми, они описаны в [11]. Кристаллизация стекол производилась в шахтных печах, рентгенофазовый анализ (РФА) выполнялся на дифрактометре «ДРОН-3», излучение CuK_α . Для дифференциально-термического анализа (ДТА) использовался дериватограф фирмы МОМ, скорость нагрева 10 К/мин, масса навески 0,8–0,9 г, тигли платиновые. Стекла исследовались в виде порошков и монокристаллических стекол, представляющих собой наплавленный в тигель ДТА расплав, полученный после кристаллизации и плавления порошка. Полученное таким способом стекло имеет огненно-полированную поверхность, не склонную к кристаллизации, что стимулирует образование кристаллов в объеме стекла. В ряде случаев кристаллизацией монокристаллических стекол удавалось вырастить новые соединения [12]. Для кристаллизации платиновые

тигли ДТА с залитым в них расплавом помещали в печь, в охранный тигель из кварцевого стекла, с подсыпкой из кварцевого песка. После завершения термообработки (ТО) тигли охлаждали и находящиеся в них образцы исследовали методом ДТА.

Результаты

На рисунке 1, *а* представлена типичная кривая нагревания ДТА порошка стекла на примере стекла NaBaB–11,1. После нагрева выше температуры стеклования T_g стекло интенсивно кристаллизуется (экзотермический пик в интервале 635–687 °С), а затем плавится в три приема с эндотермическим пиком при 823 °С, слившимся с ним пиком при 848 °С и типичным эффектом ликвидусного растворения (плавление фазы первичной кристаллизации) при 923 °С. Для выяснения природы эндотермических эффектов порошок стекла NaBaB–11,1 был выдержан 22 ч при 620 °С. РФА этого порошка показал, что в нем образовались три кристаллические фазы (см. рис. 1, *б*, рентгенограмма 1): 1 — 1 : 2 : 9, 2 — β -ВВО и 3 — 1 : 2 : 5. Ни одна из образовавшихся фаз не лежит на изучаемом разрезе 66,7 мол. % V_2O_5 , так как соединение 1 : 2 : 9 содержит 75, ВВО — 50, а 1 : 2 : 5 — 62,5 мол. % V_2O_5 . Далее часть закристаллизованного порошка в течение 15 мин была выдержана при 830 °С, то есть при температуре, немного превышающей температуру пика первого эндотермического эффекта. Рентгенограмма 2 (см. рис. 1, *б*) показывает, что первой выплавляющейся фазой оказалась фаза 3 — 1 : 2 : 5. Это противоречит мнению авторов [6], считающих эту фазу конгруэнтно плавящейся и игнорирующих дополнительный высокотемпературный эффект на полученной ими кривой ДСК соединения 1 : 2 : 5.

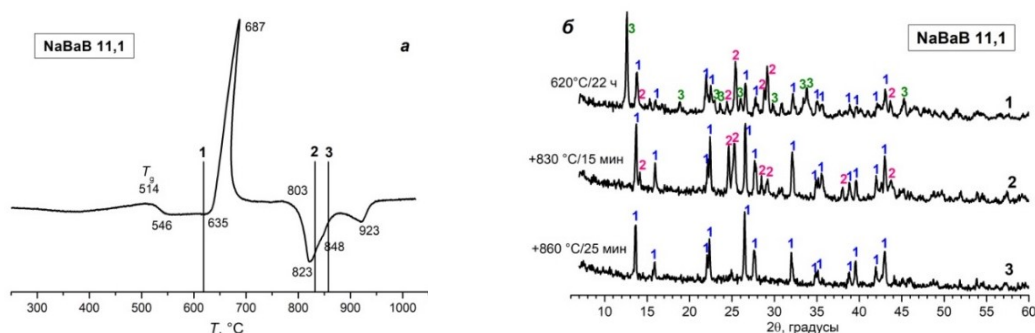


Рис. 1. Определение природы эндотермических эффектов на кривой ДТА стекла NaBaB–11,1:

а — кривая ДТА порошка стекла; линии 1, 2 и 3 — температуры модельных ТО; *б* — рентгенограммы порошка стекла после указанных ТО, цифры на рентгенограммах указывают пики отдельных фаз: 1 — 1 : 2 : 9; 2 — β -ВВО; 3 — 1 : 2 : 5

Выдержка оставшегося закристаллизованного порошка при 860 °С в течение 25 мин привела к выплавлению фазы 2 — β -ВВО. Таким образом, фазой первичной кристаллизации в стекле NaBaB–11,1 оказывается фаза 1 : 2 : 9.

Подобным образом были исследованы остальные стекла. Полученная диаграмма представлена на рис. 2. Диаграмма (см. рис. 2) показывает, что диборатный разрез $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{V}_2\text{O}_5$ – $\text{BaO} \cdot 2\text{V}_2\text{O}_5$ не является псевдобинарной системой, а всего лишь частным сечением натриево-бариево-боратной системы. Это сечение пересекает три треугольника сосуществующих фаз: $\text{Ba}_2\text{V} + \text{ВВО} + 1 : 2 : 9$; $1 : 2 : 5 + \text{ВВО} + 1 : 2 : 9$; $\text{Na}_2\text{V} + 1 : 2 : 5 + 1 : 2 : 9$. Первый и третий треугольники содержат вырожденные эвтектики, расположенные очень близко к составам диборатов, подавленные мощным полем первичной кристаллизации соединения 1 : 2 : 9, охватывающим почти весь разрез.

Температуры стеклования в зависимости от состава ложатся на две прямые с небольшим переломом в центре среднего поля сосуществующих фаз.

Кристаллизация монолитных стекол с содержанием Na_2O –11,1 мол. % и более привела к образованию в системе в широком интервале составов еще одного соединения с низкой температурой плавления (около 650 °С). На рис. 3 представлены кривые ДТА монолитных стекол после длительной термообработки, содержащие такие «лишние» эффекты.

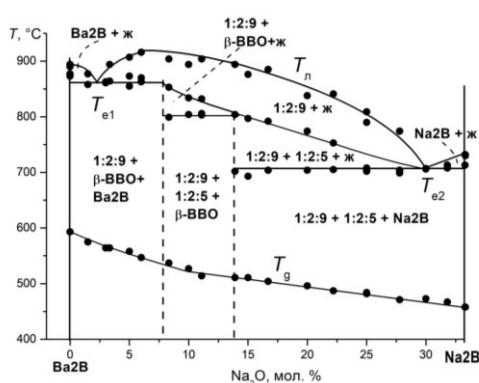


Рис. 2. Температуры стеклования T_g и фазовые равновесия в диборатном разрезе $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ натриево-бариево-боратной системы по данным ДТА и РФА. T_{e1} и T_{e2} — температуры эвтектических горизонталей

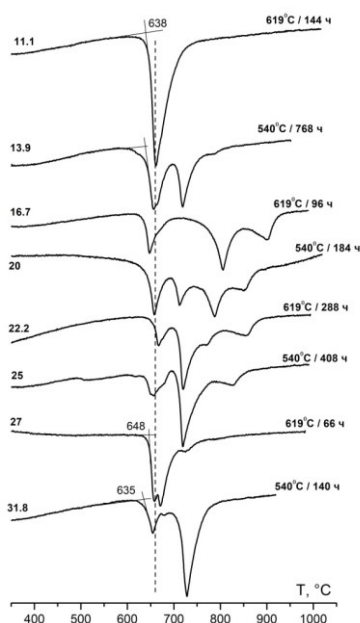


Рис. 3. Кривые ДТА монолитных стекол, содержащих 66,7 мол. % B_2O_3 , предварительно прошедших длительные ТО. Цифры у кривых: слева — содержание Na_2O , мол. %; справа — температура и длительность ТО

Для стекол разных составов температурное положение вершины обсуждаемого эндотермического эффекта колеблется вокруг пунктирной вертикали (см. рис. 3). При содержании в образцах 22,2 мол. % Na_2O и более на кривых просматриваются даже два «лишних» эффекта: в одних случаях в виде наплывов (NaBaВ–25, NaBaВ–31,8), в других — в виде отчетливого расщепления (NaBaВ–27). Все остальные (более высокотемпературные) эффекты с хорошей точностью ложатся на линии фазовой диаграммы, представленной на рис. 2. Образец NaBaВ–11,1 выделяется среди остальных — он имеет единственный сильный пик плавления. На его базовой линии нет признаков эффекта стеклования, то есть стекло закристаллизовано полностью и однофазно, и мы наблюдаем конгруэнтное плавление этой фазы. Подобную ситуацию мы наблюдали ранее при изучении дибората бария [12]: его β -модификация, кристаллизующаяся только в монолитном стекле, при нагревании не переходит в высокотемпературную форму, а образует неспособный к кристаллизации расплав. Второй вариант плавления такого типа — эвтектика, но на диаграмме (см. рис. 2) мы не видим понижения ликвидуса в этой области.

На рисунке 4 на диаграмму разреза, построенную по данным ДТА для порошков, нанесены температуры «лишних» пиков (звездочки), взятые с кривых ДТА монолитных стекол. Состав NaBaВ–11,1,

на кривой ДТА которого фиксировался единственный сильный эндотермический пик, соответствует стехиометрии 1 : 2 : 6. В группе звездочек можно выделить две системы точек: лежащие на горизонталь 650 °С, соответствующую плавлению фазы 1 : 2 : 6, и лежащие на плоский треугольник с вершиной у состава NaBaB–22,2, что отвечает стехиометрии 2 : 1 : 6.

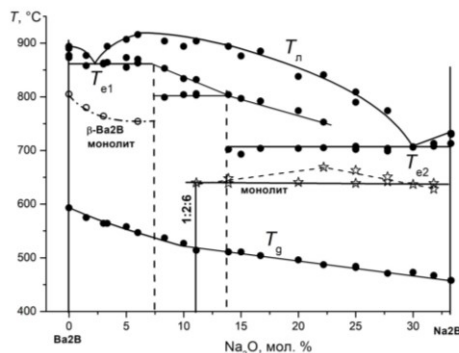


Рис. 4. Диаграмма фазовых превращений в порошках и монолитах стекол диборатного разреза $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$:

● — порошки; ○ — $\beta\text{-BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ в монолитах; звездочки — тройные соединения в монолитах

Упомянутая выше β -модификация дибората бария также проявилась при изучении стекол в монолитном состоянии. Температура ее плавления (см. рис. 4) уменьшается при введении оксида натрия в бариево-боратное стекло.

Выводы

Было показано, что исследованный диборатный разрез $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ – $\text{BaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ тройной натриево-бариево-боратной системы не образует бинарной системы, а является частным сечением, пересекающим три треугольника сосуществующих фаз. Построена фазовая диаграмма в данном сечении, показано, что для большей его части фазой первичной кристаллизации является соединение $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{BaO} \cdot 9\text{B}_2\text{O}_3$ (1 : 2 : 9). При кристаллизации монолитных стекол обнаружено соединение с ориентировочной стехиометрией 1 : 2 : 6 и с температурой плавления 650 °С.

Список источников

1. Федоров П. П., Кох А. Е., Кононова Н. Г. Борат бария $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ — материал для нелинейной оптики // Успехи химии. 2002. Т. 71, № 8. С. 741–763.
2. Nikolov V., Peshev P. On the Growth of $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO) Single Crystals from High-Temperature Solutions: I. Study of Solvents of the $\text{BaO-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$ System // J. Solid State Chem. 1992. V. 96. P. 48–52.
3. Fedorov P. P., Kokh A. E., Kononova N. G., Bekker T. B. Investigation of phase equilibria and growth of BBO ($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$) crystals in $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ternary system // J. Crystal Growth. 2008. V. 310. P. 1943–1949.
4. Каплун А. Б., Галашов Е. Н., Вшивкова Г. Д., Мешалкин А. Б. Кристаллообразование $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ в системе $\text{BaB}_2\text{O}_4\text{-Na}_2\text{O-BaB}_2\text{O}_4$ // Неорг. материалы. 1994. Т. 30, № 4. С. 521–524.
5. Penin N., Seguin L., Touboul M., Nowogrocki G. Synthesis and crystal structure of three $\text{MM}'\text{B}_9\text{O}_{15}$ borates ($\text{M} = \text{Ba, Sr}$ and $\text{M}' = \text{Li}$; $\text{M} = \text{Ba}$ and $\text{M}' = \text{Na}$) // International Journal of Inorganic Materials. 2001. V. 3. P. 1015–1023.
6. Yu, Hongwei, Pan, Shilie, Wu, Hongping, Su, Xin, Yang, Zhihua. Synthesis, structures, optical properties and electronic structures of two mixed metal borates $\text{M Ba B}_5 \text{O}_9$ ($\text{M} = \text{Na, K}$) // J. Alloys Compd. 2014. V. 585. P. 602.
7. Vaish R., Varma K. B. R. Linear optical properties of $\text{BaNaB}_9\text{O}_{15}$, $\text{BaLiB}_9\text{O}_{15}$ and $\text{SrLiB}_9\text{O}_{15}$ glasses // J. Non-Crystalline Solids. 2011. V. 357. P. 1485–1487.
8. Vaish R., Varma K. B. R. The dielectric and electrical conductivity characteristics of $\text{BaNaB}_9\text{O}_{15}$ glasses // J. Phys. D: Appl. Phys. 2008. V. 41. P. 165401 (6pp).
9. Vaish R., Varma K. B. R. The glass transition and crystallization kinetic studies on $\text{BaNaB}_9\text{O}_{15}$ glasses // J. Phys. D: Appl. Phys. 2009. V. 42. P. 015409 (7pp).
10. Vaish R., Varma K. B. R. The glass forming ability and thermal stability of $\text{MO} \cdot 0.5\text{M}'_2\text{O} \cdot 4.5\text{B}_2\text{O}_3$ ($\text{M} = \text{Ba, Sr}$ and $\text{M}' = \text{Li}$, $\text{M} = \text{Ba}$ and $\text{M}' = \text{Na}$) glasses // J. Phys. Chem. Glasses. 2010. V. 51, No. 3. P. 159–164.

11. Ключев В. П., Певзнер Б. З. Проявление поликатионного эффекта на дилатометрических свойствах боратных стекол состава $RO(R_2O) 2B_2O_3$ при замещении Na_2O на BaO , Na_2O на MgO и BaO на MgO // Физика и химия стекла. 2004. Т. 30, № 6. С. 689–700.
12. Полякова И. Г., Певзнер Б. З. Кристаллизация дибората бария из стекла стехиометрического состава // Физика и химия стекла. 2005. Т. 31, № 2. С. 187–195.

References

1. Fedorov P. P., Kokh A. E., Kononova N.G. *Borat Bariia β -BaB₂O₄ — material dlia nelineynoy optiki* [Barium borate β -BaB₂O₄ — material for nonlinear optics]. *Uspekhi himii* [Advances in Chemistry], 2002, vol. 71, no. 8, pp. 741–763. (In Russ.).
2. Nikolov V., Peshev P. On the Growth of β -BaB₂O₄ (BBO) Single Crystals from High-Temperature Solutions: I. Study of Solvents of the BaO-Na₂O-B₂O₃ System. *J. Solid State Chem.*, 1992, vol. 96, pp. 48–52.
3. Fedorov P. P., Kokh A. E., Kononova N. G., Bekker T. B.. Investigation of phase equilibria and growth of BBO (β -BaB₂O₄) crystals in BaO-B₂O₃-Na₂O ternary system. *J. Crystal Growth*, 2008, vol. 310, pp. 1943–1949.
4. Kaplun A. B., Galashov E. N., Vshivkova G. D., Meshalkin A. B. Kristalloobrazovanie β -BaB₂O₄ v sisteme BaB₂O₄-Na₂O-BaB₂O₄ [Crystal formation of β -BaB₂O₄ in the system BaB₂O₄-Na₂O--BaB₂O₄]. *Neorg. materialy* [Inorganic Materials], 1994, vol. 30, no. 4, pp. 521–524. (In Russ.).
5. Penin N., Seguin L., Touboul M., Nowogrocki G. Synthesis and crystal structure of three MM'B₉O₁₅ borates (M = Ba, Sr and M' = Li; M = Ba and M' = Na). *International Journal of Inorganic Materials*, 2001, vol. 3, pp. 1015–1023.
6. Yu, Hongwei, Pan, Shilie, Wu, Hongping, Su, Xin, Yang, Zhihua. Synthesis, structures, optical properties and electronic structures of two mixed metal borates M Ba B₅ O₉ (M = Na, K). *J. Alloys Compd*, 2014, vol. 585, p. 602.
7. Vaish R., Varma K. B. R. Linear optical properties of BaNaB₉O₁₅, BaLiB₉O₁₅ and SrLiB₉O₁₅ glasses. *J. Non-Crystalline Solids*, 2011, vol. 357, pp. 1485–1487.
8. Vaish R., Varma K. B. R. The dielectric and electrical conductivity characteristics of BaNaB₉O₁₅ glasses. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2008, vol. 41, pp. 165401 (6pp).
9. Vaish R., Varma K. B. R. The glass transition and crystallization kinetic studies on BaNaB₉O₁₅ glasses. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2009, vol. 42, pp. 015409 (7pp).
10. Vaish R., Varma K. B. R. The glass forming ability and thermal stability of MO-0.5M'2O-4.5B₂O₃ (M = Ba, Sr and M' = Li, M = Ba and M' = Na) glasses. *J. Phys. Chem. Glasses*, 2010, vol. 51, no. 3, pp. 159–164.
11. Klyuev V. P., Pevzner B. Z. Proiaвление polikationnogo effekta na dilatometricheskikh svoistvakh boratnykh stekol sostava $RO(R_2O) 2B_2O_3$ pri zameshchenii Na_2O na BaO , Na_2O na MgO i BaO na MgO [Manifestation of the Polycationic Effect on the Dilatometric Properties of Borate Glasses of Composition $RO(R_2O) 2B_2O_3$ when Na_2O is replaced by BaO , Na_2O by MgO , and BaO by MgO]. *Fizika i himiya stekla* [J. Glass Phys. Chem], 2004, vol. 30, no. 6, pp. 689–700. (In Russ.).
12. Polyakova I. G., Pevzner B. Z. Kristallizatsiia diborata bariia iz stekla stekhiometricheskogo sostava [Crystallization of barium diborate from the stoichiometric glass]. *Fizika i himiya stekla* [J. Glass Phys. Chem], 2005, vol. 31, no. 2, pp. 187–195. (In Russ.).

Информация об авторах

И. Г. Полякова — старший научный сотрудник;

Е. О. Лушникова — исполняющий обязанности младшего научного сотрудника;

З. Г. Тюрнина — кандидат химических наук, старший научный сотрудник;

Н. Г. Тюрнина — кандидат химических наук, старший научный сотрудник.

Information about the authors

I. G. Polyakova — Senior Researcher;

E. O. Lushnikova — Acting Junior Researcher;

Z. G. Tyurnina — PhD (Chemistry), Senior Researcher;

N. G. Tyurnina — PhD (Chemistry), Senior Researcher.

Статья поступила в редакцию 31.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 31.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.