

УДК 666.266.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ КАЛИЕВО-АЛЮМОБОРАТНЫХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ ХРОМА Cr³⁺

А.Д. Горбачев^а, Н.В. Никоноров^а, С.А. Степанов^а, Р.К. Нурьев^а, П.С. Ширшнев^а

^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: andrey27081993@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 06.11.15, принята к печати 12.12.15

doi:10.17586/2226-1494-2016-16-1-191-194

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Горбачев А.Д., Никоноров Н.В., Степанов С.А., Нурьев Р.К., Ширшнев П.С. Исследование оптических и люминесцентных свойств калиево-алюмоборатных стекол, активированных ионами хрома Cr³⁺ // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 1. С. 191–194.

Аннотация

Представлены результаты создания и исследования калиево-алюмоборатных стекол, активированных ионами хрома. Синтезировано стекло состава 25K₂O-25Al₂O₃-50B₂O₃, с добавкой Cr 0,2 весовых %. Показано изменение спектра поглощения и люминесценции после термообработки. Данные рентгеновской дифрактометрии показали, что в стекле выделяются нанокристаллы Al₄B₂O₉. Средний размер нанокристаллов составил 15 нм. Спектры люминесценции показали, что ионы Cr³⁺ находятся в октаэдрическом окружении ионов алюминия, похожем на спектр кристалла рубина. Сделан вывод, что в изучаемом стекле, скорее всего, выделяются нанокристаллы Al₄B₂O₉:Cr³⁺. Синтезированный материал может быть использован в качестве основы для волоконного усилителя в системах передачи информации, а также в качестве активных сред медицинских лазеров.

Ключевые слова

стеклокерамика, калиево-алюмоборатные стекла, нанокристалл

Благодарности

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке Российского научного фонда (Соглашение № 14-23-00136).

STUDY OF OPTICAL AND LUMINESCENT PROPERTIES OF POTASSIUM-ALUMINA-BORATE GLASS DOPED WITH Cr³⁺ IONS

A.D. Gorbachev^а, N.V. Nikonorov^а, S.A. Stepanov^а, R.K. Nuryev^а, P.S. Shirshnev^а

^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: andrey27081993@gmail.com

Article info

Received 06.11.15, accepted 12.12.15

doi:10.17586/2226-1494-2016-16-1-191-194

Article in Russian

For citation: Gorbachev A.D., Nikonorov N.V., Stepanov S.A., Nuryev R.K., Shirshnev P.S. Study of optical and luminescent properties of potassium-alumina-borate glass doped with Cr³⁺ ions. Part I. Research of detonation engines. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 191–194.

Abstract

Potassium-alumina-borate glass doped with chromium ions have been synthesized and investigated, and results are presented. We have synthesized glass of 25K₂O-25Al₂O₃-50B₂O₃ speciation with addition of 0.2 weight per cent of Cr. It was found out, that heat treatment induces changes in absorption and photoluminescence spectra. According to x-ray diffraction measurements, it has been shown that Al₄B₂O₉ nanocrystals have been obtained. The average diameter of nanocrystals is 15 nm. Luminescence spectra have shown that Cr³⁺ ions are in an octahedral crystalline surrounding of the alumina ions similar to the spectrum of ruby crystal. A conclusion has been done that nanocrystals of Al₄B₂O₉: Cr³⁺ are obtained, most probably, in the researched glass. Synthesized material can be used as the base for fiber amplifier in data-transmission systems and as an active substance for medical lasers.

Keywords

glass ceramics, potassium-alumina-borate glass, nanocrystal

Acknowledgements

This work was financially supported by the Russian Scientific Foundation (Agreement # 14-23-00136).

Одним из перспективных направлений оптического материаловедения является создание наностеклокерамик, т.е. таких материалов, где в объеме стекла распределено множество нанокристаллов. Такие материалы объединяют достоинства как кристаллов (высокий квантовый выход), так и стекла (простота производства, меньшие затраты на материалы и оборудование).

Лазеры, основанные на кристалле рубина, активно применяются в медицине. Но у кристаллов, по сравнению со стеклами, есть один большой недостаток – это сложность и дороговизна технологии. В связи с этим актуальной задачей является получение нанокристаллов, активированных ионами Cr^{3+} в стекле. Такие стекла являлись бы оптическим аналогом кристалла рубина.

В зависимости от своего окружения ионы переходных металлов могут находиться в различных валентных состояниях и обладают различными оптическими свойствами, в частности, люминесценцией в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах [1]. Стеклокерамики, активированные ионами хрома, обладают рядом достоинств: узкая полуширина спектрального максимума люминесценции при высоком квантовом выходе.

Существует единичное количество работ, посвященных разработке и созданию наностеклокристаллических материалов, в которых хром входит в кристаллическую фазу. Следует отметить, что интенсивность люминесценции в таких работах изучаемого материала крайне низка – возбуждение приходилось проводить с помощью параметрического лазера [1]. Исходя из этого, является интересным и перспективным синтезировать и изучить такие материалы с целью повышения интенсивности люминесценции. В частности, в настоящей работе возбуждение люминесценции осуществляется обычной ксеноновой лампой, встроенной в спектрофлуориметр.

В связи с этим целью работы является создание и исследование калиево-алюмооборатных стекол с нанокристаллами, допированными ионами хрома.

В калиево-алюмооборатную стеклообразную матрицу ранее вводились ионы железа [2]. Благодаря высокой ликвационной способности этих стекол в них возможно получение наночастиц в процессе термообработки. Так как трехвалентные ионы железа и хрома очень похожи по своим химическим свойствам и проявляют изоморфизм в различных кристаллах, было интересно изучить поведение хрома в стеклах этой системы [3].

Было синтезировано стекло состава $25\text{K}_2\text{O}-25\text{Al}_2\text{O}_3-50\text{V}_2\text{O}_5$ с добавкой Cr 0,2 весовых %. Стекла синтезировались в корундовых тиглях при температуре 1430°C с перемешиванием расплава в воздушной атмосфере платиново-родиевой мешалкой.

Спектр люминесценции регистрировался на люминесцентном спектрометре LS 55 Perkin Elmer (США). Возбуждение происходило излучением с длиной волны 532 нм, а регистрация от 550 нм до 900 нм.

Рентгенограммы были получены на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV (Япония). Использовалось излучение медного анода с длиной волны излучения $\lambda(\text{Cu}) = 0,15418$ нм.

Спектр люминесценции (рис. 1, а) стекла напоминает спектр люминесценции макрокристалла рубина и обладает похожими по конфигурации полосами (рис. 1, б).

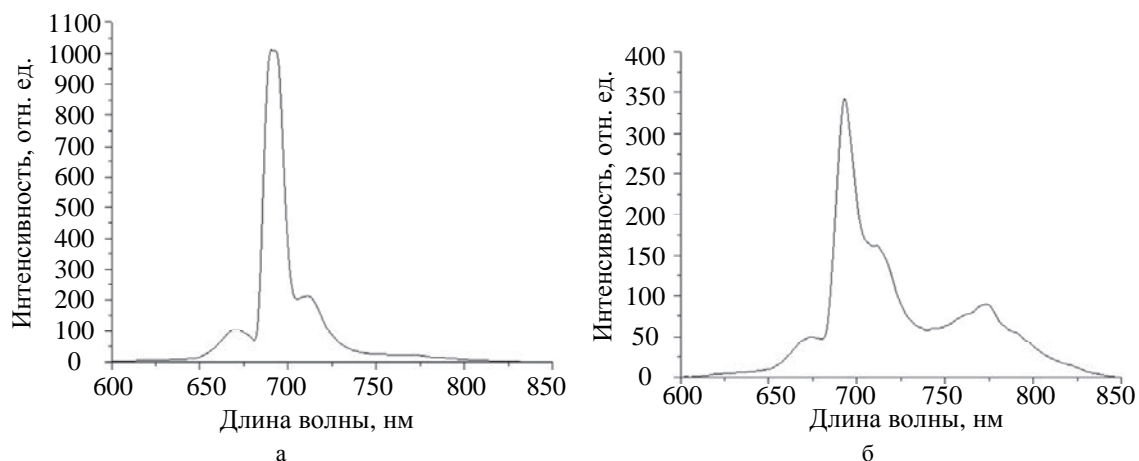


Рис. 1. Спектры люминесценции: полученного стекла (а) и рубина (б)

Исходя из рентгенограммы (рис. 2), можно заключить, что в образце сформировалась нанофаза $\text{Al}_4\text{V}_2\text{O}_9$, которая представляет собой кристалл с орторомбической элементарной ячейкой. Размер частиц определялся по формуле Шеррера на основе положения и интенсивности на полуширине дифракционных максимумов, средний размер нанокристаллов составляет 15 нм. Проанализировав представленную совокупность данных, можно предположить, что в образце формируется нанофаза $\text{Al}_4\text{V}_2\text{O}_9 \cdot \text{Cr}^{3+}$. Спектр

люминесценции похож на спектр рубина, видимо, в силу наличия октаэдрического окружения, как и в кристаллическом рубине (рис. 3) [1].

В процессе работы показано, что активированные ионами хрома калиево-алюмоборатные стекла по своим люминесцентным свойствам похожи на кристаллы рубина. Это связано с тем, что в стеклах после термообработки выделяются нанокристаллы $\text{Al}_4\text{B}_2\text{O}_9:\text{Cr}^{3+}$. Интенсивность люминесценции достаточно высока уже для отдельных оптических приложений. Данный материал может быть использован в качестве основы для волоконного усилителя в системах передачи информации, а также в качестве активных сред медицинских лазеров.

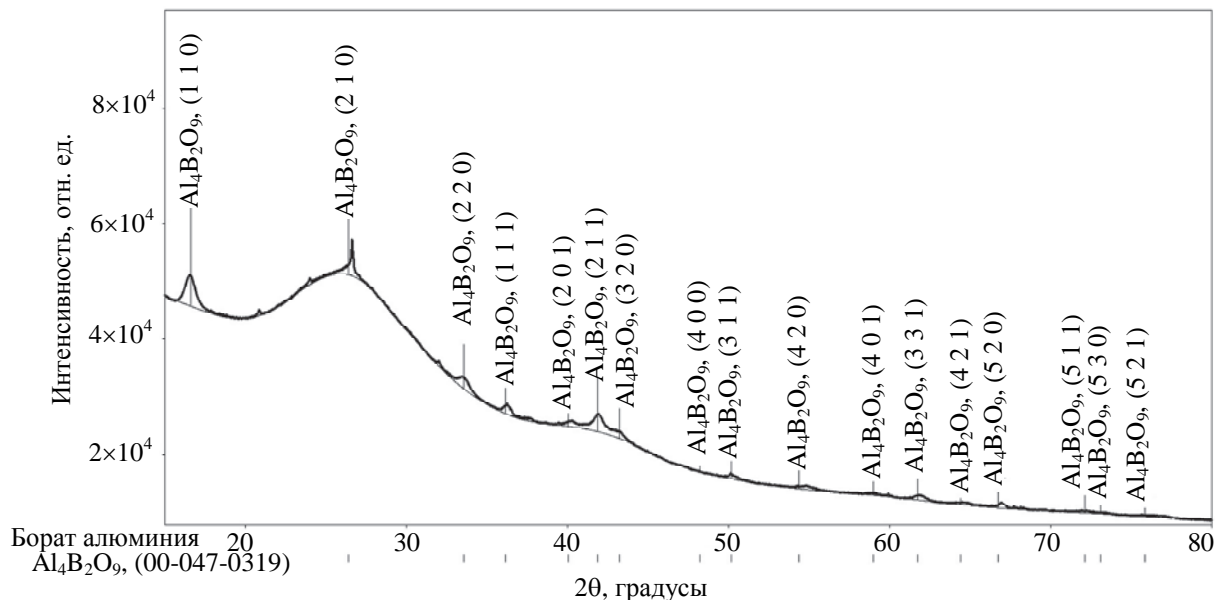


Рис. 2. Рентгенограмма полученного стекла

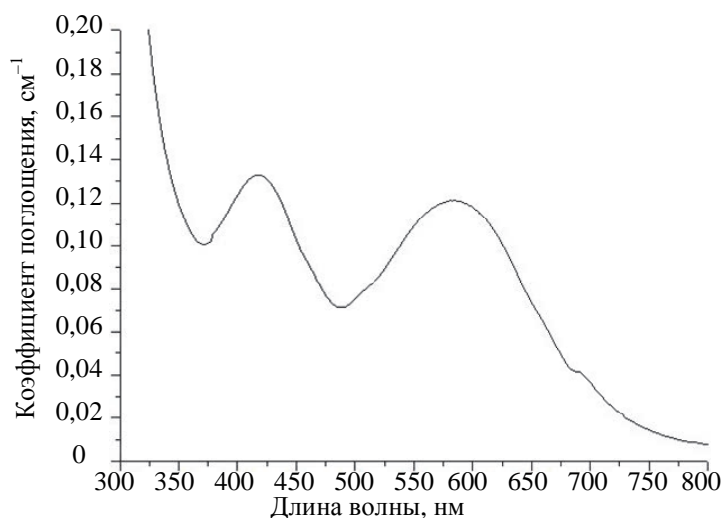


Рис. 3. Спектр поглощения полученной стеклокерамики

References

1. Stepanov S.A., Zapalova S.S., Nikonorov N.V., Aseev V.A. Spectral-luminescent properties of trivalent chromium ions in glass of the system $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$. *Glass Physics and Chemistry*, 2015, vol. 41, no. 2, pp. 151–156.
2. Stepanov S.A. The behavior of the iron ions in glasses of the system $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$. *Inorganic Materials*, 1974, vol. 10, pp. 1864–1871.
3. Aseev V.A., Zhukov S.N., Nikonorov N.V., Rokhmin A.S., Kuleshov N.V., Kuril'chik S.V., Yasyukevich A.S., Mudryi A.V. Spectral luminescence characteristics of forsterite nano glass ceramics doped with chromium ions. *Optics and Spectroscopy*, 2015, vol. 118, no. 1, pp. 146–150. doi: 10.1134/S0030400X15010026

- Горбачев Андрей Дмитриевич* – студент, инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, andrey27081993@gmail.com
- Никоноров Николай Валентинович* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, nikonorov@oi.ifmo.ru
- Степанов Сергей Алексеевич* – доктор химических наук, ведущий инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, tvzar38@mail.ru
- Нурьев Рустам Какабаевич* – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, nuryev@oi.ifmo.ru
- Ширшнев Павел Сергеевич* – кандидат физико-математических наук, инженер первой категории, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, pavel.shirshnev@gmail.com
- Andrey D. Gorbachev* – student, engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, andrey27081993@gmail.com
- Nikolai V. Nikonorov* – D.Sc., Professor, Head of Chair, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, nikonorov@oi.ifmo.ru
- Sergey A. Stepanov* – D.Sc., leading engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, tvzar38@mail.ru
- Rustam K. Nuryev* – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, nuryev@oi.ifmo.ru
- Pavel S. Shirshnev* – PhD, first rank engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, pavel.shirshnev@gmail.com