

FEATURES OF GLASS PRODUCED FROM A SOLAR FURNACE

Mukhammade-Sultankhan PAIZULLAKHANOV

Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan, fayz@bk.ru

Mirutkir SULAYMONOV

Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan, mirsuleimanov@gmail.com

Abdurashid HOLMATOV

Fergana polytechnical institute, Fergana, Uzbekistan, a.xolmatov89@gmail.com

Nilufar KARSHIEVA

Tashkent state technical university, Tashkent, Uzbekistan, karsievanilufar63@mail.ru

Akbarjon TURAYEV

Buhara state university, Buhara, Uzbekistan, burgut9431@gmail.com

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

PAIZULLAKHANOV, Mukhammade-Sultankhan; SULAYMONOV, Mirutkir; HOLMATOV, Abdurashid; KARSHIEVA, Nilufar; and TURAYEV, Akbarjon () "FEATURES OF GLASS PRODUCED FROM A SOLAR FURNACE," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2022: No. 2, Article 4.

DOI: 10.34920/cce202224

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2022/iss2/4>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact zuchra_kadirova@yahoo.com.

FEATURES OF GLASS PRODUCED FROM A SOLAR FURNACE

Mukhammade-Sultankhan PAIZULLAKHANOV¹ (fayz@bk.ru), Mirutkir SULAYMONOV¹ (mirsuleimanov@gmail.com), Abdurashid HOLMATOV² (a.xolmatov89@gmail.com), Nilufar KARSHIEVA³ (karsievaniulfar63@mail.ru), Akbarjon TURAYEV⁴ (burgut9431@gmail.com)
¹Material sciences institute, Tashkent, Uzbekistan
²Fergana polytechnical institute, Fergana, Uzbekistan
³Tashkent state technical university, Tashkent, Uzbekistan
⁴Buhara state university, Buhara, Uzbekistan

The effect of the flux density of concentrated solar radiation on the microstructure, degree of homogeneity, and charge state of glass ions obtained by quenching fused pyroxene rock in a solar furnace has been studied. It is shown that with an increase in the flux density, a decrease in the particle size to 0.4 μm is observed, a change in the color of the glass due to a change in the charge state of iron ions $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$. The dependence of the glass particle size on the incident radiation spectrum was observed. In the case of irradiation with a concentrated flux of solar radiation, a low scatter of particle size values (380–800 nm) was observed with a maximum number of particles with a size of 560 nm. It is shown that slow cooling (100 deg/s) of the melt makes it possible to obtain a polycrystalline state with a mixed phase structure of monoclinic diopside and augite. Stepped firing of glasses leads to the formation of a single-phase diopside-hedenbergite.

Keywords: solar furnace, concentrated flow, flux density, dispersion, homogeneity, glass-ceramic material, diopside, augite, hedenbergite

ОСОБЕННОСТИ СТЕКОЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСПЛАВА НА СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ

Мухаммаде-Султанхан ПАЙЗУЛЛАХАНОВ¹ (fayz@bk.ru), Мируткир СУЛЕЙМАНОВ¹ (mirsuleimanov@gmail.com), Абдурашид ХОЛМАТОВ² (a.xolmatov89@gmail.com), Нилюфар КАРШИЕВА³ (karsievaniulfar63@mail.ru), Акбаржон ТУРАЕВ⁴ (burgut9431@gmail.com)
¹Институт Материаловедения, Ташкент, Узбекистан
²Фарганский Политехнический институт, Фергана, Узбекистан
³Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
⁴Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

Изучено влияние плотности потока концентрированного солнечного излучения на микроструктуру, степень однородности, зарядовое состояние ионов стекол, полученных закаливанием плавяной пироксеновой породы на солнечной печи. Показано, что с увеличением плотности потока наблюдается уменьшение размера частиц до 0,4 мкм, изменение цвета стекла вследствие изменения зарядового состояния ионов железа $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$. Наблюдалась зависимость размера частиц стекол от спектра падающего излучения. В случае облучения концентрированным потоком солнечного излучения наблюдалась низкий разброс значений размера частиц (380–800 нм) при максимальном количестве частиц с размером 560 нм. Показано, что медленное охлаждение (100 град/с) расплава позволяет получить поликристаллическое состояние со смешанной фазовой структурой моноклинного диопсида и авгита. Ступенчатый обжиг стекол приводит к образованию однофазного диопсида-геденбергита.

Ключевые слова: солнечная печь, концентрированный поток, плотность потока, дисперсность, однородность, стеклокристаллический материал, диопсид, авгит, геденбергит

QUYOSH PECHINDAN ISHLAB CHIQRARISH SHAYALARINING XUSUSIYATLARI

Muxammade-Sultanxan PAIZULLAXANOV¹ (fayz@bk.ru), Mirutkir SULAYMONOV¹ (mirsuleimanov@gmail.com), Abdurashid HOLMATOV² (a.xolmatov89@gmail.com), Nilufar KARSHIEVA³ (karsievaniulfar63@mail.ru), Akbarjon TURAYEV⁴ (burgut9431@gmail.com)
¹Uzbekiston respublikasi, Toshkent, O'zbekiston
²Fergana politexnik instituti, Farg'ana, O'zbekiston
³Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston
⁴Buharo davlat universiteti, Buharo, O'zbekiston

Konsentrlangan quyosh nurlanishi oqimi zichligining quyosh pechida eritilgan piroksen jinsini so'ndirish natijasida olingan shisha ionlarining mikro tuzilishi, bir jinslilik darajasi va zaryad holatiga ta'siri o'rganildi. Oqim zichligi ortishi bilan zarrachalar hajmining 0,4 mkm gacha kamayishi, temir ionlarining $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ zaryad holatining o'zgarishi hisobiga shisha rangining o'zgarishi kuzatiladi. Shisha zarrachalari hajmining tushayotgan nurlanish spektriga bog'liqligi kuzatildi. Quyosh nurlanishining konsentrlangan oqimi bilan nurlanish holatida, zarrachalar kattaligi qiymatlarining past tarqalishi (380–800 nm) 560 nm o'lchamdagi zarrachalarning maksimal soni bilan kuzatildi. Ko'rsatilgandek, eritmaning sekin sovishi (100 deg/s) monoklinik diopsid va augitning aralash fazali tuzilishiga ega polikristal holatni olish imkonini beradi. Ko'zoynaklarni bosqichma-bosqich yoqish bir fazali diopsid-hedenbergit hosil bo'lishiga olib keladi.

Kalit so'zlar: quyosh pechi, konsentrlangan oqim, oqim zichligi, noziklik, bir xillik, shisha-keramik material, diopsid, augit, hedenbergit

DOI: 10.34920/cce202224

Введение

В настоящее время высокие температуры получают с широким применением эффективных солнечных установок [1–7]. Одна из таких установок находящийся в Паркенте Большая Солнечная Печь с тепловой мощностью 1 МВт (БСП) будучи бизеркальной (гелиостат – концентратор) характеризуется высокой степенью концентрации (6000) и гауссовым распределением плотности энергии в фокальной плоскости. Такие условия необходимы для обработки материалов в

промышленных масштабах. Например, сварка и облицовка, обработка поверхности, поверхностное упрочнение и порошковая металлургия, синтез и обработка неметаллических материалов, получение фуллеренов, углеродных нанотрубок, производство кремния и алюминия [8–10].

Известно, что ситаллы получают путем рекристаллизации стекломассы, используя специальные катализаторы, в результате чего происходит полная или частичная кристаллизация. При этом, также важен вопрос

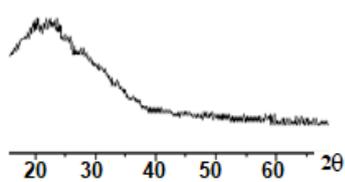


Рисунок 1. Рентгенограмма расплава закаленного в воде.

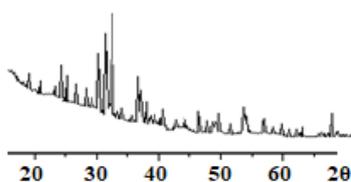


Рисунок 2. Рентгенограмма расплава, охлажденного со скоростью 100 град/с.

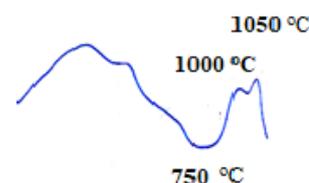


Рисунок 3. Кривые ДТА расплава, закаленного в воде (осколки).

о степени перегрева расплава и скорости его охлаждения (вохл). В зависимости от состава стекла, типа и количества катализатора, режима термообработки, меняются структура и свойства полученных ситаллов. Структура ситаллов характерна тем, что между мелкими кристаллами (не более 2-8 мкм) равномерно распределена стекловидная фаза, количество которой в хорошо закристаллизованных материалах составляет 5-10%. Поэтому, одной из важных задач получения стеклокристаллического материала является определение технологических условий синтеза материала диопсидовой структуры, с учетом пироксенового модуля.

Методы исследования

В данной работе стекла пироксенового состава получены по схеме: «измельчение - перемешивание - формование - плавка - закалка». Плавление материалов осуществляли на Большой Солнечной Печи на водоохлаждаемой подложке в интервале потоков концентрированного солнечного излучения 100-350 Вт/см². Закалку расплава осуществили охлаждением в воде ($v_{охл} \sim 103$ град/с), либо путем затвердевания на водоохлаждаемой поверхности, на которой происходило плавление ($v_{охл} \sim 102$ град/с). При выдержке сырья под воздействием при плотности потока не менее 150 Вт/см² в течение 20 мин наблюдалось наиболее полное плавление. При значении плотности потока 300 Вт/см² стекла были более гомогенными.

Синтез стекол осуществляли также на установке радиационного нагрева (УРАН), а также в камере электрической печи с силитовыми нагревателями.

Рентгенофазовый анализ исходного сырья и конечных продуктов осуществляли на дифрактометре ДРОН-УМ-1 с CuK α -излучением (2 θ -10-60 град.).

Расчет рентгеновской плотности производили по формуле: $\rho_{рент} = 1.66 \times M/V$ (M вес формульной единицы в граммах, V-объем ячейки в Å³), а относительной - $(\rho_{каж}/\rho_{рент}) \times 100\%$, где $\rho_{каж} = m/V$ - кажущаяся плотность (m-масса образца, г, V-объем образца, см³).

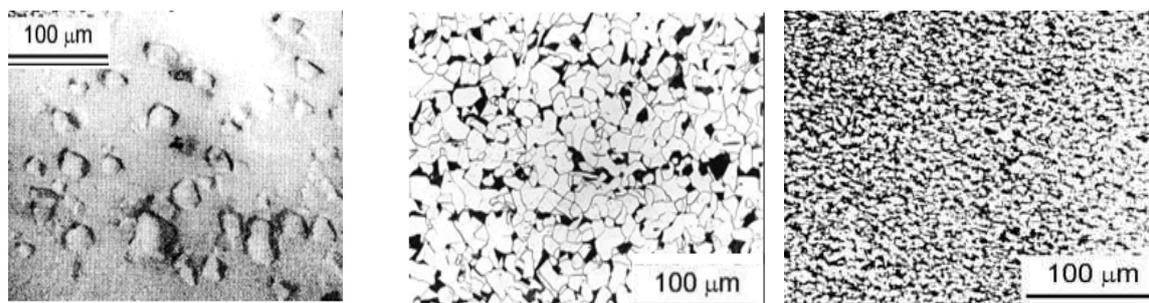
Определение микроструктурных характеристик исследуемых объектов производилось на прозрачных (в проходящем свете) и полированных шлифах (в отраженном свете) на микроскопах МИН-8 и «NEOFOT-21».

Дифференциально-термический и термogravиметрический методы анализа оксидов и отходов горных пород выполнялись на дериватографе Q-1500 D. Нагрев образцов проводился до температуры 1100 °C со скоростью 10 C/мин.

ИК спектры снимали на инфракрасном спектрофотометре с Фурье преобразователем и микроскопом исследовательского класса, марки - Nicolet iS50 FTIR Advanced KBr Gold spectrometer + Nicolet Continuum, Производитель - Thermo Scientific (USA) Год выпуска - 2014, Стандарт ISO 9001. Рабочий диапазон волновых чисел 400-4000 см-1 (от 2.5 до 25 микрон).

Результаты и обсуждения

Анализ показал, что закаленные в воде плавленные материалы (стекла) были бесструктурными - аморфными (рис. 1). В то же время на рентгенограмме медленно охлажденного материала наблюдается слабовыраженная дифракционная картина от смеси аморфной фазы и кри-



100 Вт/см²

200 Вт/см²

300 Вт/см²

Рисунок 4. Электронно-микроскопические снимки пироксеновых стекол, полученных при различных плотностях концентрированного солнечного излучения.

Описание микроструктуры плавленых материалов пироксенового состава в зависимости от плотности потока (Q)

Q, Вт/см ²	Микроструктура
100	Зерна в виде плотно упакованных многогранников разной формы с размерами частиц от 1 до 10 мкм.
200	Зерна разной формы в виде деформированных многогранников с размерами от 1 до 5 мкм.
300	Плотно упакованные зерна в виде многогранников разной формы с размерами частиц от 0,4 до 1 мкм.

сталлических фаз моноклинного диопсида $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ($d = 3,35; 2,99; 2,89; 2,53 \text{ \AA}$) и CaMgFeO_3 ($d = 4,44; 3,23; 2,99; 2,55 \text{ \AA}$) авгита, преобладанием последних (рис. 2). При этом, дифракционные отражения сдвинуты в сторону больших углов рассеяния, что свидетельствует о наличии напряжений и деформации решетки на границах зерен.

Дифференциально-термический анализ стекол проведен в температурном интервале 20-1000 °С, как на порошках стекла (размер частиц 40-80 мкм), так и на осколках гранул (размером около 2-3 мм) (рис. 3). Вес исследуемых образцов был постоянным.

Из рисунка 3 видно, что кривая ДТА осколков обнаруживала один эндотермический (750 °С) и два экзотермических пика (1000, 1050 °С). Такая картина свидетельствовала о том, что процесс кристаллизации протекает в двух стадиях: в интервале 750-1000 °С образуется жесткий кристаллический каркас; в интервале 1000-1100 °С формируется основная кристаллическая фаза в виде диопсид-геденбергита.

Дифференциально-термический анализ порошкообразных образцов был подобен таковому стеклу гранул. Однако, эндотермический пик сместился на 20 °С в сторону низких температур, и свидетельствовало о наличии незначительной поверхностной кристаллизации пироксена. Анализ микроструктуры по электронно-микроскопическим снимкам (рис. 4) показал, что стекла имели в основном шагреневую поверхность, их гомогенность увеличивалась с увеличением плотности потока (табл. 1). При этом можно отметить наличие зародышей кристаллизации пироксена (белого цвета), а также наличие черных включений рудных минералов. Такие включения могли быть фазами $(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO})$ магнетита.

Определено, что при увеличении плотности потока от 150 Вт/см² до 300 Вт/см², при постоянной скорости охлаждения, стекла меняют цвет от темно-коричневого до черного, что обусловлено переходом Fe^{3+} в Fe^{2+} , на что указывает анализ ИК-спектров плавленого материала и материала полученного твердофазным синтезом (рис. 5).

На ИК-спектре материала, полученного твердофазным синтезом, присутствовали пики при 650 и 880 см⁻¹, что связано с трехвалентным

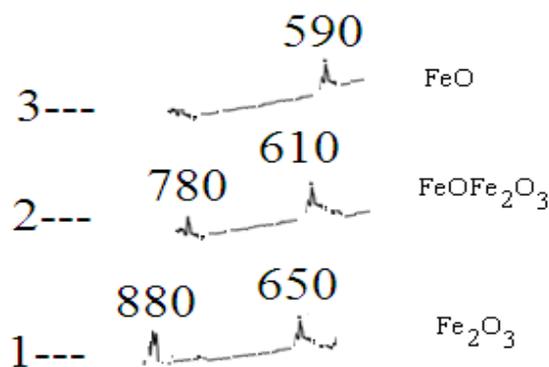


Рисунок 5. ИК спектры материалов, полученных различными методами: 1- твердофазным синтезом; плавлением на Большой Солнечной Печи, при различных плотностях потока: 2- 150 Вт/см²; 3- 300 Вт/см².

состоянием оксида железа Fe_2O_3 , тогда как на инфракрасном спектре плавленого материала, при плотности потока 150 Вт/см², пики обнаруживаются при 610 и 780 см⁻¹, что обусловлено присутствием $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. ИК спектр материала, плавленого при 300 Вт/см², обнаруживает пик только при 590 см⁻¹, что связано с двухвалентным состоянием оксида железа FeO.

Значение плотности потока также влияет на зернистость стекол, что отражается на зависимостях размера зерен от плотности потока (рис. 6). Видно, что с ростом плотности потока, наблюдается немонотонное уменьшение размера зерен стекла.

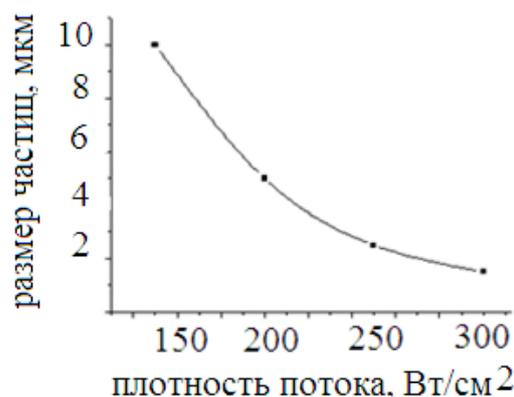


Рисунок 6. Зависимость размера частиц плавленого пироксенового стекла от плотности потока ($v_{\text{окл}} \sim 10^3$ град/с).

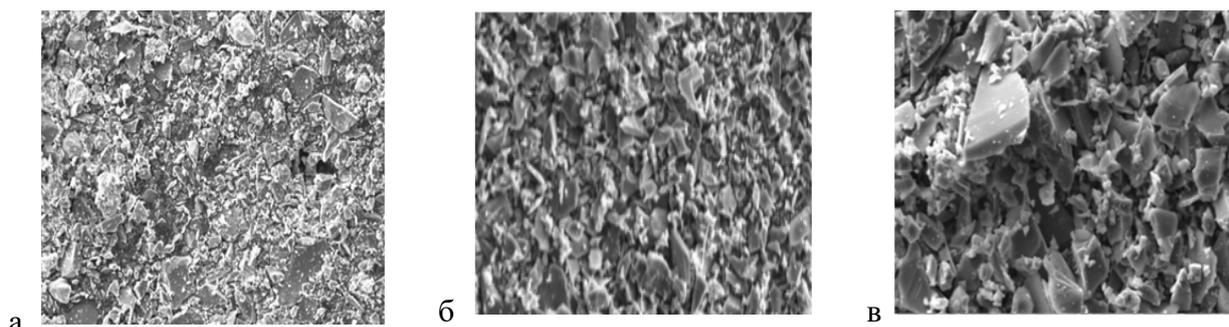


Рисунок 7. Влияние спектра излучения на микроструктуру и размер частиц пироксеновых стекол, полученных в различных печах: а – Большой Солнечной Печи, б – на УРАНе, в – в электрической печи.

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на качество расплава и свойства ситаллового материала, является скорость охлаждения расплава стекла. Сравнительный анализ стекол, полученных после охлаждения с различными скоростями, показал, что для получения аморфного материала, необходимо охладить расплав со скоростью не менее 103 град/с.

Такой способ является наиболее оптимальным, также и с учетом особенностей технологического процесса получения спеченных ситаллов из порошков стекла. Полученные при этом гранулы, легко раскалываются на мелкие осколки, что значительно упрощает и ускоряет дробление и помол материала. При охлаждении с меньшей скоростью, затвердевание расплава происходило в условиях градиента температур, обуславливающее деформацию зерен и напряжения на границах между зернами.

Таким образом, при синтезе пироксенового материала, в поле концентрированного солнечного излучения из расплава, при температурах больших плотностях потока 200-300 Вт/см², реализуется гомогенное структурное состояние с мелкокристаллической микроструктурой.

Для выявления влияния спектра излучения на процесс синтеза стекол проводили эксперименты по плавлению различных материалов в фокальной зоне Большой Солнечной Печи и Установке радиационного нагрева (УРАНе), а также в камере электрической печи. Выявлено, что концентрированные световые потоки существенно отличаются в зависимости от типа печи. Спектр концентрированного светового излучения Большой Солнечной Печи охватывает интервал длин волн (0,3 – 3 мкм), в то время как спектр УРАНе состоит из 9% УФ,

35% видимой области, 40% ИК 0,8-1 мкм и 16% ИК более 1 мкм. Спектры излучения в печах с электрическими нагревателями соответствуют длинам волн излучения нагретых тел ($\lambda=2980/T$, мкм).

Результаты плавки материалов, в зависимости от типа печи приведены в таблице 2 ($T_{пл}$ – температура плавления, оС, E_g – ширина запрещенной зоны, эВ, ϵ – степень черноты, Q – необходимый поток концентрированного солнечного излучения, Вт/см²).

Для выявления влияния спектра излучения на процесс синтеза стекол проводили эксперименты по плавлению различных материалов в фокальной зоне БСП и УРАНе, а также в камере силовой печи.

Выявлено, что концентрированные световые потоки существенно отличаются, в зависимости от типа печи. Спектр концентрированного светового излучения Большой Солнечной Печи охватывает интервал длин волн (0,3 – 3 мкм), в то время как имитатор Солнца (УРАНе) состоит из 9% УФ диапазона, 35% видимой области, 40% ИК 0,8-1 мкм и 16% ИК более 1 мкм. Следует отметить, что спектры излучения в печах с электрическими нагревателями соответствуют длинам волн излучения нагретых тел ($\lambda=2980/T$, мкм).

На рисунке 7 приведены микроснимки стекол, полученных плавлением на солнечной печи, на УРАНе и в электрической печи, а также средние размеры стекол.

В таблице 3 приведены средние размеры частиц, стекол, плавленных на УРАНе, БСП и в электрической печи. Следует отметить, что в отличие от ИК-нагрева (электрическая печь), при синтезе на солнечной печи наблюдается послойное плавление, обусловленное нагревом, вследствие поглощения света на дефектах

Размеры частиц стекол, плавящихся на УРАНе, БСП и в электрической печи

Тип печи	Средние размеры зерен, нм	Размер максимального количества зерен, нм
УРАН	150 - 5000	250
БСП	380 - 800	560
Электр.печь	400 - 5000	650

с уровнями внутри запрещенной зоны на границах зерен в слое, толщиной λ . Материалы с мелкими зёрнами прогреваются быстрее и плавятся при низкой плотности потока концентрированного светового излучения. По ходу облучения потоком концентрированного светового излучения, вследствие нагрева, происходят твердофазные реакции. При достижении температуры плавления, материал плавится.

В таблице 3 приведены средние размеры частиц, стекол, плавящихся на УРАНе, БСП и в электрической печи. Следует отметить, что в отличие от ИК-нагрева (электрическая печь), при синтезе на солнечной печи наблюдается послойное плавление, обусловленное нагревом, вследствие поглощения света на дефектах с уровнями внутри запрещенной зоны на границах зерен в слое, толщиной λ . Материалы с мелкими зёрнами прогреваются быстрее и плавятся при низкой плотности потока концентрированного светового излучения. По ходу облучения потоком концентрированного светового излучения, вследствие нагрева, происходят твердофазные реакции. При достижении температуры плавления, материал плавится.

Процесс плавления, подобно фазовому переходу «твёрдое – жидкость», имеет характер ограничения, т.е. существует критическое значение плотности потока, при достижении которого начинается процесс плавления. Плавление материала на солнечной печи, с последующей

закалкой со скоростью 103 град/с, позволяет зафиксировать расплавленные состояния. Материал, полученный быстрой закалкой, имеет дисперсность с размерами частиц <5 мкм.

Заключение

Таким образом плотность потока концентрированного солнечного излучения оказывает сильное влияние на микроструктуру, степень гомогенности, зарядовое состояние ионов стекла, полученных закаливанием плавящейся пироксеновой породы на солнечной печи. Так с увеличением плотности потока уменьшается размер частиц до 0,4 мкм, изменяется цвет стекла вследствие изменения зарядового состояния ионов железа $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$. В случае облучения концентрированным потоком солнечного излучения наблюдалась низкий разброс значений размера частиц (380-800 нм) при максимальном количестве частиц с размером 560 нм. Медленное охлаждение (100 град/с) расплава позволяет получить поликристаллическое состояние со смешанной фазовой структурой моноклинного диоксида и авгита. Ступенчатый обжиг стекол приводит к образованию однофазного диоксида-геденбергита.

Авторы благодарны младшему научному сотруднику Эркину Нодирматову за оказанные услуги в проведении экспериментов по плавлению пироксеновых пород на солнечной печи.

REFERENCES

1. *Nanostructure Materials for Solar Energy Conversion*. Edited by Tetsuo Soga. Amsterdam, Elsevier B.V., 2006. 600 p.
2. Akbarov R.Y., Paizullakhanov M.S. Characteristic features of the energy modes of a large solar furnace with a capacity of 1000 kW. *Applied Solar Energy*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 99-109. DOI:10.3103/S0003701X18020020
3. Rosa L.G. Solar Heat for Materials Processing: A Review on Recent Achievements and a Prospect on Future Trends. *Chem. Eng.*, 2019, vol. 83, no. 3. DOI: 10.3390/chemengineering3040083
4. Pereira J.C.G., Fernandes J.C., Rosa L.G. Mathematical Models for Simulation and Optimization of High Flux Solar Furnaces. *Math. Comput. Appl.* 2019, vol. 24, no. 2: 65. DOI: 10.3390/mca24020065
5. Pereira, J.C.G.; Rodríguez, J.; Fernandes, J.C.; Rosa, L.G. Homogeneous Flux Distribution in High Flux Solar Furnaces. *Energies*, 2020, vol. 13, no. 2, 433. DOI: 10.3390/en13020433
6. Gemma Heranz, Gloria P. Rodríguez. Uses of Concentrated Solar Energy in Materials Science. *InTech*, 2010, 432 p. DOI: 10.5772/8067
7. Riskiev T.T., Paizullakhanov M.S., Atabaev I.G., Faiziev Sh.A., Shermatov Zh. The Effects of the Solar Radiant Flux Density on the Properties of Pyroceramic Materials. *Applied Solar Energy*, 2015, vol. 50, no. 4, pp. 260-264.
8. Shults M.M. Steklo: struktura, svoystva, primeneniye. [Glass: structure, properties, application]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1996, no. 3, pp. 49-55.
9. Atabaev I.G., Paizullakhanov M.S., Faiziev Sh., Shermatov Z., Razhamatov O.. High-strength glass-ceramic materials synthesized in a large solar furnace. *Applied Solar Energy*, 2015, vol. 51, no. 3, pp. 202-205.
10. Paizullakhanov M.S., Faiziev Sh.A., Nurmatov Sh.R., Shermatov Zh. Synthesis Features of Barium Titanate in the Field of Concentrated Light Energy. *Applied Solar Energy*, 2013, vol. 49, no. 4, pp. 248-250.