

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 18.06.01 Химическая технология
Инженерная школа новых производственных технологий
Отделение материаловедения

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
Оптимизация технологии электроимпульсного плазменного спекания оптически прозрачной керамики на основе порошков оксидных соединений

УДК 621.762.5:533.9:666.3.03-026.771

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A5-53	Пайгин Владимир Денисович		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор-консультант	Верещагин Владимир Иванович	д.т.н.		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Клименов Василий Александрович	д.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Хасанов Олег Леонидович	д.т.н.		

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Разработка оптических материалов нового поколения необходима для развития элементной базы современной фотоники, поэтому создание новых и уникальных с точки зрения практического применения оптических материалов, разработка и оптимизация технологий их изготовления является актуальной задачей, обеспечивающей прогресс в оптическом приборостроении и материаловедении. Новые оптические материалы должны обладать комплексом уникальных свойств: регулируемым спектром пропускания электромагнитного излучения и люминесценции, высоким квантовым выходом, так же комплексом высоких упругопластических свойств и плотностью близкой к теоретической. Разработка таких материалов должна основываться на новых принципах и подходах, среди которых весьма эффективным является применение наноструктурированных порошковых материалов и современных технологий их консолидации. Таким образом, указанный комплекс свойств новых оптических материалов будет определять рекордные высокие эксплуатационные характеристики оптических элементов, приборов и устройств.

Целью работы является установление закономерностей процессов консолидации оптически прозрачных керамик на основе порошков оксидных соединений методом электроимпульсного плазменного спекания, оптимальных режимов их изготовления и термической обработки для производства керамики с заданной структурой, физико-механическими и оптическими свойствами.

Во **введении** раскрывается актуальность работ по выбранной теме, сформулированы основные цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, определены объект и предмет проведенных исследований, представлены положения, выносимые на защиту, указан личный вклад автора.

В **первом** разделе научно-квалификационной работы представлен подробный обзор данных патентной и научно-технической литературы зарубежных и российских исследователей в области изготовления оптически прозрачных керамических материалов на основе порошков оксидных соединений.

Во **втором** разделе научно-квалификационной работы представлено описание исходных материалов исследования, используемых подходов и методик исследования свойств материалов, используемого технологического и аналитического оборудования.

В **третьем** разделе представлены результаты экспериментальных исследований по оптимизации технологических режимов электроимпульсного плазменного спекания и термической обработки на воздухе прозрачной керамики на основе порошков оксидных соединений. В выводах по разделу описаны предложения по оптимизации параметров консолидации и термической обработки материалов исследуемого типа.

В **заключение** представлены основные выводы по проделанной работе, описана значимость полученных результатов.

По теме НКР опубликовано 29 работ, в том числе 7 в зарубежных научных изданиях рецензируемых Scopus/Web of Science, из них 4 в журналах первого и второго квартиля, 7 в российских научных изданиях рецензируемых РИНЦ, из них 6 в изданиях из перечня ВАК, 15 тезисов докладов сборниках российских и зарубежных конференций.

Список работ, опубликованный автором по теме диссертации

1. Valiev D. , Stepanov, S., Khasanov, O., Dvilis, E., Polisadova, E., **Paygin, V.** Synthesis and optical properties of Tb³⁺ or Dy³⁺-doped MgAl₂O₄ transparent ceramics //Optical Materials. – 2019. – Т. 91. – С. 396-400.
2. Valiev D. T., Khasanov O. L., Dvilis E. S., Stepanov S. A., Polisadova E. F., **Paygin V. D.** Luminescent properties of MgAl₂O₄ ceramics doped with rare earth ions fabricated by spark plasma sintering technique // Ceramics International. - 2018 - Vol. 44 - №. 17. - p. 20768-20773.

3. Khasanov O. L., Dvilis E. S., Polisadova E. F., Stepanov S. A., Valiev D. T., **Paygin V. D.**, Dudina D. V. The influence of intense ultrasound applied during pressing on the optical and cathodoluminescent properties of conventionally sintered YSZ ceramics // Ultrasonics Sonochemistry. - 2018 - Vol. 50. - p. 166-171.
4. Valiev D. T., Han T., Stepanov S. A., Vaganov V. -, **Paygin V. D.** The effect of BaF₂ concentration and particle size distribution on the luminescence efficiency of YAG:Ce³⁺ phosphors // Materials Research Express. - 2018 - Vol. 5 - №. 9, Article number 096201. - p. 1-7.
5. Dvilis E. S., Khasanov O. L., Polisadova E. F., **Paygin V. D.**, Stepanov S. A., Valiev D. T., Dudina D. V. The Criteria for optimization of spark plasma sintering of transparent MgAl₂O₄ Ceramics // Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy. - 2018 - Vol. 65 - №. 8. - p. 513-518.
6. Polisadova E. F., Vaganov V. -, Stepanov S. A., **Paygin V. D.**, Khasanov O. L., Dvilis E. S., Valiev D. T., Kalinin R. Pulse cathodoluminescence of the impurity centers in ceramics based on the MgAl₂O₄ spinel // Journal of Applied Spectroscopy. - 2018 - Vol. 85 - №. 3. - p. 416-421.
7. Khasanov O. L., Dvilis E. S., Bikbaeva Z. G., Khasanov A. O., **Paygin V. D.** Relationship of Optical Properties and Elastoplastic Characteristics of Transparent Spark-Plasma-Sintered YSZ Ceramics // Journal of Ceramic Science and Technology. - 2017 - Vol. 8 - №. 1. - p. 161-168.
8. Двилис Э.С., **Пайгин В.Д.**, Степанов С.А., Хасанов О.Л., Валиев Д.Т., Полисадова Е.Ф., Ваганов В., Алишин Т.Р., Дудина Д.В. Закономерности влияния температуры электроимпульсного плазменного спекания на свойства прозрачной YSZ-керамики // Новые Огнеупоры. - 2019. - № 3. – С. 34–39.
9. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Хасанов О. Л., Степанов С. А., Алишин Т. Р., Валиев Д. Т., Полисадова Е. Ф., Ваганов В. -. Влияние малых концентраций CeO₂ на свойства прозрачной керамики на основе MgAl₂O₄ // Конструкции из композиционных материалов. - 2019 - №. 1. - С. 7-11.

10. Полисадова Е. Ф., Ваганов В. -, Степанов С. А., **Пайгин В. Д.**, Хасанов О. Л., Двилис Э. С., Валиев Д. Т., Калинин Р. Г. Импульсная катодолюминесценция примесных центров в керамике на основе шпинели MgAl_2O_4 // Журнал прикладной спектроскопии. - 2018 - Т. 85 - №. 3. - С. 407-412.

11. Полисадова Е. Ф., Хасанов О. Л., Степанов С. А., Валиев Д. Т., **Пайгин В. Д.**, Шрайбер А. М., Жвакина П. Д. Наведенное поглощение в YSZ-керамике // Известия вузов. Физика. - 2018 - №. 9/2. - С. 221-225.

12. Степанов С. А., Валиев Д. Т., **Пайгин В. Д.**, Ваганов В. -, Шрайбер А. М., Жвакина П. Д. Люминесцентные свойства люминофора YAG:Ce , BaF_2 и керамики // Известия вузов. Физика. - 2018 - №. 9/2. - С. 199-202.

13. Двилис Э. С., Хасанов О. Л., **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С. Изготовление светопропускающей YSZ-керамики методом статического одноосного прессования под мощным ультразвуковым воздействием с последующим свободным спеканием // Фундаментальные исследования. - 2017 - №. 12-2. - С. 1-12.

14. Иванов Ю. Ф., Хасанов О. Л., **Пайгин В. Д.**, Бикбаева З. Г., Тересов А. Д., Шугуров В. В., Калашников М. П., Двилис Э. С., Толкачёв О. С. Легирование ZrO_2 -керамики титаном при облучении интенсивным импульсным электронным пучком системы пленка/подложка // Известия вузов. Физика. - 2017 - Т. 60 - №. 10/2. - С. 54-61.

Пайгин В.Д. Синтез беспористой структуры прозрачной керамики на основе ZrO_2 методом спекания в плазме искрового разряда // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XI Международной конференция студентов и молодых ученых, г. Томск, 22-25 апреля 2014 г.

15. **Paygin V. D.** Investigation of the transparent ceramic optical properties based on ZrO_2 , produced by spark plasma sintering // Nanostructured

Materials: Programme and Abstracts of 2nd International Young Scientists School, Tomsk, May 12-15, 2016. - Tomsk: TPU Publishing House, 2016 - p. 48.

16. Хасанов О. Л., Двилис Э. С., Бикбаева З. Г., Хасанов А. О., **Пайгин В. Д.** Разработка оптически прозрачной керамики с применением методов SPS // Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей: тезисы докладов 5-го международного научного семинара, Москва, 29-31 Августа 2016. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2016 - С. 27-29.

17. Khasanov O. L., Dvilis E. S., Bikbaeva Z. G., **Paygin V. D.** The relationship of the optical and mechanical properties of YSZ, $MgAl_2O_4$ ceramics manufactured by SPS technique // 13th Laser Ceramics Symposium: Abstract Book, Fryazino, December 4-8, 2017. - Fryazino: IRE RAS, 2017 - p. 24.

18. **Paygin V. D.**, Dvilis E. S., Khasanov O. L., Lyamina G. V. Study of Sintering of the Translucent Cubic Zirconia Ceramics // 12th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2017): Proceedings: in 2 Vol., Ulsan, 31 May-2 June 2017. - Ulsan: University of Ulsan, 2017 - Vol. 1 - p. 28-30.

19. **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С. , Хасанов О. Л. Оптимизация режимов изготовления светопропускающей керамики на основе кубического ZrO_2 // Физика полупроводников и наноструктур, полупроводниковая опто- и наноэлектроника: тезисы докладов 19-й Всероссийской молодежной конференции, Санкт-Петербург, 27 Ноября-1 Декабря 2017. - Санкт-Петербург: СПбПУ, 2017 - С. 24.

20. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Толкачёв О. С. Влияние давления прессования на плотность светопропускающей керамики на основе кубического ZrO_2 // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Томск, 9-13 Октября 2017. - Томск: ТПУ, 2017 - С. 215-217.

21. **Пайгин В. Д.** Исследование оптических свойств керамики на основе ZrO_2 полученной методом электроимпульсного плазменного спекания // Двадцать третья всероссийская научная конференция студентов-физиков и

молодых ученых: материалы, Екатеринбург, 1-8 Апреля 2017. - Екатеринбург: АСФ России, 2017 - С. 424-425.

22. **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С., Двилис Э. С., Алишин Т. Р. Исследование процессов консолидации люминесцентной керамики на основе иттрий-алюминиевого граната // Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения: сборник трудов международной научно-технической молодёжной конференции, Томск, 26-30 Ноября 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 206-208.

23. Толкачёв О. С., Леонов А. А., Алишин Т. Р., **Пайгин В. Д.** Формирование структуры композитной керамики на основе ZrO_2 и нановолокон Al_2O_3 при свободном спекании // Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения: сборник трудов международной научно-технической молодёжной конференции, Томск, 26-30 Ноября 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 239-241.

24. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Хасанов О. Л., Степанов С. А., Алишин Т. Р. Влияние малых концентраций SeO_2 на свойства прозрачной керамики на основе $MgAl_2O_4$ // Актуальные проблемы порошкового материаловедения: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения академика В.Н. Анциферова, Пермь, 26-28 Ноября 2019. - Пермь: ПНИПУ, 2018 - С. 466-470.

25. **Пайгин В. Д.**, Алишин Т. Р. Влияние температуры спекания на свойства прозрачной YSZ-керамики, полученной методом электроимпульсного плазменного спекания // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 т., Томск, 24-27 Апреля 2018. - Томск: ТГУ, 2018 - Т. 2. Химия - С. 240-242.

26. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Алишин Т. Р. Исследование процессов электроимпульсного плазменного спекания прозрачной YSZ-керамики // Физика твердого тела: сборник материалов XVI Российской

научной студенческой конференции, Томск, 17-20 Апреля 2018. - Томск: НТЛ, 2018 - С. 87-90.

27. Стрельников А. Д., Алишин Т. Р., **Пайгин В. Д.** Характеризация прозрачной керамики на основе MgAl_2O_4 допированной CeO_2 // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов V Всероссийского конкурса научных докладов студентов, Томск, 22-23 Мая 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 16.

28. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Алишин Т. Р. Термический отжиг прозрачной YSZ-керамики полученной методом электроимпульсного плазменного спекания // Двадцать четвертая всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых: материалы, Томск, 31 Марта-7 Апреля 2018. - Екатеринбург: АСФ России, 2018 - С. 509-511.

29. **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С. , Двилис Э. С. , Алишин Т. Р. Комплексная характеристика коммерческого нанопорошка CeO_2 // Двадцать четвертая всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых: материалы, Томск, 31 Марта-7 Апреля 2018. - Екатеринбург: АСФ России, 2018 - С. 508-509.