



## 2-й научно-технический семинар «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ»

В Москве, в Российском технологическом университете (МИРЭА) 26 июня 2021 г. состоялся 2-й научно-технический семинар «Перспективные керамические материалы и технологии изделий из них», организованный лабораторией керамических и композиционных материалов МИРЭА. Руководитель семинара — к. т. н. В. П. Тарасовский.

На семинаре присутствовали сотрудники научно-исследовательских институтов, институтов РАН, научно-исследовательских и научно-технических центров, кафедр вузов, представители промышленных предприятий и компаний: АО «НИИГрафит», Москва; ИФТТ РАН, г. Черноголовка; НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА, Москва; ООО «НТЦ «Бакор», г. Щербинка, Москва; МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва; Гжельский государственный университет; РХТУ имени Д. И. Менделеева, Москва; МАИ (НИУ), Москва; ЗАО «Электроизолятор», пос. Электроизолятор Московской обл.; ЗАО «Керамика», г. Дедовск Московской обл.; ЗАО «Фарфоровый завод», пос. Вербилки Московской

обл.; ООО «Дельта», г. Зеленоград; ООО «НПК «ТехноМ», Москва; ООО «Ламберти Рус», Москва; ООО «СокТрейд Ко.», Москва; ИП «Паршин Владимир Иванович», с. Речицы Раменского р-на Московской обл.; Инжиниринговая компания ООО «Проектный офис», Москва; ЗАО «Неохим» (ИРЕА), Москва. Всего 30 человек. Дистанционно в работе семинара приняли участие 125 человек из разных регионов России и стран СНГ.

Информационная поддержка — журналы «Новые огнеупоры» (Web of Science), «Стекло и керамика» (Scopus), «Техника и технологии силикатов» (ВАК).

Ниже представлены аннотации пяти докладов, прозвучавших на семинаре.

\* \* \*

**«Получение сцинтилляционной керамики на основе сложных оксидов со структурой граната»** (П. В. Карпюк, НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА)

Неорганические сцинтилляторы находят широкое применение в областях детектирования разных ионизирующих излучений. Наиболее распространенной формой неорганических сцинтилляторов на данный момент является монокристалл, однако все больший интерес представляют керамические сцинтилляторы. Это связано с возможностью варьирования состава таких материалов в более широких пределах, большей гибкостью при формировании изделий, а также с удешевлением технологии получения некоторых форм изделий, например пластин толщиной порядка единиц миллиметров.

Важный параметр сцинтилляционной керамики — ее оптическая прозрачность, поскольку от нее зависит эффективность выхода света сцинтилляций из материала и, следовательно, возможность его измерения. Для получения керамики высокой прозрачности используют два основных подхода или их комбинацию: введение спекающих добавок и горячее изостатическое прессование (HIP). В первом случае основным препятствием является негативное влияние наиболее широко применяемых спекающих добавок (например,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$ ) на люминесцентные и

сцинтилляционные свойства материалов, во втором — высокая себестоимость получаемой керамики из-за использования сложного и энергоемкого оборудования.

Цель проведенной работы — исследование и оптимизация каждой стадии процесса получения керамики методом свободного спекания (conventional sintering) без введения дополнительных спекающих добавок и без использования HIP для достижения высокой пропускающей способности (получения прозрачного или полупрозрачного материала). Основные объекты исследования — составы  $\text{Y}_{2,97}\text{Ce}_{0,03}\text{Al}_5\text{O}_{12}$  (YAG:Ce) и  $\text{Gd}_{1,485}\text{Y}_{1,485}\text{Ce}_{0,03}\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$  (GYAGG:Ce). Прекурсоры получали методом обратного совместного осаждения из смесового азотнокислого раствора заданного состава водным раствором гидрокарбоната аммония. Путем варьирования температуры термообработки были найдены оптимальные условия формирования целевой фазы граната и микроструктуры порошка. Дальнейший подбор условий помола в планетарной мельнице в водной среде с использованием корундовых помольных тел позволил разработать методику измельчения агломератов, формирующихся при термообработке осадка, до среднего размера 300–400 нм. Основными методами формирования были одноосное прессование и шликерное литье. При этом для шликерного литья использовали суспензии с

объемным наполнением более 50 %, а керамические образцы, получаемые из отлитых заготовок, демонстрировали наиболее высокую плотность и пропускающую способность. Спекание керамики проводили в разной среде (воздух, кислород, вакуум) от 1600 °С.

Основной результат проведенной работы на данный момент — получение керамических образцов плотностью более 9 % с пропускающей способностью 40–50 % (от  $\lambda = 450$  нм) при толщине образца 1 мм. Полученные образцы демонстрируют сопоставимые сцинтилляционные характеристики по сравнению с монокристаллическими образцами сравнения состава GAGG:Ce при возбуждении сцинтилляции альфа-частицами (5,5 МэВ) и гамма-квантами (662 кэВ). Световых лучей образцов при возбуждении гамма-квантами составил до  $4 \cdot 10^4$  фотонов на 1 МэВ поглощенной энергии.

**«Влияние биообработки на технологию и свойства традиционной керамики»** (А. Н. Чернышов, ЗАО «Фарфоровый завод»)

Биологическая обработка глинистых материалов и керамических масс (ГКМ) — один из способов улучшения их технологических свойств, удаление примесей, повышение качества полуфабриката и готовых изделий. При пассивном вылеживании ГКМ, содержащих естественную микрофлору (ценоз), и при интенсификации биообработки силикатными бактериями в водной среде (*Bacillus mucilaginosus*) происходят дезагрегация, диспергирование частиц минералов, их растворение с увеличением доли коллоидов, синтез новых биогенных минералов, удаление примесей растворимого железа. Известны пять способов биоактивации (биообработки) ГКМ, которые обеспечивают улучшение технологических свойств ГКМ, удаление примесей, повышение качества полуфабриката и готовых изделий. Значительную роль в изменении структуры и свойств ГКМ играют продукты жизнедеятельности бактерий: органические кислоты, экзополисахариды и другие метаболиты.

Традиционные (пассивные) способы биоактивации ГКМ разного состава и назначения используют на ряде предприятий по производству фарфора и керамики в России и за рубежом.

**«Золь-гель синтез мезопористых систем на основе  $\text{CeZrO}_2$  для каталитического применения»** (Н. Н. Гаврилова, РХТУ имени Д. И. Менделеева)

Рассматривается золь-гель синтез твердых растворов  $\text{CeZrO}_2$ , базирующийся на использовании золь — устойчивых дисперсий наночастиц. Исследованы особенности фазообразования и формирования пористой структуры ксерогелей в процессе их термообработки. Установлено, что образование твердых растворов происходит при

достаточно низких температурах (450–600 °С). Фазовый состав  $\text{Ce}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$  при  $x = 0,5 \div 0,9$  представлен твердым раствором кубической модификации, а при более низком содержании  $\text{CeO}_2$  ( $x = 0,2$ ) — смесью кубической и тетрагональной модификаций. Показано, что ксерогели  $\text{Ce}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$  относятся к материалам с корпускулярной пористой структурой. Преобладающие размеры пор образцов принадлежат к области мезопор и составляют от 3 до 20 нм в зависимости от состава. Удельная поверхность и объем пор зависят как от содержания  $\text{ZrO}_2$ , так и от температуры получения образцов. Показано влияние агрегативной устойчивости золь на пористую структуру твердых растворов  $\text{CeZrO}_2$ , полученных на их основе.

Синтезированные золи  $\text{CeZrO}_2$  использованы для получения нанесенных и мембранных катализаторов, испытанных в разных реакциях.

**«Технологические аспекты получения пористых керамических локализаторов методом электрофореза»** (С. А. Ситников, МАИ)

Доклад посвящен отработке технологии электрофореза для создания мембран (локализаторов) из пористой керамики на основе нитрида кремния. Мембраны применяются для разделения областей ячейки с электролитом на две зоны (анодную, включающую до 90–95 % объема ячейки, и катодную, содержащую остальную область). Мембраны, получаемые путем подбора материала, структуры и формы пор, а также параметров работы ячейки (величина протока, плотность и вид электролита, напряжение на электродах, высота столба электролита в анодной зоне, расстояние зазора от локализатора до катода и пр.), позволяют работать на спадающей ветви вольт-амперной характеристики ячейки или даже в режиме «плато».

Использование локализаторов в экспериментах с электролитами при напряжении 1–100 кВ приводит к ускорению положительных ионов электролита и внедрению их в кристаллическую структуру катода. В таких экспериментах образуются достаточно экзотические островковые пленки (титан – алюминий, титан – литий, алюминий – галлий, железо – свинец и др.). Такие пленки могут значительно отличаться от металлургических, химических и других пленок характеристиками металлов, их составляющих.

Другой важной возможностью применения указанного процесса является то, что он позволяет бомбардировать катод протонами малых энергий (50 эВ – 10 кэВ). Эта возможность кроме изучения атомных и ядерно-физических процессов обеспечивает создание твердых растворов водорода в кристаллических структурах катодов из разных металлов, двойных, тройных и полиинтерметаллидов. Рассматриваемый процесс позволяет создавать метастабильные гидриды металлов без применения давления и высоких температур, которые необходимы, например, для получения сте-

хиометрических гидридов никеля, железа, меди и пр. Как правило, это представляет непростую задачу с учетом высокой подвижности водорода в межкристаллических структурах металлов, создания и поддержания таких условий, а также исследования образцов в таком состоянии.

Правильно организованные пористые непродящие мембраны изменяют свойства обыкновенной электролизной ячейки существенно, превращая ее и в инструмент исследования, и в технологический элемент производства новых наукоемких продуктов.

**«Вакуум при изготовлении формуемой керамической массы»** (Е. Б. Бендовский, МГУ имени М. В. Ломоносова)

Изготовление чего-либо — это непрерывная череда последовательных шагов. При этом бес-

смысленно говорить о важности или приоритете того или иного шага. Каждый настоящий шаг невозможен без предыдущего, а последующий без настоящего. Все сказанное в полной мере касается изготовления «конденсированного» тела из твердых неорганических соединений, а тем более нужной формы и с нужными свойствами, что в обиходе чаще называют «керамикой». Вместе с тем возможное изменение очередности технологических приемов заметно сказывается на качестве конечного материала.

В работе экспериментально показано, как изменение последовательности технологических приемов вакуумирования материала при изготовлении литейных составов (шликеров) влияет на свойства образцов керамики разного состава и строения.

\*\*\*

Длительность одного доклада не более 20 мин. На вопросы и дискуссии по докладу отведено 10 мин. В обсуждении докладов и в дискуссиях приняли участие около 20 человек. В настоящее время прорабатывается вопрос о возможности участия наших коллег в работе семинара с докладами дистанционно.

В заключение участники семинара поблагодарили организаторов за предоставленную возможность встретиться специалистам из разных отраслей науки и промышленности для поиска партнеров для совместной работы. Следующий семинар планируется провести 28 октября 2021 г. Из пяти докладов три доклада уже забронированы:

1. «Комбинированный электрохимический зольгель метод для нанесения покрытий углерод-

ного волокна» (С. Н. Галышев, ИФТТ РАН, г. Черноголовка).

2. «Свойства порошково-полимерных смесей для инъекционного формования заготовок деталей из хроммолибденовой стали» (А. Н. Муранов, ИКТИ РАН, Москва).

3. «Синтез металлооксидных композитов восстановительным разложением сложных оксидов» (С. А. Малышев, МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва).

Названия тем докладов будут уточняться. Приглашаем Вас принять участие в работе семинара с докладом. ■

Получено 08.06.21

© В. П. Тарасовский, 2021 г.  
(МИРЭА, [ceram-oxide2021@mail.ru](mailto:ceram-oxide2021@mail.ru),  
телефон 8-916-401-75-23)

