Соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с п 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации от «28» сентября 2021 г. № 075-15-2021-974. Тема «Разработка технологических приемов снижения температуры спекания высокоэнтропийных керамических материалов на основе оксидов переходных металлов»

Соглашение от «28» сентября 2021 г. № 075-15-2021-974
Научный руководитель – Ведущий научный сотрудник Лаборатории керамических и композиционных материалов ИЦМР федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет", к.т.н. В.П. Тарасовский
Сроки выполнения – 28.09.2021-31.12.2021 гг.
Иностранный партнер – Институт химической физики им. А.Б. Налбандяна национальной академии наук Республики Армения (ИХФ НАН РА).
Проект выполняется в рамках программного мероприятия 4.3.2 Проведение исследований в рамках международного многостороннего и двустороннего сотрудничества, в том числе в рамках Европейского союза

Цель проекта:

Разработать технологические подходы к значительному (ниже 550°С) снижению температуры спекания перспективных высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4 в целях достижения заданных свойств (посредством обеспечения необходимых характеристик плотности и микроструктуры) материалов для электрокатализаторов и устройств спинтроники при одновременной минимизации потребления электроэнергии.

Задачи проекта:

- Экспериментальные исследования влияния типа и концентрации активирующих добавок на температуру спекания высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4, получаемых в процессе холодного спекания (англ. Cold Sintering Process);

- Поиск технологических приемов процесса холодного спекания высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4;

- Оценка уровня свойств образцов высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4, полученных в процессе холодного спекания, в сравнении со свойствами образцов, полученными методом искрового плазменного спекания.

Основной областью применения объекта исследований являются тепловая защита и защита окружающей среды, в качестве термоэлектриков, в катализе и накоплении энергии.

Результаты

В ходе выполнения работ по проекту были разработаны технологические подходы к значительному (ниже 550 °С) снижению температуры спекания перспективных высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4 в целях достижения заданных свойств (посредством обеспечения необходимых характеристик плотности) материалов для электрокатализаторов и устройств спинтроники при одновременной минимизации потребления электроэнергии.

В ходе выполнения экспериментальных исследований влияния типа и концентрации активирующих добавок на температуру спекания высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4, получаемых в процессе холодного спекания (англ. Cold Sintering Process) было выявлено, что наибольшая относительная плотность (в диапазоне от 0,75 до 0,77 (Состав А ‒ (MnFeCoNiCu)3O4), и от 0,75 до 0,76 (Состав Б - (MnFeCoNiZn)3O4) достигается при давлении прессования 315 МПа, температуре спекания от 250 °C до 300 ºС, выдержке 30 минут и добавке 20 мас. % водного раствора 2,5 мас. % NaOH и термической постобработкой в печи при температуре 525 °С в течении 1-го часа при холодном спекании порошков высокоэнтропийных оксидов обоих исследованных составов.

Был проведен поиск технологических приемов процесса холодного спекания высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4, который показал, что скорость нагрева пресс-формы и увеличение времени выдержки более 60 минут не приводят к повышению относительной плотности образцов свыше 0,75. Для достижения относительной плотности более 0,75 требуется последующая термическая обработка – обжиг при температуре 525 ºС в воздушной атмосфере в течении 1-го часа.

Электрическая проводимость образцов Состава А ((MnFeCoNiCu)3O4) находится в диапазоне 1,8 – 3,7 мСм/м, для образцов Состава Б ((MnFeCoNiZn)3O4)) в диапазоне 0,006 – 0,04 мСм/м. Обе партии образцов по величине электрической проводимости можно отнести к полупроводникам. Это, возможно, открывает новые перспективы использования этих материалов в качестве высокотемпературных полупроводников. Однако в рамках данной работы полупроводниковые свойства рассматриваемых материалов не исследовались.

Выполнена оценка уровня свойств образцов высокоэнтропийных керамических материалов на основе (MnFeCoNiCu)3O4 и (MnFeCoNiZn)3O4, полученных в процессе холодного спекания, в сравнении со свойствами образцов, полученными методом искрового плазменного спекания. Образцы обоих составов, полученные методом искрового спекания продемонстрировали отсутствие магнитных свойств, вследствие упорядочивания структуры и фазового состава керамики. Результаты исследования микроструктуры и фазового состава также показали, что при получении керамических образцов методом искрового плазменного спекания эффект высокой энтропии не наблюдается. Образцы холодного спекания обоих составов продемонстрировали выраженные магнитные свойства. Состав А ((MnFeCoNiCu)3O4) продемонстрировал большие величины намагниченности насыщения (Ms = 20 ед. СГС/г), остаточной намагниченности (Mr = 9,4 ед. СГС/г) и коэрцитивной силы (Hc = 366,7 Э), в сравнении с Составом Б ((MnFeCoNiZn)3O4) ‒ Ms = 6 ед. СГС/г, Mr = 0,8 ед. СГС/г, Hc = 66,5 Э. Выраженные магнитные свойства образцов холодного спекания свидетельствуют о сохранении высокой энтропии материала при его консолидации ниже 550 ºС и позволяют достигать уровня магнитных свойств, достаточных для возможных применений высокоэнтропийной керамики в устройствах спинтроники.

Выполненные научно исследовательские работы позволяют говорить о достижении поставленных целей проекта, поставленные в проекте задачи решены полностью.