

СЕКЦИЯ 1
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 546:54.057

**SiO₂:GeO₂(Ge⁰) КЕРАМИЧЕСКИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ,
ПОЛУЧЕННЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ**

М. Ф. С. Х. Аль-Камали^{1,2}

¹Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь,

²Научная организация по исследованиям и инновациям,
г. Таиз, Йеменская Республика

В данной работе исследовалось взаимодействие допантов с SiO₂-каркасом ксерогеля, синтезированного при 800 °С. Результаты показали высокую однородность морфологии и пористую структуру образцов SiO₂:GeO₂(Ge⁰), что открывает новые перспективы для их применения в тонкопленочных технологиях и композитных материалах.

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к разработке новых материалов для тонкопленочных технологий, особенно в контексте производства солнечных панелей. Одним из перспективных направлений является использование керамических наноконкомпозитов на основе оксида кремния (SiO₂) и оксида германия (GeO₂), которые обладают уникальными оптическими и электрическими свойствами, необходимыми для повышения эффективности солнечных элементов [1].

Золь-гель синтез представляет собой один из наиболее эффективных методов получения таких наноконкомпозитов, позволяющих контролировать морфологию и структуру материалов на наноуровне. Этот метод обеспечивает равномерное распределение компонентов в матрице, что способствует улучшению механических и термических свойств получаемых материалов [2].

Керамические наноконкомпозиты SiO₂:GeO₂(Ge⁰) могут использоваться в качестве активных слоев в солнечных панелях, так как они способны повышать поглощение света и, следовательно, эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую [3]. Кроме того, такие материалы обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям, что делает их идеальными для использования в условиях, характерных для солнечных энергетических установок.

Целью проведенных научных исследований являлось изучение технологических этапов синтеза пористых SiO₂-матриц, допированных ионами германия, сформированных золь-гель методом на основе водной дисперсии аэросила марки А-380; установление влияния концентрации германия на структурные и функциональные характеристики получаемых матриц, предназначенных для формирования мишеней для вакуумных методов нанесения тонких пленок.

Принципиальная схема получения тонкодисперсных микропорошков состава SiO₂:GeO₂ и SiO₂:Ge⁰ представлена на рисунке 1.

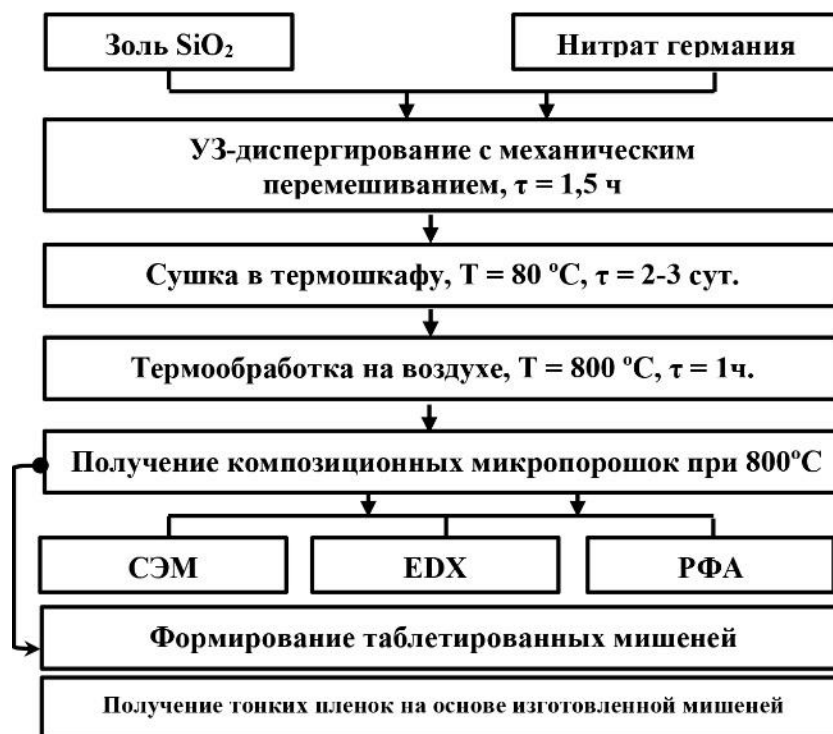


Рисунок 1 – Схема технологических этапов получения ксерогельных SiO_2 -матриц, легированных Ge

Нами изучено взаимодействие веществ-допантов с поверхностью SiO_2 -каркаса ксерогеля, для чего были подготовлены образцы составов $\text{SiO}_2:\text{GeO}_2$ и $\text{SiO}_2:\text{Ge}^0$, синтезированные при температуре 800 °C. Исследования проводились с использованием методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеновской дифракции (РФА). Результаты показали четко выраженную глобулярную структуру и высокую однородность морфологии образцов. Введение германия способствовало образованию покрова на поверхности глобул SiO_2 и увеличению размера агрегатов, что связано с агрегацией ионов германия. Анализ морфологии выявил пористую структуру, особенно выраженную в образцах $\text{SiO}_2:\text{GeO}_2$, что может улучшить механические свойства материалов. Химический состав и фазовый анализ подтвердили изменение соотношений элементов, указывающее на влияние германия на физико-химические свойства ксерогеля. Полученные результаты открывают новые перспективы для применения таких наноконкомпозитов в тонкопленочных технологиях и композитных материалах.

Литература

1. Growth and Crystallization of $\text{SiO}_2/\text{GeO}_2$ Thin Films on Si(100) Substrates / J. Antoja-Lleonart, V. Ocelik, S. Zhou [et al.] // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11(7). – P. 1654. – <https://doi.org/10.3390/nano11071654>.
2. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Мишени $\text{SiO}_2 : \text{CuO} (\text{Cu}^0)$ для нанесения тонких пленок ионно-лучевого распыления, полученные золь-гель методом / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Бойко, Х. А. С. Аль-Шаамири // *Доклады национальной академии наук Беларуси*. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 348–355.
3. Development of $\text{SiO}_2:\text{GeO}_2(\text{Ge})$ ceramic nanocomposites via sol-gel synthesis for thin-film applications in solar panel manufacturing / M. F. S. H. Al-Kamali, A. A. Boika, Y. T. A. Al-Ademi [et al.] // *Al-Andalus Journal of Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 11, № 20. – P. 17–38.