

Матэрыял падрыхтаваны ў рамках навукова-даследчай работы «Тэрміналогія электратэхнікі беларускай, рускай і англійскай моў: тлумачальны слоўнік» задання 12.6 «Беларуская лексікалогія, тэрміналогія, тэрмінаграфія, аўтаматызаваная апрацоўка тэкставых масіваў: актуальныя праблемы тэорыі і практыкі» падпраграмы «Беларуская мова і літаратура» дзяржаўнай праграмы навуковых даследаванняў «Грамадства і гуманітарная бяспека беларускай дзяржавы» на 2021–2025 гг.

#### Літаратура

1. Мабільны дадатак для англа-руска-беларускага слоўніка па радыёэлектроніцы, аўтаматыцы і інфармацыйна-вымяральной тэхніцы / М. І. Гапоненка, А. Я. Запольскі, Ю. В. Крышнёў, А. В. Сахарук // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 крас. 2023 г. В 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 54–56.
2. Аднаплатны камп'ютар Orange Pi 4. – URL: <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/index.html> (дата звароту: 25.05.2024).
3. SQLite. – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/sqlite/> (дата звароту: 19.06.2024).
4. Дакументацыя C++. – URL: <https://learn.microsoft.com/ruru/cpp/cpp/?view=msvc-170> (дата звароту: 24.09.2024).
5. Аб Qt. – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/qt/> (дата звароту: 01.10.2024).

УДК 539.213.27+539.25+539.264

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ $\text{SiO}_2 : \text{Cu}^\circ$ , ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ GWYDDION

М. Ф. С. Х. Аль-Камали

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

*Рассмотрен золь-гель метод как ключевая технология для получения различных материалов, включая наноматериалы. Описан процесс формирования золя, который превращается в гель, а также методы синтеза наночастиц в жидких средах. Особое внимание уделено важности однородности гранулометрического и химического состава исходного материала для качественного вакуумного напыления. Применение высокочистых компонентов и аэросила способствует равномерному распределению легирующих добавок, создавая оптимальные условия для получения высококачественных покрытий. Также акцентируется внимание на компьютерном анализе микроскопических изображений, полученных с использованием сканирующей электронной микроскопии, для оценки топографии и размеров наночастиц в композиционных материалах  $\text{SiO}_2 : \text{Cu}^\circ$ .*

**Ключевые слова:** золь-гель метод, наноматериалы, СЭМ, компьютерный анализ, наночастицы, композиционные материалы,  $\text{SiO}_2 : \text{Cu}^\circ$ .

### RESEARCH OF THE SURFACE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS $\text{SiO}_2 : \text{Cu}^\circ$ OBTAINED BY THE SOL-GEL METHOD USING THE GWYDDION PROGRAM

M. F. S. H. AL-Kamali

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*This paper discusses the sol-gel method as a key technology for obtaining various materials, including nanomaterials. The process of forming a sol that turns into a gel, as well as methods for*

*synthesizing nanoparticles in liquid media, is described. Particular attention is paid to the importance of homogeneity of the granulometric and chemical composition of the source material for high-quality vacuum deposition. The use of high-purity components and aerosil promotes uniform distribution of alloying additives, creating optimal conditions for obtaining high-quality coatings. Attention is also focused on the computer analysis of microscopic images obtained using scanning electron microscopy to assess the topography and size of nanoparticles in SiO<sub>2</sub> : Cu<sup>o</sup> composite materials.*

**Keywords:** Sol-gel method, Nanomaterials, SEM, Computer analysis, Nanoparticles, Composite materials, SiO<sub>2</sub> : Cu<sup>o</sup>.

Золь-гель метод является важной технологией для получения различных материалов, включая наноматериалы. Он включает в себя создание золя, который превращается в гель – коллоидную систему, состоящую из жидкой среды и пространственной сети частиц. Формирование наночастиц в жидких средах включает методы осаждения, синтеза в сверхкритических жидкостях и физического воздействия. Для качественного вакуумного напыления критически важна высокая однородность гранулометрического и химического состава исходного материала. Использование высокочистых компонентов и аэросила как матрицы позволяет достичь равномерного распределения легирующих добавок на поверхности аэросила. Это способствует созданию оптимальных условий для высококачественных покрытий. В связи с этим актуально применять компьютерный анализ микроскопических изображений, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), для количественной оценки топографии, размеров наночастиц и упорядоченности пористого массива в композиционных материалах SiO<sub>2</sub> : Cu<sup>o</sup>.

Целью данной работы является исследование свойств и характеристик нанокompозитов, полученных методом золь-гель, с акцентом на процесс анализа и оптимизации их структуры через методы компьютерной обработки изображений.

Нанокompозиты были синтезированы методом золь-гель, при котором сначала получался золь на основе оксида кремния, затем добавлялись соли нитрата меди в различных концентрациях. Смесь термообработывалась: сначала сушилась при 80 °С в течение недели, затем при 800 °С в течение часа. После сушки смесь измельчали для получения нанокompозитного порошка SiO<sub>2</sub> : Cu<sup>o</sup>. Поверхностные характеристики порошка исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа S-4800 (Hitachi, Япония). Распределение наночастиц и межпористое расстояние рассчитывались на основе электронных микрофотографий с использованием программного обеспечения Gwyddion [1, 2].

Для анализа изображений, полученных методом СЭМ, использовался комплекс Gwyddion, который позволяет визуализировать данные и анализировать агломераты. В процессе обработки рассчитывались параметры, такие как общее число агломератов, их площадь, длина границ и средний размер. Применялись маски для выделения областей агломератов, что обеспечивало более точную оценку их характеристик. В результате анализа были определены средняя площадь сферических агломератов, пористость поверхности и средний размер агломератов. Пористость поверхности рассчитывалась по специальной формуле [3, 4]:

$$D_{\text{сф}} = \sqrt{\frac{4S_{\text{сф}}}{\pi}},$$

где  $S_{\text{сф}}$  – средняя площадь сферообразных агломератов;  $P_{\text{сф}}$  – пористость поверхности;  $D_{\text{сф}}$  – средний размер сферообразных агломератов.

Изображения ксерогелей, содержащих ионы меди, обработанные на воздухе при температуре 800 °С. Это подтверждается визуальными данными, демонстрирующими изменения в структуре образцов (рис. 1).

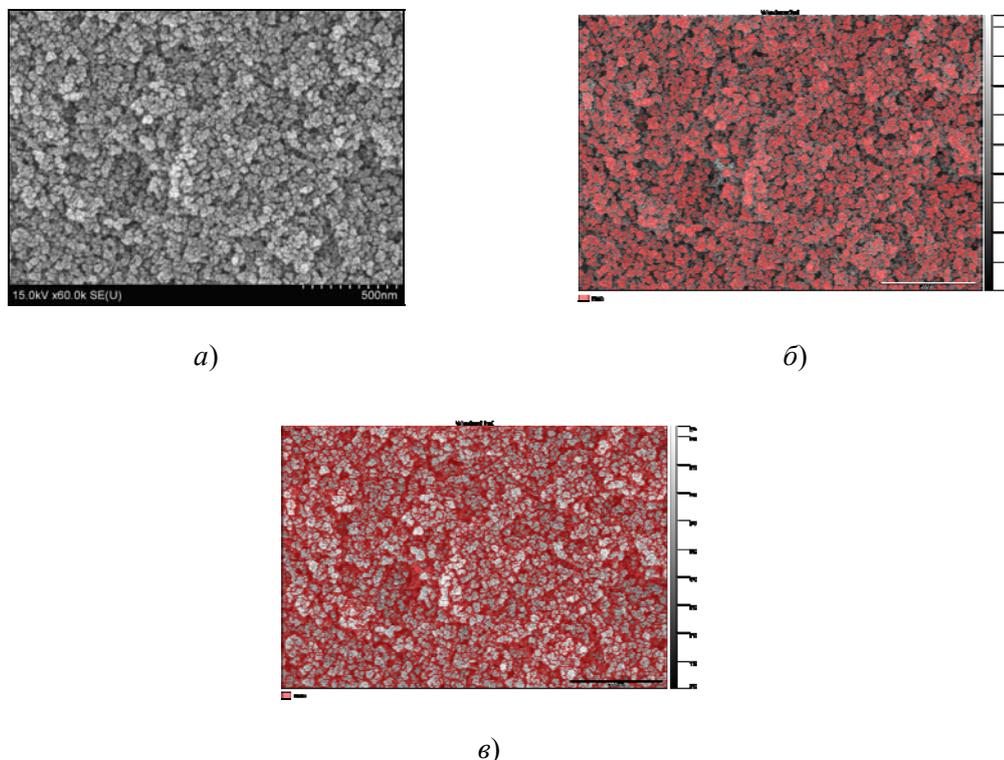


Рис. 1. Анализ СЭМ-изображения, обработанного программой Gwyddion ксерогеля (термообработан в среде водорода при  $T = 800$  °С, 1 час, концентрация меди 0,40 моля на содержания 1 моль  $\text{SiO}_2$ ):  
 а – исходное СЭМ-изображение; б – изображение исследуемого образца с зернами, покрытыми «маской»; в – изображение инвертированной «маски» для поверхности исследуемого образца

В таблице представлены результаты статистического анализа распределения агломератов по размерам, полученные с помощью программы Gwyddion, а также соответствующие измерения, выполненные с помощью СЭМ. Видно, что средний размер сферических агломератов остается практически одинаковым, измеряясь в нанометрах, нм.

#### Результаты статистического анализа распределения агломератов по размерам с помощью программы Gwyddion, СЭМ и РФА

Состав	Параметры					
	Количество агломератов	Общая площадь $\mu, \text{м}^2$	Средняя площадь сферических агломератов $S_{\text{сф}}, \text{нм}^2$	Средний размер сферообразных агломератов, нм		
				Gwyddion	СЭМ	РФА
$\text{SiO}_2 : \text{Cu}^\circ$	900	1,76	480,87	24,7	24,1	22,49

Из таблицы видно, что программа Gwyddion согласуется и с данными СЭМ, и с результатами рентгенографии, обеспечивая считывание всей поверхности образца.

Однако в процессе обработки возникают некоторые дефекты, при слабой точности рисования результаты могут быть неточными. Тем не менее Gwyddion демонстрирует результаты, близкие к более точным программам для анализа поверхностей. Полученные данные показывают, что восстановленный металл интегрируется в структуру  $\text{SiO}_2$ -глобул, образуя металлическую оболочку с градиентом концентрации. Модифицированные ксерогели и микропорошки обладают эффективным распределением допантов и высокой однородностью концентрации восстановленного металла. Методы золь-гель синтеза, включая использование аэросилов, активно применяются в производстве керамических и оптических материалов, что способствует улучшению температуры спекания и достижению монолитного стеклообразного состояния. Результаты обработки изображений показывают, что средний размер наночастиц в порошке  $\text{SiO}_2 : \text{Cu}^\circ$  составляет 17–35 нм, что соответствует литературным данным.

#### Литература

1. AL-Kamali, M. F. S. H. Structural properties of micropowders composition  $\text{SiO}_2:\text{CuO}$  &  $\text{SiO}_2:\text{Cu}^\circ$  prepared by sol-gel method / M. F. S. H. AL-Kamali, A. A. Alexeenko, M. H. AL-Buhiri [et al.] // Al-Andalus Journal of Applied Sciences. – 2021. – Vol. 8, № 13 (Jan.–Jun.). – P. 99–117. – ISSN 2410-7727. – URL: <http://www.andalusuniv.net/AUSTNEW/contentCustom.php?pid=515&menu=showNumM&page=4> (date of access: 30.06.2021).
2. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Структурообразование  $\text{SiO}_2$ -ксерогелей, содержащих соединения меди различного фазового состава / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Алексеев, О. А. Титенков // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 3 (44). – С. 7–12.
3. Manual pages // Gwyddion – Free SPM (AFM, SNOM/NSOM, STM, MFM) data analysis software. – URL: <http://gwyddion.net/documentation/user-guide-ru/presentations-masks.html> (дата обращения: 27.08.2021).
4. An, V. Optical and AFM studies on p-SnS thin films deposited by magnetron sputtering/ V. An, M. Dronova, A. Zakharov // Chalcogenide Letters. – September 2015. – Vol. 12, N 9. – P. 483–487.

УДК 539.1.074:621.311.6

### **АНАЛИЗ СТРУКТУР И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ VME-64 САЕН ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕТЕКТОРОМ SPD ПРОЕКТА NICA**

**С. Н. Кухаренко<sup>1</sup>, Ю. В. Крышнев<sup>1</sup>, В. В. Терещенко<sup>2</sup>, А. Е. Запольский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Объединенный институт ядерных исследований,  
г. Дубна, Российская Федерация*

*Представлены результаты работы по анализу варианта электропитания системы управления детектором SPD проекта NICA при помощи преобразователя САЕН VME-64, изучению ключевых особенностей организации подобных систем. Проведен анализ структуры и схемотехники преобразователя.*

**Ключевые слова:** система управления детектором, SPD, NICA, VME-64, система питания, электромагнитная совместимость, энергетическая эффективность.