

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРЕНИЯ НАНОНИТЕЙ И НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОРФОЛОГИЙ В БУФЕРНЫХ РАСТВОРАХ ПРИ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ pH

*Сумарокова М.В.¹, Назаровская Д.А.¹, Крюков Р.Н.², Гончар К.А.¹,
Николичев Д.Е.², Осминкина Л.А.^{1,2}*

1 МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

*2 Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия*

3 Институт биологического приборостроения РАН, Пущино, Россия

e-mail: sumarokova.mv21@physics.msu.ru

Пористые наночастицы кремния являются перспективным материалом для биомедицинских применений из за их уникальных полупроводниковых свойств и свойств биосовместимости и биodeградируемости. В работе [1,2] показано, что скоростью биodeградации наночастиц можно управлять, задавая параметры их синтеза и последующей обработки поверхности. Однако, в первую очередь на скорость растворения наночастиц кремния влияют их структурные свойства и значения pH среды, в которой они находятся. В работах [2,3] показано, что спектроскопия комбинационного рассеяния света является прекрасным инструментом для исследования скорости растворения кремниевых нанокристаллов.

В представленной работе пористые кремниевые нанонити (пКНН) синтезировали методом металл-стимулированного химического травления (МСХТ) пластин кристаллического кремния c-Si с удельным сопротивлением 0.001 Ом·см. Инициатором реакции МСХТ служили наночастицы золота (Au). Пористые наночастицы кремния (пКНЧ) получали измельчением пКНН в ультразвуковой ванне. Непористые кремниевые нанонити нКНН получали в результате травления c-Si с удельным сопротивлением 10 Ом·см, а их измельчение давало непористые наночастицы (нКНЧ).

На Рисунке 1 представлены микрофотографии сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) полученных образцов нанонитей. Толщины слоев пКНН и нКНН составляют около 4 и 5 мкм соответственно, а диаметр единичной нанонити около 50 нм.

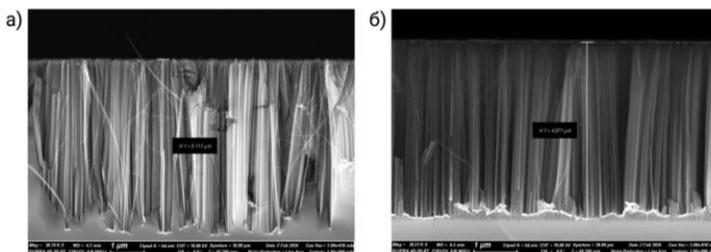


Рисунок 1 – Микрофотографии СЭМ непористых (а) и пористых (б) кремниевых нанонитей.

Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФС), обеспечивающим возможность детального анализа локального химического состава наносистем, было определено содержание субоксидов кремния (SiO_x) на поверхности исследуемых образцов. Установлено, что концентрация субоксидов на поверхности непористых кремниевых нанонитей (нКНН) составляет около 30%, а на поверхности пористых кремниевых нанонитей (пКНН) — около 26%. Данные различия могут оказывать влияние на скорость растворения образцов в биологических средах.

Для исследования процессов растворения кремниевых нанонитей и наночастиц был применён метод комбинационного рассеяния света (КРС или рамановская спектроскопия). Образцы помещали в буферные растворы с различными значениями pH (4.6, 7.0 и 9.0), моделирующие физиологические условия. Рамановские спектры регистрировались с использованием микроспектрометра Confotec MR350 с длиной волны лазера 633 нм и мощностью 0.5 мВт. Кроме того, изменение толщины кремниевых нанонитей во времени изучали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, Carl Zeiss SUPRA 40).

Проведённые исследования показали, что скорость растворения кремниевых нанонитей и наночастиц существенно зависит от их морфологии и кислотности среды. ПКНН растворяются значительно быстрее, чем нКНН, особенно в щелочных буферных растворах. Это указывает на возможность контролируемого растворения наноструктур, что может быть использовано для разработки биосенсоров и наноконтейнеров для целевой доставки лекарственных препаратов.

Полученные результаты дают основу для дальнейшей оптимизации кремниевых наноматериалов в биомедицинских приложениях, с учётом их поведения в различных физиологических средах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-15-00137).

1. Gongalsky, M. B., Tsurikova, U. A., Storey, C. J., Evstratova, Y. V., Kudryavtsev, A. A., Canham, L. T., Osminkina, L. A. (2020). The effects of drying technique and surface pre-treatment on the cytotoxicity and dissolution rate of luminescent porous silicon quantum dots in model fluids and living cells. *Faraday Discussions*, 222, 318-331.

2. Gongalsky, M. B., Sviridov, A. P., Bezsudnova, Y. I., Osminkina, L. A. (2020). Biodegradation model of porous silicon nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 190, 110946.

3. Gongalsky, M. B., Tsurikova, U. Y. A., Gonchar, K. A., Gvindgiiiia, G. Z., Osminkina, L. A. (2021). Quantum-confinement effect in silicon nanocrystals during their dissolution in model biological fluids. *Semiconductors*, 55, 61-65.H

4. A.V. Boryakov, S.I. Surodin, R.N. Kryukov, D.E. Nikolichev, S.Yu. Zubkov (2018). Spectral fit refinement in XPS analysis technique and its practical applications. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 229, 132-140.