

Свойства биоматериала на основе нанокompозита пористого кремния с гидроксиапатитом

С.Ю. Кулагина, Н.В. Латухина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Обоснование. Задача лежит в области адресной доставки гидроксиапатита (ГАП) к поврежденным в результате травмы или болезни участкам кости при помощи пористых наночастиц. Для доставки ГАП к поврежденным участкам кости необходимо использовать водорастворимые транспортные пористые частицы, насыщенные веществом, поскольку чистый ГАП практически нерастворим в крови и плазме. Создание наноконтейнеров из пористого кремния (ПК) с гидроксиапатитом ускорит восстановление костных тканей при остеопластике [1].

Цель — исследовать нанокompозит пористого кремния с гидроксиапатитом как биоматериал для применения в остеопластике.

Методы. Пористый кремний был получен из пластин монокристаллического кремния методом электрохимического травления в растворе $\text{HF} : \text{H}_2\text{O} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ [2]. Травлению подвергались образцы с разным типом поверхности: полированная и шлифованная в течение 20 мин при значениях плотности тока 10 мА/см². Пористость пластин считали гравиметрическим методом [3].

Для получения нанокompозита пористого кремния с гидроксиапатитом поры насыщали водным раствором гидроксиапатита, приготовленного из дистиллированной воды и стоматологического порошка гидроксиапатита в соотношении 30 : 1.

Порошок нанокompозита пористого кремния с гидроксиапатитом получали двумя способами: механически, посредством измельчения пористого слоя нанокompозита в керамической ступке, и методом лазерной абляции [3, 4]. Для этого использовали оптоволоконный лазер непрерывного излучения с рабочей длиной волны 1098 нм с выходной мощностью 20 Вт. Пучок мощного излучения действует на пористый слой, нагрев приводит к микровзрыву и образованию кратера на поверхности пластины.

Наличие гидроксиапатита в порах исследовали методом рентгеновского энергодисперсионного анализа [5].

Размер частиц определяли методом растровой электронной микроскопии на аппарате «Интегра-Томо».

Результаты. Толщина пористого слоя составила 30–40 мкм, пористость — 6–12 %. Исследование элементного состава подтвердило наличие гидроксиапатита в порах кремния. Гидроксиапатит состоит из кислорода, кальция и фосфора. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Элементный состав порошка нанокompозита ПК + ГАП

Элемент	Содержание, %
Углерод (C)	52,21
Кислород (O)	29,47
Кальций (Ca)	9,13
Кремний (Si)	5,75
Фосфор (P)	3,01
Другие	0,43

При механическом измельчении размеры отдельных частиц порошка составляют 10–12 мкм. Края неровные, четко видна пористая структура. Методом лазерной абляции были получены частицы намного меньших размеров, порядка 1 мкм. Они имеют более округлые края за счет оплавления при воздействии на них лазера (рис. 1).

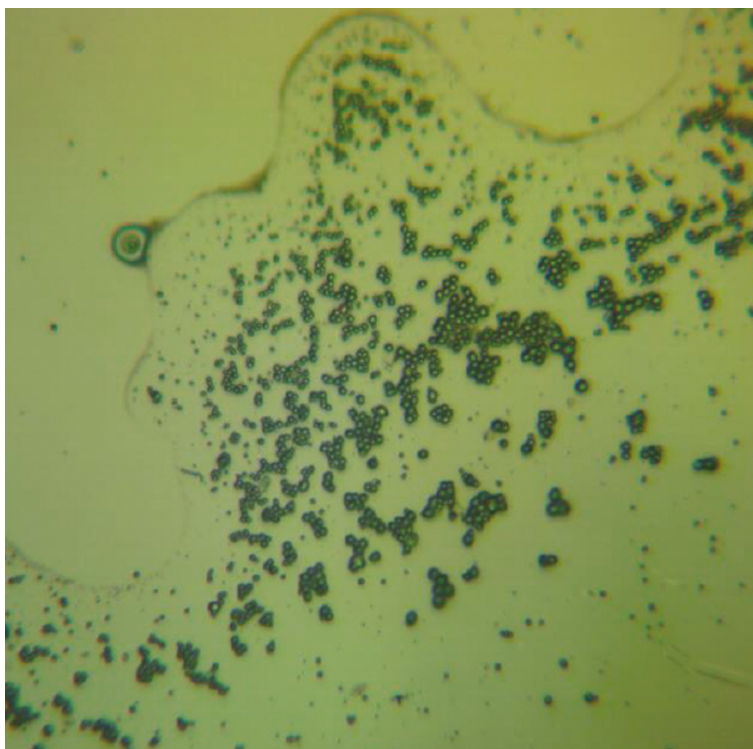


Рис. 1. Частицы порошка, полученного методом лазерной абляции

Выводы. Исследование размеров частиц порошка нанокompозита ПК+ГАП показало, что метод лазерной абляции больше подходит для создания наноконтейнеров для доставки лекарства в остеопластике. Таким образом, результаты проведенных исследований могут быть положены в основу методики изготовления нанокompозита ПК+ГАП с контролируемым содержанием ГАП.

Ключевые слова: пористый кремний; гидроксиапатит; лазерная абляция; остеопластика; наноконтейнеры.

Список литературы

1. Белорус А.О. Нанокompозиты, полученные внедрением наночастиц и коллоидных квантовых точек в пористые полупроводниковые матрицы. СПб.: ЛЭТИ им. В.И. Ульянова, 2022. 249 с.
2. Суюндукова Д.Р. Физико-химические свойства биоматериала для остеопластики на основе пористого кремния. Самара: Самарский университет, 2018.
3. Конюхов Ю.В. Разработка научно-технологических основ получения нанопорошков из техногенного сырья и модифицирования материалов с применением энергомеханической обработки. Москва: Университет МИСИС, 2018.
4. Смирнов Н.А., Кудряшов С.И., Данилов П.А., и др. Одноимпульсная абляция кремния ультракороткими лазерными импульсами варьируемой длительности в воздухе и воде // Письма в ЖЭТФ. 2018. Т. 108, № 6. С. 393–398. DOI: 10.1134/S0370274X18180054
5. Ксенофонтова О.И., Васин А.В., Егоров В.В., и др. Пористый кремний и его применение в биологии и медицине // Журнал технической физики. 2014. Т. 84, № 1. С. 67–78. EDN: RYJATZ

Сведения об авторах:

София Юрьевна Кулагина — студентка, группа 4402-030302D, физический факультет; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: kulagina4@ya.ru

Наталья Виленовна Латухина — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры твердого тела и неравновесных систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: natalat@yandex.ru