

МИКРОФЛЮИДНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ПО РАЗМЕРУ КРЕМНИЕВЫХ НАНОЧАСТИЦ

Бикметова С.У. (Университет ИТМО), Резник И.А. (Университет ИТМО),
Сенникова Д.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н, Зуев Д.А. (Университет ИТМО)

Введение. Синтез Ми-резонансных кремниевых наночастиц с точным контролем их размера и морфологии является критически важной задачей в современной нанофотонике [1]. Уникальные оптические свойства этих наночастиц, определяемые резонансами Ми, в значительной степени зависят от их размеров. Однако распространенные масштабируемые методы синтеза, в частности лазерная абляция, часто приводят к полидисперсному распределению частиц по размерам [2]. Эта полидисперсность ухудшает точную настройку резонанса, необходимого для применения в фотонике, сенсорике и метаматериалах [3,4]. Традиционные методы разделения, например центрифугирование в градиенте сахарозы [5], работают исключительно в пакетном режиме, что создает фундаментальное ограничение для масштабируемого производства. Хотя микрофлюидика стала мощным инструментом для непрерывного манипулирования частицами, ее применение для разделения наночастиц остается недостаточно изученной областью [6]. Поэтому разработка точного, масштабируемого и эффективного метода сортировки полидисперсных кремниевых наночастиц, обладающих резонансом Ми, имеет важное значение для дальнейшего их практического применения.

Основная часть. В данной работе предлагается использование двух различных микрофлюидных подходов разделения полидисперсных кремниевых наночастиц с резонансом Ми. Первый подход использует пассивный инерционный микрофлюидный чип, выполненный в виде спирали. Этот чип использует силы сопротивления Дина и инерционные подъемные силы, действующие на частицы внутри изогнутого микроканала [7]. По мере того, как суспензия частиц протекает по спирали, частицы разных размеров достигают равновесия в различных положениях, что позволяет осуществлять непрерывное разделение по размеру. Второй подход включает в себя микрофлюидный чип, интегрированный со стандартной лабораторной центрифугой. Этот чип позволяет осуществлять высокоточное разделение с помощью центробежного поля [8], эффективно разделяя полидисперсную суспензию на монодисперсные фракции по размеру. Оптимальные параметры разделения, включая скорость потока для спирального чипа, а также время центрифугирования для центрифужного чипа, были определены экспериментально.

Выводы. В данной работе были разработаны и протестированы два микрофлюидных чипа для сортировки полидисперсных кремниевых наночастиц: пассивный спиральный чип для непрерывного разделения и центробежный чип для разделения близких по размеру Ми-резонансных кремниевых наночастиц. Предложенные микрофлюидные подходы разделения представляют собой надежное, экономичное и эффективное решение для получения монодисперсных фракций наночастиц.

Список использованных источников:

1. H. Kim, H. Yun, S. Jeong, S. Lee, E. Cho, J. Rho, ACS Nano, 19 (3), 3085 (2025). DOI: 10.1021/acsnano.4c14751.

2. L. Logunov, A. Ulesov, V. Khramenkova, X. Liu, A.A. Kuchmizhak, A. Vinogradov, S. Makarov, *Nanomaterials*, 13 (6), 965 (2023). DOI: 10.3390/nano13060965.
3. Z. Lian, J. Chi, X. Yang, L. Cheng, D. Xie, Z. Tan, S. Chen, Y. Yun, Y. Yibulayimu, W. Wu, Y. Song, M. Su, *Nat. Protoc.* (2025). DOI: 10.1038/s41596-025-01215-y.
4. X. Yang, Z. Zhang, H. Sun, Y. Yun, H. Xie, Z. Tan, H. Wang, Y. Yang, B. Chen, H. Teng, X. Pan, M. Yang, Y. Sun, Y. Song, M. Su, *J. Am. Chem. Soc.*, 147 (4), 3383 (2025). DOI: 10.1021/jacs.4c12345.
5. M. Karsakova, N. Shchedrina, A. Karamyants, E. Ponkratova, G. Odintsova, D. Zuev, *Langmuir*, 39 (1), 204 (2023). DOI: 10.1021/acs.langmuir.2c02382.
6. Z. Lan, R. Chen, D. Zou, C. Zhao, *Adv. Sci.*, 12 (4), 2411278 (2025). DOI: 10.1002/advs.202411278.
7. A.A.S. Bhagat, S.S. Kuntaegowdanahalli, I. Papautsky, *Lab. Chip*, 8 (11), 1906 (2008). DOI: 10.1039/b807862a.
8. P. Arosio, T. Müller, L. Mahadevan, T.P.J. Knowles, *Nano Lett.*, 14 (5), 2365 (2014). DOI: 10.1021/nl404771g.