

УДК 544.6.076

Подбор оптимальных параметров формирования наноапертурных стеклянных пипеток

Жуков М.В. (ИАП РАН), Лукашенко С.Ю. (ИАП РАН)

Научный руководитель – кандидат технических наук, Жуков М.В.

(Институт аналитического приборостроения Российской академии наук - ИАП РАН)

Введение. В последнее время широкое применение находят методы высокоточной диагностики и воздействия на нативные биообъекты, основанные на использовании стеклянных микро- и нанопипеток, такие как сканирующая капиллярная микроскопия (СКМ) [1], метод локальной фиксации потенциала (“patch-clamp”) [2], детекторы ДНК и белков (многоканальные пипетки) [3] и т. п. Одним из ключевых элементов, определяющих пространственное разрешение и качество получаемой информации, является форма и размеры НП. Целью работы являлось определение оптимальных параметров тепловой вытяжки для формирования нанопипеток (НП) заданной формы и размера.

Основная часть. Для изготовления стеклянных НП использовалась установка тепловой вытяжки RMP107 Multipipette Puller. В качестве заготовок использовались боросиликатные стеклянные капилляры: BF120-69-10 (внешний диаметр: 1.2 мм, внутренний диаметр: 0.69 мм). Для изучения формы и размеров НП использовался сканирующий (растровый) электронный микроскоп Quanta Inspect.

Отобрано несколько программ для изготовления нано- и микроразмерных НП, перспективных при использовании в методах СКМ и “patch-clamp”. При вытягивании НП выделено 5 характерных зон сужения, при этом обнаружено, что:

1. Зоны 1 и 2 представляют собой крупные конусы с длинами $\sim 2\pm 0,5$ мм и углами $\sim 20\pm 2^\circ$ и $\sim 8\pm 2^\circ$, соответственно.
2. Выявлено, что зоны 3 и 4 представляют собой конусы с большим (до $\sim 30^\circ$) и малым углом ($\sim 0,8\pm 0,2^\circ$), соответственно. Конус 3 существенно короче конуса 4, последний в приближении можно рассматривать как цилиндр.
3. Конус 5 у вершины пипетки имел характерные длины $\sim 20\pm 5$ мкм и углы $\sim 3\pm 8^\circ$, при том наблюдается повышение угла схождения при повышении давления первичного вытягивания и длины вытягивания.
4. Выявлено, что диаметр апертуры (d_a) уменьшается при увеличении давления и уменьшении длины вытягивания для значений давления первичного вытягивания.
5. Угол и апертура влияют на сопротивление: при одинаковой апертуре лучше иметь меньшее сопротивление (большой угол), поскольку повышается соотношение сигнал-шум (повышение сигнала тока при неизменных шумах в системе).

Выводы. Выявлены оптимальные параметры изготовления наноапертурной стеклянной пипетки, изучена ее геометрия и размеры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-79-00169).

Список использованных источников:

1. Shergin D. A., Iakovlev A. P., Gorelkin P. V., Salikhov S. V., Erofeev A. S. Latest Advances in Scanning Ion-Conductance Microscopy and Nanopipette Systems for Single-Cell Analysis under Serial Conditions // Moscow University Physics Bulletin. – 2023. – Vol. 78. – С. 729-743.
2. Gao J., Liao C., Liu S., Xia T., Jiang G. Nanotechnology: new opportunities for the development of patch-clamps // Journal of Nanobiotechnology. – 2021. – Vol. 19. – P. 1-18.
3. Ruan M., Hu W., Ma Y., Zhan Z., Hu C. Development of multifunctional nanopipettes for controlled intracellular delivery and single-entity detection // Faraday Discussions. – 2022. – Vol. 233. – P. 315-335.