

**ПРИМЕНЕНИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ В МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПАХ**
Морозов Р.Р. (ГУАП), Жуков Н.П. (ГУАП), кандидат технических наук Есикова Н.А.
(ИАП РАН)

Научный руководитель – кандидат технических наук Белов Д.А. (ИАП РАН)

Введение. Методы генетического анализа, такие как полимеразная цепная реакция (ПЦР) и плавление ДНК высокого разрешения (HRM), при решении отдельных задач реализуются в микрофлюидных чипах (МФЧ). МФЧ характеризуются наличием микроструктур, сформированных в стеклянной, кремниевой или полимерной подложке. Среди полимеров, используемых для изготовления микрофлюидных устройств, полидиметилсилоксан (PDMS) остается наиболее используемым материалом благодаря высокой оптической прозрачности, биосовместимости и удобству использования [1]. Мягкая литография, основной метод изготовления МФЧ из PDMS, обеспечивает субнанометровое разрешение микрофлюидных структур [2]. Нагрев МФЧ, необходимый для реализации методов ПЦР и HRM, может быть реализован различными способами: с помощью элементов Пельтье, встроенного в чип пленочного нагревателя, инфракрасного нагревателя, микроволнового нагревателя и др. [3]. В настоящей работе предложено обеспечение температурных режимов структурами на основе оксида индия-олова (ИТО). Основными преимуществами таких нагревателей являются их высокая оптическая прозрачность (около 85 % в диапазоне 400-700 нм), вследствие чего возбуждение и детектирование флуоресценции становятся возможны с обеих сторон планарного МФЧ; возможность использования покрытий ИТО не только в качестве нагревателей, но и датчиков температуры [4], а также возможность объединения нагревательного элемента и планарного МФЧ в одно устройство [5].

Основная часть. Задачей, решаемой в настоящей работе, была оценка скорости нагрева полимерного МФЧ и равномерности теплового поля на его поверхности. Также изучалось влияние плазменной обработки, одного из этапов создания МФЧ из PDMS, на электрические свойства ИТО-покрытия.

Создан макет устройства, в котором была использована стеклянная пластина размером 50 x 50 мм и толщиной 1,1 мм, покрытая с одной из сторон слоем ИТО толщиной 100 нм. Для подсоединения электрических выводов были припаяны медные пластины шириной 4 мм и толщиной 0,2 мм. Полимерный планарный МФЧ с тремя реакционными камерами был расположен на стороне пластины, не покрытой ИТО.

В результате проведенных экспериментов выявлено следующее. Скорость нагрева МФЧ составила около 1,3 °С/с. Неравномерность теплового поля, оцениваемая методом инфракрасной термометрии по среднему значению температуры поверхности МФЧ каждой из трёх его камер, при значении поддерживаемой температуры в 40 °С составила 39,97±0,07 °С, при 92,5 °С - 92,23±1,34 °С.

Для оценки деградации структур ИТО при изготовлении чипов поверхность стекла макета подвергалась плазменной обработке кислородом на установке Diener Electronic Zepto в течение 90 секунд. Статистически значимых изменений электрического сопротивления выявлено не было: до плазменной обработки сопротивление составляло 7,13±0,06 Ом, после обработки - 7,08±0,06 Ом.

Выводы. Полученные в работе результаты подтверждают возможность применения нагревательных элементов на основе ИТО для реализации температурных режимов в МФЧ. Показаны относительно высокая скорость нагрева полимерного МФЧ (1,3 °С/с) и уровень неравномерности теплового поля, допустимый для проведения реакций ПЦР. Устойчивость

нагревательного элемента к плазменной обработке делает возможным прикрепление к нему PDMS чипа без деградации ITO-покрытий.

Список использованных источников:

1. Amid S., Shadman K., Tohid F.D. Conventional and emerging strategies for the fabrication and functionalization of PDMS-based microfluidic devices // *Lab on a Chip*. – 2021. – № 21. – С. 3053-3075.
2. Christoffersson J., Mandenius C.-F. *Methods in Molecular Biology* // Springer New York. – 2019. – С. 227–233.
3. Liu Z., Sun D., Jiang B., Shen L., Zhou P., Gao C., Jin Z., Liu X., Yang L., Tan S. Continuous gradient temperature control of microfluidic chip based on thermoelectric cooler // *Appl. Thermal Eng.* – 2023. – № 234. – 121277.
4. Friedman N.A., Meldrum D.R. Capillary Tube Resistive Thermal Cycling // *Anal. Chem.* – 1998. – № 70. – С. 2997.
5. Белов Д.А., Евстапов А.А. Применение покрытий на основе оксида индия-олова для обеспечения тепловых режимов в микрофлюидных чипах // III Международный симпозиум «Химия для биологии, медицины, экологии и сельского хозяйства». Сб. научных трудов. – 2024. – Ч. 1. – С. 44.