

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОФЛЮИДНОГО ЧИПА ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Ануфриев И.Е. (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), **Никифоров А.И.** (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), **Гареев К.Г.** (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

Научные руководители – доктор химических наук, доцент Королев Д.В. (ФГБУ «НМИЦ им В.А. Алмазова» Минздрава России), **доктор физико-математических наук, профессор Мошников В.А.** (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

Введение. Микрофлюидика описывает поведение микро- и нанобъемов жидкостей в потоке, где основные взаимодействия обеспечиваются ламинарным течением и диффузией. За счет использования микрофлюидных устройств можно реализовать практически любой метод химического синтеза, при этом в данном устройстве можно более точно управлять процессом реакции [1]. Использование микрофлюидных устройств позволяет ускорить процессы анализа, проводить исследования *in situ*, дает возможность получить качественный продукт с высоким процентом выхода. При этом весь процесс можно упростить и максимально автоматизировать,

В начале развития микрофлюидики основным материалом для производства чипов были кремний и стекло, на которых литографически формировался микрорельеф. В связи с дороговизной такой технологии в настоящее время в производстве чипов чаще используют «мягкую» литографию с использованием полимеров в качестве основного материала. Это позволило удешевить производство за счет использования более доступных материалов и технологий. Но, к сожалению, материалы, которые сейчас используются, разрушаются в агрессивных средах, например в полярных растворителях, например, спирты, хлороформ, ацетон. За счет этого такие микрофлюидные чипы не могут быть использованы для ряда востребованных направлений химического синтеза. В связи с этим, целью работы является разработка установки для микрофлюидного синтеза, которая смогла бы работать в условиях, где обычные микрофлюидные чипы, как правило, работать не могут. При этом метод должен быть масштабируемым и дешевым.

Основная часть. Решением данной проблемы может стать использование химически стойких полимерных материалов, наиболее подходящими для этого являются фторопласты [2], которые уже давно зарекомендовали себя в различных промышленных областях. Фторопласт уникален по своим свойствам. Он тугоплавок, пластичен, не горюч, тепло- и морозостоек, является хорошим диэлектриком, сохраняет эластичность в широком температурном диапазоне. Фторопласты устойчивы в концентрированных кислотах и щелочах, не реагируют с ацетоном, спиртом, эфиром, не поддаются разрушающему воздействию ферментов, плесени и грибков. По химической стойкости фторопласты превосходят все известные полимеры, а также благородные металлы – золото и платину. Разрушаются только фтором, трифторидом фтора и расплавами щелочных металлов. Фторопласты находят широкое применение: в военной, космической, авиационной, химической, электронной промышленности. В зависимости от применения используют различные модификации фторопластов. Для применения фторопласта в микрофлюидном синтезе необходимо использовать такие модификации, как фторэтиленпропилен (FEP) перфторалкоксидные полимеры (PFA). Эти модификации являются механически более гибкими по сравнению с другими фторопластами, что позволяет создавать из них клапаны и микронасосы, имеют высокую газопроницаемость, низкую цитотоксичность, что дает возможность делать на их основе медицинские системы экспресс-тестирования. Кроме того, такие материалы являются оптически прозрачными, за счет чего возможно наблюдать за процессом синтеза внутри чипа.

Основная мастер-форма, применяемая в мягкой литографии, изготавливается методом фотолитографии, что требует дорогого оборудования и квалифицированного персонала для разработки чипов новых топологий. Для упрощения производства мастер-формы вместо фотолитографии можно использовать лазерную обработку поверхности с последующей полировкой [3]. Современные технологии позволяют создавать рельеф лазерными пучками диаметром до 30 мкм, что вполне подходит для создания рисунка для микрофлюидного чипа. К сожалению, такой метод обработки поверхности оставляет после себя шероховатость, способную помешать созданию ламинарного потока внутри чипа. Для решения этой проблемы можно прибегнуть к электролитно-плазменной обработке [4], в процессе которой обеспечивается шероховатость до ~ 10 нм за счет обработки мастер-формы плазмой в электрохимической ячейке при напряжении более 200 В.

Нами была разработана система, позволяющая отверждать полимерные материалы при нагревании, при этом формируя на поверхности полимера рельеф от мастер-формы. Она представляет собой металлическую емкость, куда засыпается гранулированный полимер, а затем зажимается с помощью струбицы между емкостью и мастер-формой. Затем в этой же емкости можно осуществить склейку рельефной части микрофлюидного чипа и верхнего слоя. За счет регулировки температуры в печи и силы зажатия струбицы, можно настроить этот процесс для любого типа полимера, в частности для фторопласта, температура отверждения которого обычно варьируется от 200 до 300 °С.

Выводы. Таким образом, нами был предложен способ формирования микрофлюидных чипов широкого назначения, который отличается от ранее известного дешевизной и простотой реализации, а также подходит для агрессивных сред.

Список использованных источников:

1. Основы нанотехнологий. Часть 1: учебное пособие / К. И. Белоусов, А. А. Евстапов, И. В. Кухтевич, Я. С. Посмитная. – Санкт-Петербург: ИТМО, 2015. – 55 с.
2. Ren, K. N., Wu H., Zhou J. Whole-Teflon microfluidic chips // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2011. – Vol 108, №20. – P. 8162–8166.
3. Альтернативные подходы при создании мастер-форм для изготовления чипов методом “мягкой” литографии / Я. С. Посмитная, А. С. Букатин, Д. А. Макаров [и др.] // Научное приборостроение. – 2018. – Т. 27, №2. – С. 13–20.
4. Куликов, И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 232 с.