

УДК 543.063

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНА ПОВЫШЕННОЙ ПОРИСТОСТИ ДЛЯ МИКРОФЛЮИДНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Наумочкин М.А., Корякина И.Г.

Национальный исследовательский университет ИТМО

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Зюзин М.В.

Национальный исследовательский университет ИТМО

В работе описываются предпосылки и результат создания микрофлюидного устройства с основой из высокопористого полидиметилсилоксана. Произведен анализ физических свойств материала, а также усовершенствована технология его создания.

В настоящее время активно развивается междисциплинарная технология – микрофлюидика, позволяющая манипулировать малыми объемами жидкостей и наночастицами содержащимися в них. Высокое воздействие межфазных и электрокинетических явлений внутри микро- и наноканалов микрофлюидного устройства (МФУ) обеспечивает обширную область применения для данной технологии. Особенности геометрии, размеров и материалов МФУ также изменяют набор физических явлений и параметры течения жидкостей в каналах. Среди материалов для создания МФУ полидиметилсилоксан (ПДМС) наиболее хорошо себя зарекомендовал, благодаря своей структуре, оптической прозрачности, эластичности, прочности, устойчивости к температуре и другим свойствам. В последние годы стала актуальной возможность модификации структуры ПДМС с помощью добавления различных веществ таких как пентан, хлороформ, наночастицы диоксида кремния и др. в процессе синтеза и отверждения материала. Целью текущей работы являлось изменение объемной структуры ПДМС для последующего создания МФУ.

ПДМС представляет собой синтетический кремний - органический линейный полимер в отвержденно - жидком состоянии, обладает достаточно высокой паропроницаемостью. Это открывает возможность широкого применения структур ПДМС в качестве избирательных мембран. Наиболее широко применяемым в микрофлюидных технологиях является ПДМС марки Sylgard® 184 (Dow Corning, США), он включает в себя два компонента для прямого смешивания, один из которых является полимерной основой, а второй активируемым при температуре реагентом – отвердителем. Было решено изменить параметр проницаемости материала с помощью добавления дистиллированной воды в процессе синтеза. Для создания пористого ПДМС применялся метод эмульсионной полимеризации, с изменением массового соотношения воды и преполимера с 1:8 до 6:8. Технология наиболее успешной полимеризации ПДМС была выявлена заранее с учетом минимизации дефектов в результирующей структуре. Все исследуемые далее образцы были изготовлены по следующей технологии в 3 этапа:

- 1) Дистиллированная вода добавлялась к преполимеру ПДМС в необходимом соотношении. Полученная смесь интенсивно размешивалась в течение 15-20 мин., после чего добавлялся отвердитель с массовой долей 1:10 от массы преполимера и дополнительно размешивалась 10 мин.
- 2) Технология «мягкой» литографии, используемая для репликации необходимой топологии. При этом готовая смесь дегазировалась в течение 40 мин., после чего производилась дегазация на самой мастер-форме, в течение 30 мин.
- 3) Полимеризация, которая производилась при температуре 80°C.

В процессе полимеризации при температуре в 100 - 120 °С, предположительно происходит испарение микрокапель воды из объема образца сквозь полимерную структуру, не вызывая повреждений и оставляя полости на месте микрокапель - поры. В зависимости от массового соотношения воды и преполимера были получены образцы ПДМС различной пористости. Все образцы были изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Снимки СЭМ были подробно проанализированы с помощью программ imageJ и Adobe Photoshop CC 2019, определены размеры пор и показатель пористости образца в плоскости.

Получены следующие результаты: зависимость показателя пористости образца от массового соотношения воды и преполимера, а также распределение размера пор по количеству для каждого образца. По этим данным было определено, что образец с массовым соотношением 4:8 проявляет наиболее высокую равномерность полученных пор. Стоит также отметить, что с течением времени все образцы начинали терять изначальный показатель пористости в процессе «схлопывания» пор на поверхности. МФУ с топологией в виде двух каналов, между которыми располагалась мембрана из пористого ПДМС, было изготовлено по методу «мягкой» литографии. В ходе эксперимента в один из каналов со скоростью 15 мкл/мин подавался раствор флюоресцеина (концентрация $10^{-5}M$). На полученных изображениях с конфокального оптического микроскопа Leica DMRE видно, что флюоресцеин под давлением проникает сквозь пористую мембрану во второй канал, наполненный водой. Были получены спектры начального раствора флюоресцеина и раствора, проникшего во второй канал МФУ, содержащий воду. Отношение пиков интенсивности результирующего раствора к опорному имеет значение 0,206, а отношение объемов и соответственно концентраций раствора флюоресцеина и результирующего раствора флюоресцеина и воды имеет значение 0,218. Из данных соотношений можно сделать вывод, что практически весь флюоресцеин проник через мембрану во второй канал.

В результате эксперимента показана возможность применения высокопористого ПДМС в качестве мембраны с контролируемым параметром проницаемости и возможность изготовления на его основе сепарационного МФУ.

Наумочкин М.А. (автор)

Подпись

Зюзин М.В. (научный руководитель)

Подпись