

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Формирование наногибридных структур на поверхности  
неорганических подложек**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Мокроусова Максима Дмитриевича

Научный руководитель

Профессор, д.х.н.

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Д.А. Горин

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Научный руководитель

Профессор, д.х.н.

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

П.А. Левкин

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

Профессор, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.И. Михайлов

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Саратов 2017

**Введение.** В настоящее время актуальной задачей является исследование проблем взаимодействия с веществами на микро- и наноуровне. Достижение контролируемого создания небольших количеств материала, позволяет перейти к практической реализации ряда важных разработок, таких как высокопродуктивный скрининг (HTS) [1-4], создание полевых транзисторов и других приборов из органических полупроводников для молекулярной электроники [5-6], и т.д.

Методы обработки и анализа небольших количеств материала важны для разработки новых аналитических методов как в химии, так и в биологии. Способность изолировать и манипулировать небольшими количествами жидкостей необходимо для изучения единичных молекул в растворе: емкость объемом 1 фл (1 мкм<sup>3</sup>), заполненную раствором с концентрацией 1 нМ будет содержать, в среднем, одну молекулу. Использование небольшого количества материалов в химических реакциях ограничивают их опасное воздействие и воздействие на окружающую среду. Сочетание малых объемов с микроаналитическими методами также является компонентом микромасштабных систем полного анализа ( $\mu$ TAS).[8-9] Массивы микроскопических емкостей полезны для изучения статистических событий, где необходимо большое количество малых, неразличимых реакций. Например, зарождение кристаллов и образование капель конденсированных жидкостей [10].

Целью данной работы является формирование наногибридных структур на поверхности неорганических подложек с использованием явления прерывистого несмачивания на гидрофильных и гидрофобных областях подложки, характеристика структур, а также исследование их свойств.

В разделе 1 проведен аналитический обзор по теме дипломной работы. Основное внимание уделено методам модификации поверхностей неорганических подложек для возникновения явления прерывистого несмачивания. Рассмотрены особенности модификации различными методами.

На рис. 1. изображен метод, который используется для производства больших массивов микролунок. Массив столбов, сформированных в фоторезисте на кремниевой пластинке, использовался как «мастер-шаблон» для формирования массивов микролунок. Шаблон может быть сгенерирован либо методом «быстрого прототипирования» (для размера элементов  $> 50$  мкм), который использует прозрачность с высоким разрешением в качестве фотошаблона для фотолитографического аппарата, выполняя стандартную фотолитографию с хромированной маской (для размеров элементов  $< 50$  мкм). Массивы ячеек были изготовлены путем формования эластомерного полимера, поли(диметилсилоксана) (PDMS), на мастер-шаблоне. Был использован эластомерный полимер, потому что его можно было легко отделить от мастера без повреждения формованного полимера и мастер-шаблона. Мастер-шаблон может быть повторно использован много ( $> 20$ ) раз.

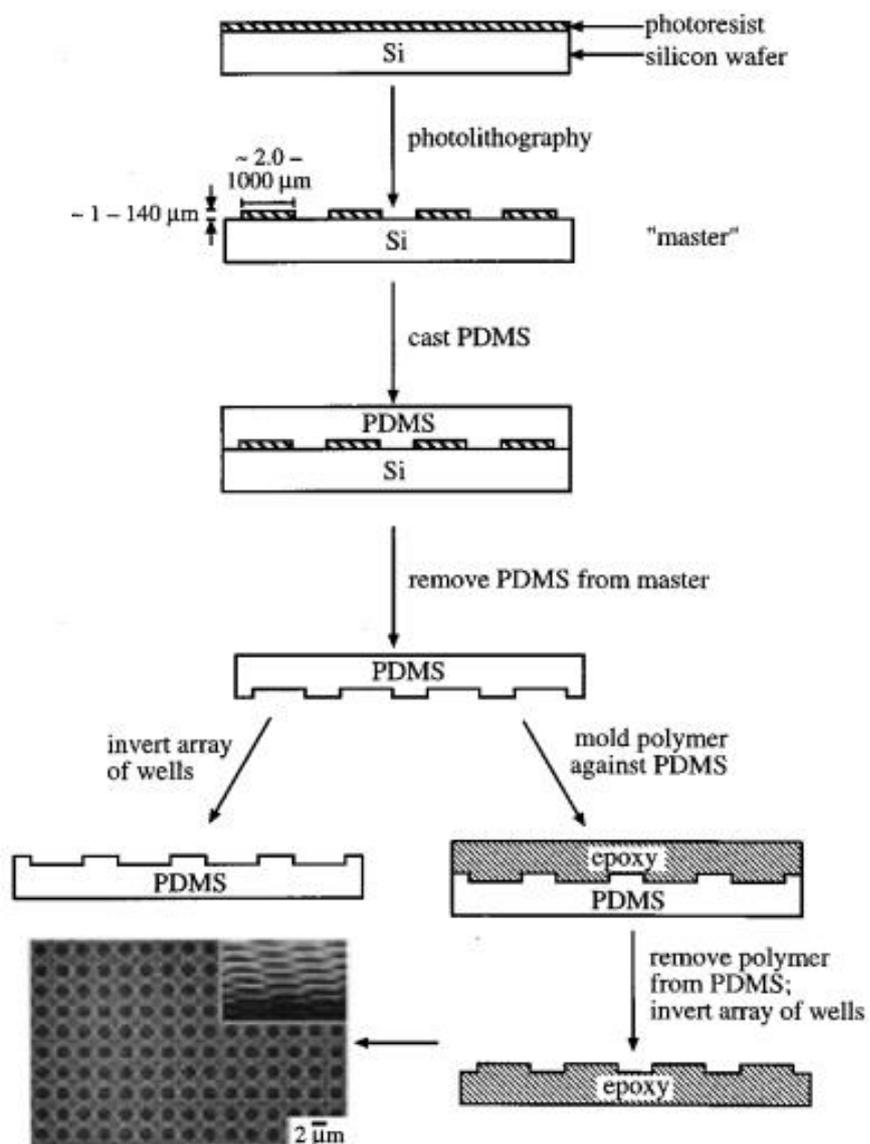


Рис. 1. Процедура изготовления микроакторных лунок. Вставка показывает вид сбоку на микролунки.

Была показана возможность нанесения на поверхность стеклянных подложек полимерного покрытия для создания условий возникновения явлений смачивания.

Модификация поверхности проходила в три этапа.

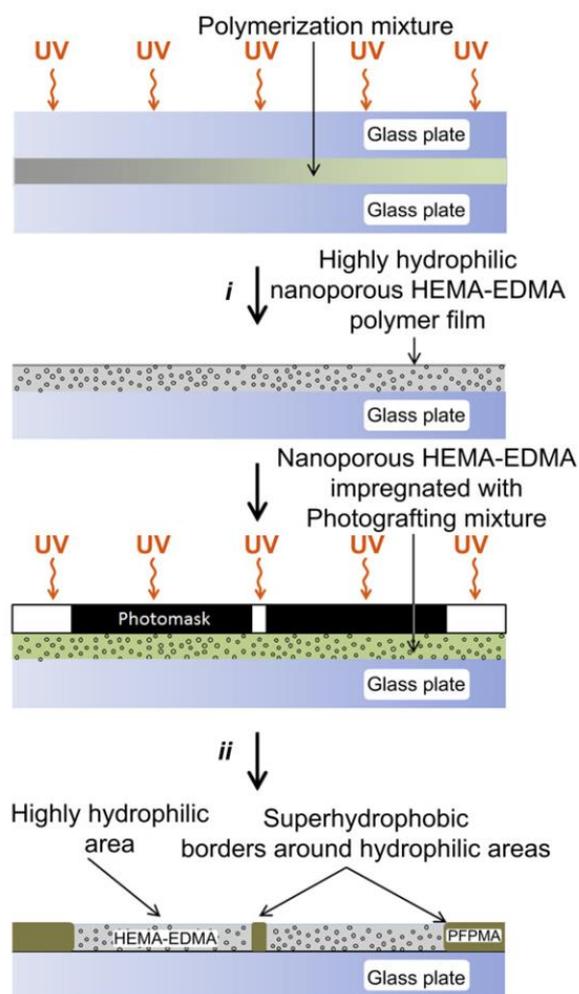


Рис. 2. Схематическое описание модификации поверхности. Получение высокогидрофильной нанопористой полимерной пленки на стеклянной подложке с использованием фотоинициативной сополимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата и этилендиметакрилата в присутствии порогенов (i); Образование супергидрофобных барьеров и гидрофобных областей путем фотоиндуцированной поверхностной трансплантации 2,2,3,3,3-пентафторпропилметакрилата через кварцевую фотомаску (ii).

Была продемонстрирована возможность модификации поверхности стекла для последующего наблюдения явления прерывистого смачивания.

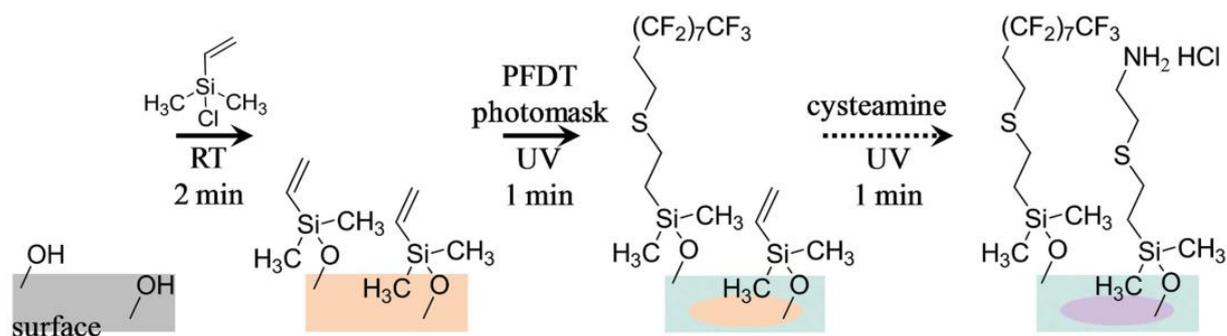


Рис. 3. Схематическое описание модификации поверхности. Получение высокогидрофильной нанопористой полимерной пленки на стеклянной подложке с использованием фотоинициативной сополимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата и этилендиметакрилата в присутствии пороенов (i); Образование супергидрофобных барьеров и гидрофобных областей путем фотоиндуцированной поверхностной трансплантации 2,2,3,3,3-пентафторпропилметакрилата через кварцевую фотомаску (ii).

Представлены современные направления применения технологий, использующих явление прерывистого несмачивания.

В разделе 2 описывались использованные методы модификации поверхностей, свойства использованных частиц, исследованные свойства сформированных структур.

Использованные наночастиц:

- Золотые наностержни (AuNRds) 80x20 нм (пик поглощения 808 нм)
- Сферы диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>) 200 нм
- Частицы магнетита (MNPs) 10 нм

Параметры частиц, измеренные в воде (AuNRds, MNPs) и этаноле (SiO<sub>2</sub>) на Malvern Zetasizer Nano ZS, представлены в таблице 1.

Наночастицы	Дзета-потенциал, мВ	Отклонение дзета-потенциала, мВ	Электрическая проводимость, мСм/см
AuNRds	-19,4	6,89	0,0144
SiO <sub>2</sub>	-72,2	9,46	0,0471
MNPs	-29,2	6,67	0,165

Таб. 1. Параметры частиц, измеренные в воде.

Использовались методы, описанные ранее. в которые были внесены некоторые изменения

Так же был использован неопубликованный метод для создания прозрачных подложек с супергидрофильным/супергидрофобным покрытием.

были получены подложки с конфигурацией гидрофильных областей в виде квадратов, кругов, прямоугольников и концентрических колец.

- Размеры областей:
- Гидрофильная квадратная со стороной в 1 мм и расстоянием между областями в 500 мкм.
- Гидрофильная квадратная со стороной в 500 мкм и расстоянием между областями в 250 мкм.
- Гидрофильная квадратная со стороной в 250 мкм и расстоянием между областями в 125 мкм.
- Гидрофильная круглая со стороной в 1 мм и расстоянием между областями в 500 мкм.
- Гидрофильные концентрические с внешним радиусом в 10 мм, шириной колец в 1 мм и расстоянием между кольцами в 150 мкм.
- Гидрофильная прямоугольными со сторонами в 10 мм и 2 мм

**Заключение.** В ходе выполнения данной работы были освоены технологии модификации поверхностей неорганических подложек, сформированны наногибридные структуры и исследованы их свойства.

Наблюдался эффект кофейного кольца на всех видах подложках и для всех частиц. Установлено, что эффект зависит от концентрации частиц, типа модифицированной поверхности, типа частиц и растворителя. Этот эффект помогает равномерному распространению частиц на концентрических конфигурациях поверхностей.

При достаточной концентрации частиц золота наблюдался металлический блеск поверхности, для частиц диоксида кремния наблюдалось бирюзовое переливание цвета на свету.

Было установлено, что, при температурной обработке областей золотых наностержней с металлическим блеском, изменялся цвет поверхности с темно-фиолетового на золотой. Вместе с этим изменялось сопротивление поверхности, что позволяет сделать вывод о возможности использовании раствора этих частиц для безвакуумного нанесения контактных площадок и проводящих дорожек.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Anna A. Popova. Droplet-Microarray on Superhydrophobic-Superhydrophilic Patterns for High-Throughput Live Cell Screenings [text] / A. A. Popova, K. Demir, T. G. Hartanto, E. Schmitt and P. A. Levkin // RSC Advances. 2016. №6. P. 38263-38276. DOI: 10.1039/C6RA06011K.
2. Anna A. Popova. Evaluation of the Droplet-Microarray Platform for High-Throughput Screening of Suspension Cells [text] / Anna A. Popova, Claire Depew<sup>1</sup>, Katya Manuella Permana, Alexander Trubitsyn, Ravindra Peravali, Jorge Ángel González Ordiano, Markus Reischl, Pavel A. Levkin // Society for Laboratory Automation and Screening. 2016. DOI: 10.1177/2211068216677204.
3. Michael Hirtz. Click-Chemistry Immobilized 3D-Infused Microarrays in Nanoporous Polymer Substrates [text] / Michael Hirtz, Wenqian Feng, Harald Fuchs, Pavel A. Levkin // Adv. Mater. Interfaces. 2016. №3. DOI: 10.1002/admi.201500469.
4. Tina Tronser. Miniaturized platform for high-throughput screening of stem cells [text] / Tina Tronser, Anna A. Popova, Pavel A. Levkin // Current Opinion in Biotechnology. 2017. №46. P. 141–149. DOI: 10.1016/j.copbio.2017.03.005.
5. Denis Gentili. Miniaturized platform for high-throughput screening of stem cells [text] / Denis Gentili, Giulia Foschi, Francesco Valle, Massimiliano Cavallini, Fabio Biscarini // Chem. Soc. Rev. 2012. №41. P. 4430–4443. DOI: 10.1039/c2cs35040h.
6. Manuel Tsotsalas. Freestanding MOF Microsheets with Defined Size and Geometry Using Superhydrophobic–Superhydrophilic Arrays [text] / Manuel Tsotsalas, Himanshu Maheshwari, Sophia Schmitt, Stefan Heißler, Wenqian Feng, Pavel A. Levkin // Adv. Mater. Interfaces. 2016, №3. DOI: 10.1002/admi.201500392
7. Rebecca J. Jackman. Fabricating Large Arrays of Microwells with

Arbitrary Dimensions and Filling Them Using Discontinuous Dewetting [text] / Rebecca J. Jackman, David C. Duffy, Emanuele Ostuni, Nikolaos D. Willmore, George M. Whitesides // Analytical Chemistry. 1998. Vol. 70. No. 11. P. 2280-2287.

8. Berg A. van den. Micro Total Analysis Systems / A. van den Berg, P. Bergveld - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 1994. - 307p.

9. T.S.J.Lammerink. Micro Total Analysis Systems:Microfluidic Aspects,Integration Concept and Applications [text] / Albert van den Berg, T.S.J.Lammerink // Topics in Current Chemistry. Vol.194. 1998.

10. Aizenberg, J.; Black, A. J.; Whitesides, G. M., Harvard University, unpublished results, 1997.