

УДК 544.72.023.2: 547-327

## СУПЕРГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА КРЕМНИЯ И ПОЛИЦИАНОАКРИЛАТА

З. С. ЛИВОНОВИЧ, К. С. ЛИВОНОВИЧ

Научный руководитель А. Е. СОЛОМЯНСКИЙ, канд. хим. наук, доц.  
Институт химии новых материалов НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

*Введение.* Супергидрофобные покрытия представляют научный и технический интерес, обусловленный их широким спектром применений [1]. Супергидрофобные покрытия (краевой угол смачивания (КУС) водой  $\geq 150^\circ$ ) получают различными методами, к которым относится центрифугирование (spin-coating), метод прокатки (rod-coating), метод окунания (dip-coating) или послойное осаждение (layer-by-layer). Использование метода rod-coating позволяет контролировать толщину покрытий, сформированных из полимерной суспензии [2]. Слой гексадецилтриметоксисилана (ГЕМС) позволяет создать покрытия, проявляющие гидрофобные свойства (КУС водой больше  $90^\circ$ ), при этом сформированный на поверхности рельеф позволяет дополнительно повысить КУС водой до значений больше  $150^\circ$ .

Цель работы – создать супергидрофобные покрытия из наночастиц диоксида кремния, полиэтилцианоакрилата (ПЭЦА) и олигомеров ГЕМС.

*Материалы и методы.* Покрытия на основе наночастиц оксида кремния (диаметр частиц  $\sim 10$  нм, Aldrich) и этилцианоакрилата (ЭЦА, Navr 505, Беларусь) формировали на кремниевых пластинах прямоугольной формы площадью  $1,5 \text{ см}^2$  методом прокатки (rod-coating) с использованием направляющих с заданной толщиной  $0,3$  мм. Для формирования покрытий наночастицы оксида кремния диспергировали в этилцианоакрилате погружным ультразвуковым диспергатором (УЗГ13-0,1/22, Беларусь). Полученную суспензию с различным содержанием оксида кремния наносили на кремниевые подложки с последующей полимеризацией ЭЦА и образованием ПЭЦА. Слои  $\text{SiO}_2$  с ЭЦА обрабатывали парами триэтиламина в течение  $10$  с. Для придания покрытиям  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА гидрофобных свойств на их поверхность наносили олигомеры ГЕМС (о-ГЕМС), которые получали гидролизом метоксигрупп ГЕМС эквимолярным количеством воды в гексане в присутствии хлороводорода. Гидролиз проводили в грушевидной колбе на  $50$  мл при температуре кипения гексана и постоянном перемешивании в течение  $80$  мин. Полученный о-ГЕМС осушали на роторном испарителе ( $10$  мм рт. ст.,  $15$  мин) и растворяли фракцию димеров и тримеров ГЕМС в гексане. Раствор о-ГЕМС наносили на слои  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА и центрифугировали со скоростью  $3000$  об/мин в течение  $1$  мин.

Изображения капли воды объемом  $3$  мкл на поверхности образцов получали с помощью микрокамеры «DigiMicroscope» и определяли КУС водой с использованием программного обеспечения ImageJ, содержащим плагин определения угла по профилю [1]. Морфологию образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе JSM6000 (JEOL, Япония).

*Результаты и обсуждение.* Композиционные покрытия  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА/о-ГЕМС имеют пористо-текстурированную поверхность, образовавшуюся при полимеризации ЭЦА и воздействии паров триэтиламина (рис. 1).

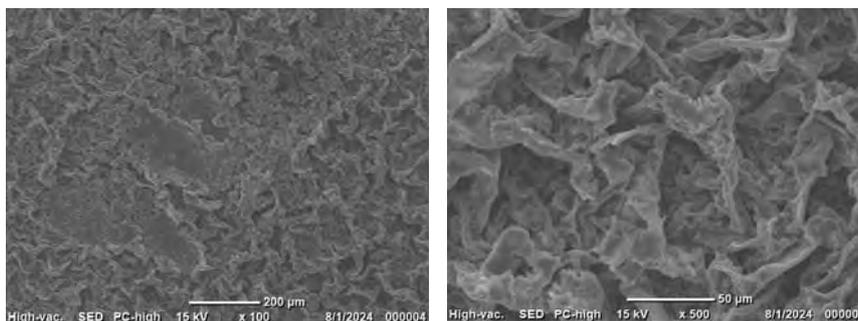


Рис. 1. СЭМ-изображения покрытий  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА/о-ГФС, сформированных на кремнии из суспензий с концентрацией наночастиц  $\text{SiO}_2$  в ЭЦА 60 мг/мл

Варьированием содержания  $\text{SiO}_2$  в ЭЦА были получены гидро- и супергидрофобные покрытия. Оптимальной концентрацией  $\text{SiO}_2$  в ЭЦА является 60 мг/мл для покрытий  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА/о-ГЕМС, значение КУС водой которого соответствует супергидрофобным покрытиям и составляет  $153^\circ$  (табл. 1). Дальнейшее увеличение содержания частиц оксида кремния приводит к уменьшению механической устойчивости, однородности, шероховатости покрытий и значения их КУС водой.

Табл. 1. Шероховатость композиционных покрытий  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА/о-ГФС и значения их КУС водой

$C_{\text{SiO}_2}$ , мг/мл	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	КУС водой, град
0	$6,9 \pm 1,5$	$37,7 \pm 8,9$	141
30	$9,1 \pm 1,1$	$48,7 \pm 5,1$	148
60	$10,1 \pm 1,3$	$50,7 \pm 6,2$	153
90	$10,1 \pm 0,4$	$55,3 \pm 4,4$	142
200	$6,1 \pm 0,4$	$34,7 \pm 0,4$	123

*Выводы.* Установлено, что покрытия  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА, полученные на кремниевых подложках методом rod-coating, проявляют гидро- и супергидрофобные свойства после формирования на их поверхности слоя о-ГЕМС. Наибольшее значение КУС водой составляют  $153^\circ$  для покрытий  $\text{SiO}_2$  – ПЭЦА/о-ГЕМС, сформированных на кремнии из суспензии с концентрацией наночастиц  $\text{SiO}_2$  в ЭЦА 60 мг/мл.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гурина, З. С.** Супергидрофобные и олеофобные покрытия из наночастиц оксида кремния, полиэтиленimina и перфтороктилтриэтоксисилана / З. С. Гурина, А. Е. Соломянский, Т. Н. Толстая // Полимерные материалы и технологии: Междунар. науч.-техн. журн. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 63–68.
2. Robust superhydrophobic surface fabrication by fluorine-free method on filter paper for oil/water separation / Y. Teng [et al.] // Polymer Testing. – 2020. – Vol. 91. – P. 106810.