

УДК 546.281:544.72.05

В.М. Акулова¹, А.Е. Соломянский¹, Г.Б. Мельникова²

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗОВАННОГО ГЕКСАДЕЦИЛТРИМЕТОКСИСИЛАНА

В последние годы сохраняется устойчивый интерес к химии и технологии получения кремнийорганических соединений, в частности, органогалоген- и алкоксисиланов [1, 2]. Покрытия на основе алкилалкоксисиланов улучшают гидрофобные свойства материалов из стали, алюминия и текстиля, расширяя область их применения в промышленности [2, 3].

Цель работы – получение методом центрифугирования гидрофобных покрытий на основе гидролизованного гексадецилтриметоксисилана (ГЕМС) для увеличения гидрофобности и износоустойчивости кремниевых поверхностей.

Гидролиз ГЕМС (Sigma-Aldrich, степень чистоты $\geq 85,0\%$) осуществляли в гексане в присутствии концентрированной соляной кислоты. Затем гидролизованный ГЕМС сушили и растворяли в тетрагидрофуране.

Покрытия на основе гидролизованного ГЕМС формировали методом центрифугирования «spin coating» [4] на кремниевых пластинах размером 1,0x1,5 см. Раствор гидрофобизатора наносили на подложки, вращающиеся со скоростью 1800 и 4200 об/мин в течение 30 с при помощи высокоскоростной центрифуги ЦС01 (НПО «Центр», Беларусь).

Трибоиспытания покрытий проводили на трибометре возвратно-поступательного типа (ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси), при следующих условиях: приложенная нагрузка – 1,0 Н, индентор – стальной шарик диаметром 3,0 мм (сталь 95Х18), длина хода индентора – 3,0 мм, его линейная скорость – 4,0 мм/с. Тестирование образцов прекращали при достижении значений коэффициента трения (k_f) $\sim 0,4$ [5].

Морфологию и шероховатость образцов исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на микроскопе Nanoscope III D (Veeco Instrument, США). Условия сканирования: скорость – 3–5 Гц; стандартный кремниевый кантилевер с жесткостью 0,12 Н/м. Разрешение получаемых изображений составляло 512×512 точек.

Толщину покрытий оценивали через дефект в их структуре, искусственно созданный индентором.

Краевой угол смачивания (КУС) покрытий измеряли методом «неподвижной» капли дистиллированной воды объемом 3 мкл на приборе DSA100E (Kruss, Германия).

Нанесение на кремниевые подложки методом центрифугирования покрытий на основе олигомеров ГЕМС позволяет повысить КУС поверхностей водой с $5,0^\circ$ до $104,6 \pm 1,3^\circ$ (табл.1). Увеличение КУС связано с понижением свободной поверхностной энергии обработанной гидролизированным ГЕМС кремниевой поверхности [3]. Толщина полученных покрытий обратно пропорциональна скорости их получения. Покрытие, полученное при большей скорости вращения, является более плотным и однородным по сравнению с тем, что сформировано при меньшей скорости, что подтверждается значениями КУС и шероховатости.

Таблица 1 – Характеристика покрытий на основе олигомеров ГЕМС

Скорость вращения при получении покрытия, об/мин	Толщина покрытия, нм	R_a , нм	R_z , нм	КУС, °
1800	$176,1 \pm 38,0$	5,3	15,8	$100,2 \pm 3,5$
4200	$76,4 \pm 19,6$	3,3	10,0	$104,6 \pm 1,3$

Наличие на кремниевой поверхности покрытия гидролизованного ГЕМС также снижает её значение k_f с 0,25 до 0,07 (рис. 1).

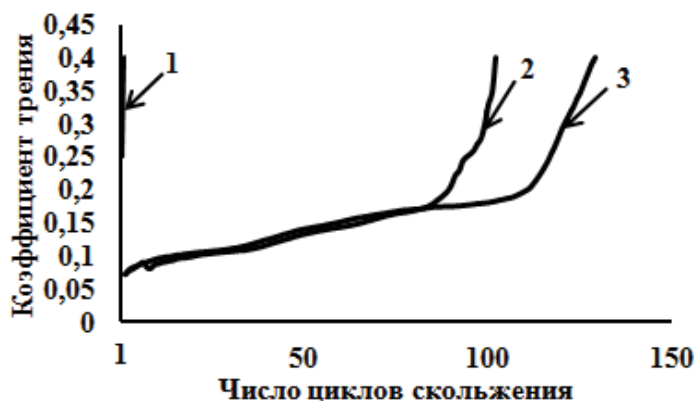


Рис 1. Зависимость коэффициента трения от числа циклов скольжения: кремниевая поверхность (1); покрытия олигомеров ГЕМС, полученные при скоростях вращения 1800 (2) и 4200 об/мин (3).

Увеличение k_f до $\sim 0,4$ наблюдается после $129,0 \pm 15,0$ и $102,0 \pm 15,0$ циклов скольжения в результате трибоиспытаний образцов сформированных при 1800 и 4200 об/мин соответственно, что обусловлено большим количеством олигомеров ГЕМС в узле трения в случае покрытия с большей толщиной [5].

Показана возможность получения методом центрифугирования гидрофобных покрытий на кремниевых поверхностях с использованием гидролизованного гексадецилтриметоксисилана. Такие покрытия могут быть использованы в качестве защитных в узлах трения микроэлектромеханических устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зиновьева, Т.В. Гидрофобные покрытия на основе 3-аминоэтиламинопропилтриметоксисилана / Т.В. Зиновьева // Инновации. Наука. Образование. – 2013. – № 35. – С. 153–161.
2. Super-hydrophobicity and corrosion resistance of laser surface textured AISI 304 stainless steel decorated with Hexadecyltrimethoxysilane (HDTMS) / L. Zhang [et. al.] // Optics & Laser Technology. – 2020. – Vol. 127. – P. 1–10.
3. Баранов, О.В. Гидрофобные покрытия на основе октилтриэтоксисилоксана / О.В. Баранов, Л.Г. Комарова, С.С. Голубков // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2020. – № 6. – С. 1165–1168.
4. Nisticò, R. Sol-gel chemistry, templating and spin-coating deposition: A combined approach to control in a simple way the porosity of inorganic thin films/coatings / R. Nisticò, D. Scalarone, G. Magnacca // Microporous and Mesoporous Materials. – 2017. – Vol. 248. – P. 18–29.
5. Akulova, V.M. Formation and tribological properties of octacosanoic acid monomolecular Langmuir–Blodgett films / V.M. Akulova, A.E. Salamianski, I.G. Chishankov, V.E. Agabekov // Soft Materials. – 2021. – P. 1–18.