

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-63-68>

УДК 544.72.023.2:[54-31+546.282]+[54-31+546.281]

СУПЕРГИДРОФОБНЫЕ И ОЛЕОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛИЭТИЛЕНИМИНА И ПЕРФТОРОКТИЛТРИЭТОКСИСИЛАНА

З. С. ГУРИНА¹⁺, А. Е. СОЛОМЯНСКИЙ¹, Т. Н. ТОЛСТАЯ²

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 36, 220141, г. Минск, Беларусь

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь

Цель работы — создание супергидро- и олеофобных покрытий на основе наночастиц оксида кремния, полиэтиленими́на и 1Н, 1Н, 2Н, 2Н-перфтороктилтриэтоксисилана (ПФОТС) на поверхностях монокристаллического кремния и стали, которые могут быть использованы для получения самоочищающихся поверхностей, препятствующих осаждению загрязнений и конденсации влаги на различных материалах.

Изучена смачиваемость и морфология покрытий из наночастиц оксида кремния (SiO₂) и полиэтиленими́на (ПЭИ), сформированных на подложках из монокристаллического кремния и стали марки 12Х17 методом послойного осаждения. Полученные покрытия обработали ПФОТС методом центрифугирования, что способствовало проявлению ими супергидрофобных и олеофобных свойств. Показано, что супергидро- и олеофобность покрытий достигается за счет рельефа поверхности и снижения поверхностной энергии ПФОТС. Методом сканирующей электронной микроскопии показано, что покрытия имеют структуру с нарушенной целостностью, а также дефектами в виде трещин и наслоений агломератов наночастиц оксида кремния. Для покрытий, содержащих 60 слоев ПЭИ/SiO₂ на кремнии и 80 слоев на стали после формирования на их поверхности слоя ПФОТС, достигнутый краевой угол смачивания (КУС) водой составил 153° и 154°, а гексадеканом 123° и 126°. Гистерезис смачивания водой данных покрытий не превышал 2°, что также подтверждает наличие у них супергидрофобных свойств. Дальнейшее увеличение количества слоев ПЭИ/SiO₂ приводит к уменьшению их КУС водой и гексадеканом.

Ключевые слова: супергидрофобность, олеофобность, 1Н, 1Н, 2Н, 2Н-перфтороктилтриэтоксисилан, оксид кремния, полиэтиленимин, послойное осаждение, шероховатость, смачиваемость.

SUPERHYDROPHOBIC AND OLEPHOBIC COATINGS FROM SILICON OXIDE NANOPARTICLES, POLYETHYLENIMINE AND PERFLUOROCTYLTRIETHOXYSILANE

Z. S. HURYNA¹⁺, A. E. SALAMIANSKI¹, T. N. TOLSTAYA²

¹Institute of Chemistry of New Materials, National Academy of Sciences of Belarus, F. Skorini St., 36, 220141, Minsk, Belarus

²A. V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Sciences of Belarus, P. Brovka St., 15, 220072, Minsk, Belarus

Purpose of the work is preparation of superhydro- and oleophobic coatings based on silica nanoparticles, polyethyleneimine, and 1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooctyltriethoxysilane (PFOTS) on the surface of monocrystalline silicon and steel to obtain self-cleaning surfaces, preventing dirt deposition and moisture condensation on various materials.

The wettability and morphology of layer-by-layer films based on silicon oxide (SiO₂) nanoparticles and

⁺ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: zлата_gurina@mail.ru

polyethylenimine (PEI) on the substrates of single-crystalline silicon and steel grade AISI 430 have been studied. The coatings were treated with 1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooctyltriethoxysilane by spin-coating method, which led to exhibiting of superhydrophobic and oleophobic properties. It is shown the surface superhydrophobicity is aimed through the combination of preassigned relief and reducing the surface energy by PFOTS. Scanning electron microscopy has shown that the coatings have a structure with impaired integrity as well as defects in the form of cracks and layers of silicon oxide nanoparticles agglomerates. The water contact angle reached 153° and 154° and that of hexadecane 123° and 126° for coatings containing 60 layers of PEI/SiO₂ on silicon and 80 layers on steel respectively after the formation of a PFOTS layer on their surface. The water contact angles hysteresis of these coatings did not exceed 2° which also confirms the presence of superhydrophobic properties. A further increase in the number of PEI/SiO₂ layers leads to a decrease in their water and hexadecane contact angles.

Keywords: superhydrophobic coatings, oleophobicity, 1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooctyltriethoxysilane, silicon oxide, polyethylenimine, layer-by-layer deposition, roughness, wettability.

Поступила в редакцию 30.04.2024

© З. С. Гурина, А. Е. Соломянский, Т. Н. Толстая, 2024

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Гурина З. С., Соломянский А. Е., Толстая Т. Н. Супергидрофобные и олеофобные покрытия из наночастиц оксида кремния, полиэтиленimina и перфтороктилтриэтоксисилана // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 10, № 2. С. 63–68. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-63-68>

Citation sample:

Gurina Z. S., Solomyanskiy A. E., Tolstaya T. N. Supergidrofobnye i oleofobnye pokrytiya iz nanochastits oksida kremniya, polietilenimina i perftorokiltrietoksisilana [Superhydrophobic and oleophobic coatings from silicon oxide nanoparticles, polyethylenimine and perfluorooctyltriethoxysilane]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 10, no. 2, pp. 63–68. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-63-68>

Литература

- Boinovich L. B., Emelyanenko A. M. Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications // Russian Chemical Reviews, 2008, vol. 77, no. 7, pp. 583–600. doi: 10.1070/RC2008v077n07ABEH003775
- Latthea S. S., Sutar R. S., Kodag V. S., Bhosale A. K., Kumar A. M., Kumar Sadasivuni K., Xing R., Liu S. Self – cleaning superhydrophobic coatings: Potential industrial applications // Progress in Organic Coatings. 2019. vol. 128. pp. 52–58. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.12.008
- Guang Yang, Binbin Zhang, Chuanbo Zheng, Weichen Xu, Baorong Hou. Waterborne superhydrophobic coating with abrasion and corrosion resistant capabilities // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2023, vol. 664. doi: 10.1016/j.colsurfa.2023.131170
- Qian H., Xu D., Du C, Zhang D., Li X., Huang L. Deng L., Tu Y., Mol J. M. C., Terryn H. A. Dual-action smart coatings with a self-healing superhydrophobic surface and anti-corrosion properties // Journal of Materials Chemistry A, 2017, vol. 5, no. 5, pp. 2355–2364. doi: 10.1039/C6TA10903A
- Liu J., Janjua Z. A., Roe M., Xu F., Turnbull B., Choi K.-S., Hou X. Super-Hydrophobic/Icephobic Coatings Based on Silica Nanoparticles Modified by Self-Assembled Monolayers // Nanomaterials, 2016, vol. 6, no. 12. doi: 10.3390/nano6120232
- Privett B. J., Youn J., Hong S. A., Lee J., Han J., Shin J. H., Schoenfisch M. H. Antibacterial Fluorinated Silica Colloid Superhydrophobic Surfaces // Langmuir, 2011, vol. 27, no. 15, pp. 9597–9601. doi: 10.1021/la201801e
- Abd El-Hady M. M., Sharaf S., Farouk A. Highly hydrophobic and UV protective properties of cotton fabric using layer by layer self-

- assembly technique // *Cellulose*, 2020, vol. 27, no. 2, pp. 1099–1110. doi: 10.1007/s10570-019-02815-0
8. Cai Y., Li J., Yi L., Yan X., Li J. Fabricating superhydrophobic and oleophobic surface with silica nanoparticles modified by silanes and environment-friendly fluorinated chemicals // *Applied Surface Science*, 2018, vol. 450, pp. 102–111. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.186
9. Wang Y., Gong X. Special oleophobic and hydrophilic surfaces: approaches, mechanisms, and applications // *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, vol. 5, no. 8, pp. 3759–3773. doi: 10.1039/C6TA10474F
10. Stalder A. F., Melchior T., Müller M., Sage D., Blu T., Unser M. Low-bond axisymmetric drop shape analysis for surface tension and contact angle measurements of sessile drops // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2010, vol. 364, no. 1-3, pp. 72–81. doi: 10.1016/j.colsurfa.2010.04.040

References

1. Boinovich L. B., Emelyanenko A. M. Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications. *Russian Chemical Reviews*, 2008, vol. 77, no. 7, pp. 583–600. doi: 10.1070/RC2008v077n07ABEH003775
2. Latthea S. S., Sutar R. S., Kodag V. S., Bhosale A. K., Kumar A. M., Kumar Sadasivuni K., Xing R., Liu S. Self – cleaning superhydrophobic coatings: Potential industrial applications. *Progress in Organic Coatings*. 2019. vol. 128. pp. 52–58. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.12.008
3. Guang Yang, Binbin Zhang, Chuanbo Zheng, Weichen Xu, Baorong Hou. Waterborne superhydrophobic coating with abrasion and corrosion resistant capabilities. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2023, vol. 664. doi: 10.1016/j.colsurfa.2023.131170
4. Qian H., Xu D., Du C, Zhang D., Li X., Huang L. Deng L., Tu Y., Mol J. M. C., Terryn H. A. Dual-action smart coatings with a self-healing superhydrophobic surface and anti-corrosion properties. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, vol. 5, no. 5, pp. 2355–2364. doi: 10.1039/C6TA10903A
5. Liu J., Janjua Z. A., Roe M., Xu F., Turnbull B., Choi K.-S., Hou X. Super-Hydrophobic/Icephobic Coatings Based on Silica Nanoparticles Modified by Self-Assembled Monolayers. *Nanomaterials*, 2016, vol. 6, no. 12. doi: 10.3390/nano6120232
6. Privett B. J., Youn J., Hong S. A., Lee J., Han J., Shin J. H., Schoenfisch M. H. Antibacterial Fluorinated Silica Colloid Superhydrophobic Surfaces. *Langmuir*, 2011, vol. 27, no. 15, pp. 9597–9601. doi: 10.1021/la201801e
7. Abd El-Hady M. M., Sharaf S., Farouk A. Highly hydrophobic and UV protective properties of cotton fabric using layer by layer self-assembly technique. *Cellulose*, 2020, vol. 27, no. 2, pp. 1099–1110. doi: 10.1007/s10570-019-02815-0
8. Cai Y., Li J., Yi L., Yan X., Li J. Fabricating superhydrophobic and oleophobic surface with silica nanoparticles modified by silanes and environment-friendly fluorinated chemicals. *Applied Surface Science*, 2018, vol. 450, pp. 102–111. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.186
9. Wang Y., Gong X. Special oleophobic and hydrophilic surfaces: approaches, mechanisms, and applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, vol. 5, no. 8, pp. 3759–3773. doi: 10.1039/C6TA10474F
10. Stalder A. F., Melchior T., Müller M., Sage D., Blu T., Unser M. Low-bond axisymmetric drop shape analysis for surface tension and contact angle measurements of sessile drops. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2010, vol. 364, no. 1-3, pp. 72–81. doi: 10.1016/j.colsurfa.2010.04.040