



# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ И ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ НАНЕСЕНИЯ

## PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF CARBON AND FLUOROCARBON COATINGS OBTAINED BY PECVD AT ATMOSPHERIC PRESSURE IN A DYNAMIC DEPOSITION MODE

А.В.Шведов\*, аспирант, инженер, (ORCID: 0000-0002-4743-5701), В.М.Елинсон\*, д.т.н., проф., (ORCID: 0000-0002-4432-7991), П.А.Шур\*, аспирант, инженер, (ORCID: 0000-0002-7862-2366) / [seriousash@yandex.ru](mailto:seriousash@yandex.ru)  
A.V.Shvedov\*, Post-graduate, Engineer, V.M.Elinson\*, Doct. of Sc. (Technical), Prof., P.A.Shchur\*, Post-graduate, Engineer

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.6.364.371

Получено: 24.09.2020 г.

В работе показана возможность формирования углеродных и фторуглеродных покрытий в непрерывном (динамическом) режиме осаждения из газовой фазы при атмосферном давлении с использованием низкочастотного плазматрона низкотемпературной плазмы. Установлен контактный угол смачивания полученных покрытий, и проведено исследование с помощью АСМ.

This article demonstrates a possibility of carbon and fluorocarbon coatings formation in a continuous (dynamic) mode of PECVD at atmospheric pressure using a low-frequency plasmatron of low-temperature plasma. The contact angle of wetting of the obtained coatings was established and the study was carried out using AFM.

### ВВЕДЕНИЕ

Жизненный цикл изделий политроники и оптоэлектроники во многом зависит от свойств и характеристик полимерных материалов, входящих в состав их компонентов [1, 2]. Под воздействием таких внешних факторов, как повышенная влажность, физические повреждения и биологические загрязнения, свойства полимерных материалов подвергаются существенной деградации, что может привести к выходу из строя всего устройства [3, 4]. С целью минимизации влияния окружающей среды на поверхность

полимерных материалов применяются ионно-плазменные технологии в вакууме для осаждения из газовой фазы тонких углеродсодержащих покрытий [2, 5].

Применение углерода в качестве основного материала покрытия позволяет формировать слой с полностью компенсированными валентными связями, свойства которого изменяются в широких пределах в зависимости от технологии осаждения [6]. В связи с этим тонкие углеродсодержащие пленки хорошо зарекомендовали себя в качестве защитного покрытия на поверхностях различных материалов [7,

\* Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) / Moscow Aviation Institute (National Research University).



8]. Добавление фтора в состав покрытия позволяет повысить гидрофобные свойства поверхности, а также добиться повышенной химической и механической стойкости [9, 10].

Современные методы производства новых материалов и обработки поверхности различных изделий во многом опираются на технологии с низким энергопотреблением. К таким технологиям можно отнести методы, в основе которых лежит применение низкотемпературной плазмы атмосферного давления, зарекомендовавшие себя в широком спектре областей деятельности человека [11–14]. Среди множества устройств генерации низкотемпературной плазмы наиболее выгодным является низкочастотный (НЧ) плазматрон атмосферного давления, который позволяет производить точечную обработку или осаждение из газовой фазы с минимизированным влиянием окружающей атмосферы без необходимости создания и поддержания вакуума и минимальными энергетическими затратами [15]. Это позволяет с относительной легкостью обрабатывать такие термочувствительные материалы, как полимеры, широко применяемые в устройствах опто- и радиоэлектроники.

Для формирования покрытия по всей площади изделия при помощи НЧ-плазматрона атмосферного давления необходимо рассмотреть режим, который подразумевает

равномерное перемещение сопла плазматрона над поверхностью подложки. Динамический режим является непрерывным режимом формирования покрытия с фиксированными значениями скорости перемещения сопла НЧ-плазматрона и шага обработки.

Исследование свойств углеродных и фторуглеродных покрытий, полученных НЧ-плазматроном атмосферного давления в динамическом режиме осаждения из газовой фазы, является целью данной работы.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Осаждение из газовой фазы углеродных и фторуглеродных покрытий производилось на экспериментальной установке, в состав которой входит монополярный НЧ-плазматрон низкотемпературной плазмы мощностью до 100 Вт и частотой 70–130 кГц. Для реализации динамического режима обработки сопло плазматрона было вмонтировано на установке с ЧПУ для прецизионного контроля геометрических параметров обработки (рис.1).

Осаждение из газовой фазы углеродных покрытий обеспечивалось подачей нескольких потоков газов: плазмообразующий и транспортный газ – Ar, пленкообразующий газ – пары  $C_6H_{12}$ . Формирование фторуглеродных покрытий производилось с использованием транспортного газа  $CF_4$ . В процессе осаждения

### INTRODUCTION

The life cycle of polytronic and optoelectronic products largely depends on the properties and characteristics of polymer materials that make up their components [1, 2]. Under the influence of such external factors as high humidity, physical damage and biological contamination, the properties of polymeric materials undergo significant degradation, which can lead to a failure of the entire device [3, 4]. In order to minimize the influence of environment on the surface of polymeric materials, ion-plasma technologies in vacuum are

used for the deposition of thin carbon-containing coatings from the gas phase [2, 5].

The use of carbon as the main coating material makes it possible to form a layer with fully compensates valence bonds, which properties vary over a wide range depending on the deposition technology [6]. In this regard, thin carbon-containing films have proven themselves well as a protective coating on the surfaces of various materials [7, 8]. Addition of fluorine to the coating composition makes it possible to increase the hydrophobic properties of the surface, as well as to achieve increased

chemical and mechanical resistance [9, 10].

Modern production methods of new materials and surface treatment of various products rely heavily on energy-efficient technologies. These technologies include methods based on the use of low-temperature atmospheric pressure plasma, which have proven themselves in a wide range of human activity areas [11–14]. Among the many devices for generating low-temperature plasma, the most advantageous is a low-frequency (LF) plasmatron of atmospheric pressure, which allows spot processing or deposition



Рис.1. Экспериментальная установка. НЧ-плазмотрон смонтированный на ЧПУ

Fig.1. Experimental setup. LF-plasmatron mounted on CNC

фиксируются следующие технологические параметры: расстояние плазмотрон-подложка (15–24 мм), скорость передвижения (1–3 мм/с) и шаг обработки (3–6 мм). Суммарный поток газов составлял  $7,1 \pm 0,1$  л/мин при концентрации  $C_6H_{12}$  – 2,5%. Осаждение из газовой фазы проводилось на подложки из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и монокристаллического кремния в зависимости от выполненных исследований. Измерение контактного угла смачивания производилось при помощи микроскопа "МГ" с гониометрической приставкой, исследование

рельефа было выполнено с помощью сканирующего зондового микроскопа NT MDT SolverNext с АСМ-головкой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для определения гидрофобности и гидрофильности углеродных и фторуглеродных покрытий было проведено измерение контактного угла смачивания на подложках ПЭТФ. Результаты исследования представлены на рис.2, 3. Контактный угол смачивания контрольного образца ПЭТФ составлял  $58^\circ$ , а монокристаллического кремния –  $56^\circ$ .

Нанесение углеродного покрытия приводило к гидрофилизации ПЭТФ и снижению контактного угла смачивания до  $42^\circ$ , что связано с обработкой и термическим воздействием на приповерхностный слой ПЭТФ, приводящим к его гидрофилизации [12], параллельно с процессами осаждения из газовой фазы. Было предположено, что получаемые покрытия позволяют фиксировать результаты обработки поверхности полимерных материалов, в то время как само покрытие, из-за увеличения концентрации С-О-групп, должно увеличивать гидрофобность. На рис.3 представлен образец углеродного покрытия на подложке из монокристаллического кремния, где углеродное покрытие приводит к незначительному увеличению гидрофобности поверхности за счет минимизированного влияния низкотемпературной плазмы на приповерхностный слой кремния, а также за счет иного типа проводимости подложки.

from the gas phase with the minimized influence of the surrounding atmosphere without the need to create and maintain a vacuum and with minimal energy consumption [15]. This makes it possible to process with relative ease such thermolabile materials as polymers, which are widely used in optoelectronic and radioelectronic devices.

To form a coating over the entire area of a product using a LF-plasmatron of atmospheric pressure, it is necessary to consider a mode that implies uniform movement of

the plasmatron nozzle over the substrate surface. The dynamic mode is a continuous mode of coating formation with fixed values of the LF-plasmatron nozzle velocity and the processing step.

The goal of this work is to investigate the carbon and fluorocarbon coating properties obtained by an atmospheric pressure LF-plasmatron in the dynamic mode of vapor deposition.

## METHODS OF RESEARCH

Deposition of carbon and fluorocarbon coatings from the

gas phase was carried out on an experimental setup, which includes a monopolar low-frequency low-temperature plasma torch with a power of up to 100 W and a frequency of 70–130 kHz. To implement the dynamic processing mode, the plasmatron nozzle was mounted on a CNC unit for precision control of the geometric processing parameters (Fig.1).

Deposition of carbon coatings from the gas phase was ensured by supplying several gas streams: the plasma-forming and transport gas – Ar, and the

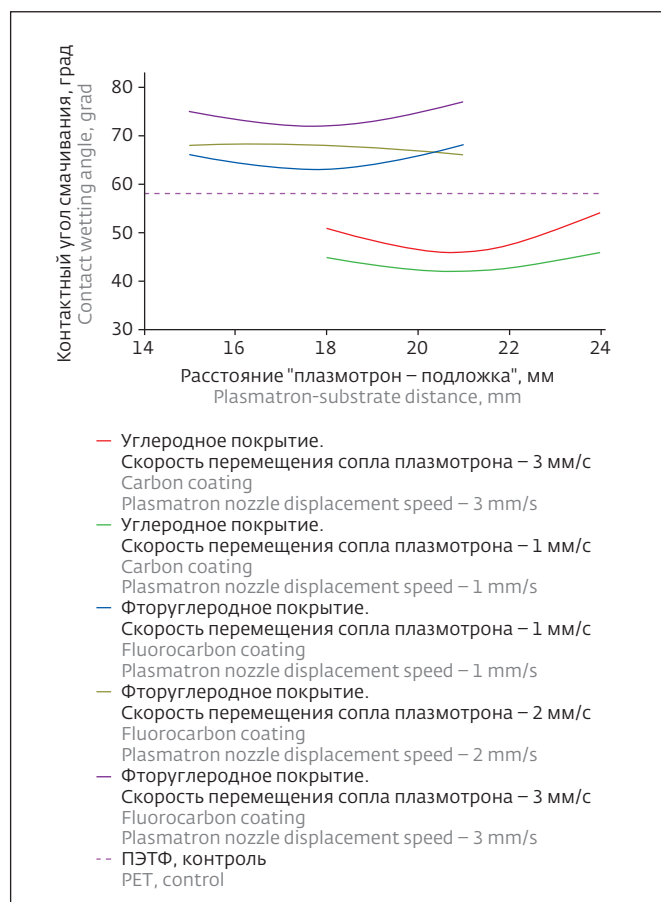


Рис.2. Контактный угол смачивания в зависимости от расстояния "плазматрон – подложка" и скорости перемещения сопла НЧ-плазматрона

Fig.2. Dependence of the contact wetting angle on the plasmatron-substrate and the movement speed of the LF-plasmatron nozzle

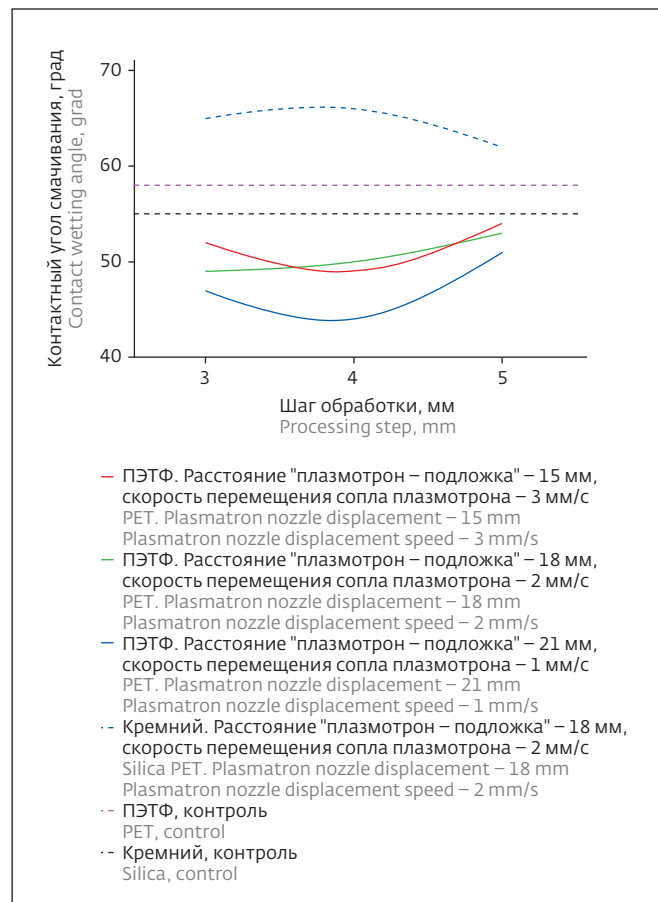


Рис.3. Контактный угол смачивания в зависимости от шага обработки и скорости перемещения сопла НЧ-плазматрона

Fig.3. Dependence of the contact wetting angle on the processing step and the movement speed of the LF-plasmatron nozzle

film-forming gas -  $C_6H_{12}$  vapor. Formation of fluorocarbon coatings was carried out using a transport gas -  $CF_4$ . In the process of deposition, the following technological parameters were recorded: the distance of the plasma torch-substrate (15-24 mm), the speed of movement (1-3 mm / s) and the processing step (3-6 mm). The total gas flow was  $7.1 \pm 0.1$  L / min at a  $C_6H_{12}$  concentration of 2.5%. Deposition from the gas phase was carried out on substrates made of polyethylene terephthalate (PET) and monocrystalline silicon, depending on

the research carried out. The contact wetting angle was measured using an MG microscope with a goniometric attachment; the relief study was performed using an NT MDT SolverNext scanning probe microscope with an AFM head.

**EXPERIMENTAL RESULTS**

To determine hydrophobicity and hydrophilicity of carbon and fluorocarbon coatings, the contact angle of wetting on PETF substrates was measured. The results of the study are shown in Fig.2, 3. The contact angle of wetting of the control

PETF sample was 58°, and of single-crystal silicon - 56°.

Application of a carbon coating led to the hydrophilization of PET and a decrease in the contact angle of wetting to 42°, which is associated with the processing and thermal effect on the near-surface layer of PETF, leading to its hydrophilization [12], in parallel with the processes of deposition from the gas phase. It was assumed that the resulting coatings allow of recording the results of surface treatment of polymeric materials, while the coating itself, due to an increase in the

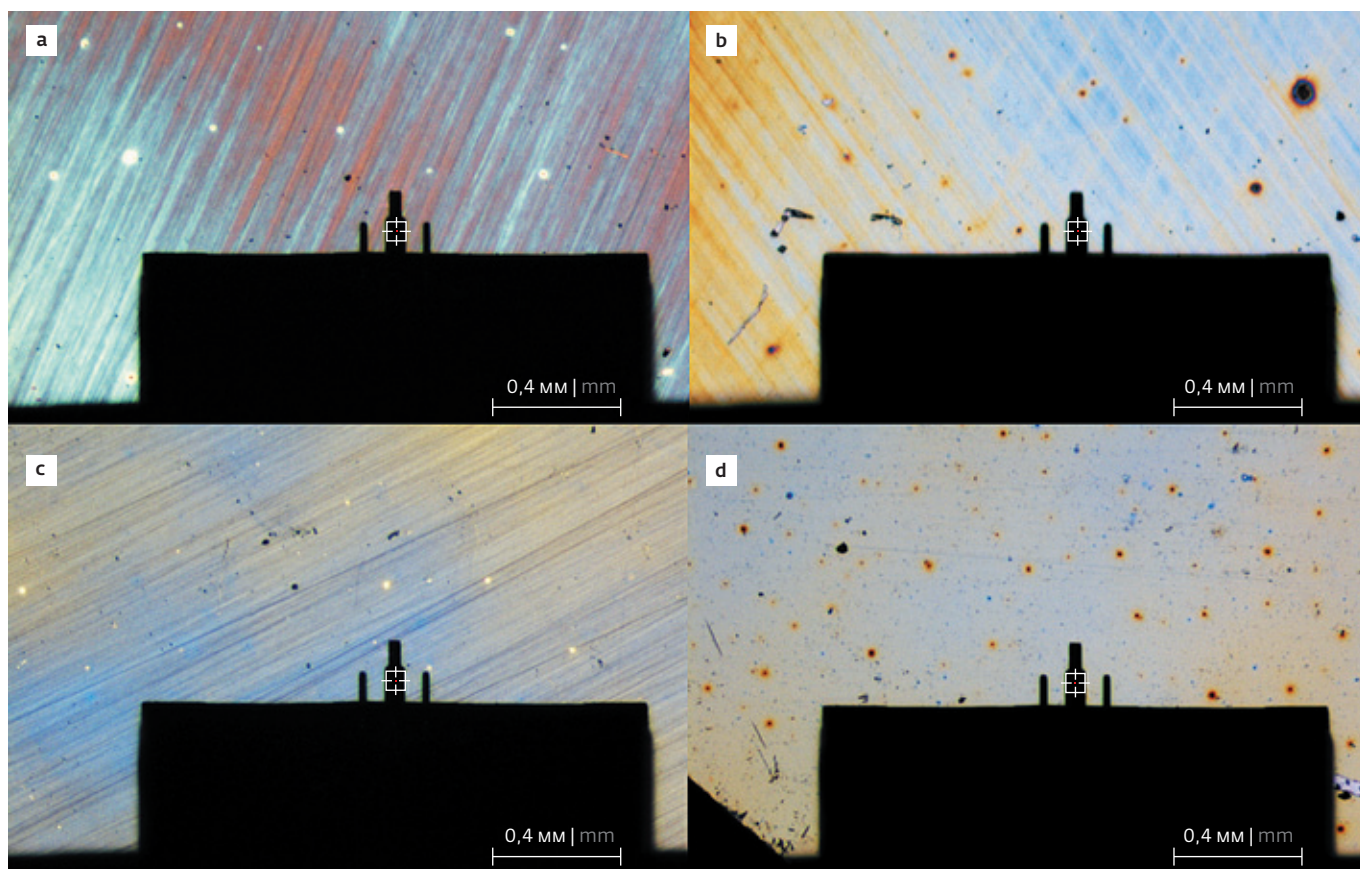


Рис.4. Оптический снимок покрытий на АСМ: а – углеродное покрытие, скорость перемещения сопла плазматрона 3 мм/с; б – углеродное покрытие, скорость перемещения сопла плазматрона 1 мм/с; в – фторуглеродное покрытие, скорость перемещения сопла плазматрона 3 мм/с; д – фторуглеродное покрытие, скорость перемещения сопла плазматрона 1 мм/с  
 Fig.4. Optical image of coatings provided by AFM: a – carbon coating, movement speed of the plasmatron nozzle is 3 mm/s; b – carbon coating, movement speed of the plasmatron nozzle is 1 mm/s; c – fluorocarbon coating, movement speed of the plasmatron nozzle is 3 mm/s; d – fluorocarbon coating, movement speed of the plasmatron nozzle is 1 mm/s

concentration of C-O groups, should increase hydrophobicity. Figure 3 shows a sample of a carbon coating on a single-crystal silicon substrate, where the carbon coating leads to an insignificant increase in the hydrophobicity of the surface due to the minimized effect of low-temperature plasma on the near-surface layer of silicon, as well as due to a different type of substrate conductivity.

Fluorocarbon coatings led to an increase in the hydrophobic properties on the PETF surface with an increase in the contact angle of wetting to 78°, which

is associated with an increased concentration of C-O bonds and a presence of C-F bonds. The increase in hydrophobicity is also due to both the deposition process and the etching process with the displacement of the least strong bonds, such as C-H and their replacement with more stable C-F.

The changes in the contact angle of wetting which are due to changes of the processing step indicate a non-uniform distribution of thickness depending on the distance between the passages of the LF-plasmatron nozzle above the substrate

surface. Apparently, the processing step of 4 mm is associated with the layers formed by the C-H and C-N groups at the boundary of ionized particles and the recombination zone.

The effect of the plasmatron-substrate distance on the contact wetting angle characterizes the change in the chemical composition of the resulting coating and the concentration of C-C, C=C, C≡C, C=O bonds as a result of dissociation of the film-forming mixture. An increase in the number of C-C components with an additional increase in the distance of the plasmatron-substrate

Фторуглеродные покрытия приводили к увеличению гидрофобных свойств на поверхности ПЭТФ с увеличением контактного угла смачивания до  $78^\circ$ , что связано с повышенной концентрацией С-О-связей и присутствием С-Ф-связей. Увеличение гидрофобности также обусловлено проведением как процесса нанесения, так и процесса травления с вытеснением наименее сильных связей, таких как С-Н, с замещением их на более устойчивые С-Ф.

Изменения контактного угла смачивания от шага обработки говорит о неоднородном распределении толщины в зависимости от расстояния между проходами сопла НЧ-плазматрона над поверхностью подложки. По всей видимости, шаг обработки в 4 мм связан со слоями, формируемыми группами С-Н и С-Н на границе ионизированных частиц и зоной рекомбинации.

Влияние расстояния "плазматрон - подложка" на контактный угол смачивания характеризует изменение химического состава получаемого покрытия и концентрации связей С-С, С=C, С $\equiv$ С, С=О в результате диссоциации пленкообразующей смеси. Увеличение количества С-С компонентов с дополнительным увеличением расстояния "плазматрон - подложка" позволяет увеличивать гидрофобность получаемых покрытий.

Увеличение скорости перемещения сопла НЧ-плазматрона позволяло производить увеличение гидрофобности за счет более

равномерного рельефа. Кроме того, повышенная скорость позволяла осуществлять осаждение наиболее стабильных продуктов диссоциации, не подвергшихся процессам рекомбинации с атмосферным воздухом, которые в процессе передвижения и характера распространения газовой смеси не достигали поверхности подложки.

Исследование рельефа углеродных и фторуглеродных покрытий производилось на подложках из монокристаллического кремния. На рис.4 показаны оптические снимки полученных покрытий, на которых видно, что с увеличением скорости передвижения сопла плазматрона увеличивается однородность получаемых покрытий, как видно по изменяющемуся цвету отраженного света. Нанесение фторуглеродного покрытия позволяет добиться равномерного распределения толщины за исключением точек, в которых наблюдается повышенная концентрация материала покрытия, в виде черных точек. По всей видимости, это связано с пробоями НЧ дугового разряда, которые в редких случаях приводят к резкому росту толщины покрытия. Линии, наблюдаемые на снимках, являются следами, повторяющими кристаллографическую ориентацию монокристаллического кремния (111), возникающими за счет повышенной проводимости по отношению к остальному объему подложки.

На рис.5 отображены сканы поверхности углеродных и фторуглеродных покрытий,

allows of increasing hydrophobicity of the resulting coatings.

An increase in the speed of nozzle movement of the LF-plasmatron made it possible to increase the hydrophobicity due to a more uniform relief. In addition, the increased speed enabled to carry out deposition of the most stable dissociation products that did not undergo recombination with atmospheric air, which did not reach the substrate surface during the movement and propagation of the gas mixture.

The relief of carbon and fluorocarbon coatings was studied

on substrates of monocrystalline silicon. Figure 4 presents optical images of the obtained coatings which show that with an increase in the speed of movement of the plasma torch nozzle, the homogeneity of the obtained coatings increases, as can be seen by a change of the reflected light colour. Application of a fluorocarbon coating makes it possible to achieve even distribution of thickness, with the exception of points where there is an increased concentration of coating material in the form of black dots. Most likely, this

is due to the breakdowns of the LF arc discharge, which in rare cases lead to a sharp increase in the coating thickness. The lines observed in the images are traces that repeat the crystallographic orientation of single-crystal silicon (111), which appear due to the increased conductivity with respect of the rest of the substrate volume.

Figure 5 shows images of the carbon and fluorocarbon coating surfaces obtained using AFM, which show that carbon coatings have a more developed relief. This is due to the fact that deposition of fluorocarbon coatings from

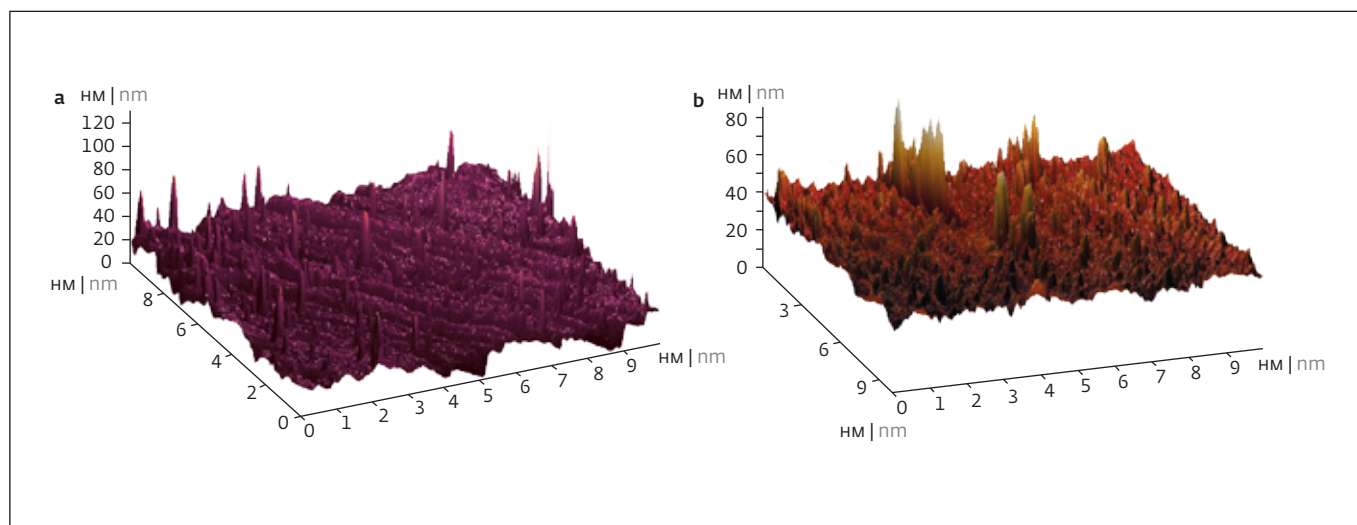


Рис.5. Скан рельефов углеродного (a) и фторуглеродного покрытий (b), полученных на АСМ

Fig.5. Image of the reliefs of carbon (a) and fluorocarbon (b) coatings obtained with AFM

полученные при помощи АСМ, на которых показано, что углеродные покрытия обладают более развитым рельефом. Это связано с тем, что осаждение из газовой фазы фторуглеродных покрытий сопровождается процессом травления формируемого покрытия, которое происходит с использованием  $\text{CF}_4$ , являющимся как пленкообразующим, так и травящим компонентом. Вследствие чего, шероховатость поверхности ( $S_q$ ) фторуглеродных покрытий составляла 7,45 нм и была меньше, чем для углеродных покрытий, у которых  $S_q = 11,9 \pm 0,01$  нм.

По всей видимости, данный эффект оказывает существенное влияние на контактный угол смачивания и химический состав получаемых покрытий.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы было показано влияние технологических параметров осаждения из газовой фазы НЧ-плазмотроном атмосферного давления на физические и химические свойства углеродных и фторуглеродных покрытий. Установлена величина контактного

the gas phase is accompanied by the etching process of the formed coating, which occurs using  $\text{CF}_4$ , that is both a film-forming and an etching component. As a result, the surface roughness ( $S_q$ ) of fluorocarbon coatings was 7.45 nm and less than that of the carbon coatings where  $S_q = 11.9 \pm 0.01$  nm. Apparently, this effect has a significant impact on the contact angle of wetting as well as the chemical composition of the resulting coatings.

### CONCLUSIONS

As a result of the conducted work, the influence of the

technological parameters of vapor deposition from the atmospheric pressure LF-plasmatron on the physical and chemical properties of carbon and fluorocarbon coatings was shown. The contact wetting angle value and the effect of the substrate material on the resulting coating have been determined. The impact of the distance between the plasmatron and the substrate and the velocity of the LF-plasmatron nozzle on the change in the hydrophobicity and hydrophilicity of the surface is nonlinear, which indicates the influence of the

processes of recombination of an ionized gas mixture with atmospheric air, which can be used to obtain coatings with a given composition and properties. The effect of the velocity of the plasmatron nozzle moving above the substrate on the relief of the resulting coatings is shown, and the influence of the etching component  $\text{CF}_4$  on the resulting relief of the coatings is considered. The roughness of the coatings was established, which averaged 11–12 nm for carbon coatings and 7–8 nm for fluorocarbon coatings. ■

угла смачивания и влияние материала подложки на получаемое покрытие. Влияние расстояния "плазмотрон - подложка" и скорости перемещения сопла НЧ-плазмотрона на изменение гидрофобности и гидрофильности поверхности носит нелинейный характер, что говорит о влиянии процессов рекомбинации ионизированной газовой смеси с атмосферным воздухом, которые могут быть использованы для получения покрытий с заданным составом и свойствами. Показано влияние скорости перемещения сопла плазмотрона над подложкой на рельеф получаемых покрытий, а также рассмотрено влияние травящего компонента  $CF_4$  на получаемый рельеф покрытий. Установлена величина шероховатости покрытий, которая составила в среднем 11-12 нм для углеродных покрытий и 7-8 нм для фторуглеродных покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Bose I., Ohlander A., Stich M., Kiesel C., Hemmetzberger D., Klink G., Bock K.** Polymer opto-chemical-electronic based module as a detection system for volatile analytes on a foil substrate // *Organic Semiconductors in Sensors and Bioelectronics*. V. (2012). <https://doi.org/10.1117/12.929821>.
2. **Elinson V.M., Shchur P.A. and Silnitskaya O.A.** Multifunctional polymer materials with antifungal activity, modified by fluorocarbon films by methods of ion-plasma technology, IOP Publishing Ltd, *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1121 012012, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1121/1/012012>.
3. **Laptev A.B., Golubev A.V., Kireev D.M., Nikolaev E.V.** (2019). To the Question of Biodegradation of Polymeric Materials in Natural Environments (review). *Proceedings of VIAM*. 100-107. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2019-0-9-100-107>.
4. **Borcica G.** Brown NMD. Hydrophobic Coatings On Selected Polymers In An Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge. *J Phys D-Appl Phys*. 2007; 40(7):1927-36.
5. **Elinson V.M., Kuzkin V.I., Kukushkin D.Yu., Shchur P.A. and Silnitskaya O.A.** Investigation of the surface properties of anti-adhesive antimicrobial coatings formed by ion-plasma technology on the surface of polyethyleneterephthalate and polytetrafluoroethylene // IOP Publishing Ltd, *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1281 (2019) 012012, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1281/1/012012>.
6. **Суздаев И.П.** Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов - М.: КомКнига, 2006, 592 с.
7. **Dimitrov Zh., Nikovski M. and Kiss'ovski Zh.** Deposition of carbon nanostructures on metal substrates at atmospheric pressure // *Journal of Physics: Conference Series* 700 (2016) 012045, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/700/1/012045>.
8. **Зибров М.С., Писарев А.А., Ходаченко Г.В., Мозгрин Д.В.** Создание тонких защитных углеродных покрытий на алюминии // *Успехи прикладной физики*. 2013. Т. 1. № 2. С. 167-172.
9. **Fanelli F., Fracassi F. D'Agostino R.** Atmospheric Pressure PECVD of Fluorocarbon Coatings from Glow Dielectric Barrier Discharges // *Plasma Process. Polym.* 2007, 4, p. 430-434, <https://doi.org/10.1002/ppap.200731201>.
10. **Kumar V., Pulpytel J., Rauscher H., Mannelli I., Rossi F. and Arefi-Khonsari F.** (2010), Fluorocarbon Coatings Via Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyl Acrylate - 2, Morphology, Wettability and Antifouling Characterization. *Plasma Processes Polym.*, 7: 926-938, <https://doi.org/10.1002/ppap.201000038>.
11. **Laroussi M., Lu X. and Keidar M.** Perspective: The physics, diagnostics, and applications of atmospheric pressure low temperature plasma sources used in plasma medicine // *Appl. Phys.* 122, 020901 (2017); <https://doi.org/10.1063/1.4993710>.
12. **Ramamoorthy A., Mohan J., Byrne G., Murphy N., Ivankovic A. and Dowling D.P.** Achieving Enhanced Fracture Toughness of Adhesively Bonded Cured Composite Joint Systems Using Atmospheric Pressure Plasma Treatments / Michael Thomas and K.L. Mittal (eds.) *Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Polymers*, 2013 Scrivener Publishing LLC (383-396).
13. **Rehn P., Wolkenhauer A., Bente M., Forster S., Vio W.** Wood surface modification in dielectric barrier discharges at atmospheric pressure // *Surface and Coatings Technology* 174-175 (2003) 515-518.
14. **Borcica G.** Brown NMD. Hydrophobic Coatings on Selected Polymers in an Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge. *J Phys D-Appl Phys*. 2007; 40(7):1927-36.
15. **Shvedov A.V., Elinson V.M., Shchur P.A. and Kirillov D.V.** Optical and mechanical properties of fluorocarbon coatings formed in a matrix mode of deposition using an atmospheric pressure plasmatron // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1313 (2019) 012050, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1313/1/012050>.