

Цель работы: определение краевого угла смачивания наноструктурированной металлизированной поверхности, модифицированной пленками политетрафторэтилена.

Металлизированная наноструктурированная поверхность (МНП) формировалась прокаткой алюминиевого слоя на никелевой матрице. Поверхность МНП состоит из полос высотой 120–160 нм. Пленки политетрафторэтилена толщиной 50 и 100 нм, а также пленка ПТФЭ с парафином в соотношении 6:1 нанесены методом электронно-лучевого диспергирования на МНП. Краевые углы смачивания измеряли на установке DSA 100E (KRUSS, Германия) с использованием воды в качестве контрольной жидкости.

Для чистой МНП и МНП с пленками ПТФЭ разной толщины и с парафином были определены значения краевого угла смачивания (рис. 1). Нанесение пленки ПТФЭ повышает гидрофобность МНП. При толщине пленки 100 нм КУС выше на 2,6 °, чем при толщине 50 нм. Добавление парафина в пленку ПТФЭ заметно снижает краевой угол смачивания пленки ПТФЭ, но незначительно снижает КУС металлизированной наноструктурированной поверхности.

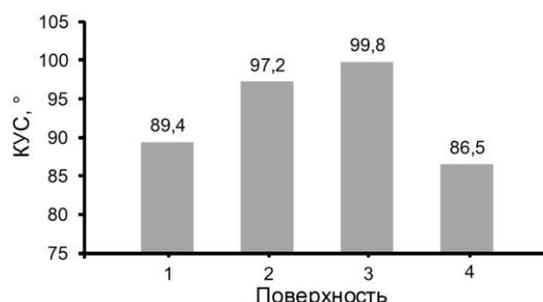


Рис. 1. Краевой угол смачивания поверхностей: 1 – МНП; 2 – МНП с пленкой ПТФЭ толщиной 50 нм; 3 – МНП с пленкой ПТФЭ толщиной 100 нм; 4 – МНП с пленкой из ПТФЭ и парафина

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция-2025», задание № 3.03.3.

#### Литература

1. Superhydrophobic electrospayed PTFE / E. Burkarter [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2007. – Vol. 202, iss. 1. – P. 194–198.
2. Модификация поверхностных свойств ПТФЭ методами ионного и электронно-лучевого воздействия / И. А. Курзина [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2016. – Т. 13, № 4. – P. 473–484.

УДК 620.179.12; 620.178.154.9

#### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ TiN И AlN, НАНЕСЕННЫХ ВАККУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ

Аспирант Хабарова А. В.<sup>1</sup>, кандидат техн. наук Лапицкая В. А.<sup>1,2</sup>  
 Д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.<sup>1,2</sup>, ст. научный сотрудник Николаев А. Л.<sup>3</sup>,  
 кандидат физ-мат. наук Садырин Е. В.<sup>3</sup>, кандидат техн. наук Волков С. С.<sup>3</sup>,  
 д-р физ-мат. наук Айзикович С. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Покрытия, состоящие из двух и более слоев разрабатывают для ряда триботехнических применений, поскольку наличие внутренних границ раздела в покрытии обеспечивает высокую твердость и лучшую устойчивость к разрушению. В этом отношении больших успехов достигли покрытия на основе нитридов переходных металлов [1]. Многослойность также можно использовать для объединения свойств отдельных материалов в многофункциональный пакет с более высокими физико-механическими свойствами [1].

В данной работе исследованы многослойные покрытия TiN и AlN с различной композицией содержания азота по слоям в пределах градиента, которые были нанесены на кремниевые под-

ложки ориентации (100) вакуумно-магнетронным методом с помощью системы VSM 100 (ROBVAS, Россия) при постоянном давлении в камере 0,78 Па. Каждое покрытие состояло из трех слоев с различным содержанием азота в пределах каждого слоя. Выбор слоев произведен по результатам определения физико-механических и трибологических свойств каждого отдельного слоя ранее в работах [2; 3]. Параметры осаждения и физико-механические свойства приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры осаждения и физико-механические свойства многослойных покрытий

Покрытие	№ слоя	$p_{N_2}$ , см <sup>3</sup> /мин	Мощность, Вт	Модуль упругости, ГПа	Микротвердость, ГПа
TiN	Слой 1	3	465	184 ±11	15,7 ±1,3
	Слой 2	2	200	183 ±8	13,3 ±1,4
	Слой 3	2	300	181 ±14	11,6 ±1,5
AlN	Слой 1	2	150	65 ±16	1,1 ±0,4
	Слой 2	3	100	57 ±6	1,2 ±0,1
	Слой 3	1	150	56 ±7	1,1 ±0,2

Измерение физико-механических свойств (модуль упругости  $E$  и микротвердость  $H$ ) покрытий проводилось на наноинденторе модели 750 Ubi (Hysitron, США). Индентирование проведено вдавливанием алмазного индентора, имеющего коническую форму наконечника с радиусом кривизны 226 нм. Калибровка радиуса кривизны индентора проводится по стандартному образцу плавленого кварца. Проводилось по 9 индентирований при постоянной нагрузке – 0,1 мН для покрытия AlN и 2 мН для покрытия TiN.

Установлено, что средние значения  $E$  и  $H$  у многослойного покрытия TiN выше по сравнению с AlN и составляют  $E = 134 \pm 4$  ГПа и  $H = 10,5 \pm 0,6$  ГПа. Модуль упругости и микротвердость у многослойного покрытия на основе AlN равны  $36 \pm 14$  ГПа и  $0,9 \pm 0,1$  ГПа соответственно. Из полученных результатов можно сделать вывод, что многослойные покрытия имеют лучшую стойкость к механической деформации в сравнении с однослойными.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № T23РНФ-132.

#### Литература

1. Oila, A. Experimental assessment of the elastic properties of thin TiN/AlN superlattice and nanomultilayer coatings / A. Oila, S. J. Bull // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Vol. 257. – P. 87–94.
2. Хабарова, А. В. Структура и свойства покрытий TiN и AlN, нанесенных магнетронным методом, при изменении потока азота в камере / А. В. Хабарова, В. А. Лапицкая, А. Л. Николаев, Е. В. Садырин, С. М. Айзикович, С. А. Чижик // Вакуумная техника и технологии – 2023. Труды 30-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 20–22 июня 2023 г. / под ред. Тетерука Р. А. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. – С. 203–207.
3. The influence of nitrogen flow on the stoichiometric composition, structure, mechanical and microtribological properties of TiN coatings / V. Lapitskaya [et al.] // Materials. – 2024. – Vol. 17, № 1. – P. 120.

УДК 621

### ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Студент гр. 11310121 Юковец К. О.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Один из современных способов улучшения продукции в области машиностроения и приборостроения заключается в уменьшении размеров их компонентов. Часто для этого применяют тонкопленочные покрытия, свойства которых можно изменять, регулируя их толщину. С точки зрения функциональности такие покрытия находят применение практически во всех областях физики. Для создания этих покрытий используется широкий спектр элементов Периодической системы.

Характеристики тонких покрытий варьируются в зависимости от их толщины. Механические свойства пленок из полимеров изменяются при толщине слоя менее 1,5 нм, в то время как электрическое сопротивление металлических пленок будет зависеть от их толщины при значении около 80–100 нм.