

**Фрактальная размерность наноразмерных пленок никеля и хрома**

Иванов Д.В.<sup>1</sup>, Антонов А.С.<sup>1,2</sup>, Сдобняков Н.Ю.<sup>1</sup>, Семенова Е.М.<sup>1</sup>,  
Романовская Е.В.<sup>3</sup>, Афанасьев М.С.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»  
170002, Россия, Тверь, Садовый пер., 35

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»  
170904, Россия, Тверь, ул. Маршала Василевского, 7

<sup>3</sup>УО «Белорусский государственный технологический университет»  
220006, Республика Беларусь, Минск, ул. Свердлова, 13а

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»  
119454, Россия, Москва, пр. Вернадского, 78

<sup>5</sup>Фрязинский филиал ФГБУН «Институт радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова Российской академии наук»  
141190, Россия, Московская область, Фрязино, пл. Введенского, 1  
[nsdobnyakov@mail.ru](mailto:nsdobnyakov@mail.ru)

DOI: 10.37795/RCEM.2020.77.97.014

В [1] экспериментально было установлено, что пленки золота, серебра, никеля и меди на диэлектрических подложках могут образовывать фрактальные структуры. Однако, для наноразмерных пленок хрома, полученных методом термовакуумного напыления, не удавалось получить фрактальные структуры на всей площади поверхности пленки [2]. В данной работе пленки из никеля и хрома формировались на подложке из слюды методом электронно-лучевого напыления на установке А700QE/DI12000. Оценка фрактальной размерности и обработка графических материалов производилась в программном комплексе Image Analysis (версия 3.5.30.19856). В [1] показано, что механизм образования фрактальных структур может быть связан с условиями кристаллической/аморфной структуры при формировании поверхности пленки. Предлагаемая методика определения фрактальной размерности изложена в [3]. Для определения фрактальной размерности используется соотношение

$$D_c = 3 - \alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – скейлинговый коэффициент, называемый показателем шероховатости (показатель Херста  $H$ ). Показатель Херста определяется через наклон  $tg\beta$  начального участка корреляционной функции высота-высота для выбранного направления, построенной в логарифмических координатах

$$H = tg\beta / 2. \quad (2)$$

Проанализировав шероховатость поверхности с использованием программного продукта [3], нами были определены морфологические характеристики поверхности образца, а именно высотные параметры (см. данные Таблицы 1): среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины  $S_a$ , среднеквадратичное отклонение  $S_q$ , сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины  $S_{10z}$ , поскольку именно

они, в большей степени, имеют значение для изучения фрактальных свойств профиля и поверхности [1].

Таблица 1. Диапазон изменения морфологических характеристик плёнок хрома и никеля на слюде на исследованных масштабах

Граница диапазона	хром				никель			
	$S_a$ , нм	$S_q$ , нм	$S_{10z}$ , нм	$\bar{D}_c$	$S_a$ , нм	$S_q$ , нм	$S_{10z}$ , нм	$\bar{D}_c$
минимальное значение	10,31	13,39	86,28	2,1	0,97	1,34	13,31	2,3
максимальное значение	24,98	35,67	257,07	2,24	2,11	3,83	29,54	2,64

Полученные результаты для фрактальной размерности нанопокрывтия никеля находятся в хорошем согласии с результатами следующих работ: в [4] наблюдались участки с фрактальной размерностью  $\bar{D}_c = 2,25 \pm 0,03$ , в [5] фрактальная размерность находилась в пределах  $\bar{D}_c = 2,29 \div 2,49$ . Что касается нанопокровтий хрома, имеется работа [6], в которой для достаточно крупных агломератов (1–10 мкм) установлено, что покрытия из хрома образуют высокоразвитый «фрактальный рельеф» –  $\bar{D}_c = 2,95$ . Основным технологическим решением для создания и совершенствования методов «выращивания» структур с заданной морфологией поверхности, а также структур, обладающих определенными физическими свойствами, в частности проводимостью, оптическими характеристиками, является как подбор внешних факторов (температура подложки, внешнее давление, наличие последующей химической обработки и т.д.), так и использование определенных методик подготовки наноразмерных пленок.

*Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-03-00132, № 18-29-11029, № 19-07-00271, № 19-29-03042, № 20-37-70007).*

### Список литературы:

- [1] Н.Ю. Сдобняков, А.С. Антонов, Д.В. Иванов, Морфологические характеристики и фрактальный анализ металлических пленок на диэлектрических поверхностях: монография, Тверской государственный университет, Тверь (2019).
- [2] А.С. Антонов, Е.А. Воронова, Н.Ю. Сдобняков, О.В. Михайлова, Нанотехника, 2 (38), 8 (2014).
- [3] Image Analysis P9. Справочное руководство, NT-MDT SI, Москва (2019).
- [4] A. Makabe, W. Oshikawa, M. Saitou, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series A, 67 (664), 1955 (2001).
- [5] M. Torabi, A. Dolati, International Journal of Surface Science and Engineering, 10 (5), 444 (2016).
- [6] Yu. V. Sokolov, V.S. Zheleznyĭ, Technical Physics Letters, 29 (8), 627 (2003).