

УДК 621.793.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И СОСТАВА СВЕТОПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ СЕЛЕКТИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ

Андрухович И.М., Гасенкова И.В., Денисюк С.В.

*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе рассмотрены способы нанесения никелевого светопоглощающего покрытия на селективирующие элементы. Исследованы морфология поверхности и состав полученных покрытий.

Ключевые слова: светопоглощающее покрытие, никель, селективирующий элемент, сканирующая электронная микроскопия.

RESEARCH OF THE MORPHOLOGY AND COMPOSITION OF THE LIGHT-ABSORBING COATING OF THE SELECTIVE ELEMENTS FOR PLASMA FLOWS SENSORS

Andrukhovich I., Gasenkova I., Dzenisiuk S.

*SSPA "Optics, Optoelectronics, and Laser Technology"
Minsk, Belarus*

Abstract. The paper considers the methods of applying a nickel light-absorbing coating to the selective elements. The morphology of the surface and the composition of the obtained coatings are investigated.

Key words: light-absorbing coating, nickel, selective element, scanning electron microscopy.

*Адрес для переписки: Андрухович И.М., пр. Независимости, 68-1, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: irini.andrukhovich@gmail.com*

Исследование межпланетной космической среды с помощью прямых измерений, проводимых на космических аппаратах, выходящих за пределы магнитосферы Земли, представляют собой одну из важнейших научных и практических задач. Составной частью межпланетной космической среды являются сверхзвуковые потоки плазмы солнечного ветра, переносящие различные возмущения от Солнца к Земле. Непрерывный мониторинг параметров межпланетной среды и солнечного ветра необходим для изучения геофизической обстановки в околоземном космическом пространстве и прогнозирования космической погоды.

В настоящее время определение параметров солнечного ветра с высоким временным разрешением осуществляется обычно на основе интегральных или модуляционных цилиндров Фарадея. При измерении необходимо контролировать основные параметры плазмы солнечного ветра с временным разрешением не хуже 1,5–3,0 с по переносной скорости, ионной температуре и концентрации, и разрешением в 0,03 с по величине и направлению вектора потока ионов солнечного ветра. Достижение таких параметров во многом определяется конструктивно-технологическими особенностями применяемых в цилиндрах Фарадея селективирующих элементов в виде металлических сеточных структур с кольцами-держателями [1].

Сеточные структуры выполнены из светлого никеля. Поэтому для уменьшения коэффициента отражения в ультрафиолетовой области солнечного спектра и уменьшения тока вторичных фотоэлектронов на электродах необходимо разра-

ботать методику нанесения светопоглощающего покрытия из «черного» никеля на селективирующие элементы в виде сеточных структур.

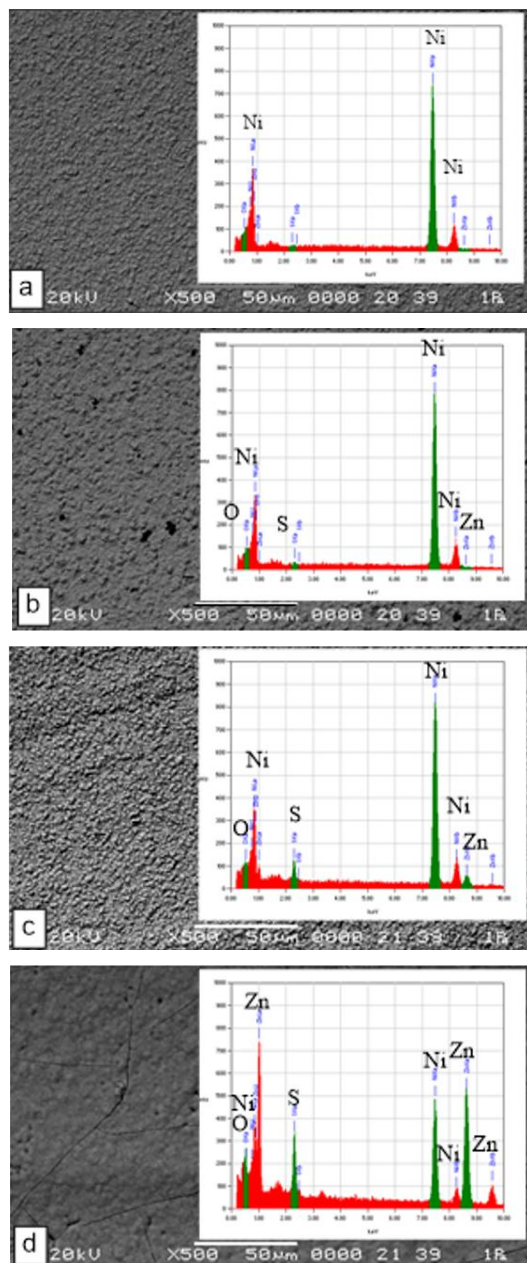
В настоящее время для получения черных покрытий используются вакуумное напыление, химическое осаждение из паровой фазы [2], химическое осаждение из раствора, золь-гель метод [3], электрохимическое осаждение [4–5]. В работе применялось химическое и электрохимическое осаждение слоев «черного» никеля.

Изучение морфологии поверхности и определение состава образцов было проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6510LV с системой электронно-зондового энергодисперсионного химического анализа EDX JED-2201 с использованием детектора вторичных электронов.

Исходные селективирующие элементы получены из сульфатного электролита никелирования. Поверхность элементов светло-серого цвета, представлена кристаллитами размером до 4 мкм (рис. 1, *a*). В составе образца присутствует никель (99,7 мас. %), примеси серы, кислорода и цинка обусловлены составом электролита

Первый вариант формирования светопоглощающего покрытия осуществлялся с использованием раствора, содержащего $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (200 г/л) Na_2SO_4 (100 г/л), FeSO_4 (9 г/л), NH_4SCN (6 г/л). При окрашивании образца в течение 15 мин образовывался темносерый слой. Из рис. 1, *b* видно, что после обработки поверхности размер кристаллитов достигает 6 мкм, наблюдается появление пор размером от 1 мкм до 6 мкм. Применение данного метода нанесения покрытия приводит к увеличению его шероховатости. По резуль-

татам анализа состава покрытие состоит из 0,66 % атомов кислорода, 1,16 % атомов серы и 99,18 % атомов никеля. Цвет покрытия объясняется наличием оксида и сульфида никеля.



a – без покрытия; *b* – покрытие из раствора 1;
c – покрытие из раствора 2;
d – покрытие из раствора 3

Рисунок 1 – РЭМ-изображение и ЭД-спектр поверхности никелевых слоев

Во втором варианте осаждение слоя покрытия проводили из раствора, состоящего из NiSO_4 (65 г/л), NH_4SCN (17 г/л), ZnCl_2 (18 г/л), AlCl_3 (8 г/л), NH_4F (10 г/л), Na_2SiO_3 (0,8 г/л). В качестве катода выступала сеточная структура, в качестве анода использовалась алюминиевая пла-

стина, время процесса составляло 40 мин. В результате осаждения получено никелевое покрытие темно-серого цвета. Из РЭМ-изображения поверхности видно, что кристаллиты приобретают округлую форму (рис. 1, *c*) по сравнению с исходной поверхностью (рис. 1, *a*). Покрытие состоит из 1,12 % атомов кислорода, 2,44 % атомов серы, 88,64 % атомов никеля и 7,80 % атомов цинка. Присутствие цинка и сульфида никеля придает полученному покрытию черный цвет.

Третий вариант светопоглощающего покрытия получали электрохимическим осаждением из электролита, содержащего NiSO_4 (144 г/л), ZnSO_4 (25 г/л), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (15 г/л), H_3BO_3 (25 г/л), KSCN (25 г/л), $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$ (45 г/л). Температура электролита в процессе осаждения $30 \pm 1^\circ\text{C}$, плотность тока процесса 3 мА/см². Получено покрытие из слоя никеля черного цвета. РЭМ-изображение поверхности показывает, что данный состав электролита способствует формированию выравнивающего слоя никеля (рис. 1, *d*), наблюдаются трещины, при изгибе покрытие не осыпается. Наличие трещин обусловлено большой толщиной слоя покрытия. По результатам энергодисперсионного анализа светопоглощающее покрытие состоит из 3,51 % атомов кислорода, 5,36 % атомов серы, 29,87 % атомов никеля и 61,26 % атомов цинка

Для получения светопоглощающего покрытия селективирующих элементов для датчиков потоков космической плазмы предпочтительно использование первого и второго вариантов формирования слоя «черного» никеля.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор №Т20М-016).

Литература

1. Разработка датчика потока космической плазмы с четырехсекционным коллектором / Н. И. Мухуров [и др.] // Известие вузов. Приборостроение. – 2018. – Т. 61, № 7. – С. 624–632.
2. Accelerated aging tests of chromium containing amorphous hydrogenated carbon coatings for solar collectors / R. Gampp [et al.] // Solar Energy Mat Sol. – 1998. – Vol. 54. – P. 369–377.
3. Lira-Cantua, M. Electrochemical deposition of black nickel solar absorber coatings on stainless steel AISI316L for thermal solar cells / M. Lira-Cantua // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2005. – Vol. 87. – P. 685–694.
4. Black nickel electrodeposition from a modified Watts bath / A. M. Ibrahim [et al.] // Journal of Applied Electrochemistry. – 2006. – Vol. 36. – P. 295–301.
5. Lizama-Tzec, F. I. Electrodeposition of selective coatings based on black nickel for flat-plate solar water heaters / F. I. Lizama-Tzec // Solar Energy. – 2019. – Vol. 194. – P. 302–310.