

DOI: 10.6060/ivkkt.20196208.5985

544.654.076.324.4+541.572.128

ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДИАМИНОМАЛЕОДИНИТРИЛА НА ПОВЕРХНОСТИ НИКЕЛЯ ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Н.П. Андреева, А.В. Ларионов, О.В. Горнухина, А.С. Семейкин, Ю.И. Кузнецов

Нина Павловна Андреева, Юрий Игоревич Кузнецов

Лаборатория «Физико-химических основ ингибирования коррозии металлов», Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Ленинский пр., 31, к. 4, Москва, Российская Федерация, 119071

E-mail: andrnin@mal.ru, Kuznetsov@ipc.rssi.ru

Алексей Владимирович Ларионов, Ольга Владимировна Горнухина *, Александр Станиславович Семейкин

НИИ химии макрогетероциклических соединений, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: alexbas@yandex.ru., ov_gor@mail.ru *, semeikin@isuct.ru

Затруднение процесса разряда ионов никеля вследствие адсорбции добавки диаминоmaleодинитрила на поверхности электрода способствует формированию мелкокристаллического осадка, обладающего высокой отражательной способностью. Поэтому в данной работе проведено исследование адсорбционной способности диаминоmaleодинитрила на поверхности никеля из боратного буферного раствора в катодной и анодной областях. Определены величины его свободной энергии адсорбции, которые составили при потенциале $-0,65\text{ В} - 39,7\text{ кДж/моль}$, а при $0,2\text{ В} - 66,2\text{ кДж/моль}$. Определено, что диаминоmaleодинитрил адсорбируется на поверхности никеля из боратного буферного раствора при $\text{pH}=7,4$ в основном за счет сил химического взаимодействия. Установлено, что на окисленной поверхности никеля адсорбция диаминоmaleодинитрила начинается в области меньших концентраций по сравнению с «чистой» поверхностью. В среднем монослой формируется в течение 60-75 мин, при этом изменения угла сдвига фаз отраженного света невелики, что обусловлено небольшими размерами адсорбируемой молекулы. Определено, что на окисленной поверхности эти изменения больше, чем на «чистой». Методом отражательной эллипсометрии, который позволяет измерить и проанализировать различия параметров поляризации плоско поляризованного светового потока, падающего под углом на границу двух однородных сред с разными оптическими свойствами, была определена толщина образующегося монослоя. На окисленной поверхности она составила $\approx 0,5\text{ нм}$, а на «чистой» $\approx 0,2\text{ нм}$. При сравнении этих толщин с размерами молекулы диаминоmaleодинитрила, можно предположить, что при потенциале $0,2\text{ В}$ молекулы диаминоmaleодинитрила вытягиваются под углом к поверхности никеля, а при потенциале $-0,65\text{ В}$ адсорбируются плоско на поверхности никеля.

Ключевые слова: диаминоmaleодинитрил, адсорбция, эллипсометрия

INVESTIGATION OF ADSORPTION ABILITY OF DIAMINOMALEODINITRILE ON NICKEL SURFACE BY ELLIPSOMETRIC METHOD

N.P. Andreeva, A.V. Larionov, O.V. Gornukhina, A.S. Semeikin, Yu.I. Kuznetsov

Nina. P. Andreeva, Yuri I. Kuznetsov

Laboratory "Physical and Chemical Principles of Inhibition of Corrosion of Metals", A.N. Frumkin Institute for Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, Leninsky ave., 31, Moscow, 119071, Russia
E-mail: andrnin@mail.ru, Kuznetsov@ipc.rssi.ru

Alexey V. Larionov, Olga V. Gorukhina *, Alexander S. Semeikin

Institute of Chemistry of Macrocyclic Compounds, Ivanovo State University of Chemical Technology, Sheremetevsky ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia
E-mail: alexbas@yandex.ru., ov_gor@mail.ru *, semeikin@isuct.ru

The difficulty of the discharge of nickel ions due to the adsorption of the addition of diaminomeleodinitrile on the electrode surface contributes to the formation of a fine crystalline precipitate with high reflectivity. Therefore, in this work, we studied the adsorption capacity of diaminomeleodinitrile on the surface of nickel from borate buffer solution in the cathodic and anodic regions. The values of its free adsorption energy were determined, which were at a potential of -0.65 V - 39.7 kJ / mol, and at 0.2 V - 66.2 kJ / mol. It was determined that diaminomeleodinitrile has adsorbed on the surface of nickel from borate buffer solution at pH = 7.4 mainly due to the forces of chemical interaction. It has been established that on the oxidized nickel surface, the adsorption of diaminomeleodinitrile begins in the region of lower concentrations compared to the "clean" surface. On average, a monolayer has formed within 60-75 min, while changes in the phase angle of the reflected light are small, due to the small size of the adsorbed molecule. It was determined that on the oxidized surface these changes are more than on the "clean" one. By method of reflective ellipsometry, which allows to measure and analyze the differences in the polarization parameters of a plane polarized light flux incident at an angle on two homogeneous media with different optical properties, the thickness of the resulting monolayer was determined. On an oxidized surface, it was ~ 0.5 nm, and on a "clean" surface, ~ 0.2 nm. When comparing these thicknesses with the size of the diaminomeleodinitrile molecule, it can be assumed that at a potential of 0.2 V, the diaminomeleodinitrile molecules are drawn out at an angle to the nickel surface, and at a potential of -0.65 V they are adsorbed flat on the nickel surface.

Key words: diaminomeleodinitrile, adsorption, ellipsometry

Для цитирования:

Андреева Н.П., Ларионов А.В., Горнухина О.В., Семейкин А.С., Кузнецов Ю.И. Исследование адсорбционной способности диаминолеодинитрила на поверхности никеля эллипсометрическим методом. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 8. С. 120–125

For citation:

Andreeva N.P., Larionov A.V., Gornukhina O.V., Semeikin A.S., Kuznetsov Yu.I. Investigation of adsorption ability of diaminomaleodinitrile on Nickel surface by ellipsometric method. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 8. P. 120–125

Никелевые электроды применяются в большинстве электрохимических процессов, происходящих, например, в топливных элементах или в промышленном электролизе [1-3]. Электроосаждением сплавов [4-6] или нанесением различных химически активных соединений на их поверхность можно изменять не только химическую природу электрода, но также его морфологию и структуру [7, 8]. Подобная обработка широко используется в

гальванотехнике для повышения коррозионной стойкости деталей, упрочнения их поверхности и в декоративных целях при получении блестящих покрытий.

В работах [9, 10] установлено, что диаминолеодинитрил (ДАМН), введенный в стандартный электролит никелирования при концентрациях до 50 мг/л, является эффективным блескообразова-

телем, светоотражательная способность гальванического осадка достигает 82%. Снижается шероховатость поверхности в 2,5 раза, увеличивается рассеивающая способность электролита в 2 раза. Затруднение процесса разряда ионов никеля вследствие предполагаемой адсорбции добавки ДАМН на поверхности электрода способствует формированию мелкокристаллического осадка, обладающего высокой отражательной способностью. В связи с этим в данной работе исследована адсорбция ДАМН на поверхности никеля эллипсометрическим методом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использован порошок диаминоацетонитрила (ДАМН) производства Aldrich (степень очистки 98%). Буферные растворы готовили, используя перекристаллизованную буру марки «х.ч.», ортоборную кислоту марки «х.ч.» и бидистиллированную воду.

Адсорбцию ДАМН измеряли методом “*in situ*” отражательной эллипсометрии на ручном эллипсометре фирмы *Rudolph Research* на никелевом электроде из боратного буферного раствора (рН 7,4) при двух значениях потенциала E : на поверхности, где нет оксидной пленки $E = -0,65$ В и на предварительно подвергнутой пассивационной обработке при $E = 0,2$ В. Источник излучения – гелий-неоновый лазер с длиной волны 640 нм, угол падения света на образец $68,5^\circ$. Поверхность электрода вертикальна относительно дна ячейки. Точность в определении эллипсометрического угла сдвига фаз (Δ) равна $0,05^\circ$. Все потенциалы в статье приведены относительно стандартного водородного электрода. Электрохимическая ячейка служит для одновременного проведения эллипсометрических и электрохимических измерений. Она изготовлена из тефлона в виде цилиндра. Рабочий электрод расположен вертикально по оси цилиндра. Под углом $68,5^\circ$ к поверхности электрода врезаны, через резиновые уплотнения, два кварцевых окна. Через одно окно входит луч лазера, падает на поверхность электрода, отражается и выходит через другое окно. В крышке сделаны отверстия, куда вставляются электрод сравнения и платиновый электрод. Капилляр Луггина через отверстие в крышке подходит к верхней части электрода на расстоянии ≈ 1 мм. Платиновый электрод расположен напротив рабочего электрода. Экспериментально определяются

углы Δ и Ψ . Эти углы характеризуют состояние поверхности электрода и меняются при наложении потенциала и введении органического вещества в ячейку.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод отражательной эллипсометрии позволяет измерить и проанализировать различия параметров поляризации плоско поляризованного светового потока, падающего под углом φ на границу двух однородных сред с разными оптическими свойствами. При этом световой поток разделяется на две волны: проходящую во вторую среду (преломляющуюся) и отраженную. Определяя изменение угла сдвига фаз отраженного света Δ ($\delta\Delta = \Delta - \Delta_0$), происходящие при введении в раствор добавки ингибитора по сравнению с исходными параметрами поверхности (Δ_0), можно получить изотерму адсорбции. Точность в определении эллипсометрического угла сдвига фаз равна $0,05^\circ$. Если при добавлении очередной порции ингибитора угол Δ не меняется, можно считать, что степень заполнения поверхности адсорбатом (Θ) стремится к 1. Более подробно применение эллипсометрического метода для исследования адсорбции органических соединений из растворов приведено в [11-15]. Для получения стандартного исходного состояния поверхности никелевого электрода, свободной от оксидов, использовали трехступенчатую обработку, предложенную в [16, 17]: восстановление всех окислов на электроде, ускоренное удаление растворенного водорода и 3 ступень доводит потенциал электрода до заданного значения. Мы переключали потенциал последовательно от $E = -0,991$ В $\rightarrow -0,691$ В $\rightarrow -0,791$ В и доводили до $E = -0,65$ В.

Из теории эллипсометрического метода следует, что в пределах 10 нм изменения эллипсометрического угла $\delta\Delta$ пропорциональны толщине растущей пленки d . Предполагается, что при изменении концентрации адсорбата в растворе (C) между экспериментально определяемыми изменениями угла Δ и степенью заполнения поверхности частицами ингибитора Θ существует прямо пропорциональная зависимость:

$$\Theta = \beta \cdot \delta\Delta, \quad (1)$$

где β – параметр, определяемый из экспериментальной зависимости конкретно выбираемой изотермы адсорбции исследуемого адсорбата.

Экспериментальная кривая, полученная эллипсометрическим методом в области средних Θ , описывается логарифмическим уравнением Темкина [18]:

$$\Theta = (1/f) \cdot \ln(BC), \quad (2),$$

где f – фактор энергетической неоднородности поверхности, B – константа адсорбционного равновесия, связанная со свободной энергией адсорбции ($-\Delta G_a^0$) соотношением $B = [\exp(-\Delta G_a^0/RT)]/55,5$. Экспериментальная изотерма адсорбции в координатах $\ln C - \Theta$ в области средних значений $\ln C$ прямолинейна. Точка пересечения касательной к этому участку кривой с осью $\ln C$ определяет величину $\ln B$.

На рис. 1, 2 показаны изменения $\delta\Delta$ от $\lg C$, вызванные изменением параметров поверхности никеля из-за адсорбции ДАМН, добавляемого в электрохимическую ячейку.

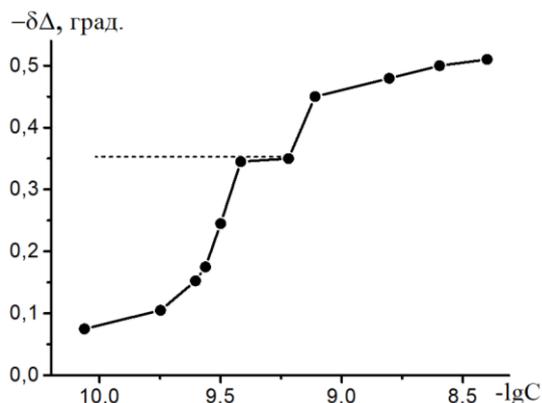


Рис. 1. Изменение эллипсометрического угла при адсорбции ДАМН на поверхности Ni, $E = 0,2$ В (н.в.э.). Пунктир – условный монослой

Fig. 1. The change in the ellipsometric angle during the adsorption of DAMN on the Ni surface, $E = 0.2$ V (n.h.e.). Dotted line - conditional monolayer

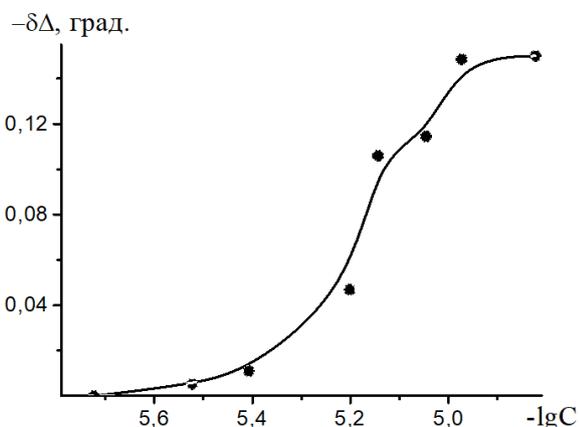


Рис. 2. Изменение эллипсометрического угла при адсорбции ДАМН на поверхности Ni, $E = -0,65$ В (н.в.э.)

Fig. 2. The change in the ellipsometric angle during the adsorption of DAMN on the Ni surface, $E = -0.65$ V (n.h.e.)

Следует отметить, что на окисленной поверхности никеля адсорбция ДАМН (рис. 1) начинается в области меньших концентраций по сравнению с «чистой» поверхностью (рис. 2).

Чтобы убедиться, что этот перегиб на рис. 1 относится к монослойному заполнению поверхности, приведена кинетика изменения Δ при концентрации ДАМН в растворе $\lg C = -6,7$ и $E = 0,2$ В (рис. 3).

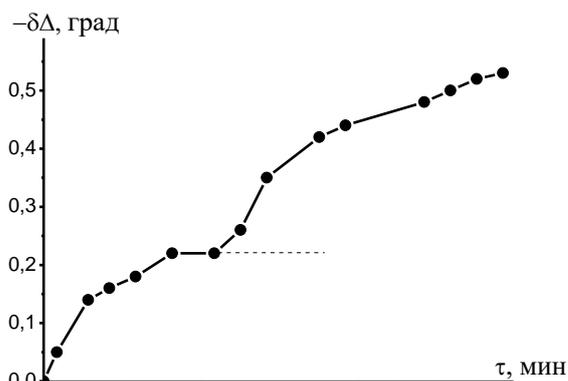
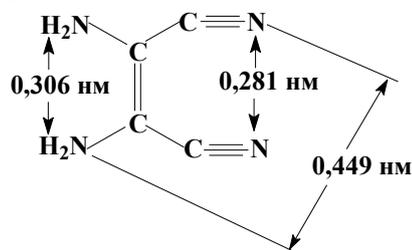


Рис. 3. Кинетика изменения $\delta\Delta$ при адсорбции ДАМН на поверхности Ni, $E = 0,2$ В (н.в.э.). Концентрация ДАМН в растворе $\lg C = -6,7$. Пунктир – предполагаемый монослой

Fig. 3. Kinetics of $\delta\Delta$ change upon adsorption of DAMN on Ni surface, $E = 0.2$ V (n.h.e.). The concentration of DAMN in the solution $\lg C = -6.7$. Dotted line - conditional monolayer

В среднем монослой формируется в течение 60-75 мин. Изменения угла Δ невелики. Это обусловлено небольшими размерами молекулы ДАМН. На окисленной поверхности эти изменения больше, чем на «чистой». Из изменений эллипсометрического угла по методике, изложенной в [19], можно определить толщину образующегося монослоя. На окисленной поверхности $d \approx 0,5$ нм, а на «чистой» $d \approx 0,2$ нм.

Ниже приведена молекула ДАМН с рассчитанными расстояниями между крайними атомами.



Сравнивая эти толщины с размерами молекулы ДАМН, приведенными выше, можно предположить, что при $E = 0,2$ В молекулы ДАМН вытягиваются к поверхности никеля, а при $E = -0,65$ В адсорбируются плоско на поверхности никеля.

На рис. 4 приведена изотерма адсорбции ДАМН на окисленной поверхности и для сравнения теоретическая изотерма, построенная по уравнению Темкина для $f = 2,2$. Ошибка в определении $(-\Delta G_a^0)$ равна 5%. В таблице приведены значения адсорбционных постоянных при адсорбции ДАМН на «чистой» и окисленной поверхности Ni.

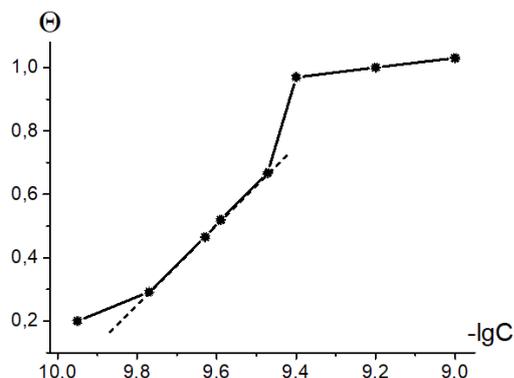


Рис. 4. Изотерма адсорбции ДАМН на поверхности Ni, $E = 0,2$ В (н.в.э.). Пунктир – теоретическая изотерма, построенная для $f = 2,2$
Fig. 4. Isotherm of DAMN adsorption on Ni surface, $E = 0.2$ V (n.h.e.). The dotted line is a theoretical isotherm constructed for $f = 2.2$

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н.** Никелирование. М.: РХТУ им. Менделеева. 2014. 192 с.
2. **Цивадзе А.Ю., Кузнецов Ю.И., Маршаков А.И., Михайлов А.А., Андреев Н.Н.** Физико-химические процессы коррозии и защиты в геофизических средах. *Коррозия: материалы, защита*. 2004. № 3. С. 2-11.
3. **Кузнецов Ю.И.** Физико-химические аспекты защиты металлов от коррозии нано и микро размерными покрытиями. *Защита металлов*. 2006. Т. 42. № 1. С. 3-12
4. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н.** Электроосаждение сплавов кобальт-никель из простых и комплексных электролитов. *Гальванотехника и обработка пов-ти*. 2013. Т. 21. № 2. С. 35-38.
5. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н.** Электроосаждение сплава кобальт-никель из сульфатно-оксалатного электролита. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2011. Т. 54. Вып. 4. С. 68-71.
6. **Спиридонов Б.А., Соколов Ю.В.** Электроосаждение никелевых покрытий из серноокислых электролитов с окси- и дикарбоновыми кислотами. *Гальванотехника и обработка пов-ти*. 2007. № 1. С. 23-27.
7. **Popov K.I., Zivkovic P.M., Nikolac N.D.** The effect of morphology of activated electrodes on their electrochemical activity. *Modern aspects of electrochemistry*. 2010. N 48. P. 163-213. DOI: 10.1007/978-1-4419-55-89-0_4.
8. **Jovic V.D., Lacnjevac U.C., Jovic B.M.** Electrodeposition and characterization of alloys and composite materials. *Modern aspects of electrochemistry*. 2014. N 57. P. 1-84. DOI: 10.1007/978-1-4939-0289-7_1.
9. **Ларионов А.В., Киселев А.Н., Балмасов А.В., Голубчиков О.А.** Влияние диаминоалеодинитрила на качество гальванических никелевых покрытий. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 10. С. 72-76. DOI: 10.6060/tcct.20165910.5395.

Таблица

Значения адсорбционных постоянных при адсорбции ДАМН
Table. The values of adsorption constants during adsorption DAMN

Потенциал, E , В	$(-\Delta G_a^0)$, кДж/моль	$\ln B$	f
0,2	66,2	23,1	2,2
-0,65	39,7	12,3	0,7

Судя по величинам свободных энергий, диаминоалеодинитрил адсорбируется на поверхности никеля из боратного буферного раствора при $pH = 7,4$ за счет сил химического взаимодействия. Из размеров толщины адсорбированных монослоев можно сделать вывод, что на окисленной поверхности молекулы диаминоалеодинитрила адсорбируются под углом к поверхности, а в катодной области плоско.

Работа выполнена в рамках государственного задания проект № 4.7305.2017/8.9. Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО «ИГХТУ».

REFERENCES

1. **Mamaev V.I., Kudriavtsev V.N.** Nickel-plating. M.: RHTU im D.I. Mendeleeva. 2014. 192 p. (in Russian).
2. **Tsvadze A.Yu., Kuznetsov Yu.I., Marshakov A.I., Mikhailov A.A., Andreev N.N.** Physico-chemical processes of corrosion and protection in geophysical environments. *Korroziya: Materialy, Zashchita*. 2004. N 3. P. 2-11 (in Russian).
3. **Kuznetsov Yu.I.** Physicochemical aspects of the protection of metals from corrosion with the use of nano- and microsize coatings. *Zashchita Metallov*. 2006. V. 42. N 1. P. 3-12 (in Russian).
4. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N.** Electrodeposition of Ni-Co alloys from simple and complex solutions. *Gal'vanotekhnika Obrabotka Pov-ti*. 2013. V. 21. N 2. P. 35-38 (in Russian).
5. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N.** Electrodeposition of cobalt-nickel alloy from sulphate-oxalic electrolyte. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2011. V. 54. N 4. P. 68-71 (in Russian).
6. **Spiridonov B.A., Sokolov Yu.V.** Electrodeposition of nickel from sulfate baths with oxy- and dicarboxylic Acids. *Gal'vanotekhnika Obrabotka Pov-ti*. 2007. N 1. P. 23-27 (in Russian).
7. **Popov K.I., Zivkovic P.M., Nikolac N.D.** The effect of morphology of activated electrodes on their electrochemical activity. *Modern Aspects Electrochemistry*. 2010. N 48. P. 163-213. DOI: 10.1007/978-1-4419-55-89-0_4.
8. **Jovic V.D., Lacnjevac U.C., Jovic B.M.** Electrodeposition and characterization of alloys and composite materials. *Modern aspects of electrochemistry*. 2014. N 57. P. 1-84. DOI: 10.1007/978-1-4939-0289-7_1.
9. **Larionov A.V., Kiselev A.N., Balmasov A.V., Golubchikov O.A.** Effect of diaminomeleodinitrile on the quality of nickel plating. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 10. P. 72-76 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20165910.5395.
10. **Golubchikov O.A., Larionov A.V., Balmasov A.V., Semeikin A.S.** New opportunities for the use of porphyrins. *Electroplating. Macroheterocycles*. 2014. V. 7. N 3. P. 225-232 (in Russian). DOI: 10.6060/mhc141034g.

10. Голубчиков О.А., Ларионов А.В., Балмасов А.В., Семейкин А.С. Новые возможности применения порфиринов. Гальванические покрытия. *Макрогетероциклы*. 2014. Т. 7. № 3. С. 225-232. DOI: 10.6060/mhc141034g.
11. Андреева Н.П., Ларионов А.В., Графов О.Ю., Голубчиков О.А., Казанский Л.П., Кузнецов Ю.И. Адсорбция тетратозилата 5,10,15,20-тетракис(Н-метилпиридил-4')порфина на поверхности никеля из водного раствора. *Коррозия: материалы, защита*. 2016. № 10. С. 22-29.
12. Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П. О влиянии солей замещенных бензойных кислот на локальное растворение металлов. *Защита металлов*. 1987. Т. 23. № 3. С. 495-498.
13. Кудрявцева З.И., Буркальцева Л.А., Пшеничников А.Г. Применение эллипсометрического метода для исследования поверхностных свойств никелевых электродов в щелочном электролите. *Электрохимия*. 2004. Т. 40. № 11. С. 1409-1415.
14. Андреева Н.П., Кузнецов Ю.И. Эллипсометрическое изучение адсорбции фенилантранилат-иона на железе. *Защита металлов*. 1989. Т. 25. № 2. С. 214-220.
15. Хашим Х., Сингх С.П., Панина Л.В., Пудонин Ф.А., Шерстнев И.А., Подгорная С.В., Шпетный И.А., Беклемишева А.В. Применение метода спектральной эллипсометрии для характеристики наноразмерных пленок с ферромагнитными слоями. *Физика твердого тела*. 2017. Т. 59. № 11. С. 2191-2195. DOI: 10.21883/FTT.2017.11.45059.21k.
16. Буркальцева Л.А., Пшеничников А.Г. Исследование гладкого никелевого электрода потенциометрическим методом. *Электрохимия*. 1976. Т. 12. № 1. С. 42-47.
17. Артемов А.С., Рузавин И.Г., Фарафонов С.Б. Инновационные аспекты технологии химико-механического наполирования материалов полупроводниковой электроники. Часть 1. Мир гальваники. 2007. <http://www.mirgalvaniki.ru/articles/view/28>.
18. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Батраков В.В. Адсорбция органических соединений на электродах. М.: Наука. 1968. 334 с.
19. Андреева Н.П., Андреев Ю.Я., Есина Л.И., Кузнецов Ю.И. Стабилизация пассивного состояния никеля адсорбцией 1,2,3-бензотриазолов в нейтральном растворе. *Коррозия: материалы, защита*. 2013. № 1. С. 13-19.
20. Андреева Н.П., Ларионов А.В., Графов О.Ю., Голубчиков О.А., Казанский Л.П., Кузнецов Ю.И. Adsorption of tetratosylate 5,10,15,20-tetrakis (N-methylpyridyl-4') porphin on the nickel surface from an aqueous solution. *Korroziya: Materialy, Zashchita*. 2016. N 10. P. 22-29 (in Russian).
21. Kuznetsov Yu.I., Andreeva N.P. On the effect of salts of substituted benzoic acids on the local dissolution of metals. *Zashchita Metallov*. 1987. V. 23. N 3. P. 495-498 (in Russian).
22. Kudryavtseva Z.I., Burkal'tseva L.A., Pshenichnikov A.G. Surface properties of nickel electrodes in an alkaline electrolyte: An ellipsometry study. *Russ. J. Electrochem.* 2004. V. 40. N 11. P. 1208-1213. DOI: 10.1023/B:RUEL.0000048656.31084.12).
23. Andreeva N.P., Kuznetsov Yu.I. Ellipsometric study of the adsorption of phenanthranilate ion on iron. *Zashchita Metallov*. 1989. V. 25. N 2. P. 214-220 (in Russian).
24. Khashim H., Singkh S.P., Panina L.V., Pudonin F.A., Sherstnev I.A., Podgornaya S.V., Shpetnyi I.A., Beklemisheva A.V. Spectral ellipsometry as a method for characterization of nanosized films with ferromagnetic layers. *Phys. Solid State*. 2017. V. 59. N 11. P. 2211-2215. DOI: 10.1134/S1063783417110142.
25. Burkaltseva L.A., Pshenichnikov A.G. Investigation of a smooth nickel electrode by potentiometric method. *Elektrokhimiya*. 1976. V. 12. N 1. P. 42-47 (in Russian).
26. Artemov A.S., Ruzavin I.G., Farafonov S.B. Innovative aspects of the technology of chemical-mechanical nopolishing of semiconductor electronics materials. Part 1. Mir gal'vaniki. 2007. <http://www.mirgalvaniki.ru/articles/view/28>. (in Russian).
27. Damaskin B.B., Petriy O.A., Batrakov V.V. Adsorption of organic compounds on the electrodes. M.: Nauka. 1968. 334 p. (in Russian).

Andreeva N.P., Andreev Yu.Ya., Esina L.I., Kuznetsov Yu.I. Stabilization of the passive state of nickel by the adsorption of 1,2,3-benzotriazoles in a neutral solution. *Korroziya: Materialy, Zashchita*. 2013. N 1. P. 13-19 (in Russian).

Поступила в редакцию 04.02.2019
Принята к опубликованию 27.06.2019

Received 04.02.2019
Accepted 27.06.2019