

# Наносистемы и наноинженерия

2022/23 учебный год

## Второй отборочный этап

Решение приведённых задач позволит участникам олимпиады подготовиться к проведению расчётов, необходимых в теоретической части финального задания.

Каким образом реализован командный подход на втором этапе? Для прохождения второго этапа необходимо работать в команде, разделив между участниками проработку разных областей знания.

Для решения задач второго этапа участники должны обладать следующими компетенциями: умение работать в команде, критическое мышление, системность.

### **Задача IV.1. Условия анодирования (20 баллов)**

*Темы: анодирование, наноструктурирование, химические технологии.*

#### **Условие**

Для создания наноматериала необходимо получить на поверхности пластины алюминия регулярные отверстия с диаметром 100 нм, глубиной 1000 нм. Предложите условия анодирования: состав и молярная концентрация электролита, температура, время анодирования, напряжение. Вся необходимая информация по технологическим особенностям процессам анодирования алюминия приведена в раздаточном материале: <https://disk.yandex.ru/i/NgpHvM8ZZwjx1A>.

1. Опираясь на раздаточный материал, укажите состав электролита для анодирования алюминиевой пластины. В ответе приведите формулу основного компонента электролита.
2. Опираясь на раздаточный материал, укажите молярную концентрацию электролита для анодирования алюминиевой пластины. В ответе укажите значение концентрации в **моль/л** с точностью до десятых без единиц измерения.
3. Опираясь на раздаточный материал, укажите температуру электролита для анодирования алюминиевой пластины. В ответе укажите значение температуры в **°С** с точностью до целых без единиц измерения.
4. Опираясь на раздаточный материал, укажите время необходимое для анодирования алюминиевой пластины. В ответе укажите значение времени в **минутах** с точностью до целых без единиц измерения.
5. Опираясь на раздаточный материал, укажите напряжение необходимое для анодирования алюминиевой пластины. В ответе укажите значение напряжения в **В** с точностью до целых без единиц измерения.

#### **Ответ:**

1.  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .
2. 0,3 моль/л.
3. 20 °С.
4. 5 мин.
5. 108 В.

## Задача IV.2. Анодирования (20 баллов)

Темы: аномирование, наноструктурирование, химические технологии.

### Условие

Для создания наноматериала необходимо получить на поверхности пластины алюминия регулярные отверстия с диаметром 100 нм, глубиной 1000 нм. Вычислите, как изменится масса алюминиевой пластины в ходе анодирования при формировании на её поверхности указанных выше отверстий со степенью покрытия поверхности отверстиями в 30%, плотность алюминия принять  $2,7 \text{ г/см}^3$ , плотность оксида алюминия  $3,95 \text{ г/см}^3$ , длина обрабатываемой части пластины 3 см, ширина 2 см, толщина пластины составляет 100 мкм. Пластина опущена в электрохимическую ячейку короткой стороной, и обработка происходит по всей погруженной в электролит поверхности пластины. Наличием на поверхности пластины алюминия до обработки оксидной пленки можно пренебречь. Толщину оксидного слоя на поверхности алюминия после обработки считать равным 40 нм. Вся необходимая информация по технологическим особенностям процессам анодирования алюминия приведена в раздаточном материале. При решении все промежуточные значения округляйте до второго знака после запятой. Ответ дайте в мг в виде целого числа без единиц измерения.

### Решение

Находим площадь всей поверхности пластины, которая будет подвергаться анодированию:

$$S_{\text{пластины}} = l_a \cdot l_b \cdot 2 + l_a \cdot l_c \cdot 2 + l_b \cdot l_c = 3 \cdot 2 \cdot 2 + 3 \cdot 0,01 \cdot 2 + 2 \cdot 0,01 = 12 + 0,6 + 0,2 = 12,8 \text{ см}^2.$$

Далее находим изначальную массу обрабатываемой части пластины:

$$m_1 = V_{\text{пластины}} \cdot \rho_{\text{Al}} = 3 \cdot 2 \cdot 0,01 \cdot 2,7 = 0,162 \text{ г}.$$

Далее находим площадь, занимаемую одним отверстием на поверхности и количество всех отверстий на поверхности:

$$S_{\text{отверстия}} = \pi d^2 / 4 = 7,85 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2.$$

$$n_{\text{отверстий}} = \omega \cdot S_{\text{пластины}} / (S_{\text{отверстия}} \cdot 100\%) = 4,89 \cdot 10^{10}.$$

Далее необходимо рассчитать изменение объема алюминия и изменение объема оксида алюминия в результате образования наноперфорированного анодного слоя:

$$V_{\text{Al}(2)} = V_{\text{Al}(1)} - \Delta V_{\text{Al}} = 0,06 - 0,0129 = 0,0587 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \Delta V_{\text{Al}} - V_{\text{отверстия}} \cdot n_{\text{отверстий}} = 0,0129 - 3,82 \cdot 10^{-4} = 9,08 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3.$$

Наконец находим массу анодированной части пластинки и разницу с изначальной массой:

$$m_2 = V_{\text{Al}(2)} \cdot \rho_{\text{Al}} + V_{\text{Al}_2\text{O}_3} \cdot \rho_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,0587 \cdot 2,7 + 9,08 \cdot 10^{-4} \cdot 3,95 = 0,162 \text{ г}.$$

$$\Delta m = m_2 - m_1 = 0,162 - 0,162 = 0 \text{ г} = 0 \text{ мг}.$$

Ответ: 0.

---

### Задача IV.3. Удельная площадь (10 баллов)

Темы: анодирование, наноструктурирование, химические технологии.

#### Условие

Для создания наноматериала необходимо получить на поверхности пластины алюминия регулярные отверстия с диаметром 100 нм, глубиной 1000 нм. Определите удельную площадь поверхности образца в  $\text{см}^2/\text{г}$ , для этого используйте данные из предыдущего пункта. При решении все промежуточные значения округляйте до второго знака после запятой. Ответ дайте в виде числа с точностью до сотых без единиц измерения.

#### Решение

Из предыдущей части мы можем взять полученные значения площади поверхности алюминиевой пластины до обработки, массы пластины после анодирования и числа отверстий на её поверхности.

Находим площадь стенки одного отверстия:

$$S = h \cdot \pi \cdot d = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-5} = 3,14 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2.$$

Далее находим полную площадь поверхности и удельную массовую площадь поверхности:

$$S = S_{\text{Al}} + S \cdot n = 12,08 + 3,14 \cdot 10^{-9} \cdot 4,89 \cdot 10^{10} = 165,63 \text{ см}^2.$$

$$S = S/m = 165,63/0,162 = 1022,41 \text{ см}^2/\text{г}.$$

Ответ:  $1022,41 \pm 51,1$ .

### Задача IV.4. Наноструктурированные поверхности (10 баллов)

Темы: анодирование, наноструктурирование, химические технологии.

#### Условие

Для создания наноматериала необходимо получить на поверхности пластины алюминия регулярные отверстия с диаметром 100 нм, глубиной 1000 нм.

Заполните пропуски.

В процессе \_\_\_\_\_<sup>1</sup> на поверхности алюминиевой пластины образуются наноразмерные отверстия. За счет таких отверстий \_\_\_\_\_<sup>2</sup> гидрофильность обрабатываемой поверхности. При попадании на такую поверхности капли воды, она будет \_\_\_\_\_<sup>3</sup>.

Ответ: 1 — анодирования, 2 — усиливаться (увеличиваться), 3 — растекаться.

---

### Задача IV.5. Гидрофобизация (10 баллов)

Темы: анодирование, наноструктурирование, химические технологии.

#### Условие

Для создания наноматериала необходимо получить на поверхности пластины алюминия регулярные отверстия с диаметром 100 нм, глубиной 1000 нм. На поверхность полученного материала был нанесён гидрофобизатор. Краевой угол смачивания этой поверхности водой составил  $136^\circ$ , а поверхностное натяжение воды составляет  $72 \text{ мДж/м}^2$ .

1. Вычислите работу адгезии. При решении все промежуточные значения округляйте до второго знака после запятой. Ответ дайте в  $\text{мДж/м}^2$  в виде двух чисел с точностью до сотых без единиц измерения.
2. Вычислите коэффициент растекания воды. При решении все промежуточные значения округляйте до второго знака после запятой. Ответ дайте в  $\text{мДж/м}^2$  в виде двух чисел с точностью до сотых без единиц измерения.

#### Решение

Находим работу адгезии:

$$W_A = \sigma \cdot (1 + \cos \theta) = 72 \cdot (1 + \cos 136^\circ) = 20,21 \text{ мДж/м}^2.$$

Находим коэффициент растекания воды:

$$f = W_A - W_K = W_A - 2 \cdot \sigma = 20,21 - 2 \cdot 72 = -123,79 \text{ мДж/м}^2.$$

Ответ: 1 —  $20,21 \pm 1,01$ , 2 —  $-123,79 \pm 6,18$ .

### Задача IV.6. Адсорбция гидрофобизатора (30 баллов)

Темы: поверхностные явления, адсорбция, гидрофобизация.

#### Условие

Удельная площадь поверхности адсорбента — наноперфорированной поверхности алюминия составляет  $150 \text{ см}^2/\text{г}$ . При введении 1 г адсорбента в 100 мл раствора пентилтриэтоксисилана концентрация гидрофобизатора изменяется от начальной  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л до конечной равновесной  $6 \cdot 10^{-5}$  моль/л, а при добавлении 2 г адсорбента к такому же исходному раствору равновесная концентрация составила  $4 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Считая, что адсорбция имеет химическую природу, найдите площадь, занимаемую одной молекулой адсорбированного гидрофобизатора. При решении все промежуточные значения округляйте до второго знака после запятой. Полученное в ходе расчета значение будет представлять собой следующую запись  $a \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ . В ответ запишите значение  $a$  с точностью до сотых.

---

### *Решение*

Химическая адсорбция происходит по теории Ленгмюра, поэтому рассчитываем максимальную адсорбцию следующим образом:

$$A_1 = (C_0 - C_1) \cdot V_{\text{рас-ра}}/m_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/г.}$$

$$A_2 = (C_0 - C_2) \cdot V_{\text{рас-ра}}/m_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ моль/г.}$$

$$A_{\text{max}} = (C_1 - C_2)/(C_1/A_1 - C_2/A_2) = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ моль/г.}$$

Далее можем найти площадь, занимаемую одной молекулой адсорбированного гидрофобизатора:

$$S_0 = S_{\text{уд}}/(N_A \cdot A_{\text{max}}) = 2,08 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2.$$

**Ответ:**  $2,08 \pm 0,10$ .