

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей и неорганической химии

Г.В. Киселева  
С.В. Смирнов

## **МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 220301 – Автоматизация  
технологических процессов и производств.  
Направление 220300 Автоматизация процессов и производств

Екатеринбург  
2008

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЭФ.  
Протокол № 1 от 15. 10. 2007 г.

Рецензент доцент кафедры ОНХ Е.Ю. Антоненко

Редактор Н.А. Майер

Оператор А.А. Сидорова

---

Подписано в печать 27.03.08.

Плоская печать

Заказ №

Формат 60x84 1/16

Печ. л. 1,63

Поз. 64

Тираж 70 шт.

Цена 5р. 00к.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ

Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
Требования к оформлению отчетов по лабораторным работам	4
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	5
СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА	6
Лабораторная работа 1. Строение электронных оболочек и магнитные свойства атомов и ионов	10
Лабораторная работа 2. Химическая связь и строение кристаллов	12
Лабораторная работа 3. Строение кристаллов и энергия кристаллической решетки	13
ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА	15
Лабораторная работа 4. Гальванические элементы	17
Лабораторная работа 5. Топливный и концентрационный гальванические элементы	19
Лабораторная работа 6. Наливные источники тока	20
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОКА	21
Лабораторная работа 7. Химическое «травление» печатных плат	23
Лабораторная работа 8. Электролиз водных растворов неорганических солей	23
Лабораторная работа 9. Электрохимическая металлизация изделий	25

## ВВЕДЕНИЕ

Курс «Материалы электронной техники» предназначен для развития у студентов понятий и навыков:

- о конденсированных химических системах, о кристаллическом состоянии и реакционной способности веществ;
- о физико-химических методах изучения состава и свойств веществ;
- о новейших открытиях естествознания, перспективах их использования для построения технических устройств;
- о физико-химическом моделировании;
- о последствиях своей профессиональной деятельности с точки зрения единства биосферы и биосоциальной природы человека.

Для изучения основных разделов курса «Материалы электронной техники» достаточно объема материала, полученного при изучении следующих дисциплин основной образовательной программы специальности: химия, математика, информатика, физика. Базовые знания по общей, неорганической и органической химии студенты получают в рамках среднего или среднего профессионального образования. Дополнительные разделы, связанные с технологией электронных материалов и приборов, приобретаются студентами параллельно с изучаемым курсом.

Лабораторные работы являются одной из важнейших составных частей курса. Студентам предлагается рассмотреть на занятиях электронное строение металлов, полупроводников и диэлектриков с позиций современной теории строения вещества, химическое строение реальных кристаллов, типы кристаллических решеток и характер нарушений регулярной структуры, энергетические характеристики кристаллических решеток. Основные вопросы лабораторного практикума связаны с химическими свойствами металлов и их соединений, в том числе с электрохимическими процессами: «Электролиз расплавов и растворов электролитов», «Химические источники тока» («Концентрационный и топливный элементы»), «Аккумуляторы», «Методы обработки печатных плат» и «Гальванические методы нанесения металлических покрытий».

Лабораторные работы выполняются по индивидуальным вариантам.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Отчет по каждой лабораторной работе должен оформляться на персональном компьютере<sup>1</sup> и содержать следующие разделы:

---

<sup>1</sup> Допускается сдача отчетов по выполненным лабораторным работам в электронном варианте без распечатки или на бумажных носителях.

1. Номер, название, цель и задачи лабораторной работы.
2. Теоретические предпосылки, фундаментальные законы и положения, характеристика объектов исследования.
3. Краткое описание алгоритма решения задач с приведением расчетных формул, уравнений реакций и схем технологических процессов.
4. Исходные данные и результаты решения задач, оформленные в виде уравнений, алгоритмов, таблиц, графиков с краткими пояснениями.
5. Выводы по работе или по каждому выполненному разделу.
6. Заключение преподавателя по представленному отчету.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Ормонт, Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников [Текст] / Б.Ф. Ормонт. М.: Высш. шк., 1973.
2. Угай, Я.А. Введение в химию полупроводников [Текст] / Я.А. Угай. М.: Высш. шк., 1965.
3. Практикум по неорганической химии [Текст] / под ред. А.Ф. Воробьева и С.И. Дракина. М.: Высш. шк., 2006.
4. Бушманов, Б.Н. Физика твердого тела [Текст] / Б.Н. Бушманов, Ю.А. Хромов. М.: Высш. шк., 1971.

### Дополнительная

1. Карапетьянц, М.Х. Общая и неорганическая химия [Текст] / М.Х. Карапетьянц, С.И. Дракин. М.: Химия, 2006.
2. Рэмсен, Э.Н. Начала современной химии [Текст] / Э.Н. Рэмсен. Л.: Химия, 1989.
3. Сюше. Физическая химия полупроводников [Текст] / Сюше. М.: ИЛ, 1965.
4. Слейбо, Ц. Общая химия [Текст] / Ц. Слейбо, Т. Персонс. М.: Мир, 1979.
5. Бокий, Г.П. Кристаллохимия [Текст] / Г.П. Бокий. М.: Наука, 1971.
6. Хенней, Н. Химия твердого тела [Текст] / Н. Хенней. М.: Мир, 1971.
7. Горелик, С.С. Материаловедение полупроводников и металловедение [Текст] / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. М.: Metallургия, 1973.

### Методические разработки кафедры

1. Смирнов, С.В. Влияние кислотности среды на растворимость солей слабых кислот [Текст] / С.В. Смирнов [и др.]. Екатеринбург, 1988.
2. Смирнов, С.В. Моделирование процессов растворения кристаллических веществ в водных растворах солей и кислот [Текст] / С.В. Смирнов, Г.В. Киселева, А.С. Еремян. Екатеринбург, 1996.

3. Нечаев, А.В. Общие свойства металлов [Текст] / А.В. Нечаев. Екатеринбург, 1993.
4. Нечаев, А.В. Электрохимические источники тока [Текст] / А.В. Нечаев. Екатеринбург, 1990.
5. Смирнов, С.В. Изучение гетерогенных равновесий в насыщенных водных растворах солей и кислот [Текст] / С.В. Смирнов, Г.В. Киселева. Екатеринбург, 1996.
6. Смирнов, С.В. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по курсу «Химия» и «Материалы электронной техники» [Текст] / С.В. Смирнов, Г.В. Киселева. Екатеринбург, 1998.
7. Киселева, Г.В. Контроль и управление химическими, технологическими и экологическими процессами [Текст] / Г.В. Киселева, А.И. Бабин, С.В. Смирнов. Екатеринбург, 1999.

## СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

Магнитные свойства веществ, на которых основана работа модулей памяти, преобразователей энергии и т.п., связаны с наличием неспаренных электронов, т.е. электронов, для которых на одной с ним орбитали нет электрона с противоположно направленным спином. Количество неспаренных электронов  $n$  определяет эффективный магнитный момент атома или иона (в магнетонах Бора, МБ):

$$\mu_{\text{эфф}} = g \cdot \sqrt{s(s+1)} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \sqrt{n(n+2)},$$

где  $g$  — фактор Ланде (для «свободного» электрона равен 2).

С переходом неспаренных электронов атомов с одного энергетического подуровня на другой связаны также оптические свойства веществ. В технологии современных магнитных и оптических материалов широкое распространение получили элементы и их соединения, относящиеся к металлам побочных подгрупп:  $3d$ - и  $4f$ -элементы.

Металлы, в отличие от других кристаллических тел, обладают характерными физическими свойствами и более плотными кристаллическими структурами. Металлические кристаллы обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью, а кристаллические структуры удовлетворяют требованиям плотнейших упаковок и характеризуются большими координационными числами (КЧ, которые чаще принимают значения 6, 8, 12). Для металлической связи характерно, что каждый атом стремится окружить себя максимально возможным числом соседних атомов. Строение металлов можно представить как совокупность положительно заряженных ионов (атомных остовов кристаллической структуры), между которыми более или менее свободно перемещаются валентные электроны.

В ряде случаев поведение этих электронов удается описать газовыми законами, что дает основание называть их «электронный газ».

В полупроводниках химическая связь при низких температурах почти целиком ковалентная, а с повышением температуры к этой связи все более примешивается металлическая связь.

Ионные кристаллы имеют, как и металлы, ненаправленные связи за счет электростатического взаимодействия катионов металлов и анионов неметаллов. Но в отличие от металлов в ионных кристаллах валентные электроны атомов металла переходят в валентную зону, образованную  $s$ - и  $p$ -орбиталями неметалла.

По характеру взаимодействия с внешним магнитным полем различают парамагнитные и диамагнитные вещества. Парамагнитные вещества втягиваются в магнитное поле, а диамагнитные выталкиваются из него. Различия в магнитных свойствах веществ связаны с электронным строением их составных частей - атомов, ионов или молекул.

Если частица диамагнитная, то все электроны в ней спарены, их магнитные моменты взаимно скомпенсированы и суммарный магнитный момент равен нулю ( $\mu=0$ ). Парамагнитная частица содержит один или несколько неспаренных электронов, ее суммарный магнитный момент отличен от нуля ( $\mu\neq 0$ ). С увеличением числа неспаренных электронов величина магнитного момента возрастает.

Магнитные свойства комплексных частиц достаточно хорошо описываются с позиций теории кристаллического поля, в соответствии с которой комплексообразователь находится в электростатическом поле, создаваемом лигандами. Лигандами при этом являются анионы или полярные молекулы (вода, аммиак и т.п.). Характер расщепления  $d$ -орбиталей комплексообразователя определяется симметрией пространственного распределения электронной плотности, создаваемой лигандами.

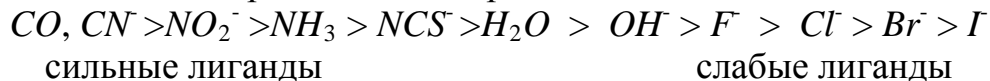
Для  $3d$ -элементов характерна октаэдрическая ( $KЧ=6$ ) или тетраэдрическая ( $KЧ=4$ ) симметрия пространственного расположения лигандов. Под воздействием электростатического поля, создаваемого расположенными по вершинам октаэдра лигандами, пятикратно вырожденный  $3d$ -подуровень расщепляется на триплет ( $d_{\epsilon}$ - орбитали) с более низкой энергией и дублет ( $d_{\gamma}$ - орбитали) с более высокой энергией по отношению к энергии исходных  $3d$ -орбиталей. Разность между энергиями  $d_{\epsilon}$ - и  $d_{\gamma}$ -подуровней называется энергией расщепления  $\Delta$  и определяется природой лигандов. В случае тетраэдрического расщепления  $d_{\epsilon}$ -орбитали имеют более высокую энергию, а  $d_{\gamma}$ -орбитали — более низкую энергию по отношению к энергии исходных  $3d$ -орбиталей.

В сильном кристаллическом поле ( $\Delta$  значительно больше энергии теплового возбуждения электронов) заполнение подуровня с большей энергией ( $d_{\gamma}$ - при октаэдрической и  $d_{\epsilon}$ - при тетраэдрической симметрии) может

начаться только после заполнения всех состояний подуровня более низкой энергией ( $d_{\epsilon}$ - и  $d_{\gamma}$ - для октаэдрического и тетраэдрического кристаллических полей соответственно).

В случае слабого кристаллического поля лигандов ( $\Delta$  невелико, и электроны за счет энергии теплового возбуждения легко переходят с  $d_{\epsilon}$ - на  $d_{\gamma}$ -орбитали) заполнение  $3d$ -орбиталей происходит в полном соответствии с правилом Хунда, т.е. реализуется состояние с максимально возможным значением спина иона или атома. В этом случае спиновое состояние комплексообразователя совпадает со спиновым состоянием свободного иона или атома. Табл. 1 содержит данные о спиновом состоянии атомов или ионов с разным числом  $3d$ -электронов в кристаллических полях октаэдрической и тетраэдрической симметрии.

В случае сильного октаэдрического поля имеющиеся пять  $d$ -электронов располагаются только на  $d$ -орбиталях, причем неспаренным остается лишь один электрон. При числе  $d$ -электронов, равном десяти, все  $d$ -состояния заполнены, и знание силы поля лигандов не является существенным для уточнения вклада в магнитное состояние иона (любые заполненные электронные оболочки приводят к универсальному диамагнитному вкладу в магнитную восприимчивость). Абсолютная величина кристаллического поля зависит и от конкретного типа лигандов, которые в порядке убывания величины вызываемого ими расщепления энергетических уровней располагают в спектрохимический ряд:



Лиганды, расположенные в конце спектрохимического ряда (лиганды слабого поля,  $I^-$ ), вызывают малое расщепление энергии  $d$ -подуровня. В этой ситуации энергия взаимного отталкивания двух спаренных электронов оказывается более высокой, чем энергия расщепления.

Таблица 1

Спиновое состояние  $3d$ -подуровня в кристаллическом поле

Число $3d$ -электронов	Суммарный спин $S$ центрального иона или атома, ед. $\hbar$			
	Октаэдрическое поле		Тетраэдрическое поле	
	сильное	слабое	сильное	слабое
1	1/2	1/2	1/2	1/2
2	1	1	1	1
3	3/2	3/2	1/2	3/2
4	1	2	0	2
5	1/2	5/2	1/2	5/2
6	0	2	1	2
7	1/2	3/2	3/2	3/2
8	1	1	1	1
9	1/2	1/2	1/2	1/2
10	0	0	0	0



Лиганды, расположенные в начале спектрохимического ряда (лиганды сильного поля,  $\text{CO}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), вызывают значительное расщепление d-подуровня. В этом случае энергия расщепления превышает энергию межэлектронного отталкивания спаренных электронов. Поэтому заполнение d-орбиталей осуществляется с помощью модифицированного правила Хунда.

Лиганды из середины ряда могут приводить к сильному или слабому кристаллическому полю в зависимости от симметрии поля. Поэтому без выполнения квантово-химических расчетов не всегда можно предсказать вариант заполнения электронных состояний.

Твердые тела находятся либо в аморфном, либо в кристаллическом состоянии. Аморфное состояние характеризуется неупорядоченным, а кристаллическое – упорядоченным пространственным расположением атомов или молекул, составляющих данное тело. В 1813 г. было предложено рассматривать молекулы в виде шаров или математических точек, и в результате было создано представление о пространственной решетке кристалла, или кристаллической решетке.

В зависимости от вида частиц, находящихся в узлах кристаллической решетки, и природы химической связи между ними различают несколько типов кристаллических решеток: атомная (алмаз, кремний, карбиды и т.п.), в узлах которой находятся электронейтральные атомы, соединенные между собой ковалентными связями; молекулярная (многие органические вещества, твердые водород, хлор, диоксид углерода и др.) содержит в узлах молекулы, связанные друг с другом межмолекулярными силами; ионная (галогениды щелочных и щелочно-земельных металлов, многие комплексные соединения и т.п.), в узлах которой чередуются положительные и отрицательные ионы; металлическая (все металлы) состоит из положительных ионов металлов, находящихся в узлах кристаллической решетки, между которыми перемещаются валентные электроны.

Измеряя расстояние между узлами кристаллической решетки, получают информацию о радиусах атомов, составляющих данный кристалл. В зависимости от природы химической связи, характерной для структуры данного кристалла, различают атомные, ковалентные, ионные, металлические и т.п. радиусы атомов или ионов.

Для расчета энергии кристаллической решетки  $U_{к.р}$  (кДж/моль) ионных кристаллов наиболее удобно пользоваться формулой А.Ф. Капустинского:

$$U_{к.р} = \frac{AbZ_k Z_A}{r_k + r_A}, \quad (1)$$

где  $A$  – постоянная величина, которую при упрощенных расчетах принимают равной 107,2 кДж·нм/моль;  $b$  – число ионов, содержащееся в

молекуле соли;  $Z_k$  и  $Z_A$  и  $r_k$ ,  $r_A$  – заряды и радиусы катионов и анионов по Гольдшмидту, соответственно (нм).

Несмотря на то, что формула Капустинского содержит ряд допущений, она дает достаточно хорошие результаты, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными данными. Это связано с тем, что неточности расчетов компенсируются отклонением реальных значений  $U_{к.р.}$  от теоретических, в частности из-за наличия в рассматриваемых веществах определенной доли ковалентной связи. Расчеты по формуле Капустинского просты и широко используются в различных областях химии и физики.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 СТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБОЛОЧЕК И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АТОМОВ И ИОНОВ

В данной работе студентам предлагается изучить связь электронного строения атомов и ионов, а также характер химических связей в простых веществах с их магнитными свойствами. Варианты индивидуальных заданий приведены в табл. 2.

### Задание 1

Для атомов, номера которых указаны в таблице заданий № 1, запишите электронное строение внешних валентных оболочек.

К какому семейству (главные подгруппы: s-, p-; побочные подгруппы: d-, f-) относятся данные элементы?

Исходя из положения в периодической таблице, укажите, какой характер химических связей характерен для простых веществ.

### Задание 2

Для атомов, номера которых указаны в таблице заданий № 1, запишите электронное строение внешних валентных оболочек.

Какие электроны в первую очередь участвуют в образовании химических связей с другими атомами? Запишите электронные конфигурации соответствующих двухзарядных ионов.

### Задание 3

Для атома, номер которого указан в таблице заданий № 1, запишите электронное строение внешней валентной оболочки, а также электронное строение иона с зарядом « $Z+$ ».

Рассчитайте эффективный магнитный момент соответствующего «свободного» иона, принимая во внимание, что магнитные свойства определяются только спиновой составляющей.

### Задание 4

Для значения эффективного магнитного момента «свободного» иона, определяемого только спиновой составляющей, запишите электронное строение внешней оболочки иона с зарядом « $Z+$ » и номером элемента « $N$ ».

Таблица 2

#### Индивидуальные задания по теме «Строение электронных оболочек и магнитные свойства атомов и ионов»

Вариант	Порядковые номера атомов		Задание 3		Задание 4	
	Задание 1	Задание 2	Номер атома	$Z+$	$\mu_{\text{эфф}}$ , МБ	$Z+$
1	31, 42, 62	22, 53	27	2	2,83	3
2	32, 43, 64	23, 52	28	2	3,87	3
3	33, 40, 60	21, 34	29	2	4,90	3
4	51, 22, 59	24, 35	24	3	5,92	3
5	52, 43, 58	25, 31	25	2	4,90	2
6	53, 21, 66	26, 32	22	2	5,92	2
7	49, 23, 67	27, 33	28	2	3,87	2
8	50, 32, 68	29, 34	23	2	1,73	2
9	51, 31, 70	30, 35	26	3	1,73	3
10	31, 42, 62	21, 34	22	2	2,83	2
11	32, 43, 64	24, 35	28	2	2,83	3
12	33, 40, 60	25, 31	23	2	3,87	3
13	51, 22, 59	24, 35	26	3	4,90	3
14	52, 43, 58	23, 52	22	2	5,92	3
15	53, 21, 66	22, 53	28	2	4,90	2
16	49, 23, 67	24, 35	26	2	5,92	2
17	50, 32, 68	21, 34	25	2	3,87	2
18	51, 31, 70	24, 35	22	2	1,73	2
19	31, 42, 62	25, 31	28	2	1,73	3
20	31, 42, 62	21, 34	22	2	2,83	2
21	52, 44, 58	25, 31	25	2	4,90	2
22	51, 32, 70	30, 35	26	3	1,73	3
23	50, 24, 59	24, 35	26	3	4,90	3
24	53, 21, 66	22, 53	28	2	4,90	2

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ И СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ

В данной работе студентам предлагается рассмотреть некоторые характерные структуры кристаллов для металлов и полупроводников и дать сравнительную оценку относительных размеров составляющих их атомов. Варианты индивидуальных заданий приведены в табл. 3.

### Задание 1

Для металла, указанного в таблице вариантов, нарисуйте расположение атомов в элементарной кубической ячейке.

Укажите координационное число (количество ближайших атомов) металла в данной кристаллической структуре. Какие валентные электроны образуют так называемый «электронный газ»?

### Задание 2

Для полупроводника, указанного в таблице вариантов, нарисуйте расположение атомов в элементарной кубической ячейке.

Укажите координационное число (количество ближайших атомов) металла в данной кристаллической структуре. Какие электроны участвуют в образовании химических связей с другими атомами?

### Задание 3

Для соединения, указанного в таблице вариантов, нарисуйте расположение атомов в элементарной кубической ячейке.

Запишите значения электроотрицательностей атомов и укажите тип химической связи между ними. Дайте сравнительную оценку относительных размеров атомов в кристалле вещества.

Таблица 3

### Индивидуальные задания по теме «Химическая связь и строение кристаллов»

Вариант	Задание 1		Задание 2		Задание 3	
	Металл	Тип кристаллической решетки	Полупроводник	Тип решетки	Вещество	Тип решетки
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1	<i>Li</i>	оцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>TiO</i>	<i>NaCl</i>
2	<i>Ca</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>PbS</i>	<i>NaCl</i>
3	<i>Ti</i>	оцк	<i>α-Sn</i>	алмаз	<i>MgO</i>	<i>NaCl</i>
4	<i>Na</i>	оцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>TiN</i>	<i>NaCl</i>

1	2	3	4	5	6	7
5	<i>Fe</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>CaO</i>	<i>NaCl</i>
6	<i>Fe</i>	оцк	$\alpha$ - <i>Sn</i>	алмаз	<i>TiC</i>	<i>NaCl</i>
7	<i>K</i>	оцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>SrO</i>	<i>NaCl</i>
8	<i>Sr</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>CsBr</i>	<i>CsCl</i>
9	<i>Ba</i>	оцк	$\alpha$ - <i>Sn</i>	алмаз	<i>RbCl</i>	<i>CsCl</i>
10	<i>Ta</i>	оцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>CsI</i>	<i>CsCl</i>
11	<i>Co</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>CdS</i>	<i>ZnS</i>
12	<i>Cr</i>	оцк	$\alpha$ - <i>Sn</i>	алмаз	<i>AlP</i>	<i>ZnS</i>
13	<i>V</i>	оцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>GaAs</i>	<i>ZnS</i>
14	<i>Ni</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>AlAs</i>	<i>ZnS</i>
15	<i>Cu</i>	гцк	$\alpha$ - <i>Sn</i>	алмаз	<i>CdTe</i>	<i>ZnS</i>
16	<i>Al</i>	гцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>AlSb</i>	<i>ZnS</i>
17	<i>Pb</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>CSi</i>	<i>ZnS</i>
18	<i>Ag</i>	гцк	$\alpha$ - <i>Sn</i>	алмаз	<i>GaP</i>	<i>ZnS</i>
19	<i>Tl</i>	оцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>TiN</i>	<i>NaCl</i>
20	<i>Pt</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>CaO</i>	<i>NaCl</i>
21	<i>Nb</i>	оцк	$\alpha$ - <i>Sn</i>	алмаз	<i>TiC</i>	<i>NaCl</i>
22	<i>W</i>	оцк	<i>Ge</i>	алмаз	<i>SrO</i>	<i>NaCl</i>
23	<i>Au</i>	гцк	<i>Si</i>	алмаз	<i>CsBr</i>	<i>CsCl</i>
24	<i>Zr</i>	оцк	$\alpha$ - <i>Sn</i>	алмаз	<i>RbCl</i>	<i>CsCl</i>

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ И ЭНЕРГИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ

В данной работе студентам предлагается изучить химическую связь для комплексных ионов, предсказать их магнитные свойства, рассчитать значение энергии кристаллической решетки металлов и ионных кристаллов и сделать их сравнение. Варианты индивидуальных заданий приведены в табл. 4.

#### Задание 1

1. Постройте примерную схему расщепления 3d-орбиталей для заданного катиона, находящегося в октаэдрическом кристаллическом поле, создаваемым лигандами.

2. Учитывая заданное спиновое состояние катиона d-металла (низко- или высокоспиновое) и схему расщепления d-подуровня кристаллическим полем лигандов, укажите, как распределяются электроны по 3d-орбиталям.

3. Определите число неспаренных d-электронов катиона металла и предскажите теоретическое значение его эффективного магнитного момента.

## Задание 2

1. Пользуясь значениями энергии Ферми из задания, рассчитайте теоретическую энергию связи между атомами заданных металлов.

2. Рассчитайте приблизительное значение энергии кристаллической решетки металлов в кДж/моль.

## Задание 3

1. Пользуясь данными, приведенными в задании и в соответствующих методических указаниях, рассчитайте теоретическую энергию кристаллической решетки ионных кристаллов по Формуле Капустинского.

2. Сравните рассчитанные значения энергий кристаллических решеток металлов и ионных кристаллов. Сделайте вывод о прочности металлической и ионной химических связей. От каких факторов она зависит?

Таблица 4

Индивидуальные задания по теме «Строение кристаллов и энергия кристаллической решетки»

Вариант	Задание 1		Задание 2		Задание 3
	Комплекс	Тип	Металл	$E_F$ , эв/атом	Соль
1	$[Cr(H_2O)_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	<i>Li</i>	4,74	<i>LiCl</i>
			<i>Na</i>	3,16	<i>NaCl</i>
2	$[Mn(H_2O)_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	<i>Cu</i>	7,1	<i>CuCl_2</i>
			<i>K</i>	2,06	<i>KCl</i>
3	$[Mn(H_2O)_6]^{3+}$	Высоко-спиновый	<i>Na</i>	3,16	<i>NaI</i>
			<i>K</i>	2,06	<i>KI</i>
4	$[Fe(H_2O)_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	<i>Na</i>	3,16	<i>NaBr</i>
			<i>Rb</i>	1,53	<i>RbBr</i>
5	$[Fe(H_2O)_6]^{3+}$	Высоко-спиновый	<i>Cu</i>	7,1	<i>Cu(NO_3)_2</i>
			<i>Ag</i>	5,52	<i>AgNO_3</i>
6	$[CoF_6]^{3-}$	Высоко-спиновый	<i>Li</i>	4,74	<i>AgNO_3</i>
			<i>Cu</i>	7,1	<i>Cu(NO_3)_2</i>
7	$[Co(H_2O)_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	<i>Na</i>	3,16	<i>NaI</i>
			<i>K</i>	2,06	<i>KI</i>
8	$[Co(NH_3)_6]^{3+}$	Низко-спиновый	<i>Na</i>	3,16	<i>NaBr</i>
			<i>Rb</i>	1,53	<i>RbBr</i>
9	$[Fe(CN)_6]^{4-}$	Низко-спиновый	<i>Cu</i>	7,1	<i>Cu(NO_3)_2</i>
			<i>Ag</i>	5,52	<i>AgNO_3</i>
10	$[Fe(CN)_6]^{3-}$	Низко-спиновый	<i>Li</i>	4,74	<i>LiCl</i>
			<i>Na</i>	3,16	<i>NaCl</i>
11	$[CoF_6]^{3-}$	Высоко-спиновый	<i>Cu</i>	7,1	<i>CuCl_2</i>
			<i>K</i>	2,06	<i>KCl</i>
12	$[Co(H_2O)_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	<i>Na</i>	3,16	<i>NaI</i>
			<i>K</i>	2,06	<i>KI</i>

1	2	3	4	5	6
13	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	Низко-спиновый	Na	3,16	NaBr
			Rb	1,53	RbBr
14	$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	Cu	7,1	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
			Ag	5,52	$\text{AgNO}_3$
15	$[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	Li	4,74	$\text{AgNO}_3$
			Cu	7,1	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
16	$[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$	Высоко-спиновый	Na	3,16	NaI
			K	2,06	KI
17	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	Na	3,16	NaBr
			Rb	1,53	RbBr
18	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$	Высоко-спиновый	Cu	7,1	$\text{CuCl}_2$
			K	2,06	KCl
19	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	Низко-спиновый	Na	3,16	NaI
			K	2,06	KI
20	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$	Высоко-спиновый	Na	3,16	NaBr
			Rb	1,53	RbBr
21	$[\text{CoF}_6]^{3-}$	Высоко-спиновый	Li	4,74	LiCl
			Na	3,16	NaCl
22	$[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	Высоко-спиновый	Cu	7,1	$\text{CuCl}_2$
			K	2,06	KCl
23	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	Низко-спиновый	Na	3,16	NaI
			K	2,06	KI
24	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	Низко-спиновый	Na	3,16	NaBr
			Rb	1,53	RbBr

## ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Химические источники тока (ХИТ) – устройства, в которых энергия протекающих в них окислительно-восстановительных реакций превращается в электрическую. Окислительно-восстановительные процессы пространственно разделены, и электроны, перемещающиеся по металлическим проводникам от восстановителя к окислителю, могут совершать работу. Процесс превращения химической энергии в электрическую называется «разрядом».

По характеру работы ХИТ подразделяются на первичные (гальванические элементы) и вторичные источники тока (аккумуляторы).

Гальванические элементы допускают лишь однократное использование. Полностью разряженный элемент к дальнейшей работе непригоден.

Электродвижущая сила (ЭДС) гальванического элемента определяется как разность между электродными потенциалами катода и анода и может быть рассчитана по уравнению:

$$E_s = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2}, \quad (2)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – активности реагирующих веществ и продуктов реакции.

Если известны термодинамические характеристики реакции, лежащей в основе работы гальванического элемента, то стандартную ЭДС можно рассчитать либо по значениям стандартной энергии Гиббса реакции

$$E_s = -\Delta G^0/nF, \quad (3)$$

либо по разности стандартных равновесных потенциалов катода (окислителя) и анода (восстановителя)

$$E^0 = E^0_{\text{окислителя}} - E^0_{\text{восстановителя}} \quad (4)$$

По мере работы элемента (разряда) возрастает его поляризация, уменьшается концентрация исходных реагентов и увеличивается концентрация продуктов реакции, что приводит к снижению потенциала катода и росту потенциала анода. Поэтому ЭДС гальванического элемента постепенно падает.

Если оба электрода гальванического элемента имеют одинаковую природу (выполнены из одного металла), но отличаются значением концентраций ионов в катодном и анодном растворах, то говорят о концентрационном гальваническом элементе. В соответствии с формулами (2)—(4) ЭДС концентрационного элемента зависит от соотношения активностей ионов.

Топливными элементами называют устройства, в которых в электрическую энергию непосредственно превращается химическая энергия непрерывно и раздельно подаваемых к электродам окислителя и восстановителя (топлива). В наиболее простом виде топливный элемент состоит из двух электродов, контакт между которыми осуществляется с помощью проводника, имеющего ионную проводимость. Электроды, как правило, содержат катализаторы и имеют высокоразвитую поверхность. Ионными проводниками служат водные растворы электролитов, ионо-обменные мембраны, расплавленные или твердые электролиты. Наиболее известны воздушно-водородные или воздушно-гидразиновые топливные элементы, в которых в качестве окислителя используют кислород воздуха, а восстановителями могут быть водород и гидразин  $N_2H_4$ . По составу образующихся продуктов эти элементы являются экологически безопасными. Экологически чистыми также являются топливные элементы, в которых роль окислителя выполняет пероксид водорода.

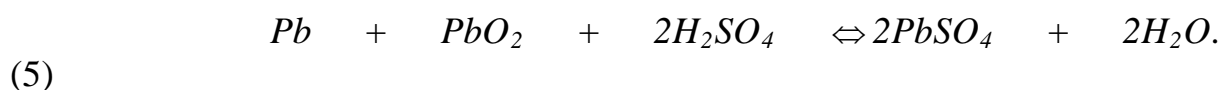
Химические источники тока в соответствии с конструктивными особенностями делятся на элементы с жидким электролитом и сухие элементы, содержащие невыливающийся электролит. На лабораторных занятиях изучаются используемые в практике химические источники тока с жидким электролитом.



Гальваническим элементом наливного типа является "Маячок-1", который используется, например, для недолговременного питания аварийных радиопередатчиков или сигнальных устройств в спасательных гидрокостюмах. Electroдами являются металлический магний и хлорид меди (I) в смеси с графитовым порошком, а в качестве электролита выступает морская вода ( $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ).

В отличие от гальванических элементов, работоспособность электрических аккумуляторов после разряда может быть восстановлена путем пропускания постоянного электрического тока от другого источника в направлении, противоположном тому, в котором протекал ток при разряде. Этот процесс называется зарядом аккумулятора. Если разряд аккумулятора вызывает превращение химической энергии в электрическую, а активные вещества при этом переходят в продукты разряда, то заряд аккумулятора превращает электрическую энергию в химическую, а продукты разряда – в первоначальные активные вещества.

Наиболее распространенными в настоящее время являются свинцовые аккумуляторы, в которых положительным электродом служит диоксид свинца, а отрицательным – металлический свинец. В качестве электролита применяют раствор серной кислоты, поэтому свинцовые аккумуляторы называют еще кислотными. В основе их работы лежит следующая окислительно-восстановительная реакция:



При вычислении ЭДС свинцового аккумулятора следует учитывать активные концентрации молекул серной кислоты ( $a_{H_2SO_4}$ ) и воды ( $a_{H_2O}$ ):

$$\Delta E_{PbO_2/Pb} = \Delta E_{PbO_2/Pb}^0 + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \left( \frac{a_{H_2SO_4}}{a_{H_2O}} \right)^2, \quad (6)$$

где  $R$  — универсальная газовая постоянная, а  $F$  — постоянная Фарадея.

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В данной работе студентам предлагается, используя набор металлических пластинок из  $Fe$ ,  $Ni$ ,  $Zn$ ,  $Cu$ ,  $Cd$  и растворов их солей, составить заданные гальванические элементы, провести измерения ЭДС и дать характеристику протекающих химических процессов.

##### Задание 1

В соответствии с таблицей заданий № 5, для металла 1 составьте гальванические элементы с металлами 2 и 3. Проведите измерение ЭДС и оп-

ределите направление тока, опишите анодные и катодные процессы, рассчитайте ЭДС при стандартных условиях и сравните ее с измеренным значением. Для гальванического элемента с меньшей ЭДС укажите:

- Как и за счет каких ионов изменяются концентрации солей в катодном и анодном растворах?
- Каким образом можно увеличить электрическую емкость гальванического элемента?

### Задание 2

В соответствии с таблицей заданий № 5, для металла 4 составьте два гальванических элемента, в одном из которых он является анодом, а в другом — катодом. Опишите анодные и катодные процессы, рассчитайте ЭДС при стандартных условиях.

### Выполнение работы

Гальванические элементы собирают из двух металлических электродов, помещенных в отдельные сосуды, заполненные соответствующими растворами солей. Со стороны раствора сосуды соединены электролитическим ключом, который в простейшем случае представляет U-образную стеклянную трубку, заполненную насыщенным раствором хлорида калия.

Подготовьте две электродные системы, состоящие из металлов, погруженных в растворы собственных солей. Сосуды для растворов предварительно вымойте проточной водой под краном, ополосните раствором соли соответствующего металла и залейте этот раствор на 2/3 их объема. Металлические стержни или пластинки, играющие роли катода и анода, тщательно зачистите наждачной бумагой, промойте проточной водой под краном и погрузите в сосуды с растворами соответствующих солей. Проследите, чтобы места спаев металлической пластины с проводником не касались раствора. Подключите проводники, подсоединенные к катоду и аноду, соответственно к отрицательной и положительной клеммам измерителя (вольтметра, потенциометра или потенциостата) и проведите отсчет напряжения по шкале прибора (в момент компенсации показания прибора близки к ЭДС).

Таблица 5

### Индивидуальные задания по теме «Гальванические элементы»

Номер по списку	Вариант	Задание 1		Задание 2	Задание 3	Задание 4
		Металл 1	Металлы 2, 3	Металл 4		
1, 10	1	<i>Zn</i>	<i>Ni, Fe</i>	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	<i>O<sub>2</sub></i>
2, 11	2	<i>Fe</i>	<i>Zn, Ni</i>	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i>

3, 12	3	<i>Cd</i>	<i>Zn, Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Cd</i>	$O_2$
4, 13	4	<i>Ni</i>	<i>Zn, Cd</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	$H_2O_2$
5, 14	5	<i>Cu</i>	<i>Zn, Fe</i>	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	$O_2$
6, 15	6	<i>Zn</i>	<i>Cd, Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Cd</i>	$H_2O_2$
7, 16	7	<i>Fe</i>	<i>Cu, Zn</i>	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	$O_2$
8, 17	8	<i>Cd</i>	<i>Fe, Cu</i>	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	$H_2O_2$
9, 18	9	<i>Ni</i>	<i>Fe, Cu</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>	$O_2$
10, 19	10	<i>Zn</i>	<i>Fe, Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	$H_2O_2$
11, 20	11	<i>Fe</i>	<i>Zn, Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	$O_2$
12, 21	12	<i>Cd</i>	<i>Zn, Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	$H_2O_2$
13, 22	13	<i>Ni</i>	<i>Zn, Cd</i>	<i>Ni</i>	<i>Cd</i>	$O_2$
14, 23	14	<i>Cu</i>	<i>Zn, Fe</i>	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	$H_2O_2$

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### ТОПЛИВНЫЙ И КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В данной работе изучаются принципы действия топливного и концентрационного гальванического элемента.

#### Задание 3

Используя заданный в таблице вариантов № 5 металл и растворы его соли с концентрациями 1 моль/л и 0,001 моль/л, составьте концентрационный гальванический элемент. Проведите измерение ЭДС и определите направление тока, опишите анодные и катодные процессы, рассчитайте ЭДС при стандартных условиях и сравните ее с измеренным значением. Укажите, как влияет разбавление раствора на значение электродного потенциала металлического электрода.

#### Задание 4

Составьте схему топливного элемента с угольными электродами, в котором в качестве восстановителя используется гидразин  $N_2H_4$ , а окислителем является заданный в таблице вариантов № 5 кислород или пероксид водорода. Запишите электронные уравнения анодного и катодного процессов, принимая во внимание что продуктами реакций являются азот и вода.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 НАЛИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

### Задание 5

Составьте схему гальванического элемента, электродами которого являются магний и хлорид меди (I) в смеси с графитовым порошком, а электролитом — раствор хлорида магния. Запишите электронные уравнения катодного и анодного процессов и вычислите примерное значение ЭДС при стандартных условиях.

### Задание 6

Составьте схему свинцового аккумулятора. Для разряда аккумулятора запишите электронные уравнения катодного и анодного процессов.

Используя формулу (6) и значения активных концентраций, приведенные в табл. 6, постройте зависимость электродного потенциала свинцового электрода в растворе серной кислоты от массовой доли серной кислоты в этом растворе (в координатах  $\omega_{H_2SO_4} - E_{PbO_2/Pb}$ ).

Определите по графику область растворов, для которых колебания плотности незначительно сказываются на ЭДС свинцового аккумулятора. Сделайте вывод, при каких значениях плотности серной кислоты наиболее целесообразно эксплуатировать свинцовый аккумулятор.

Таблица 6

Значения активности  $H_2SO_4$  и  $H_2O$  в растворах серной кислоты  
разной концентрации (при 25<sup>0</sup>С)

Плотность $H_2SO_4$ , кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля $H_2SO_4$ , %	Активные концентрации $H_2SO_4$ и $H_2O$ , моль/л		Плотность $H_2SO_4$ , кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля $H_2SO_4$ , %	Активные Концентрации $H_2SO_4$ и $H_2O$ , моль/л	
		$a_{H_2SO_4}$	$a_{H_2O}$			$a_{H_2SO_4}$	$a_{H_2O}$
1050	8	0,0069	0,96	1200	28	1,14	0,78
1078	12	0,021	0,94	1231	32	3,28	0,72
1106	16	0,060	0,91	1264	36	10,8	0,65
1136	20	0,159	0,88	1300	40	11,6	0,57
1167	24	0,424	0,84	1334	44	11,8	0,48

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОКА

Совокупность окислительно-восстановительных процессов, происходящих у катода и анода при прохождении постоянного электрического тока через раствор или расплав электролита, называется электролизом. При электролизе происходит превращение электрической энергии в химическую. Устройства, в которых проводится электролиз, называются *электролитическими ячейками*, или *электролизерами*, и включают два электрода и ионный проводник (электролит) между ними. На катоде (электроде, соединенном с отрицательным полюсом источника тока) происходит процесс восстановления, на аноде (положительном электроде) — процесс окисления. На катоде в первую очередь идут процессы, характеризующиеся наиболее положительными потенциалами, т.е. реагируют сильные окислители. На аноде идут процессы с наиболее отрицательными потенциалами, т.е. разряжаются сильные восстановители; чаще окисляется металл, из которого изготовлен анод. Некоторые аноды при электролизе не растворяются из-за положительного значения их равновесного потенциала или образования на поверхности защитных пленок. Такими анодами являются графит, титан, тантал и платиновые металлы.

Количественной характеристикой электролиза является закон Фарадея. Массы веществ, выделившихся на электродах (образовавшихся в катодном и анодном пространствах), пропорциональны количеству прошедшего через раствор или расплав электричества  $Q$ , т.е.

$$m = k \cdot Q = \frac{\mathcal{E} \cdot I \cdot t}{F}, \quad (7)$$

где  $k$  – электрохимический эквивалент, равный отношению эквивалентной массы участвующего в электролизе вещества  $\mathcal{E}$  к постоянной Фарадея ( $F = 96494$  Кл/моль),  $I$  – сила тока,  $t$  – продолжительность электролиза.

При анализе газовых реакций в соответствии с законом эквивалентов массовые соотношения могут быть заменены объемными.

Электролиз широко используется в современных технологиях получения и размерной обработки металлических деталей и покрытий. Эти процессы сопровождаются побочными реакциями, продукты которых могут оказать влияние на аппаратное и технологическое оформление электролизеров. Например, выделяющиеся при электролизе водных растворов водород (на катоде) или кислород (на аноде) могут быть источниками аварий (взрыва), в связи с чем их требуется своевременно удалять из зоны реакции<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Электролиз воды или водных растворов солей используют для получения газообразных кислорода и водорода в лабораторных и промышленных условиях.

Заготовками для получения печатных плат являются покрытые тонкой металлической (медной) пленкой (фольгой) диэлектрические пластины из гетинакса, текстолита, стеклотекстолита, ситаллов и т.п. При их производстве на поверхность диэлектрика химическим способом наносится медная пленка или наклеивается фольга. Самыми дешевыми являются печатные платы на основе гетинакса. Наиболее качественные платы получают на ситаллах.

Общая схема, характеризующая процессы, происходящие при обработке медного покрытия в процессе получения печатных плат, включает следующие основные стадии:

- поверхность покрывается защитным (стойким к реактивам, в которых растворяется медь) светочувствительным слоем;
- на светочувствительный слой накладывается негатив, соответствующий рисунку будущих металлических дорожек устройства;
- производится «засвечивание» поверхности, при котором изображение негатива «запоминается» светочувствительным слоем;
- обработка проявителем, при которой растворяются незасвеченные участки светочувствительного слоя и рисунок проявляется на поверхности металлической пленки;
- химическое растворение металла, в результате которого формируется необходимый рисунок металлических дорожек платы;
- далее производится удаление оставшегося на поверхности металлических дорожек защитного фотослоя.

Эта схема не включает стадии подготовки поверхности (в частности, обезжиривание), удаления отработанных технологических растворов (например, отмывка проявителя) и некоторые другие операции, которые обязательно присутствуют при реализации процесса в реальных условиях.

Гальваническими называют металлические покрытия, наносимые на поверхность изделия методом электролиза. Гальванопокрытия наносят в электролизерах, называемых гальваническими ваннами. Катодом служит покрываемое изделие, анодом – либо такой же металл, что и металл покрытия, либо нерастворимый электрод. При работе с нерастворимым электродом необходимо время от времени корректировать состав электролита, так как из-за расхода ионов осаждаемого металла концентрация их в растворе уменьшается.

Для обеспечения прочного сцепления металла-покрытия с основным металлом необходимо удалить с поверхности изделия загрязнения (особенно жировые) и оксиды. Это достигается обезжириванием в органических растворителях или растворах щелочей, травлением в растворах кислот и тщательной промывкой в проточной воде.

В промышленности широко используют покрытия из никеля (никелирование), цинка (цинкование), меди (меднение), олова (лужение) и хро-

ма (хромирование). Меднение является основным гальваническим процессом в производстве печатных плат. Гальваническим меднением также получают слой меди в монтажных и переходных отверстиях.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 ХИМИЧЕСКОЕ «ТРАВЛЕНИЕ» ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В данной работе исследуется действие различных окислителей меди, которые могут быть использованы при «травлении» печатных плат.

### Задание

Осуществите химическое травление медного покрытия заготовки платы, используя растворы, имеющиеся в химической лаборатории. Рекомендуемая последовательность операций приведена ниже.

1. Получить у преподавателя необходимое количество заготовок.
2. Поверхность медного покрытия обезжирить содой или лабomidом (смесь на основе соды с ПАВ), затем промыть горячей водой с мылом, после чего промыть проточной водой до удаления следов соды и мыла.
3. Высушить заготовки на воздухе или в сушильном шкафу.
4. Нанести рисунок будущей печатной платы (по заданию преподавателя) на металлической поверхности пластинок нитроокраской.
5. Просушить заготовки в сушильном шкафу при включенной вытяжной вентиляции.
6. Произвести химическое травление медного покрытия, используя выставленные в вытяжном шкафу реактивы.
7. Промыть под проточной водой пластинки до полного удаления травильного раствора.
8. Краску (маску) удалить, используя растворители, ацетон, эфиры. Работы проводить при включенной вытяжной вентиляции.
9. Вновь промыть изделие проточной водой.
10. Высушить образец.

Запишите уравнения химических реакций, протекающих при химическом травлении меди. Сравните качество полученных изделий. Сделайте вывод, какой из предложенных реагентов наиболее подходит для обработки печатных плат.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

В данной работе рассматриваются примеры катодных и анодных процессов, сопровождающих электролиз водных растворов неорганических солей, а также проводится оценка массы или объема образующихся продуктов.

### Задание 1

Запишите возможные электродные процессы и составьте уравнения суммарных реакций, протекающих при электролизе водных растворов  $Na_2SO_4$ ,  $KI$  и  $CuSO_4$  с графитовыми электродами. Проведите электролиз указанных водных растворов и, используя качественные реакции и характерные свойства образующихся веществ, установите состав продуктов электролиза.

Рассчитайте значения электрохимического эквивалента, входящего в закон Фарадея (7), для окислителя и для восстановителя в каждой реакции.

### Задание 2

Рассчитайте ток в цепи и массу вещества, которое подверглось разложению при электролизе водных растворов  $Na_2SO_4$ ,  $KI$ ,  $CuSO_4$ , если на электродах выделились следующие вещества (табл. 7)

Таблица 7

#### Индивидуальные задания по теме «Электролиз водных растворов неорганических солей»

Номер по списку	Вариант	Электролит	Продукт анодного окисления		
			Вещество	Объем, л	Масса, г
1, 10	1	$Na_2SO_4$	$O_2$	0,224	-
2, 11	2	$KI$	$I_2$	-	0,1
3, 12	3	$CuSO_4$	$O_2$	11,2	-
4, 13	4	$Na_2SO_4$	$O_2$	2,24	-
5, 14	5	$KI$	$I_2$	-	1,12
6, 15	6	$CuSO_4$	$O_2$	0,56	-
7, 16	7	$Na_2SO_4$	$O_2$	10,0	-
8, 17	8	$KI$	$I_2$	-	0,22
9, 18	9	$CuSO_4$	$O_2$	0,224	-
10, 19	10	$Na_2SO_4$	$O_2$	22,4	-
11, 20	11	$KI$	$I_2$	-	0,4
12, 21	12	$CuSO_4$	$O_2$	2,24	-
13, 22	13	$Na_2SO_4$	$O_2$	560	-
14, 23	14	$KI$	$I_2$	-	40



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

В данной работе изучаются основные приемы и условия, используемые в технологии получения медных пленок на стальной поверхности. Режимы электролиза определяются, в первую очередь, составом используемого электролита. Например, при меднении железа одним из простейших электролитов, используемых при проведении данной работы, является водный раствор медного купороса (примерно  $260 \text{ кг/м}^3$ ) и серной кислоты ( $40 \text{ кг/м}^3$ ). Меднение проводят при плотности тока  $2\text{—}6 \text{ А/дм}^2$ .

### Задание 1

Запишите электродные процессы и составьте уравнения реакций, протекающих при электролизе водного раствора, содержащего сульфат меди (II) и серную кислоту, при использовании анода, выполненного из меди. Какую функцию выполняют компоненты раствора при меднении?

### Задание 2

Проведите меднение стальной пластинки, опишите условия проведения опыта (продолжительность, сила тока, температура раствора) и качество полученного покрытия.

Пользуясь законом Фарадея (7), рассчитайте массу меди, которая должна выделяться за время металлизации при заданном токе через электролит. Вычислите выход по току (в %), как отношение массы выделившейся меди, к соответствующей теоретической массе меди.

### Выполнение опыта

1. Получить у преподавателя стальную пластинку. Обезжирить ее поверхность содой или лабomidом, промыть водой с мылом, после чего промыть проточной водой до удаления следов соды и мыла.
2. Просушить пластинку на воздухе или в сушильном шкафу. Определить массу исходной металлической пластинки.
3. Провести электрохимическое меднение стальной пластинки с учетом рекомендуемой плотности тока<sup>3</sup>. Процесс металлизации можно закончить после получения однородного покрытия. Записать время, в течение которого проводилось меднение.
4. Просушить покрытую слоем меди пластинку фильтровальной бумагой и в сушильном шкафу и определить ее массу. По разности масс до и после меднения рассчитать массу покрытия и примерную толщину пленки металла.

---

<sup>3</sup> Перед проведением опыта определите глубину, на которую погружена стальная пластинка в раствор электролита, и рассчитайте площадь пластинки, участвующей в электролизе. Вычислите силу тока, которую следует поддерживать в процессе электролиза.