

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра физической электроники

621.382 (07)
3-122

Н.С. Забейворота, Ф.В. Подгорнов, Д.А. Винник

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2018

621.382 (075.8)
З-122

*Одобрено учебно-методической комиссией
физического факультета*

*Рецензенты:
Е.А. Беленков, Л.А. Песин*

Забейворота, Н.С.

З-122 Физико-химические основы технологии электронных средств: учебное пособие / Н.С. Забейворота, Ф.В. Подгорнов, Д.А. Винник. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 54 с.

Пособие предназначено для студентов физического факультета по направлению подготовки «Электроника и микроэлектроника» 11.03.04 и 11.04.04. Оно содержит работы, посвященные физико-химическим основам технологии электронных средств. В нём изложены план коллоквиума, цели работы, основные положения, основы методики выполнения работ, контрольные вопросы к коллоквиуму и список необходимой литературы.

УДК 621.382(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2018

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, сдавшие коллоквиум (прошедшие собеседование) по теме выполняемой работы, ответившие на контрольные вопросы.

2. Отчет по лабораторной работе оформляется в соответствии с требованиями стандарта университета и должен содержать:

- наименование и цель работы;
- технические данные и описание оборудования или установки, их схему;
- полученные в ходе работы результаты;
- основные расчетные формулы, используемые для обработки экспериментальных данных;
- результаты обработки экспериментальных данных, оформленные в виде таблиц, графиков и т.п.;
- выводы по работе, сравнение полученных данных со справочными.

3. Содержание отчета определяется соответствующим разделом конкретной лабораторной работы.

4. Результаты измерений по ходу лабораторной работы заносятся в черновик отчета и после выполнения работы предъявляются преподавателю для проверки и утверждения. Черновик отчета вместе с отчетом по лабораторной работе предъявляются при защите.

5. После завершения работы выключить оборудование, приборы и привести в порядок рабочее место.

6. Лабораторная работа заканчивается составлением отчета, который подлежит защите перед началом следующей лабораторной работы. Не защитившие предыдущую работу студенты не допускаются к выполнению следующей лабораторной работы.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед началом цикла лабораторных работ студент должен пройти общий инструктаж по технике безопасности, а перед каждой выполняемой работой – инструктаж на рабочем месте.

Работы выполняются в присутствии преподавателя или учебного мастера.

При проведении лабораторных работ необходимо:

- включение оборудования, приборов выполняется после разрешения преподавателя или в его присутствии;
- оборудование и приборы необходимо использовать в соответствии с порядком, изложенном в описании.

При появлении видимых неисправностей в работе оборудования, приборов немедленно отключить их и сообщить преподавателю или учебному мастеру.

Студентам запрещается:

- самостоятельно устранять неисправности оборудования, приборов;

- открывать корпуса приборов;
- включать или выключать устройства, приборы, не относящиеся к работе.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для записи результатов большого количества однотипных измерений удобно использовать таблицы. С их помощью удастся избежать ненужной многократной записи обозначения измеряемой величины, единиц измерения, используемых масштабных коэффициентов и т.п. В таблицы, помимо экспериментальных данных, могут быть сведены промежуточные результаты обработки этих данных. В заголовок таблицы заносятся размерности величин, характерные степени. Таблицы чертятся с помощью линейки и карандаша (если отчет рукописный). В таблице указывается порядковый номер каждого измерения.

Более наглядными, чем таблицы, являются графики зависимостей исследуемых физических величин. Графики дают визуальное представление о связи между величинами, что крайне важно при интерпретации полученных данных, так как графическая информация легко воспринимается и вызывает больше доверия, обладает значительной емкостью. На основе графика легче сделать вывод о соответствии теоретических представлений данным эксперимента.

При построении графика следует учитывать следующие характеристики.

Оси – графики, за редким исключением, строят в прямоугольной системе координат, где по горизонтальной оси (оси абсцисс) откладывают аргумент, независимую величину, а по вертикальной оси (оси ординат) – функцию, зависимую величину.

Масштаб по осям – численное значение физической величины, соответствующее единичному отрезку. Оси необязательно должны содержать начало координат – обычно учитывают минимальное и максимальное значение. При необходимости выбирают логарифмический или двойной логарифмический масштаб.

Подписи осей – название откладываемой величины, масштабный коэффициент.

Шкала – подписи к осям в виде числового масштаба, с учетом масштабного коэффициента. Обычно выбираются некие «круглые» числа с минимумом знаков после запятой.

Масштабная сетка – для удобства определения величин конкретных точек делают тонкие вертикальные и горизонтальные линии, которые являются продолжениями отметок шкалы.

Экспериментальные точки – должны быть отчетливо видны. Если на одном графике показаны несколько зависимостей, их надо выделить точками разного вида (кружочки, ромбики, квадратики и т.д.).

Проведение кривых – экспериментальные точки соединяют плавной кривой, чтобы они в среднем были одинаково расположены по обе стороны от проведенной кривой. Если известно математическое описание наблюдаемой зависи-

мости, то теоретическая кривая проводится точно так же. Правильно построенная кривая должна заполнять все поле графика, что будет свидетельством правильного выбора масштабов по каждой из осей. Если же значительная часть поля оказывается незаполненной, то необходимо заново выбрать масштабы и перестроить зависимость.

Погрешности измерений – вокруг проставленной экспериментальной точки строят два отрезка, параллельные осям абсцисс и ординат. В выбранном масштабе длина каждого отрезка должна равняться удвоенной погрешности величины, откладываемой по параллельной оси. Центр отрезка должен приходиться на экспериментальную точку.

Название – под графиком должно быть приведено его название, поясняющее, к чему относится изображенная зависимость.

Все страницы, таблицы, формулы, схемы и графики должны быть пронумерованы в порядке использования.

Графический материал следует выполнять сообразно точности отсчёта при эксперименте. По экспериментальным точкам строится усредненная кривая, причем выпавшие экспериментальные точки не используются, но показываются.

В таблицах записываются результаты непосредственных измерений, а также значения, рассчитанные из опытных данных величин. Число значащих цифр в рассчитываемых величинах должно определяться точностью проведенных измерений.

Часто возникает задача придать изученной опытным путем зависимости вид уравнения с тем, чтобы при помощи последнего производить различные вычисления. Такого рода уравнения называют эмпирическими, так как в их основе лежит только экспериментальный материал. В эти уравнения помимо изученных величин входят и коэффициенты, число которых зависит от точности опытных данных и от величины интервалов условий. Эмпирическое уравнение по возможности должно быть простым, т.е. содержать немного постоянных, и точным, т.е. хорошо воспроизводить результаты измерений. Эмпирические уравнения являются интерполяционными, т.е. справедливы лишь в пределах измерений. Поэтому пользоваться ими для экстраполяции следует в тех пределах, для которых были произведены измерения. Существует две особенности эмпирических уравнений. Во-первых, их разнообразие (даже применительно к одной и той же зависимости). Во-вторых, наличие одинаковых по структуре формул, но с различными значениями коэффициентов. Подобные несовпадения значений коэффициентов – результат обработки одним и тем же методом различных экспериментальных данных, либо различными методами одних и тех же данных.

При обработке экспериментальных данных в физической химии часто используют графический метод расчета. Чаще всего этим методом пользуются для проверки применимости теоретических уравнений и приближенного вычисления входящих в них констант. Наиболее простой и распространенный способ решения этой задачи состоит в преобразовании теоретических уравнений к линейному виду с последующей проверкой соблюдения линейной зависимости. По по-

ложению прямой линии, как показано на рисунке, можно вычислить для уравнения $y=ax+b$ значения коэффициентов a и b . Коэффициент a представляет собой тангенс угла наклона прямой линии к оси абсцисс, а значение его определяется как отношение приращения функции к соответствующему приращению аргумента. Значение коэффициента b отвечает величине отрезка, отсекаемого прямой на оси ординат при значении $x=0$.

В расчетах, требующих высокой точности, для нахождения констант следует пользоваться методом наименьших квадратов [1, 2]. Линия, полученная по методу наименьших квадратов, должна проходить между экспериментальными точками таким образом, чтобы сумма квадратов отклонения точек от нее была минимальной.

В этом предположении получим:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})(x_i - x_{cp})}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}; \quad (1)$$

$$b = y_{cp} - ax_{cp}; \quad (2)$$

$$y_{cp} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n}; \quad x_{cp} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n}, \quad (3)$$

где i – номер опыта;

n – число опытов;

x_{cp} и y_{cp} – средние по всем экспериментальным точкам значения аргумента и функции.

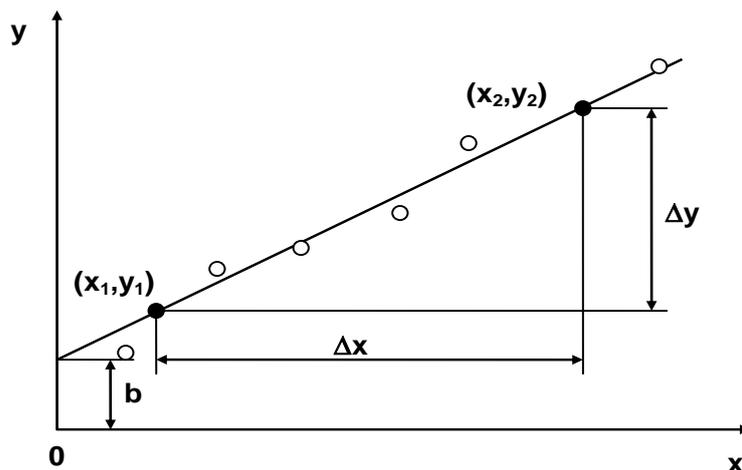


Рис. Графическое определение постоянных уравнения $y = ax+b$.

Вычисление коэффициентов a и b целесообразно осуществлять следующим образом: в таблицу наряду с опытными значениями x_i и y_i ввести значения:

$y_i - y_{cp}$, $x_i - x_{cp}$ и $(x_i - x_{cp})^2$. Далее произвести суммирование и по формулам (1,2) вычислить значения коэффициентов a и b . Для установления справедливости полученного эмпирического уравнения следует подставить в него несколько значений i , вычислив соответствующие значения y_i , сравнить их с экспериментальными данными. Рассчитать значения коэффициентов a и b можно обрабатывая экспериментальные данные используя прикладная программы: MatLab, MathCad, Mathematica и т.д.

Работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ЖИДКОСТИ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

План коллоквиума

Фазовые равновесия в однокомпонентной системе. Уравнение Клаузиуса–Клапейрона. Процессы плавления, испарения и возгонки. Влияние вакуума на процессы испарения. Определение температуры химического кипения и теплоты испарения.

Цель работы

Ознакомиться с одним из методов определения насыщенного пара в зависимости от температуры в равновесной системе жидкость–пар. Определить теплоту испарения этилового спирта.

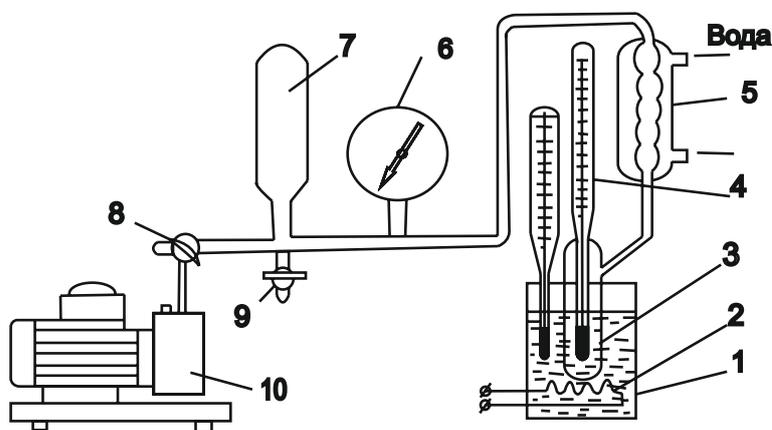


Рис. Схема экспериментальной установки.

Экспериментальная установка и методика исследования

Установка, схема которой приведена на рисунке, состоит из водяной бани 1 с нагревателем 2, сосуда для исследуемой жидкости 3, термометров 4, холодильника 5, манометра 6, баллона 7, кранов 8 и 9, вакуумного насоса 10.

Применяемый в данной работе динамический метод исследования основан на определении температур кипения вещества с помощью термометра при разных давления, создаваемых вакуумным насосом 10 и измеряемых манометром 6.

Баллон 7 является добавочной емкостью, позволяющей плавно изменять давление в системе. Холодильник 5 служит для конденсации паров испаряющейся жидкости. Кран 9 позволяет уменьшать разряжение в системе, а кран 8 – отключать насос от системы и запускать в него воздух.

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ. После вакуумирования (после отключения насоса) необходимо повернуть трехходовой кран на атмосферу, иначе масло из вакуумного насоса может попасть в систему.

Порядок выполнения работы

1. Исследуемую жидкость 20...30 мл налить в сосуд 3. Туда же для устранения местных перегревов и облегчения образования новой фазы поместить несколько кусочков активированного угля.

2. Сосуд 3 закрыть термометром с пришлифованной пробкой 4, соединить с помощью шлифа с холодильником 5 и погрузить в водяную баню 1.

3. Закрыть кран 9 и соединить краном 8 вакуумный насос 10 с системой.

4. Включить насос и откачать систему до заданного преподавателем давления.

5. Включить нагреватель 2 и следить за повышением температуры жидкости водяной бани по термометру. После того как исследуемая жидкость в сосуде 3 закипит, отметить показания термометра 4 и манометра 6.

6. С помощью крана 9 увеличить давление в системе на величину, заданную преподавателем, и отметить температуру кипения, отвечающую новому давлению.

7. Опыты проводить до давления, заданного преподавателем.

8. При одном и том же давлении проводить 2...3 измерения при повышении и понижении давления.

ВНИМАНИЕ! Температуру водяной бани необходимо поддерживать на 5...7° больше температуры кипения исследуемой жидкости при заданном давлении.

Обработка результатов измерения

1. Результаты непосредственных измерений и необходимых расчетов занести в таблицу.

Таблица

№ опыта	P , атм.	t кип, °C	T кип, К	$\ln P$	$1/T$
---------	------------	-------------	------------	---------	-------

2. Построить графики зависимости упругости пара от температуры в координатах: $P - t$, °C и $\ln P - 1/T$.

3. Используя метод наименьших квадратов, определить значения коэффициентов А и В в эмпирическом уравнении прямой линии $\ln P = A/T + B$.

4. Определить температуру химического кипения и теплоту испарения жидкости по эмпирическому уравнению прямой.

5. Рассчитать теплоты испарения для трех интервалов температур по уравнению Клаузиуса–Клапейрона.

6. Определить изменение энтропии в процессе испарения 1 моль вещества.

Контрольные вопросы

1. Запишите уравнение Клаузиуса-Клапейрона в общем виде и частные случаи для процессов испарения и плавления.
2. Как определяется скрытая теплота испарения.
3. Как влияет давление в системе на температуру фазового равновесия.
4. Что такое температура химического кипения и как её определить.

Литература: [3, с. 153...169]; [4, с. 6...8]; [5, с. 157...160]; [6, с. 6...13].

Работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ ИНВЕРСИИ САХАРА

План коллоквиума

Понятие скорости химической реакции. Кинетическая классификация реакций. Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ. Катализ. Особенности каталитических реакций. Устройство и работа поляриметра.

Цель работы

Ознакомиться с одним из методов исследования скорости химической реакции, а также с явлением катализа. Определить константу скорости реакции инверсии сахара и энергию активации процесса.

Методика исследования и устройство поляриметра

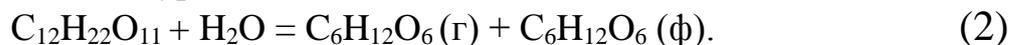
Тростниковый сахар, канифоль и продукты их разложения принадлежат к числу активных веществ, т.е. веществ, способных изменять положение плоскости поляризации проходящего через них поляризованного светового потока.

Тростниковый сахар вращает плоскость поляризации вправо ($\alpha=66,55^\circ$), а смесь продуктов гидролиза – влево, так как глюкоза вращает вправо ($\alpha=52,5^\circ$), а фруктоза – влево ($\alpha=-91,9^\circ$). Поэтому по мере протекания реакции угол вращения плоскости поляризации уменьшается до нуля, а затем становится отрицательным (инверсия вращения). Окончание реакции соответствует предельное, не изменяющееся отрицательное значение угла вращения α_∞ . Величина вращения плоскости поляризации прямо пропорциональна толщине слоя d и концентрации активного вещества c .

$$\alpha = \beta \cdot d \cdot c, \quad (1)$$

где β – коэффициент пропорциональности, который зависит от природы вещества, длины волны света, температуры и природы растворителя.

Реакция гидролиза сахара в контрольном водном растворе практически не идет. Ее ускоряют прибавлением катализатора – сильной кислоты. Процесс гидролиза сахара описывается уравнением



Эта реакция бимолекулярная, однако в большом избытке воды она протекает по первому порядку. Кинетика инверсии описывается уравнением

$$\ln \frac{c_0}{c} = Kt, \quad (3)$$

где c_0 и c – концентрация вещества в начальный и текущий моменты времени t соответственно;

K – константа скорости реакции.

Для измерения угла вращения плоскости поляризации используются специальные оптические приборы – полутеневые поляриметры. Основными частями поляриметра (рис.1) являются поляризаторы 3 и анализатор 5. Каждый поляризатор и анализатор состоит из двух призм Николя, причем меньшая по размерам призма прикрывает половину поля зрения.

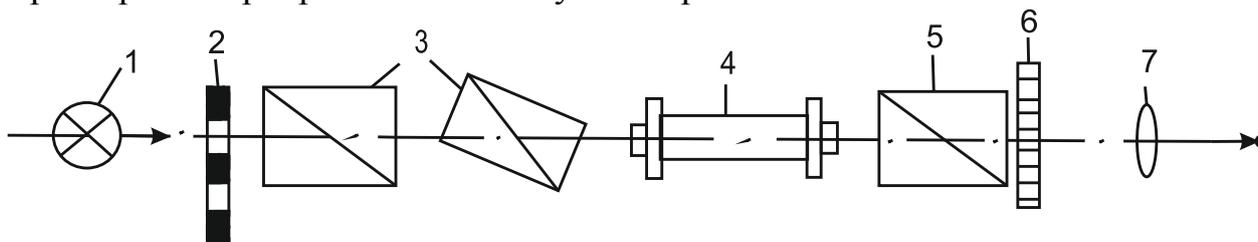


Рис.1. Схема поляриметра.

Плоскости поляризации призм находятся под некоторым углом друг к другу, поэтому поле зрения, рассматриваемое в окуляр 7, разделено на две части, отличающиеся по цвету и яркости освещения. Поляризаторы неподвижны, а анализатор может вращаться вокруг оптической оси прибора. Вращением анализатора вокруг оси можно достичь положения, при котором призмы Николя оказываются скрещенными и проходящий световой поток гасится. Если между поляризатором и анализатором расположен оптически активный раствор, то скрещенная призма уже не будет гасить проходящий световой поток и для достижения темноты необходим дополнительный поворот анализатора на некоторый угол. В полутеневом поляриметре положение плоскости поляризации светового потока определяется не по затемнению в окуляре прибора всего поля зрения, а по наступлению равной слабой освещенности (установка на полутень). В других положениях анализатора поле зрения в окуляре резко разделено на две части по освещенности или все поле освещено ярко. Если полутеневое положение найдено правильно (рис.2, б), то малейший поворот анализатора вправо (рис.2, а) или влево (рис.2, в) нарушает равномерность освещения поля. При отсутствии поляриметрической трубки в желобке поляриметра полутеневое положение должно соответствовать нулю по шкале.

Для получения параллельных пучков светового потока в приборе имеется система линз. Источником светового потока служит электрическая лампочка. В белом световом потоке определению равной освещенности полей мешает разноцветность (вращательная дисперсия). Поэтому пользуются монохроматическим световым потоком, применяя светофильтр 2. Угол поворота анализатора отсчитывается с помощью нониуса с точностью $0,1^\circ$ на шкале, передвигающейся при вращении анализатора. Отсчеты производятся следующим образом:

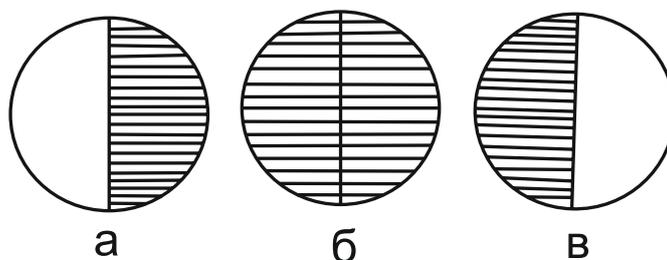


Рис.2. Поле зрения в окуляре полутеневого поляриметра.

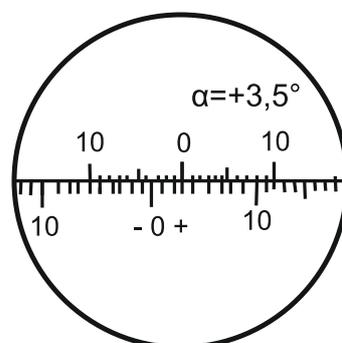


Рис.3. Отсчет по шкале поляриметра.

Число целых градусов определяют по последнему делению шкалы, которое оказывается слева от нуля нониуса ; десятые доли градуса определяют на правой части шкалы нониуса по делению, совпадающему в данном положении с каким-либо делением основной шкалы лимба. Так отсчитывают положительные углы вращения (рис.3). При вращении анализатора в противоположную сторону отсчитывают отрицательные углы вращения.

Порядок выполнения работы

1. Освоить работу поляриметра и научиться заполнять поляриметрическую трубку дистиллированной водой без пузырьков воздуха. Трубку необходимо наполнить до краев, чтобы жидкость образовала выпуклый мениск. Затем осторожно сбоку надвинуть покрывное стекло и навинтить кольцо, прижимающее стекло к торцу трубки.
2. Определить инструментальную поправку поляриметра.
3. Приготовить 50 мл 20% раствора сахара.
4. Отобрать с помощью мерного цилиндра в две колбы по 10 мл раствора.

5. В одну из колб влить 10 мл 6 н HCl, а в другую – 10 мл раствора соляной кислоты заданной концентрации. Момент сливания кислоты с изучаемым раствором отметить по часам как момент начала реакции.

6. Смесь раствора с кислотой заданной концентрации тщательно перемешать, быстро влить в хорошо вымытую поляриметрическую трубку, которую затем установить в поляриметр, и измерить угол α_0 вращения раствора $\alpha_0 = \alpha'_0 / 2$, так как концентрация сахара в растворе при смешении уменьшается вдвое.

7. Выполнить работы аналогичные п. 6 для колбы с раствором 6 н HCl.

8. От начала реакции параллельно произвести по два–три измерения для двух трубок через 3 мин, по два–три – через 5 мин, по два через 10 мин и т.д. Всего выполнить по 10...12 измерений, при этом записывать показание шкалы прибора и соответствующее ему время по часам.

9. После всех измерений следует определить угол вращения α , соответствующий концу реакции. Для этого отсчет показаний повторить через 24 часа и, убедившись, что угол вращения не меняется, принять его за α_∞ .

10. По окончании работы проверить нулевое положение поляриметра и при необходимости произвести корректировку результатов.

Обработка результатов измерений

1. Результаты измерений свести в таблицу

Температура опыта _____; концентрация HCl _____

Таблица

№ опыта	Время измерения	Время от начала реакции	α_t	$\alpha_t - \alpha_\infty$	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	K	K_{cp}

2. Построить на одном рисунке для двух растворов графики зависимости $\ln(\alpha_t - \alpha_\infty) = f(t)$ и экстраполяцией полученной до $t=0$ определить $\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$, а затем найти α_0 .

3. Вычислить константы скорости для каждого момента, кроме $t=0$ и $t=\infty$, рассчитать K_{cp} и сравнить полученное значение с найденным по графику.

4. Построить графики зависимости $\alpha_t - \alpha_\infty = f(t)$.

5. По тангенсу угла наклона касательной в соответствующей точке на кривой определить скорость реакции для каждого промежутка времени от начала реакции.

6. Построить графики $\ln V = f(\ln(\alpha_t - \alpha_\infty))$ и подтвердить порядок реакции.

Контрольные вопросы

1. Что такое скорость химической реакции и как её определить?
2. От чего зависит скорость химической реакции?
3. Что такое катализ и в чём особенности каталитических реакций?
4. Что такое порядок реакции и как его определить?
5. Что такое константа скорости химической реакции?

Литература: [3, с. 319...350]; [4, с. 8...11].

Работа №3

ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

План коллоквиума

Окислительно–восстановительные реакции. Гидролиз. Основные процессы и разновидности активирования поверхности. Процессы на электродах. Методы контроля толщины пленки.

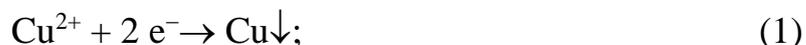
Цель работы

Ознакомиться с методами химического осаждения металлических пленок на подложке, а также с некоторыми методами контроля их толщины. Определить толщину медного покрытия.

Методика и аппаратура для проведения химического меднения диэлектрической подложки

Химическое осаждение металлов на подложке связано с восстановлением ионов металлов и одновременно окислением восстанавливающего химического агента. Так, в щелочном растворе сернокислой меди при наличии восстановителя формальдегида будут происходить следующие реакции:

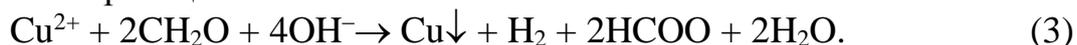
восстановление



окисление



общее уравнение реакции



Кроме того, наряду с вышеуказанными реакциями возможно протекание побочных реакций с образованием одновалентной меди Cu_2O и саморазложение формальдегида.

Для того, чтобы прогресс восстановления меди шел на подложке, а не в объеме раствора, необходимо поверхности подложки придать каталитические свойства. Этого можно достичь двумя путями — обработкой в соответствующих растворах или введением катализатора в состав подложки. Создание каталитических центров кристаллизации, сцепленных с поверхностью в результате реакций, протекающих на границе фаз подложка–раствор, называют активированием. Активирование проводят в одну или две стадии. При двухстадийном активировании обработку ведут последовательно в двух разных растворах — сенсibilизации и активации, при одностадийном — в растворе сенсактивации (смешанные растворы сенсibilизации и активации). Сенсibilизацию проводят при комнатной температуре в течении 3 минут в соляном растворе хлорида олова.

Для предотвращения разложения раствора в объеме в результате сопутствующего гидролиза следует поддерживать высокое значение pH. Срок службы раствора повышается при наличии в ванне кусков металлического олова.

Перед погружением в сенсibiliзирующий раствор подложки должны быть обезжирены и высушены. Освобожденные от адсорбционной влаги микропоры заполняются сенсibiliзирующим раствором. В этом состоит одно из важных условий получения покрытия высокого качества.

После извлечения из сенсibiliзирующей ванны подложки промывают в воде 3 минуты. При этом процесс сенсibiliзации продолжается в результате гидролиза двухлористого олова по схеме:



Продукты гидролиза двухлористого олова активно связываются с поверхностью и в дальнейшем становятся восстановителями металлического палладия из аммиачного или солянокислого раствора хлористого палладия при последующей активации. Гидроокись олова плохо растворима, поэтому при промывании водой она не удаляется с поверхности подложки. Сенсibiliзацию заканчивают промыванием и сушкой.

ВНИМАНИЕ! Технологические операции сенсibiliзации, включая приготовление растворов и обращение с обработанными подложками, следует проводить в затемненных условиях, при неярком желтом свете. Это вызвано светочувствительностью гидроокиси олова, переходящей под действием света в SnO₂ и теряющей каталитические свойства. После сенсibiliзации подложки сразу же погружают в раствор для активации.

Активацию производят при комнатной температуре в солянокислом растворе хлористого палладия в течении 2 мин. На поверхности подложки под действием ионов двухвалентного олова ионы палладия восстанавливаются до металла по реакции:



или



Соединения четырехвалентного олова удаляются при следующей промывке. Толщина пленки палладия достигает 0,1...0,2 мкм. Активация заканчивается промывкой и сушкой.

Оценка толщины слоя металлизации

Толщину металлических покрытий определяют различными методами, среди них наиболее простыми являются:

- а) весовой метод;
- б) по измерению сопротивления пленки.

Весовой метод основан на определении массы пленки и ее плотности с последующим расчетом толщины по формуле

$$\delta = \frac{m}{\gamma \cdot S}, \quad (8)$$

где δ – толщина пленки;
 γ – плотность пленки;
 S – площадь пленки;
 m – масса пленки.

Массу пленки находят по результатам взвешивания подложки до и после нанесения пленки.

Толщину пленки более 0,1 мкм можно определить из соотношения

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{b\delta}, \quad (9)$$

где ρ – удельное сопротивление материала пленки;
 l и b – соответственно длина и ширина пленки;
 R – омическое сопротивление пленки.

Тогда, измерив величину сопротивления, а также длину и ширину пленки, легко оценить ее толщину из уравнения (9)

$$\delta = \frac{\rho l}{R b}. \quad (10)$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с технологическим процессом химического меднения и убедиться в наличии необходимых растворов, химической посуды и держателей образцов.

2. Провести металлизацию двух образцов из стеклотекстолита согласно технологическому процессу, приведенному в таблице.

Таблица

Номер операции	Номер перехода	Операции и технологические режимы
1	2	3
1	Химическое обезжиривание	
	1	Опустить образцы на 2 мин в раствор, содержащий 25 г/л Na_2CO_3 и 25 г/л Na_3PO_4
	2	Промыть в течении 1...2 мин образцы в дистиллированной воде
	3	Просушить образцы
2	Сенсибилизация	
	1	Опустить образцы на 3 мин в солянокислый раствор хлорида олова, содержащий 20 г/л $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и 10 мл/л HCl
	2	Промыть в течении 3 мин в дистиллированной воде в стакане №1 и 30 с в стакане №2
	3	Просушить образцы

1	2	3
3	Активация	
	1	Опустить образцы на 2 мин в солянокислый раствор хлористого палладия, содержащий 0,5 г/л PdCl ₂ и 3 мл/л HCl (конц.)
	2	Промыть образцы в дистиллированной воде в течении 1 мин
	3	Просушить образцы
	4	Взвесить каждый из образцов на аналитических весах с точностью до 0,0001 г
4	Металлизация	
	1	Подготовленные после активации образцы опустить в ванну с раствором, содержащим в г/л: Источник ионов меди – CuSO ₄ ·5H ₂ O100 Глицерин170 Упрочнитель пленки-хлорид меди (никеля).....4 Щелочь – NaOH60 Буфер – Na ₂ S ₂ O ₃ или трилон Б20 Восстановитель – формальдегид CH ₂ O40 Стабилизатор – K ₃ [Fe(CN) ₆]40 Смачиватель – метанол40 (Время меднения задается преподавателем)
	2	Промыть образцы в дистиллированной воде в течении 1...2 мин
	3	Просушить образцы
	4	Взвесить образцы

3. Определить толщину покрытия на каждом образце весовым методом, а также по изменению омического сопротивления. Для меди взять: $\gamma=8,9 \text{ г/см}^3$, $\rho=0,12 \text{ Ом/мкм}$.

4. Сравнить полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. В чём суть химического метода осаждения?
2. Какие требования предъявляются химическим растворам при осаждении
3. Что такое сенсбилизация?
4. В чём суть сенсбилизации и активации процессов?
5. Назовите основные методы для определения толщин покрытий.

Литература: [4, с. 11...14]; [7, т. I, с. 461...470; т. 2, с. 176...245].

Работа №4

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

План коллоквиума

Окислительно-восстановительные реакции. Законы Фарадея. Процессы на электродах. Напряжение разложения электролита. Основные факторы, влияющие на скорость и качество электрохимического осаждения. Методы контроля толщины пленок.

Цель работы

Ознакомиться с методами электрохимического осаждения металлических пленок на подложке, а также с некоторыми методами контроля их толщины. Определить толщину никелевого покрытия. Рассчитать выход по току.

Методика и аппаратура для электрохимического никелирования меди

Установка состоит из источника тока 1, гальванической ванны с электролитом 2 и двух электродов – медного катода 3 и никелевого анода 4, и соединительных проводников 5.

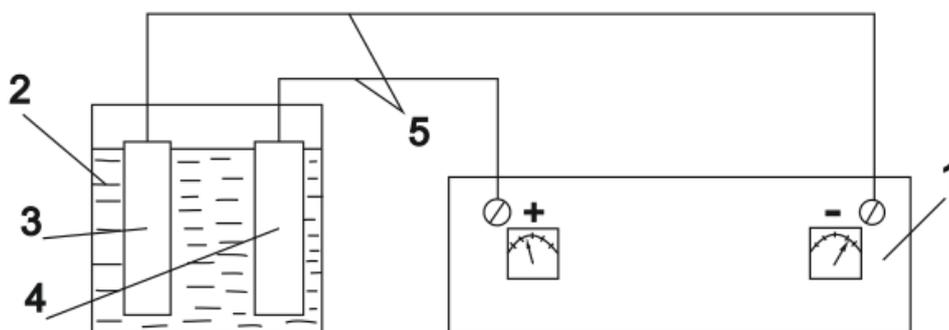


Рис. Схема установки для электролиза.

При погружении электродов в раствор электролита и пропускании электрического тока протекает электролиз – окислительно-восстановительный процесс. На катоде происходит выделение никеля, а на аноде его растворение. Для придания блеска покрытию в раствор вводят блескообразную добавку – 2,6 дисульфонафталиновую кислоту 3...5 г/л.

Порядок выполнения работы

1. Наждачной бумагой тщательно очистить медный электрод.
2. Обезжирить. Для этого его необходимо погрузить на 1...2 мин в 20%-ный раствор NaOH.
3. Промыть в дистиллированной воде в течении 1...2 мин.

4. Удалить с него тонкую оксидную пленку, погрузив на 5...10 с в 3%-ный раствор HCl.
5. Промыть электрод в дистиллированной воде и просушить.
6. Взвесить электрод на аналитических весах с точностью до 0,0001г.
7. Залить в электролизер свежеприготовленный раствор электролита, содержащего в г/л:
 - Никель сернокислый – NiSO₄·7H₂O 210
 - Хлористый калий – KCl..... 15
 - Фтористый калий – KF 6
 - Борная кислота – H₃BO₃ 30
8. Установить электроды в крышке электролизера.
9. Подсоединить медный электрод к отрицательному, а никелевый – к положительному полюсу источника питания.
10. Установить силу тока в цепи 2...4 А и записать время начала опыта.
11. Пропускать ток через раствор в течении времени, указанного преподавателем.
12. Извлечь электроды, промыть водой и высушить.
13. Взвесить покрытый никелем электрод.
14. Замерить площадь никелированной поверхности с точностью до 0,1 мм.

Обработка результатов измерений

1. Результаты непосредственных измерений и необходимых расчетов занести в табл.2.

Таблица 2

№ образца	m ₁ , г	m ₂ , г	Δm, г	I, А	t, с	m, г	δ, мкм	η

Здесь m₁ – масса катода до опыта;
 m₂ – масса катода после опыта;
 Δm= m₁– m₂ – прирост массы катода;
 I – сила тока при электролизе;
 t – время электролиза;
 m – теоретический прирост массы катода;
 δ – толщина покрытия;
 η – выход по току.

2. Рассчитать теоретический прирост массы на катоде по формуле объединенного закона Фарадея:

$$m = \frac{\Delta A}{n} It / F,$$

где $\Delta A/n$ – химический эквивалент;
 A – атомная масса никеля, равная 58,71;
 n – валентность никеля, равная 2;
 I – сила тока;
 t – время процесса;
 F – число Фарадея, равное 96500 Кл.

3. Оценить толщину полученного никелевого покрытия весовым методом, учитывая что плотность никеля $\gamma=8,9 \text{ г/см}^3$.
4. Рассчитать выход по току.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные законы Фарадея.
2. Опишите процессы, протекающие на электродах.
3. Что такое напряжение разложения электролитов?
4. Какие факторы влияют на скорость и качество электрохимического осаждения?
5. Какие методы толщины плёнок вы знаете?

Литература: [8, с. 30...47].

Работа №5

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ СЛАБОГО ЭЛЕКТРОЛИТА РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ

План коллоквиума

Удельная и эквивалентная электропроводность. Связь удельной и эквивалентной электропроводности с подвижностью ионов. Зависимость удельной и эквивалентной электропроводности от концентрации для сильных и слабых электролитов. Степень и константа диссоциации электролитов. Методика измерения электропроводности растворов электролитов.

Цель работы

Ознакомиться с одним из методов измерения электропроводности электролитов. Определить удельную и эквивалентную электропроводности, зависимость их от концентрации электролита. Вычислить степень и константу электролитической диссоциации слабого электролита.

Общие положения

Молекулы электролитов (кислот, оснований, солей) в водных растворах диссоциируют на ионы, являющиеся переносчиками электричества. При этом одни электролиты – сильные – диссоциируют полностью или почти полностью, другие – слабые – диссоциируют частично.

Способность растворов электролитов проводить ток характеризуется их электропроводностью. Удельная электропроводность χ – величина, обратная удельному электрическому сопротивлению ρ , представляет собой электропро-

водность 1 см^3 раствора, помещенными между параллельными электродами площадью 1 см^2 при расстоянии между ними 1 см . Электропроводность раствора зависит от концентрации электролита N , (г/моль)/л. Если удельную электропроводность поделить на число г/моль в 1 см^3 раствора, равное $N/1000$, то получается так называемая эквивалентная электропроводность

$$\lambda = \frac{1000 \cdot \chi}{N}, \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^2 \text{ ((г/моль)/л)}^{-1}. \quad (1)$$

Эквивалентная электропроводность λ – электропроводность такого объема раствора, который содержит 1 г/моль электролита и помещен между параллельными электродами при расстоянии между ними 1 см .

Удельная электропроводность раствора электролита тем выше, чем больше концентрация ионов и чем больше их подвижность, что определяется уравнением

$$\chi = \frac{(l_+ + l_-) \cdot N \alpha}{1000}, \quad (2)$$

где l_+ и l_- – подвижности катиона и аниона, $\text{Ом}^{-1} \text{ см}^2$,

$$l_+ = 349,82; l_- = 40,9;$$

N – общая концентрация электролита в растворе, (г/моль)/л;

α – степень диссоциации.

Так как в общем случае степень диссоциации зависит от концентрации (за исключением разбавленных растворов слабых электролитов), зависимость электропроводности от концентрации оказывается сложной. Для сильных электролитов с увеличением их концентрации число ионов в 1 см^3 увеличивается, а подвижности ионов вследствие возрастания сил их взаимного притяжения уменьшаются. Наложение этих противоположных факторов приводит к появлению максимума удельной электропроводности на кривых зависимости $\chi = f(N)$.

Для слабых электролитов характерна малая плотность ионной атмосферы и подвижность ионов мало зависит от концентрации. Электропроводность растворов слабых электролитов определяется, в основном, степенью диссоциации, величина которой зависит от концентрации электролита и температуры. Процесс диссоциации бинарного электролита можно представить следующим уравнением:



Константа диссоциации

$$K_D = \frac{\alpha^2 C}{1 - \alpha}. \quad (3)$$

Отсюда для слабых электролитов $\alpha = \sqrt{\frac{K_D}{C}}$, так как $\alpha \ll 1$. Удельная электропроводность для слабых электролитов с ростом концентрации увеличивается незначительно и при больших концентрациях начинает уменьшаться в связи с уменьшением α .

Эквивалентная электропроводность λ в соответствии с уравнениями (1) и (2)

$$\lambda = (l_+ + l_-)\alpha \quad (4)$$

и увеличивается с уменьшением концентрации электролита для сильных – вследствие увеличения подвижности ионов; для слабых – вследствие увеличения степени диссоциации.

При некоторой небольшой концентрации электропроводность достигает предельной величины λ_∞ , которую называют электропроводностью при бесконечном разведении. (Разведение – величина, обратная концентрации, $\nu=1/C$). Если $\nu \rightarrow \infty$, то для растворов слабых электролитов $\alpha \rightarrow 1$ и

$$\lambda_\infty = l_+ + l_- \quad (5)$$

Уравнение (5) выражает закон независимого движения ионов, закон Кольрауша: эквивалентная электропроводность при бесконечном разведении равна сумме подвижностей анионов и катионов.

Сопоставляя уравнения (4) и (5), получаем

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_\infty} \quad (6)$$

Для сильных электролитов уравнение (5) справедливо только при больших разведениях, несмотря на то, что при любых концентрациях $\alpha = 1$. При малых разведениях или больших концентрациях тормозящие эффекты (электрофоретический и релаксационный) резко уменьшают скорость движения ионов.

С повышением температуры электропроводность электролитов возрастает вследствие увеличения скорости движения ионов, а также степени диссоциации. Положительный температурный коэффициент подвижности ионов обусловлен быстрым уменьшением вязкости растворов с температурой и уменьшением торможения. При увеличении температуры на 1° электропроводность электролита возрастает в среднем на 2...2,5 %. Зависимость электропроводности от температуры в первом приближении следует линейному закону:

$$\lambda_{T_2} = \lambda_{T_1} [1 + \gamma (T_2 - T_1)], \quad (7)$$

где λ_{T_2} и λ_{T_1} – электропроводности при температурах T_2 и T_1 соответственно;

γ – температурный коэффициент электропроводности.

Знание электропроводности слабых электролитов при различных температурах позволяет рассчитать ряд термодинамических функций, характеризующих реакцию диссоциации. По опытным величинам электропроводности можно рассчитать значение константы диссоциации электролита при нескольких температурах. Решив уравнение изобары Вант-Гоффа

$$\frac{d \ln K_D}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}, \quad (8)$$

считая при этом, что в исследованном интервале температур тепловой эффект реакции $\Delta H = \text{const}$, получим выражение

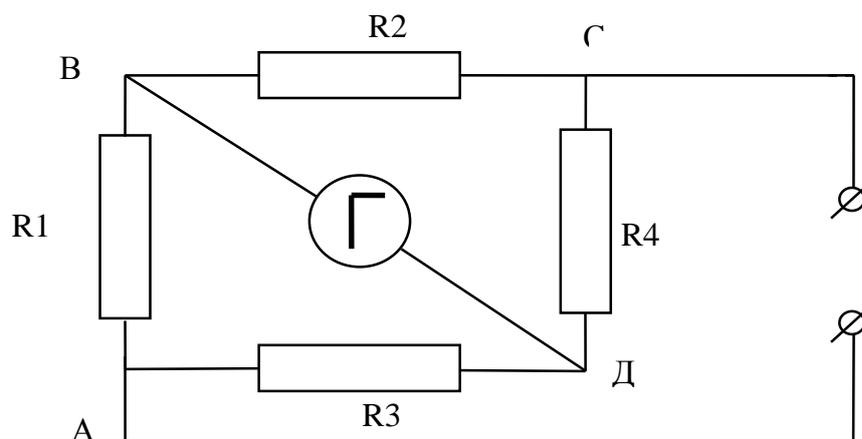
$$\lg K_D = - (\Delta H/2,3RT) + \text{const}, \quad (9)$$

которое позволяет определить тепловой эффект реакции диссоциации графическим методом.

Метод измерения электропроводности

Экспериментальное определение электропроводности растворов электролитов практически сводится к измерению их сопротивления. Измерение сопротивления растворов может быть проведено как с помощью постоянного, так и переменного тока. Но в первом случае нужно принять особые меры для снижения до минимума поляризационного сопротивления, которое возникает в результате прохождения тока через электролит. Изменение направления тока является лучшим средством для устранения поляризационных явлений. Поэтому на практике преимущественное развитие получил метод измерения на переменном токе. Измерения проводятся по обычной схеме моста Уитстона, изображенной на рис.

Рис. Мост Уитстона.



Пусть от источника ток поступает в точку А, где он разветвляется к точкам В и Д, и затем через точку С возвращается к источнику. Сопротивления ветвей АВ, ВС, АД и СД соответственно равны r_1 , r_2 , r_3 и r_4 . Если к точкам В и Д подключить гальванометр Г, то он покажет отсутствие тока только в том случае, если падения напряжения на участках АВ и АД и соответственно ВС и СД будут одинаковы. Это означает, что $i_1 r_1 = i_3 r_3$ и $i_2 r_2 = i_4 r_4$, где i_1 , i_2 , i_3 и i_4 – силы токов, протекающих через соответствующие участки. Так как при равенстве потенциалов в точках В и Д $i_1 = i_2$ и $i_3 = i_4$, то отношение $\frac{i_1 r_1}{i_2 r_2} = \frac{i_3 r_3}{i_4 r_4}$ принимает вид

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}. \quad (10)$$

Это уравнение выражает условие баланса моста. Если вместо одного из сопротивлений, например, r_1 , включить сосуд с раствором электролита с сопротивлением R_x , вместо r_2 – магазин сопротивлений, а вместо r_3 и r_4 – переменное сопротивление – реохорд с двумя плечами, разделенные подвижным электрическим контактом, то отрегулировав соотношение плеч так, чтобы мост при известном значении r_2 был сбалансирован, можно из соотношения (10) рассчитать R_x . Этот принцип лежит и в основе действия сложных мостов переменного тока, например, моста Р-38, который используется при выполнении лабораторных работ.

Принципиальная электрическая схема прибора Р-38 и правила работы с ним приведены на крышке прибора. В правом верхнем углу панели прибора расположена шкала, по которой производится отсчет соотношения плеч. Под шкалой находится ручка для регулирования величины отношения плеч реохорда. В левом нижнем углу панели помещен гальванометр с корректором, под ним – переключатель гальванометра. В левом верхнем углу расположен переключатель сопротивлений. Зажимы для подключения измеряемого сопротивления R_x находятся справа. С левой стороны панели имеется гнездо для подключения переменного напряжения; под ним индикаторная лампочка, переключатель питания и предохранитель.

Измерение сопротивления электролитов

1. Включить прибор в сеть (~ 220 В), переключатель «питание» поставить в положение « \sim ».

2. Соединить электроды электролитической ячейки с зажимами « R_x ». Ячейка должна быть заполнена электролитом так, чтобы металлические пластины электродов были полностью погружены в раствор.

3. Переключатель сопротивлений поставить в положение «Установка нуля», переключатель «гальв.» – в положение «точно», вращением корректора установить стрелку гальванометра в нулевое положение.

4. Установить переключатель «гальв.» в положение «грубо» и уравновесить мост вращением рукояток переключателя магазина сопротивлений и реохорда. Затем перевести переключатель «гальв.» в положение «точно» и вращением рукоятки реохорда доуравновесить мост.

5. Произвести отсчет значений сопротивления магазина и соотношения плеч реохорда ---- (по шкале) и определить значение измеряемого сопротивления

$$R_x = mR. \quad (11)$$

Если расстояние между электродами ячейки равно l , а площадь поверхности электродов S , то удельная электропроводность

$$\chi = \frac{1}{R_x} \cdot \frac{l}{S} \cdot f, \text{ Ом.} \quad (12)$$

Наличие в уравнении (12) фактора f обусловлено тем, что электропроводность раствора зависит от формы, взаимного расположения электродов и объема раствора, так как ток проводит весь раствор, а не только объем, заключенный между электродами. Для данного электролитического сосуда величина $(l/S)f = K$ называется постоянной ячейки. Зная ее, можно найти удельную электропроводность:

$$\chi = \frac{K}{R_x}, \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}. \quad (13)$$

Для определения постоянной ячейки используют стандартный раствор, электропроводность которого хорошо известна. Обычно в этом случае применяют 0,1N раствор KCl. Зависимость удельной электропроводности 0,1N раствора KCl от температуры представлена в табл.1.

Таблица 1

t, °C	0	12	16	18	20	22	24	25
$\chi \cdot 10^{-3}, \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	7,16	9,79	10,72	11,20	11,67	12,16	12,64	12,90

Измерительную ячейку с электродами тщательно промывают дистиллированной водой и стандартным раствором. Затем в сосуд заливают ~50 мл исследуемого раствора, измеряют R_x и, зная χ , из соотношения (13) вычисляют постоянную ячейки.

Порядок выполнения работы

1. Определяют постоянную электролитической ячейки по методике, описанной выше.

2. Измеряют электропроводность растворов уксусной кислоты различной концентрации при температуре окружающей среды. Для этого тщательно промытую дистиллированной водой и исследуемым раствором ячейку заполняют раствором уксусной кислоты и измеряют сопротивление раствора. Таким образом, последовательно измеряют сопротивление растворов CH_3COOH следующих концентраций: 0,1N, 0,05N, 0,025N, 0,0125N, 0,00625N, 0,003125N, 0,00156N, 0,00078N. Закончив измерения, ячейку промывают и заполняют дистиллированной водой.

Обработка опытных данных

После измерения сопротивления растворов всех указанных концентраций рассчитывают удельную и эквивалентную электропроводность, степень и константу диссоциации уксусной кислоты и строят график: $\chi=f(N)$, $\lambda=f(v)$. Результаты наблюдений и расчетов заносят в табл.2. Необходимую для расчетов величину λ_∞ находят из справочных значений подвижности ионов H^+ и CH_3COO^- .

Таблица 2

Концентрация N, г-экв/л	Разведение $v=1/N$	$R_x, \text{ Ом}$	$\chi, \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	$\lambda, \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^2 \text{ г-экв}^{-1}$	$\alpha, \%$	K_d
0,1	10					

Контрольные вопросы

1. Запишите выражения для удельной и эквивалентной электропроводности и объясните их.
2. Что такое степень диссоциации электролитов? Как она определяется?
3. В чём суть теории слабых электролитов?
4. В чём суть теории сильных электролитов?

5. Какие методы используются для измерения электропроводности электролитов?

Литература: [3, 4, с. 18...24], [5, с. 280...306].

Работа № 6

АДСОРБЦИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ

План коллоквиума

Адсорбция растворенного вещества на поверхности раздела фаз. Уравнение Гиббса. Поверхностно–активные вещества. Поверхностная активность. Зависимость адсорбции от температуры.

Цель работы

Знакомство с одним из методов определения поверхностного натяжения жидкостей. Изучение влияния поверхностно–активных веществ на величину поверхностного натяжения. Изучение зависимости адсорбции поверхностно-активных веществ на поверхности жидкости от концентрации раствора.

Общие положения

Свойства поверхностных частиц несколько отличаются от свойств частиц, расположенных внутри фазы, поскольку энергия молекул на поверхности отлична от энергии молекул в середине фазы. Мерой поверхностной энергии является поверхностное натяжение σ – максимальная полезная работа, затраченная на образование единицы поверхности.

Поверхностное натяжение раствора зависит от состава поверхностного слоя. Так как любая система стремится реализовать состояние, соответствующее минимальной свободной энергии, то должно наблюдаться увеличение содержания в поверхностном слое того компонента раствора, от прибавления которого уменьшается поверхностное натяжение раствора. Изменение содержания данного компонента в поверхностном слое по сравнению с содержанием его во внутренних слоях называется адсорбцией. Различают положительную адсорбцию, когда содержание растворенного вещества в поверхностном слое становится выше, чем во внутренних слоях раствора, и отрицательную – в обратных случаях. Вещества, сильно уменьшающие поверхностное натяжение растворителя, называются поверхностно-активными веществами. Мерой поверхностной активности веществ является частная производная от поверхностного натяжения по концентрации при постоянной температуре $(\partial\sigma/\partial c)_T$. Повышение температуры, усиливая тепловое движение молекул, уменьшает адсорбцию.

Количественно адсорбцию веществ в поверхностном слое двухкомпонентного раствора описывает уравнение Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \left(\frac{\partial\sigma}{\partial C} \right)_T. \quad (1)$$

Здесь Γ – адсорбция, избыток вещества в поверхностном слое по сравнению с внутренними слоями;

C – концентрация растворенного вещества;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура, К.

Методика исследования и описание установки

Наиболее простым методом экспериментального исследования адсорбции на поверхностях жидких фаз является измерение поверхностного натяжения. Существует много методов определения поверхностного натяжения жидкости в капилляре; по весу капель, вытекающих из вертикальной капиллярной трубки; по максимальному давлению в пузырьке газа при пробулькивании его через жидкость и по счету капель.

Определение поверхностного натяжения методом счета капель

Для определения поверхностного натяжения растворов используют сталагмометр Траубе, основной деталью которого является стеклянная трубка, имеющая расширение по середине и заканчивающаяся капилляром с плоскошлифованным концом. Сверху и снизу расширения имеются метки а и б, ограничивающие определенный объем V . Благодаря поверхностному натяжению жидкость не вытекает из трубки струей, а сначала собирается в каплю. Капля отрывается, если ее вес перевешивает силу, удерживающую каплю на конце капилляра. Чем больше отдельная капля и чем меньше число капель, на которые распадается данный объем жидкости, тем больше поверхностное натяжение.

Вес отрывающейся капли пропорционален силе поверхностного натяжения, удерживающей каплю:

$$G = 2 \pi r \sigma,$$

где r – радиус отверстия сталагмометра.

Можно записать

$$G = Vdg/n.$$

Здесь V – объем жидкости в сталагмометре;

d – плотность жидкости;

g – ускорение силы тяжести;

n – число капель жидкости в объеме.

В момент отрыва

$$2 \pi r \sigma = Vdg/n.$$

Из этого соотношения следует, что для воды

$$\sigma_0 = \frac{Vd_0g}{n_0 2\pi r},$$

а для испытуемого вещества

$$\sigma = \frac{Vdg}{n2\pi r}.$$

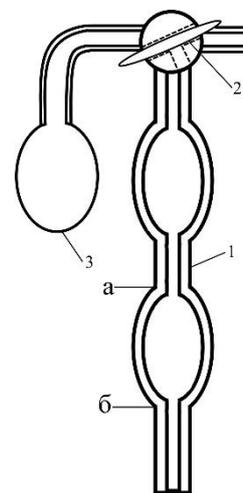


Рис. Сталагмометр Траубе.

Таким образом,

$$\sigma = \sigma_0 \frac{n_0 d}{n d_0}$$

Порядок выполнения работы

1. Опустив нижний конец сталагмометра в стаканчик с жидкостью, грушей 3 всасывают жидкость в сталагмометр до уровня выше верхней метки.

2. Соединяют кран 2 с атмосферой и считают число капель, приходящихся на объем жидкости, заключенный между указанными метками. Отсчеты повторяют три раза, разница между отдельными отсчетами не должна превышать одну каплю. Сначала производят измерение числа капель воды, затем числа капель испытуемого вещества.

3. Рассчитывают σ испытуемого вещества по формуле (2), используя данные табл.1.

Таблица 1

С _{укс. к-ты} , моль/л	Плотность, г/см ³	С _{ацетона} , моль/л	Плотность, г/см ³
0,25	0,998	0,25	0,994
0,5	1,000	0,5	0,990
1	1,005	1	0,987
1,5	1,009	1,5	0,984
2	1,012	2	0,980
2,5	1,017	2,5	0,974
3	1,020	3	0,971
4	1,027	4	0,963

4. Результаты измерений и расчетов заносят в табл.2.

Таблица 2

Концентрация раствора, моль/л	Число капель в объеме V сталагмометра	σ , Н/м	Адсорбция Γ , моль/м ³

5. Определяют адсорбцию по уравнению (1), используя график зависимости $\sigma = f(c)$.

6. Строят график зависимости адсорбции от концентрации и объясняют полученные результаты.

7. Делают выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение адсорбции и абсорбции.
2. Запишите уравнение Гиббса.
3. Дайте определение поверхностного натяжения.
4. Какие методы определения поверхностного натяжения вы знаете?

5. Как определить адсорбцию?
6. Как зависит адсорбция от концентрации вещества?
7. Как влияют поверхностно-активные вещества на адсорбцию.

Литература: [9, с. 50...57], [3, с. 425...436].

Работа №7

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ ПЛАВКОСТИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

План коллоквиума

Правило фаз Гиббса. Применение правила фаз к двухкомпонентным системам. Диаграммы плавкости (состояний) двухкомпонентных систем. Применение правила отрезков (правила рычага) при определении количества равновесных фаз. Метод термического анализа и его использование при построении диаграмм плавкости.

Цель работы

Построить диаграмму плавкости двухкомпонентной металлической системы эвтектического типа с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и ограниченной – в твердом состоянии с использованием метода термического анализа. Научиться делать анализ полученных кривых охлаждения.

Общие положения

Общие закономерности, которым подчиняются равновесные системы, состоящие из любого числа фаз и веществ, устанавливаются правилом фаз Гиббса:

$$f = k - n + c,$$

где f – число степеней свободы;

k – число независимых компонентов системы;

n – число фаз;

c – число внешних переменных факторов, определяющих условие существования системы.

При отсутствии в системе электрических и магнитных полей такими внешними факторами являются температура и давление. Поэтому в этом случае

$$f = k - n + 2.$$

Вид этого уравнения для некоторых частных случаев может измениться. Например, процесс кристаллизации (или плавления) протекают обычно при постоянном давлении, а кроме того не очень большие колебания давления практически не влияют на температуру кристаллизации (плавления). В этом случае уравнение правила фаз имеет вид

$$f = k - n + 1.$$

Число степеней свободы f системы (или вариантность системы) определяет количество параметров состояния ее, которые могут произвольно меняться в некоторых пределах без изменения фазового состояния системы.

Графическое изображение зависимости какого-либо свойства многокомпонентной системы от ее состава называют диаграммой состояний. Диаграмма, построенная в координатах “состав – температура кристаллизации”, является

частным случаем диаграммы состояний данной системы, ее называют также диаграммой плавкости. По таким диаграммам можно судить о числе и составе равновесных при какой-либо температуре фаз, о температуре кристаллизации расплава любого состава рассматриваемой системы.

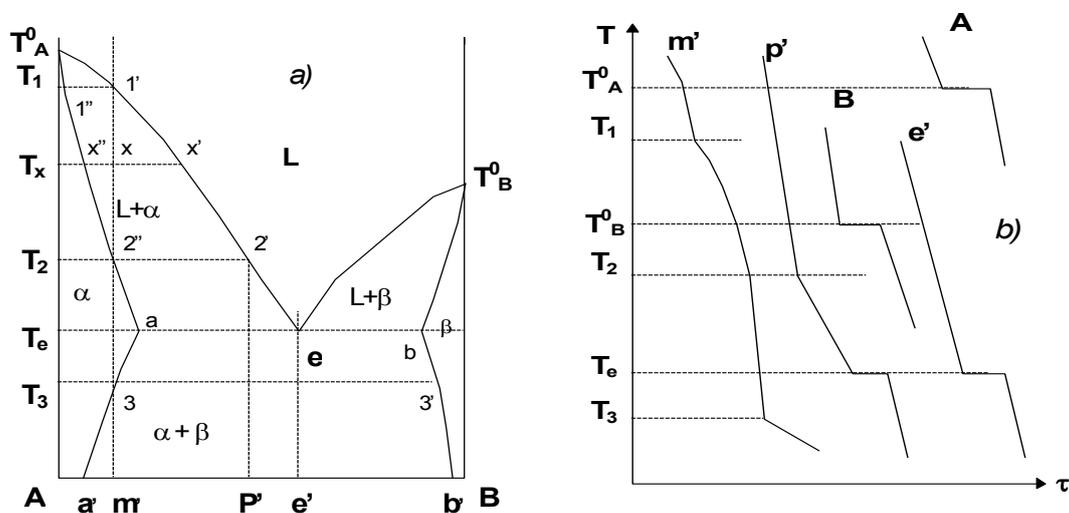


Рис. 1. Диаграмма плавкости бинарной системы с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения, характерные для таких систем (b).

Наиболее распространенным типом из простейших диаграмм плавкости бинарных систем является диаграмма эвтектического типа с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и ограниченной переменной растворимостью в твердом состоянии. Общий вид такой диаграммы плавкости бинарной системы (системы А–В) представлена на рис. 1а.

Отличительной особенностью таких диаграмм является наличие эвтектики е. Ликвидус диаграммы изображается двумя кривыми T_{Ae}^0 и T_{Be}^0 , которые пересекаются в эвтектической точке «е». Кривые T_{Ae}^0 и T_{Be}^0 отвечают температурам начала кристаллизации соответственно α и β твердых растворов, а эвтектическая точка «е» – температура кристаллизации эвтектики (смеси кристаллов $\alpha + \beta$).

СOLIDUS диаграммы состоит из двух кривых T_A^0 и T_B^0 и горизонтальной прямой «ab», причем кривые T_A^0 и T_B^0 характеризуют температуры конца кристаллизации первичных α и β твердых растворов, а горизонталь «ab» – температуру кристаллизации эвтектики ($\alpha + \beta$). Кривые aa' и bb' представляют собой линии растворимости компонентов А и В друг в друге в твердом состоянии (линии «сOLIDUS»). С понижением температуры взаимная растворимость компонентов А и В обычно уменьшается. Точка «а» показывает, какое максимальное (предельное) количество компонента В может растворяться в компоненте А, а точка «b» предельную растворимость компонента А в В при эвтектической температуре.

Линии ликвидус T_{Ae}^0 и T_{Be}^0 характеризуют составы предельно охлажденных жидких растворов, которые насыщены компонентами А и В. Поскольку компоненты А и В ограничено растворимы друг в друге в твердом состоянии, то при дальнейшем охлаждении таких растворов (они становятся перенасыщенными) из них выделяются не кристаллы чистых компонентов, а α и β твердых растворов. Составы этих растворов при затвердевании расплава изменяются в соответствии с положением кривых солидус, а состав жидкости – по кривым ликвидус.

При эвтектической температуре T_e жидкость эвтектического состава L_e (т.е. отвечающего точке «е») одновременно насыщена обоими компонентами А и В, поскольку эвтектическая точка принадлежит сразу двум ветвям ликвидус. Поэтому жидкость эвтектического состава L_e затвердевает с образованием смеси кристаллов α и β – твердых растворов предельных концентраций. Процесс кристаллизации двойной эвтектики можно записать как



Это значит, что из жидкости L_e постоянного (эвтектического) состава выпадает смесь кристаллов твердых растворов α_a и β_b также постоянных составов. Это не противоречит правилу фаз, согласно которому трехфазное эвтектическое превращение является инвариантным ($f=k-n+1=2-3+1=0$). Поэтому оно должно протекать при постоянной температуре T_e и неизменных составах жидкости L_e и кристаллов α_a и β_b .

Рассмотрим особенности кристаллизации типичных сплавов изучаемой бинарной системы.

ЧИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА кристаллизуются при постоянных температурах T_{A}^0 и T_{B}^0 ($f=k-n+1=1-2+1=0$).

СПЛАВ СОСТАВА m' . Когда температура этого сплава (см.рис.1а) понизится до T_1 , из жидкости состава, отвечающего точке $1'$, лежащей на кривой ликвидус, выделяются первые кристаллики твердого α -раствора. Состав первых кристаллов этого раствора отвечает точке $1''$, лежащей на кривой солидус. Из этой диаграммы плавкости видно, что выпадающие кристаллы α -раствора по своему составу отличаются от жидкости, они обогащены компонентом А. При дальнейшем понижении температуры от T_1 до T_2 составы жидкости и выпадающих из нее α -кристаллов изменяются в соответствии с кривыми ликвидус и солидус. Жидкость изменит состав в направлении от точки 1 к точке 2, а кристаллы – в направлении от точки $1''$ к точке $2''$. Изменение составов жидкости и α -кристаллов произойдет за счет изменения их относительных весовых количеств ($g_{\text{ж}}$ и g_{α}) – увеличение количества α -кристаллов и уменьшения количества жидкости, что подчиняется правилу отрезков (при температуре T_x $g_{\text{ж}}/g_{\alpha}=x''x'/xx''$).

При температуре T_2 сплава m' равновесии окажутся последние порции жидкости состава точки $2'$ и α -кристаллы состава точки $2''$. При этой температуре заканчивается кристаллизация сплава.

При понижении температуры до T_3 фигуративная точка сплава окажется на кривой aa' , определяющей растворимость компонента В в А. В этот момент α -

кристаллы станут предельно насыщенными компонентом В. Вследствие уменьшения растворимости компонента В в компоненте А с понижением температуры из α -твердого раствора выделяются кристаллы β -твердого раствора, богатые компонентом В (точка 4, рис.1а).

При дальнейшем охлаждении сплава (ниже T_3) составы равновесных α - и β -твердых растворов изменяются по кривым ограниченной растворимости aa' и bb' .

СПЛАВ СОСТАВА p' . Кристаллизация сплава p' (рис.1а) начнется при температуре T_2 , когда из жидкости состава $2'$ выделяются первые α -кристаллы, в соответствии с кривой солидус T_{0Aa} , будут содержать все большее количество компонента В, а остающаяся жидкость, в соответствии с кривой ликвидус T_{0Ae} , также будет обогащаться компонентом В вплоть до состава, отвечающего эвтектической точке «е».

При эвтектической температуре выделяется из состава жидкости L_e эвтектическая смесь кристаллов $\alpha_a + \beta_b$. При дальнейшем охлаждении (ниже T_e) изменяется состав кристаллов α и β и их количественное соотношение в соответствии с понижением кривых aa' и bb' , лимитирующих взаимную растворимость компонентов в твердом состоянии.

Диаграммы состояний обычно строятся на основании опытных данных зависимости концентраций равновесных растворов от температуры.

Наиболее общим современным способом определения температур равновесия между твердыми и жидкими фазами является метод термического анализа, разновидностью которого является метод снятия кривых охлаждения (нагрева), т.е. построение кривых в координатах «температура сплава – время».

При построении кривых охлаждения учитывается тот факт, что пока в охлажденной системе не происходит никаких превращений, скорость уменьшения температуры пропорциональна разности температур охлаждающего вещества (T) и окружающей среды (T_0).

Кристаллизация расплавленного чистого вещества или эвтектического расплава при медленном охлаждении сопровождается температурной остановкой, так как выделяющаяся при затвердевании теплота компенсирует ее отвод (кривая 1, рис.2). Длительность температурной остановки и тем самым размер горизонтального участка на кривой охлаждения зависят от количества кристаллизующегося вещества и скорости отвода теплоты. При исчезновении последней капли жидкости (точка «b» на кривой 1, рис.2) температура вновь начинает падать, так как с этого момента отвод теплоты в окружающую среду уже ничем не компенсируется. На практике обычно происходит переохлаждение расплава и неравномерное распределение температур по объему системы, поэтому горизонтальный участок превращается в криволинейный (кривая 2, рис.2).

При кристаллизации металлических растворов (например, сплава m' , рис.1а) на кривой охлаждения (рис.1б) в зависимости от периода затвердевания можно выделить различные участки. Изломы по кривой отвечают началу определенного участка затвердевания. Так при температуре T_1 , начинают выпадать

кристаллы α -раствора ($f=k-n+1=2-2+1=1$), и они выпадают в интервале температур от T_1 до T_2 . При температуре T_2 заканчивается затвердевание и от T_2 до T_3 идет охлаждение α -кристаллов. При T_3 из α -кристаллов выпадают кристаллы β -раствора и опять на кривой охлаждения наблюдается излом.

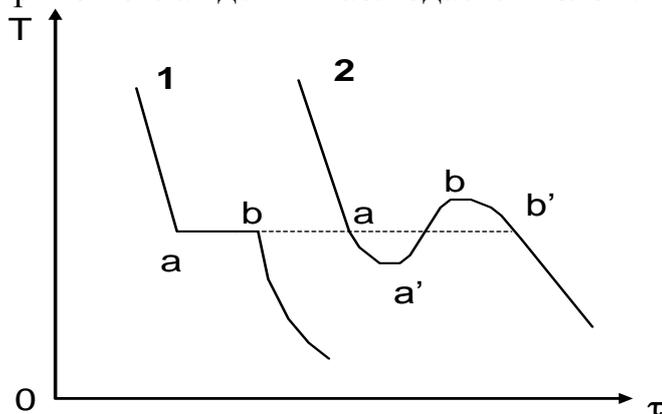


Рис.2. Кривая охлаждения.

Выполнение работы и обработка экспериментальных данных

В работе предполагается построить диаграмму состояний одной из бинарных систем, приведенных в таблице. Построение диаграмм плавкости проводится на основании кривых охлаждения расплавов различных концентраций.

Сплавы нужного состава загружаются в кварцевые тигли. Во избежание загрязнения для каждого сплава следует брать чистый тигель. Для защиты металла от окисления на поверхность его помещается древесный уголь. Сплав нагревается в электрической шахтной печи до температуры на $70...100^\circ$ выше температуры его плавления. После расплавления сплав перемешивается фарфоровой или корундовой палочкой.

Таблица

Рекомендуемые для исследования сплавы и их составы

№ п/п	Система А-В	Температура плавления, $^\circ\text{C}$		Координаты характерных точек, %В			Рекомендуемые составы сплавов, % В					
		T_A^0	T_B^0	a	b	E	1	2	3	4	5	6
1	Pb-Sn	327,4	231	22	95	63	10	25	35	50	75	90
2	Pb-Cd	327,4	321	4	99,8	17,5	10	30	45	60	75	90
3	Bi-Cd	271	321	0	100	39	10	25	40	60	75	90

Затем тигель с расплавом быстро переносится в специальную ячейку (рис.3), выполненную из теплоизоляционного материала. В расплав опускается термомпара 5 так, чтобы спай ее не касался стенок тигля. Перемещение термомпары осуществляется в результате скольжения втулки 3 вдоль вертикального стержня 8. Положение термомпары в тигле фиксируется с помощью винта 4. Концы термом-

пары подсоединяются к клеммам «+» и «-» самопишущего потенциометра (положительный электрод термопары подсоединяется к клемме «+» потенциометра, отрицательный – к клемме «-»).

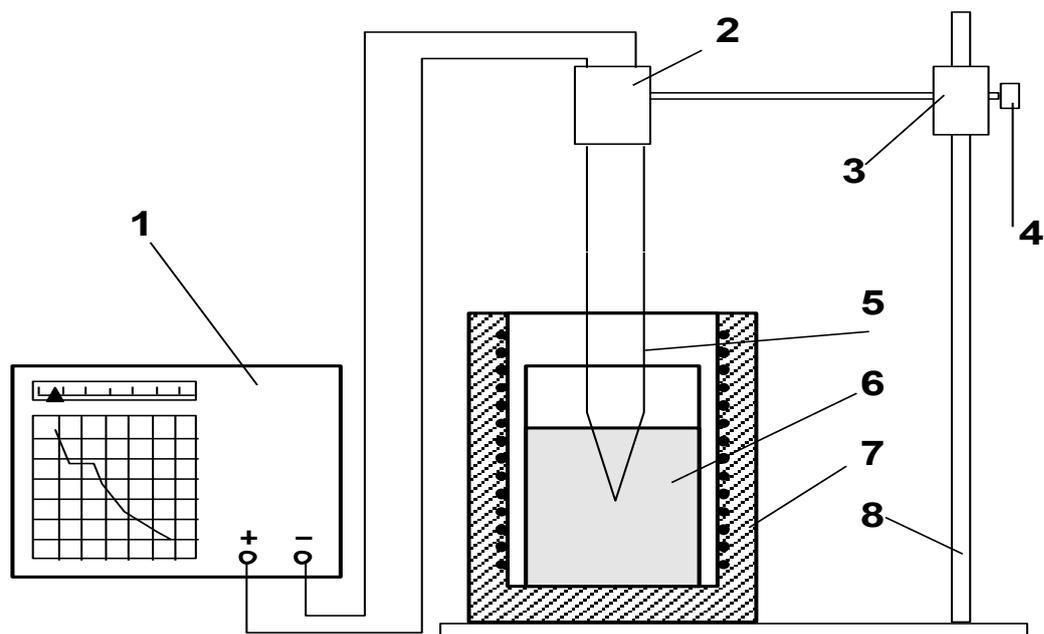


Рис.3. Схема экспериментальной установки.

Включение потенциометра осуществляется нажатием на кнопку «прибор». После установки тигля с расплавом в ячейку 7 и введения в расплав горячего спая термопары включается запись кривой охлаждения нажатием кнопки «Диаграмма» потенциометра. Кривая охлаждения снимается вплоть до температуры ~ 100 °С. По окончании опыта отключается запись на потенциометре нажатием кнопки «диаграмма», и тигель с закристаллизовавшимся сплавом переносится в разогретую печь с целью извлечения термопары. Такие опыты проводятся со сплавами всех рекомендуемых составов по 2...3 раза.

Результаты измерений (кривые охлаждения) получаются на диаграммной ленте потенциометра в виде кривых зависимости «ТермоЭДС – Время охлаждения сплава». Проводится далее анализ кривых охлаждения, полученные на диаграммной ленте и построенных на их основании. Затем, используя сведения, приведенные в таблице, строится диаграмма плавкости изучаемой бинарной системы.

В заключение дается объяснение полученных результатов и делаются выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте правила фаз Гиббса.
2. Что такое диаграмма состояния?
3. Какие методы построения диаграмм вы знаете?
4. Что отражает кривая охлаждения?
5. Что такое эвтектика?

Литература: [10,11], [12, с.102...112].

Работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА СПЛАВА РОЗЕ И ПРИПОЯ ПОС-61 НА РАСТЕКАЕМОСТЬ

План коллоквиума

Поверхностное натяжение, смачивание и растекаемость материалов. Методы определения растекаемости. Методика приготовления образцов.

Цель работы

Познакомиться с методом определения коэффициента растекания припоев на подложке. Исследовать влияние состава припоя на его растекаемость по подложке.

Порядок выполнения работы

1. Приготовить 10 образцов по 10 г сплава Розе с изменениями исходного химического состава согласно табл.1.

Исходный состав сплава Розе:

Bi – 51,5 %,

Pb – 32 %,

Sn – 18 %

Таблица 1

№ сплава	Добавлено к исходному составу		
	Bi, %	Sn, %	Pb, %
1	1	–	–
2	3	–	–
3	5	–	–
4	–	1	–
5	–	2	–
6	–	3	–
7	–	–	1
8	–	–	2
9	–	–	3
10	–	–	–

2. Приготовить 7 образцов по 10 г припоя ПОС-61 с изменением исходного состава согласно табл.2.

Исходный состав припоя ПОС-61:

Sn – 60 %,

Pb – 40 %.

Таблица 2

№ сплава	Добавлено к исходному составу	
	Sn, %	Pb, %
1	1	–
2	3	–
3	5	–
4	–	1
5	–	3
6	–	5
7	–	–

Все сплавы выплавляются в лабораторных условиях в пробирках из кварцевого стекла под слоем глицерина во избежание окисления припоев во время расплавления.

3. Приготовить дозированные заготовки следующим образом: из каждого сплава приготовить по 6 навесок с массой 0,2 г, из которых наплавить на ситалловых подложках идеальные полусферы с диаметром 3 мм.

4. Подготовить технологические образцы меди: медные пластины (размерами 25 x 25 x 1 мм) обезжирить в растворе венской извести и высушить на воздухе. Обезжиренные образцы декапировать в 10%-ном растворе соляной кислоты и высушить.

5. На пластины кисточкой нанести спирто-канифольный флюс (канифоль – 30 %, спирт этиловый – 70 %) и установить специально приготовленные дозированные заготовки испытуемых сплавов.

6. Нагреть до рабочей температуры припоя.

Температура нагрева медной подложки для сплавов Розе: 166°C, для сплавов ПОС-61: 270°C.

Время нагрева образцов с момента появления жидкой фазы – 3 с. Температура плавления различных металлов измеряется при помощи термометров, вставленных в массовый стальной диск в 3 различных точках, который нагревается до нужной температуры на электрической плитке.

7. Охладить образцы до комнатной температуры.

8. Определить площадь растекания сплава по среднему диаметру. Диаметр необходимо измерять не менее, чем в пяти различных направлениях под микроскопом.

9. Рассчитать коэффициент растекаемости для каждого сплава по формуле

$$K_p = \frac{S_p}{S_0},$$

где S_p – площадь, занятая дозой припоя после расплавления и растекания, мм²;

S_0 – площадь, занимаемая дозой припоя в исходном состоянии, мм².

10. Результаты экспериментов свести в таблицу

11.

Сплав №	Коэффициенты растекаемости по разным направлениям					
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$K_{\text{средн}}$

10. Построить графики зависимости среднего коэффициента растекаемости сплава от концентрации каждого из его компонентов.

11. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Опишите явление смачиваемости.
2. От каких параметров зависит смачиваемость?
3. Опишите методы определения поверхностного напряжения.

Литература: [13, с. 140...170; 15].

Работа №9

ЭДС ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

План коллоквиума

Механизм возникновения электрического тока в гальванических элементах. Электродные потенциалы и ЭДС элементы.

Типы электродов. Концентрационная и химические гальванические элементы. Особенности измерения ЭДС гальванических элементов.

Цель работы

Ознакомиться с гальваническими элементами разных типов. Измерить ЭДС предложенных гальванических элементов, в зависимости от концентрации растворов электролитов.

Общие положения

Гальванический элемент – устройство, состоящее из проводников первого (металлы) и второго рода (электролиты), преобразующее химическую энергию в электрическую. Например, элемент Даниэля-Якоби состоит из медной и цинковой пластин, погруженных в водные растворы CuSO_4 и ZnSO_4 соответственно.

Схема элемента:



Электродные реакции:



–катодная на положительном электроде, (медном) $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$
 Суммарный токообразующий процесс



Электродвижущая сила (Э.д.с.) элемента

$$E = \varepsilon_+ - \varepsilon_-, \quad (3)$$

где ε_+ – потенциал положительного (медного) электрода; ε_- – потенциал отрицательного (цинкового) электрода. Здесь и в дальнейшем диффузионный потенциал на границе двух жидкостей исключается путем введения между растворами электролитов раствора соли, ионы которой обладают близкими по величине скоростями.

Потенциал электрода можно рассчитать по формуле Нернста. Для электродов первого рода, например, медного или цинкового, обратимых относительно катиона,

$$\varepsilon = \varepsilon^{\circ} + \frac{RT}{zF} \ln a_{K^{z+}}, \quad (4)$$

где ε° – стандартный электродный потенциал – потенциал электрода при активности катиона в электролите, $a_{K^{z+}} = 1$; z – заряд катиона; F – число Фарадея; R – универсальная газовая постоянная. С учетом выражения (4) для потенциалов медного $\varepsilon_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}$ и цинкового $\varepsilon_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}$ электродов уравнение для ЭДС элемента принимает вид:

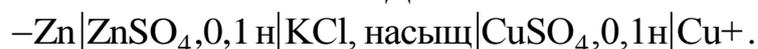
$$E = \varepsilon_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^{\circ} - \varepsilon_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}^{\circ} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{\text{Cu}^{2+}}}{a_{\text{Zn}^{2+}}}. \quad (5)$$

Для практических расчетов используют условные значения стандартных электродных потенциалов, которые определяют относительно стандартного водородного электрода с активностью водородных ионов в растворе, равной единице, и давлением водорода 1 атм. Потенциал стандартного водородного электрода при всех температурах условно принимается за нуль. Условные значения стандартных водородных потенциалов по водородной шкале располагают в ряд, называемый рядом напряжений.

Для точного измерения ЭДС используют компенсационный метод. Сущность метода заключается в том, что ЭДС исследуемого элемента уравновешивается падением напряжения от внешнего источника тока. Нулевое значение тока в такой схеме регистрируется гальванометром, а величина ЭДС – на шкале используемого прибора. В данной работе для измерения ЭДС используется высокоомный электронный вольтметр с входным сопротивлением, обеспечивающим практически нулевое значение тока в измеряемой цепи.

Порядок выполнения работы

1. Составляют гальванический элемент Даниэля-Якоби:



Для этого в один из сосудов (см. рис.) наливают 0,1 н раствор CuSO_4 и помещают зачищенный медный электрод, а в другой – 0,1 н раствор ZnSO_4 и цинковый электрод. Концы заполненных электролитами сифонов погружают в сосуд с насыщенным раствором KCl .

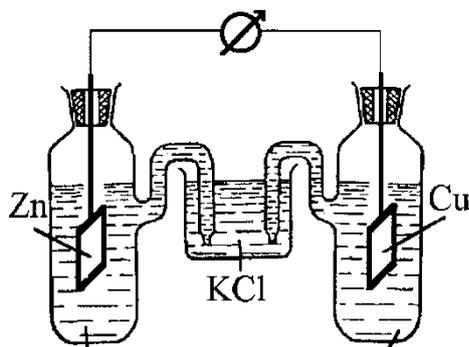


Рис. Гальванический элемент.

2. Измеряют ЭДС элемента электронным высокоомным вольтметром

3. Рассчитывают значение ЭДС данного элемента по уравнению (5), заменяя отношение активностей ионов отношением молярных (моль/л) концентраций, и сравнивают результаты расчета и опыта. Стандартные электродные потенциалы берут из справочника физико-химических величин. Определяют относительную ошибку опыта.

4. Проводят аналогичные опыты и рассчитывают для других элементов, составленных из следующих электродов: $\text{ZnSO}_4, 0,1\text{н}|\text{Zn}$; $\text{CuSO}_4, 0,1\text{н}|\text{Cu}$; $\text{CdSO}_4, 0,1\text{н}|\text{Cd}$; $\text{KCl}, 0,1 \text{ н}|\text{AgCl}_{\text{тв}}, \text{Ag}$.

Для элемента на основе хлорсеребряного и серебряного электродов



рассчитывают значение ЭДС по формуле:

$$E_{\text{р}} = \varepsilon_{\text{Ag}^+|\text{Ag}}^{\circ} - \varepsilon_{\text{Cl}^-|\text{Ag}, \text{AgCl}}^{\circ} + \frac{RT}{F} \ln a_{\text{Ag}^+} \cdot a_{\text{Cl}^-}. \quad (7)$$

Здесь $a_{\text{Ag}^+} = 0,077$ – активность ионов серебра в 0,1 н растворе AgNO_3 ;

$a_{\text{Cl}^-} = 0,079$ – активность ионов хлора в 0,1 н растворе KCl .

5. Определяют относительную ошибку опыта, принимая, что $E_{\text{оп.}} = 0,445 \text{ В}$.

6. Определяют произведение растворимости AgCl L_{AgCl} по величине ЭДС элемента (6):

$$E = -\frac{RT}{F} \ln \frac{L_{\text{AgCl}}}{a_{\text{Ag}^+} \cdot a_{\text{Cl}^-}}. \quad (8)$$

7. Определяют растворимость AgCl в 0,1 н водном растворе KCl $C_{\text{AgCl}} = L_{\text{AgCl}} / a_{\text{Cl}^-}$.

8. Определяют растворимость AgCl в воде:

$$C_{\text{AgCl}}^{\circ} = [\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] = \sqrt{L_{\text{AgCl}}}. \quad (9)$$

9. Делают выводы по работе.

В расчётах используют справочные данные для стандартных электродных потенциалов при температуре 298 К (25 °С):

$$\varepsilon_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^{\circ} = 0,3391 \text{ В}, \quad \varepsilon_{\text{Cd}^{2+}|\text{Cd}}^{\circ} = -0,4023 \text{ В}, \quad \varepsilon_{\text{Cl}^{-}|\text{AgCl}, \text{Ag}}^{\circ} = 0,2225 \text{ В},$$

$$\varepsilon_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}^{\circ} = -0,7611 \text{ В}, \quad \varepsilon_{\text{Ag}^{+}|\text{Ag}}^{\circ} = 0,7991 \text{ В}, \quad F = 96487 \text{ Кл/Г-ЭКВ}$$

Контрольные вопросы

1. Что такое стандартный электродный потенциал?
2. Приведите классификацию электродов.
3. По каким признакам подразделяются электрохимические элементы?
4. Почему необходимо проводить измерения ЭДС с использованием измерителей с высоким входным сопротивлением?

Литература: [5, с. 310...325], [6, с. 63...77]

Работа №10

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ МЕДИ ИЗ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТАЛЛОВ

План коллоквиума

Выделение металлов цементацией. Термодинамика и кинетика процесса цементации меди цинком. Примеры применения цементации в металлургической практике.

Цель работы

Ознакомиться с понятием электродных потенциалов и цементацией, а также методом определения концентрации меди в растворах.

Оборудование и реактивы

Фотоколориметр КФК – 3.

Магнитная мешалка.

Раствор сульфата меди концентрации 10 г / л.

Порошок цинка на железе.

Эталонные растворы с содержанием меди 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 мг в 25 мл

2н. раствор аммиака.

Общие положения

Цементацией называется процесс вытеснения металлов из растворов, основанный на электрохимической реакции между металлом–цементатором и ионом вытесняемого металла:



Термодинамическая возможность протекания цементации определяется соотношением величин электродных потенциалов. Вытесняющий металл должен иметь более отрицательный электродный потенциал, чем вытесняемый: $\varphi_{Me_2} < \varphi_{Me_1}$. По мере выделения металла, изменяется его концентрация, а, следовательно, и значение потенциала φ . При равновесии $\varphi_{Me_2} = \varphi_{Me_1}$. Подставив выражения для потенциалов металлов по уравнению Нернста, получим:

$$\varphi_{Me_1}^0 + \frac{RT}{z_1 F} \ln a_{Me_1^{z_1+}} = \varphi_{Me_2}^0 + \frac{RT}{z_2 F} \ln a_{Me_2^{z_2+}} \quad \text{или} \quad \ln \frac{a_{Me_2^{z_2+}}}{a_{Me_1^{z_1+}}} = \frac{(\varphi_{Me_1}^0 - \varphi_{Me_2}^0) F}{RT}. \quad (2)$$

Где $\varphi_{Me_1}^0$ и $\varphi_{Me_2}^0$ – стандартные электродные потенциалы Me_1 и Me_2 , $a_{Me_1^{z_1+}}$ и $a_{Me_2^{z_2+}}$ – активности ионов металлов в растворе, F – постоянная (число) Фарадея, представляющая собой заряд одного моля электронов и равная 96487 Кл/моль.

Медь практически полностью выделяется из раствора при цементации на цинке ($\varphi_{Cu}^0 = +0,34$ В; $\varphi_{Zn}^0 = -0,763$ В). Цементация меди на железе при комнатной температуре протекает очень медленно ($\varphi_{Fe}^0 = -0,44$ В). При погружении металла-цементатора в раствор, содержащий ионы вытесняемого металла, начинается электрохимическое взаимодействие, в результате которого образуются участки поверхности, покрытые вытесняемым металлом – катодные участки. Одновременно возникают анодные участки, где протекает обратный процесс – ионизация атомов металла-цементатора.

Гетерогенный процесс цементации состоит из нескольких последовательных стадий, из которых главными являются:

1. Доставка ионов к катодной поверхности и отвод ионов от анодной поверхности.
2. Электрохимическое превращение.

Скорость цементации и лимитирующие стадии процесса изменяются во времени вследствие изменения концентрации раствора и величин поверхностей катодных и анодных участков. В разные периоды процесс может протекать в кинетической, диффузионной или промежуточной областях, а удельная скорость процесса может быть описана общим выражением для удельной скорости гетерогенного процесса, моль/(м²·с):

$$v_{уд} = C_0 / (\delta/D + 1/K_{хим}), \quad (3)$$

где C_0 – концентрация ионов Me_1 в объеме раствора, моль/м³; δ – эффективная толщина диффузионного слоя, м; D – коэффициент диффузии, м²/с; $K_{хим}$ – константа скорости электрохимической реакции, м/с.

Полная скорость процесса составляет, моль/с:

$$v_{\text{полн}} = v_{\text{уд}} \cdot S. \quad (4)$$

Здесь S – площадь поверхности взаимодействия, м^2 .

Скорость цементации зависит от величины удельной поверхности и активности металла-цементатора, электрохимических потенциалов металлов и температуры процесса.

Кроме основных реакций, в процессе цементации при определенных условиях могут протекать побочные реакции выделения водорода и катодное восстановление кислорода, что приводит к дополнительным затратам и обратному растворению осажденного металла. Цементация широко применяется для выделения из растворов золота, меди, индия и др., а также для очистки растворов от примесей.

Порядок выполнения работы

1. Приготовить стандартные растворы, содержащие 0,5; 1; 1,5; 2 и 2,5 мг меди в 25 мл 2н. раствора аммиака.

2. С помощью фотоколориметра КФК-3 измерить оптическую плотность стандартных растворов и построить калибровочную линию, для этого необходимо предварительно выполнить ряд подготовительных операции в следующей последовательности:

2.1 Выбрать длину волны, на которой будут проводиться измерения;

2.2 Выбрать из набора необходимые кюветы;

2.3 Налить исследуемый раствор в кюветы и установить гнездо кюветодержателя;

2.4 Провести измерения оптической плотности для каждого раствора по 3 раза и найти среднее значение;

2.5 Построить калибровочный график для стандартных растворов.

3. Налить в колбу 100 мл раствора CuSO_4 со значением $\text{pH} = 1 \dots 1,5$ (по HCl) и добавить к нему заданное количество осадителя (цинкового или железного порошка).

4. Поставить колбу на магнитную мешалку и проводить перемешивание в течение 30 минут.

5. По окончании перемешивания отделить раствор от осадка фильтрованием.

6. Влить в кювету для колориметрирования аликвотную часть раствора после цементации и довести объем раствора до 25 мл 2н. раствором аммиака.

7. С помощью фотоколориметра измерить оптическую плотность исследуемого раствора.

8. По калибровочному графику найти концентрацию меди в исследуемом растворе.

9. Рассчитать количество меди, оставшейся в растворе, по формуле, мг: $g_2 = C_x V / b$, где C_x – содержание меди в аликвоте найденное по пункту 8, мг; V – общий объем рабочего раствора, мл; b – объем аликвоты, мл.

10. Определить на основании полученных данных степень цементации $\alpha = (g_1 - g_2)/g_1$, где g_1 – количество меди в исходном растворе, мг; g_2 – количество меди в растворе после цементации, мг.

11. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Опишите суть процесса цементации?
2. Дайте определение стандартных электродных потенциалов.
3. Опишите скорость процесса цементации.
4. Приведите примеры процессов цементации в практике.
5. От каких параметров зависит скорость цементации.

Литература: [15, 16]

Работа №11

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

План коллоквиума

Законы Фарадея. Электрохимическое травление. Электрохимическая полировка. Влияние технологических параметров на травление и полировку.

Цель работы

Ознакомиться с процессами травления и полирования меди, латуни.

Оборудование и реактивы

1. Источник постоянного тока.
2. Ванна для электрохимической обработки.
3. Электроды (аноды и катоды)
4. Растворы электролитов

Общие положения

Среди разнообразных способов обработки металлов с непосредственным применением электричества одно из важнейших мест занимает электрохимическое полирование (далее ЭХП). ЭХП – процесс анодного растворения металлов, в результате которого возникает блеск и улучшается микрогеометрия поверхности. Наибольшее применение для ЭХП меди и ее сплавов получили электролиты

на основе ортофосфорной кислоты. При исследовании влияния различных факторов на процесс полирования меди, замечено, что между концентрацией ортофосфорной кислоты и плотностью тока существует определенная зависимость. Чем выше концентрация кислоты в электролите, тем меньше может быть рабочая плотность тока, при которой происходит полирование. Повышение температуры и перемешивание электролита усиливает диффузию анодных продуктов, следствием чего является повышение рабочей плотности тока.

Благоприятное влияние оказывает на процесс полирования накопление в растворе ионов меди. Нормальная эксплуатация электролита начинается при содержании в нем 3-4 г/л меди. Поэтому приготовленный раствор ортофосфорной кислоты следует предварительно проработать с медными анодами при плотности тока 0,5-1 А/дм, пропустив через него около 5 А-ч электричества наиболее пригодным для работы является электролит, содержащий 716 г/л ортофосфорной кислоты (удельный вес раствора 1,55). Однофазный сплав меди – α -латунь полируется лучше многофазных сплавов.

Фосфорнокислый электролит периодически корректируется добавлением кислоты и воды. Ежедневный контроль его осуществляется путем измерения удельного веса раствора. Полирование меди и латуни можно производить в электролите, содержащем кроме ортофосфорной кислоты и хромовый ангидрид. При этом заметно изменяется ход процесса полирования. Если в обычном фосфорнокислом электролите хорошее качество полирования достигается только при режиме предельного тока, то в электролите, содержащем хромовый ангидрид, полирование происходит в широком интервале плотностей тока 5-70 А/дм² и сопровождается выделением кислорода. Продолжительность полирования уменьшается до 2-3 мин. Возможность вести процесс в широком диапазоне плотностей тока представляет особый интерес при полировании деталей сложной конфигурации или большой площади, обработка которых в фосфорнокислом электролите связана с частыми случаями брака.

Проведенные исследования выявили положительное влияние на процесс полирования алифатических спиртов, в особенности бутилового и амилового, которые предотвращают травление и повышают интенсивность блеска поверхности металлов.

Травление – растворение поверхностных слоев твердых тел, чаще всего металлов и сплавов, с практической целью (в отличие от коррозии). Различают травление технологическое – для обработки и изменения формы поверхности материалов и структурное – для выявления структуры кристаллических материалов.

Электролитическое травление – травление в электролитических ваннах с растворами солей или кислот. Применяется: катодное электролитическое травление, когда катодом служит травимый металл, а анодом – пластины из свинца, олова или чугуна; анодное электролитическое травление, при котором травимый металл является анодом, а пластины из свинца или графита – катодом, и бесконтактное анодно-катодное электролитическое травление, при котором металл находится между электродами в расплаве каустической соды при $t = 480^\circ\text{C}$. Этот

способ обеспечивает наилучшее качество поверхности. Селективное травление (или избирательное травление) – термин, применяющийся для обозначения травления преимущественно одного материала по сравнению с другим, который обладает гораздо меньшей скоростью травления. Селективному вытравливанию подвержены сплавы на основе меди – хорошо известное явление, называемое обесцинкованием латуней. Электрохимические свойства компонентов латуней – меди и цинка – значительно различаются, поэтому первоначально идет селективное растворение цинка из латуни и образуется обогащенный медью поверхностный слой. Электродный потенциал латуни при этом смещается в положительном направлении пока не становится возможным растворение медной составляющей. Растворение латуни с этого времени становится равномерным, т.е. идет с ионизацией цинка и меди в том же соотношении, в котором они находятся в сплаве. В результате таких процессов на поверхности сплава остается слой чистой меди или промежуточные фазы, обогащенные медью, а в растворе (коррозионной среде) накапливается цинк. Образование фазы чистой меди в различных испытаниях было зафиксировано многими экспериментальными методами, например, рентгенофазовым анализом, металлографическим анализом со снятием поперечных шлифов, с другой стороны, химическим анализом, полярографией было показано, что в растворе действительно преимущественно содержится цинк.

Наиболее распространенные электролиты для полирования меди и латуни содержат в г/л:

- Ортофосфорная кислота – H_3PO_41000
- Бутиловый спирт – $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ 40

Плотность тока 20 А/дм² при температуре 20...25 °С.

Для селективного травления:

- Медь сернокислая – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 125
- Серная кислота – H_2SO_4 (ρ=1,83 г/см³)5
- Соляная кислота – HCl (ρ=1,17 г/см³)5
- Бутиловый спирт – $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ 5

Плотность тока 10 А/дм² при температуре 20...25 °С.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя в зависимости от цели (полирование или селективное травление) пластины (катоды) для полирования меди, а для селективного травления латуни,
2. Получить у преподавателя требуемые параметры обработки (силу тока и толщину снятия).
3. Измерить площадь рабочего электрода.
4. Взвесить полируемый электрод на аналитических весах.
5. Подсоединить электроды к источнику питания.

6. Подать напряжение и выставить необходимый ток на электродах и провести опыт.
7. Выключить источник постоянного тока.
8. Тщательно промыть электрод, высушить и взвесить на аналитических весах.
9. Произвести необходимые расчёты.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте законы Фарадея.
2. Запишите основные электрохимические реакции, протекающие на электродах.
3. Назовите основные электролиты для полирования и травления меди и латуни.

Литература: [6, 8]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Репкин, Н.М. Методы обработки результатов химического эксперимента: учебное пособие / Н.М. Репкин, С.В. Леванцова, Ю.А. Дружинин. – Самара: Изд-во СГТУ, 2012. – 107 с.
2. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980. – 610 с.
3. Практикум по физической химии: Учеб. пособие для вузов / Г.С. Каретников, Н.А. Козырева, И.В. Кудряшова и др.; под ред. И.В. Кудряшова. – М.: Высшая школа, 1986. – 495 с.
4. Забейворота, Н.С. Физико-химические основы в технологии РЭС: учебное пособие / Н.С. Забейворота. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1998. – 40 с.
5. Кузнецов, Ю.С. Физическая химия: учебное пособие / Ю.С. Кузнецов, Б.И. Леонович. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1988. – 344 с.
6. Кузнецов, Ю.С. Физическая химия. Часть 2: Фазовое равновесия, термодинамика растворов, электрохимия: учебное пособие / Ю.С. Кузнецов, Н.В. Германюк, О.И. Качурина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 83 с.
7. Технология тонких пленок: справочник / под ред. Л. Майссела, Р.Глэнга. – М.: Сов. радио, 1977. – Т.1. – 664 с.; Т. 2. – 768 с.
8. Физическая химия. В 2 кн. – Кн.2: Электрохимия. Химическая кинетика и катализ: Учебник для вузов / К.С. Краснов, Н.К. Воробьев и др.; Под ред. К.С. Краснова – М.: Высшая школа, 2001. – 319 с.
9. Антоненко, В.И. Лабораторный практикум по физической химии: учебное пособие / В.И. Антоненко, В.М. Жихарев, Ю.С. Кузнецов. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1984. – 90 с.
10. Берг, Л.Г. Введение в термографию / Л.Г. Берг. – М.: Наука, 1969. – 395 с.
11. Берг, Л.Г. Практическое руководство по термографии / Л.Г. Берг, Н.П. Бурмистрова, М.И. Озерова, Г.Г. Цуринов. – Казань: КГУ, 1976. – 222 с.
12. Практические работы по физической химии: учебное пособие для вузов / Под ред. К.П. Мищенко, А.А. Равделя, А.Н. Пономаревой. – Л.: Химия, 1982. – 400 с.
13. Петрунин, И.Е. Физико-химические процессы при пайке / И.Е. Петрунин. – М.: Высшая школа, 1972. – 280 с.
14. Хряпин, В.Е. Справочник паяльщика / В.Е. Хряпин. – М.: Машиностроение, 1981. – 348 с.
15. Калугина, Н.Л. Технология извлечения металлов из оборотных технологических растворов / Н.Л. Калугина, И.А. Варламова, Г.А. Кумаксин и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – Т.1.
16. Мишурина, О.А. Химические аспекты извлечения ионов меди из технических растворов гальваническими методами / О.А. Мишурина, Л.В. Чупрова // Успехи современного естествознания. – 2016. – №12. – Т.2. – С. 428–432.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПЕРЕВОД град (°C) В АБСОЛЮТНЫЕ МИЛЛИВОЛЬТЫ

Хромель-копель градуировка ХК

Т, °C	<i>ТермоЭДС, мВ, для температуры, °C</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0,063	0,127	0,190	0,254	0,318	0,381	0,445	0,509	0,574
10	0,638	0,702	0,767	0,832	0,896	0,961	1,026	1,091	1,157	1,222
20	1,287	1,353	1,418	1,484	1,550	1,616	1,682	1,748	1,815	1,881
30	1,947	2,014	2,081	2,148	2,214	2,282	2,349	2,416	2,483	2,551
40	2,618	2,686	2,753	2,821	2,889	2,957	3,025	3,094	3,162	3,230
50	3,299	3,367	3,436	3,505	3,574	3,643	3,712	3,781	3,850	3,920
60	3,989	4,059	4,128	4,198	4,268	4,338	4,408	4,478	4,548	4,619
70	4,689	4,760	4,830	4,901	4,972	5,042	5,113	5,184	5,255	5,327
80	5,398	5,469	5,541	5,612	5,684	5,756	5,828	5,899	5,971	6,043
90	6,116	6,188	6,260	6,333	6,405	6,478	6,550	6,623	6,696	6,769
100	6,842	6,915	6,988	7,061	7,135	7,208	7,281	7,355	7,429	7,502
110	7,576	7,650	7,724	7,798	7,872	7,946	8,021	8,095	8,169	8,244
120	8,318	8,393	8,468	8,543	8,618	8,693	8,768	8,843	8,918	8,993
130	9,069	9,144	9,220	9,295	9,371	9,446	9,522	9,598	9,674	9,750
140	9,826	9,802	9,979	10,05	10,13	10,20	10,28	10,36	10,43	10,51
150	30,59	10,66	10,74	10,82	10,89	10,97	11,05	11,13	11,20	11,28
160	11,36	11,44	11,51	11,59	11,67	11,75	11,83	11,90	11,98	12,06
170	12,14	12,22	12,29	12,37	12,45	12,53	12,61	12,69	12,77	12,84
180	12,92	13,00	13,08	13,16	13,24	13,32	13,40	13,48	13,56	13,64
190	13,72	13,80	13,87	13,95	14,03	14,11	14,19	14,27	14,35	14,43

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200	14,51	14,59	14,67	14,75	14,84	14,92	15,00	15,08	15,16	15,24
210	15,32	15,40	15,48	15,56	15,64	15,72	15,80	15,89	15,97	16,05
220	16,13	16,21	16,29	16,37	16,46	16,54	16,62	16,70	16,78	16,86
230	16,95	17,03	17,11	17,19	17,27	17,36	17,44	17,52	17,60	17,69
240	17,77	17,85	17,93	18,02	18,10	18,18	18,26	18,35	18,43	18,51
250	18,59	18,68	18,76	18,84	18,93	19,01	19,09	19,18	19,26	19,34
260	19,43	19,51	19,59	19,68	19,76	19,84	19,93	20,01	20,10	20,18
270	20,26	20,35	20,43	20,52	20,60	20,68	20,77	20,85	20,94	21,02
280	21,11	21,19	21,27	21,36	21,44	21,53	21,61	21,70	21,78	21,87
290	21,95	22,04	22,12	22,21	22,29	22,38	22,46	22,55	22,63	22,72
300	22,80	22,89	22,97	23,06	23,14	23,23	23,31	23,40	23,48	23,57
310	23,66	23,74	23,83	23,91	24,00	24,08	24,17	24,26	24,34	24,45
320	24,51	24,60	24,69	24,77	24,86	24,94	25,03	25,12	25,20	25,29
330	25,38	25,46	25,55	25,63	25,72	25,81	25,89	25,98	26,07	26,15
340	26,24	26,33	26,41	26,50	26,59	26,67	26,76	26,85	26,93	27,02
350	27,11	27,19	27,28	27,37	27,45	27,54	27,63	27,72	27,80	27,89
360	27,98	28,06	28,15	28,24	28,33	28,41	28,50	28,59	28,67	28,76
370	28,85	28,94	29,02	29,11	29,20	29,29	29,37	29,46	29,55	29,64
380	29,72	29,81	29,90	29,99	30,07	30,16	30,25	30,34	30,42	30,51
390	30,60	30,69	30,77	30,86	30,95	31,04	31,13	31,21	31,30	31,39
400	31,48	31,56	31,65	31,74	31,83	31,92	32,00	32,09	32,18	32,27
410	32,36	32,44	32,53	32,62	32,71	32,80	32,88	32,97	33,06	33,15
420	33,24	33,32	33,41	33,50	33,59	33,68	33,77	33,85	33,94	34,03
430	34,12	34,21	34,29	34,38	34,47	34,56	34,65	34,73	34,82	34,91
440	35,00	35,09	35,18	35,26	35,35	35,44	35,53	35,62	35,71	35,79
450	35,88	35,97	36,06	36,15	36,23	36,32	36,41	36,50	36,59	36,68

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
460	36,76	36,85	36,94	37,03	37,12	37,21	37,29	37,38	37,47	37,56
470	37,65	37,74	37,82	37,91	38,00	38,09	38,18	38,26	38,35	38,44
480	38,53	38,62	38,71	38,79	38,88	38,97	39,06	39,15	39,24	39,32
490	39,41	39,50	39,59	39,68	39,77	39,85	39,94	40,03	40,12	40,21
500	40,29	40,38	40,47	40,56	40,65	40,74	40,82	40,91	41,00	41,09
510	41,18	41,26	41,35	41,44	41,53	41,62	41,70	41,79	41,88	41,97
520	42,06	42,15	42,23	42,32	42,41	42,50	42,59	42,67	42,76	42,85
530	42,94	43,03	43,11	43,20	43,29	43,38	43,47	43,55	43,64	43,73
540	43,82	43,91	43,99	44,08	44,17	44,26	44,35	44,43	44,52	44,61
550	44,70	44,79	44,87	44,96	45,05	45,14	45,23	45,31	45,40	45,49
560	45,58	45,67	45,75	45,84	45,93	46,02	46,10	46,19	46,28	46,37
570	46,46	46,54	46,63	46,72	46,81	46,90	46,98	47,07	47,16	47,25
580	47,33	47,42	47,51	47,60	47,69	47,77	47,86	47,95	48,04	48,12
590	48,21	48,30	48,39	48,47	48,56	48,65	48,74	48,83	48,91	49,00
600	49,09	49,18	49,26	49,35	49,44	49,53	49,62	49,70	49,79	49,88
610	49,97	50,05	50,14	50,23	50,32	50,40	50,49	50,58	50,67	50,76
620	50,84	50,93	51,02	51,11	51,19	51,28	51,37	51,46	51,54	51,63
630	51,72	51,81	51,89	51,98	52,07	52,16	52,25	52,33	52,42	52,51
640	52,60	52,68	52,77	52,86	52,95	53,03	53,12	53,21	53,30	53,38
650	53,47	53,56	53,65	53,74	53,82	53,91	54,00	54,09	54,17	54,26
660	54,35	54,44	54,52	54,61	54,70	54,79	54,87	54,96	55,05	55,14
670	55,22	55,31	55,40	55,49	55,58	55,66	55,75	55,84	55,93	56,01
680	16,10	56,19	56,28	56,36	56,45	56,54	56,63	56,71	56,80	56,89
690	56,98	57,06	57,15	57,24	57,33	57,41	57,50	57,59	57,68	57,76
700	57,85	57,94	58,03	58,11	58,20	58,29	58,38	53,46	58,55	58,64

ПЕРЕВОД град (°C) В АБСОЛЮТНЫЕ МИЛЛИВОЛЬТЫ

Хромель-алюмель градуировка ХА

Т, °C	<i>ТермоЭДС, мВ, для температуры, °C</i>									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-	-	-0,39	-0,77	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,73
200	8,13	8,53	8,93	9,34	9,74	10,15	10,56	10,97	11,38	11,80
300	12,21	12,62	13,04	13,45	13,87	14,30	14,72	15,14	15,56	15,99
400	16,40	16,83	17,25	17,67	18,09	18,51	18,94	19,37	19,79	20,22
500	20,65	21,08	21,50	21,93	22,35	22,78	23,21	23,63	24,06	24,49
600	24,91	25,33	25,76	26,19	26,61	27,04	27,46	27,88	28,30	28,73
700	29,15	29,57	29,99	30,41	30,83	31,24	31,66	32,08	32,49	32,90
800	33,32	33,72	34,13	34,55	34,95	35,36	35,76	36,17	36,57	36,97
900	37,37	37,77	38,17	38,57	38,97	39,36	39,76	40,15	40,54	40,93
1000	41,32	41,71	42,09	42,48	42,88	43,26	43,64	44,02	44,40	44,78
1100	45,16	45,54	45,91	46,29	46,66	47,03	47,40	47,77	48,14	48,51
1200	48,87	49,23	49,59	49,95	50,31	50,67	51,02	51,38	51,73	52,08
1300	52,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Требования к выполнению лабораторных работ.....	3
Меры безопасности при выполнении лабораторных работ.....	3
Оформление отчета и обработка экспериментальных данных.....	4
Работа № 1. Определение давления насыщенного пара жидкости динамическим методом.....	7
Работа № 2. Изучение скорости инверсии сахара.....	9
Работа № 3. Основы химических методов нанесения металлических пленок.....	13
Работа № 4. Основы электрохимических методов нанесения металлических пленок.....	17
Работа № 5. Измерение электропроводности растворов слабого электролита различной концентрации и определение константы электролитической диссоциации.....	19
Работа № 6. Адсорбция на поверхности жидкости.....	25
Работа № 7. Построение диаграмм плавкости двухкомпонентных металлических систем.....	28
Работа № 8. Исследование влияния состава сплава Розе и припоя ПОС-61 на растекаемость.....	34
Работа № 9. ЭДС гальванических элементов.....	36
Работа № 10. Изучение процесса выделения меди из растворов с помощью металлов.....	39
Работа № 11. Изучение процессов электрохимической обработки металлов..	42
Библиографический список.....	46
Приложения.....	47