

Драгомир Василев

Пенчо Стойчев

РЪКОВОДСТВО ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ ПО ХИМИЯ



**Драгомир Стоянов Василев
Пенчо Ангелов Стойчев**

**РЪКОВОДСТВО
ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ
ПО ХИМИЯ**

**Университетско издателство „Васил Априлов“ гр. Габрово
2022**

Съдържанието на ръководството е съобразено с учебните програми по дисциплината “Химия” от учебния план на съответната специалност. Структурирано е в раздели, които включват практически лабораторни упражнения.

Упражненията са разработени така, че да отговарят на съвременните методични изисквания за учебен експеримент: да се извършват и контролират с достъпна апаратура, да се провеждат в рамките на едно занятие; да имат добър познавателен ефект; да създават умения и навици за задълбочено химично обяснение на процесите и явленията; да предизвикат интерес към самостоятелна работа и включване на студентите в научноизследователска и приложна дейност.

© Драгомир Стоянов Василев – автор, 2022

© Пенчо Ангелов Стойчев – автор, 2022

© Университетско издателство “Васил Априлов” – Габрово, 2022

Рецензент: проф. дн Пантелей Денев

ISBN: 978-954-683-662-5

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

| | |
|---|-----------|
| РАЗДЕЛ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ НА РАБОТАТА В ЛАБОРАТОРИЯТА ПО ХИМИЯ | 6 |
| РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧНИ СВОЙСТВА НА МЕТАЛИТЕ..... | 9 |
| <i>Упражнение 2.2. Химично установяване типа на сплавта</i> | <i>9</i> |
| <i>Опит 2.2.1. Доказване на железни сплави</i> | <i>9</i> |
| <i>Опит 2.2.2. Доказване на мед в сплави.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Опит 2.2.3. Доказване на алуминиеви сплави</i> | <i>9</i> |
| <i>Опит 2.2.4. Доказване на магнезиеви сплави.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Упражнение 2.3. Откриване на легиращи елементи в стомани.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Опит 2.3.1. Откриване на никел</i> | <i>9</i> |
| <i>Опит 2.3.2. Откриване на хром</i> | <i>10</i> |
| <i>Опит 2.3.3. Откриване на молибден.....</i> | <i>10</i> |
| <i>Опит 2.3.4. Откриване на волфрам.....</i> | <i>10</i> |
| РАЗДЕЛ 3. РАЗТВОРИ..... | 11 |
| <i>Упражнение 3.2. Електропроводимост на разтвори</i> | <i>11</i> |
| <i>Опит 3.2.1. Влияние на природата на разтвореното вещество върху електропроводимостта на разтвора</i> | <i>11</i> |
| <i>Опит 3.2.2. Влияние на природата на разтворителя върху електропроводимостта на разтвора</i> | <i>11</i> |
| <i>Упражнение 3.3. Измерване на специфична и еквивалентна електропроводимост на разтвори</i> | <i>11</i> |
| <i>Опит 3.3.1. Влияние на природата на разтвореното вещество върху специфичната електропроводимост на разтвори.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Упражнение 3.4. Определяне на водороден показател</i> | <i>12</i> |
| <i>Опит 3.4.1. Определяне на водороден показател с универсален индикатор</i> | <i>12</i> |
| <i>Опит 3.4.2. Определяне на водороден показател с рН-метър.....</i> | <i>12</i> |
| РАЗДЕЛ 4. ЕЛЕКТРОХИМИЯ..... | 13 |
| <i>Упражнение 4.1. Определяне електродните потенциали на метали....</i> | <i>13</i> |
| <i>Упражнение 4.2. Електролиза на водни разтвори на соли с неразтворими електроди</i> | <i>13</i> |
| <i>Опит 4.2.1. Електролиза на воден разтвор на динариев сулфат</i> | <i>13</i> |
| <i>Опит 4.2.2. Електролиза на воден разтвор на меден дихлорид</i> | <i>14</i> |
| <i>Упражнение 4.3. Електролиза на водни разтвори на соли с разтворими електроди</i> | <i>15</i> |
| <i>Опит 4.3.1. Електролиза на воден разтвор на меден дихлорид</i> | <i>15</i> |
| <i>Опит 4.3.2. Електрохимично рафиниране на мед.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Опит 4.3.3. Електрохимична размерна обработка</i> | <i>16</i> |
| <i>Упражнение 4.4. Галванични елементи.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Опит 4.4.1. Получаване на галваничен елемент на Даниел-Якоби.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Опит 4.4.2. Получаване на концентрационен галваничен елемент</i> | <i>17</i> |

| | |
|---|-----------|
| <i>Упражнение 4.5. Акумулатори</i> | 17 |
| <i>Опит 4.5.1. Оловен акумулатор</i> | 17 |
| <i>Опит 4.5.2. Кадмиево-никелов акумулатор</i> | 18 |
| РАЗДЕЛ 5. КОРОЗИЯ НА МЕТАЛИТЕ | 19 |
| <i>Упражнение 5.1. Корозия при контакт на два различни метала</i> | 19 |
| <i>Упражнение 5.2. Микрогалванична корозия</i> | 19 |
| <i>Упражнение 5.3. Корозия с кислородна деполяризация</i> | 20 |
| <i>Упражнение 5.4. Корозия в резултат на различен достъп на кислород</i> 20 | |
| <i>Упражнение 5.5. Електрична корозия на желязото</i> | 21 |
| РАЗДЕЛ 6. ЗАЩИТА НА МЕТАЛИТЕ ОТ КОРОЗИЯ | 22 |
| <i>Упражнение 6.1. Защита чрез анодни и катодни покрития</i> | 22 |
| <i>Опит 6.1.1. Анодни и катодни покрития</i> | 22 |
| <i>Опит 6.1.2. Поцинковане</i> | 22 |
| <i>Опит 6.1.3. Никелиране</i> | 23 |
| <i>Опит 6.1.4. Помедяване</i> | 25 |
| <i>Упражнение 6.2. Защита чрез неметални покрития</i> | 26 |
| <i>Опит 6.2.1. Горещо фосфатиране на стомана</i> | 26 |
| <i>Опит 6.2.2. Студено фосфатиране на стомана</i> | 26 |
| <i>Упражнение 6.3. Електрохимична защита</i> | 27 |
| <i>Опит 6.3.1. Влияние на инхибиторите върху скоростта на корозия на стоманата</i> | 27 |
| <i>Опит 6.3.2. Защита чрез аноден протектор</i> | 27 |
| <i>Опит 6.3.3. Катодна защита на стомана</i> | 27 |
| РАЗДЕЛ 7. СМАЗОЧНИ И СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЩИ МАТЕРИАЛИ. ГОРИВА | 29 |
| <i>Упражнение 7.1. Определяне на вискозитет</i> | 29 |
| <i>Опит 7.1.1. Определяне на условен вискозитет с вискозиметър на Енглер</i> | 29 |
| <i>Опит 7.1.2. Определяне на динамичен вискозитет с вискозиметър на Хьоплер</i> | 29 |
| <i>Упражнение 7.2. Определяне на пламна температура</i> | 30 |
| <i>Опит 7.2.1. Определяне на пламната температура в отворен тигел с апарат на Маркусон</i> | 30 |
| <i>Опит 7.2.2. Определяне на пламната температура в затворен тигел с апарат на Мартенс-Пенски</i> | 30 |
| <i>Упражнение 7.3. Приготвяне на антифриз</i> | 31 |
| <i>Опит 7.3.1. Приготвяне на етиленгликолови антифризи</i> | 32 |
| <i>Опит 7.3.2. Приготвяне на водно-алкохолно-глицеринов антифриз</i> | 32 |
| РАЗДЕЛ 8. ВИСОКОМОЛЕКУЛНИ СЪЕДИНЕНИЯ (ПОЛИМЕРИ) | 33 |
| <i>Упражнение 8.1. Идентифициране на полимерите</i> | 33 |
| <i>Опит 8.1.1. Идентифициране на полимерните материали по поведението им на горене</i> | 33 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Опит 8.1.2. Идентифициране на полимерите по устойчивостта им спрямо киселини, основи и органични разтворители.....</i> | 34 |
| Упражнение 8.2. Изследване процесите на деструкция и съшиване на полимерите | 35 |
| <i>Опит 8.2.1. Определяне температурата на деструкция на поливинилхлорид по продуктите от разлагането</i> | 35 |
| <i>Опит 8.2.2. Деструкция на полиизопренов каучук</i> | 35 |
| <i>Опит 8.2.3. Деструкция на полиметилметакрилат.....</i> | 35 |
| <i>Опит 8.2.4. Вулканизация на бутадиенстиренов каучук.....</i> | 35 |
| РАЗДЕЛ 9. ПОЛУЧАВАНЕ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ МАТЕРИАЛИ | 36 |
| <i>Упражнение 9.1. Израстване на кристали от течна фаза</i> | 36 |
| <i>Опит 9.1.1. Получаване на кристали от хромена стипца.....</i> | 36 |
| <i>Упражнение 9.2. Получаване на полупроводникови материали</i> | 36 |
| <i>Опит 9.2.1. Получаване на кадмиев сулфид.....</i> | 36 |
| <i>Упражнение 9.3. Получаване на вода с висока степен на чистота по йонообменния метод и определяне на специфичната електропроводимост.....</i> | 36 |
| РАЗДЕЛ 10. ПОВЪРХНОСТНИ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ..... | 39 |
| <i>Упражнение 10.1. Химично отлагане на метални покрития.....</i> | 39 |
| <i>Опит 10.1.1. Химично отлагане на калай по обменния метод.....</i> | 39 |
| <i>Опит 10.1.2. Химично отлагане на сребро чрез контактния метод</i> | 39 |
| <i>Опит 10.1.3. Химично отлагане на сплавно покритие Ni-Co чрез редукиционния метод</i> | 39 |
| <i>Опит 10.1.4. Химично никелиране на стомана</i> | 40 |
| <i>Упражнение 10.2. Химично метализиране на диелектрици</i> | 40 |
| <i>Опит 10.2.1. Метализиране на ABS-съполимери</i> | 40 |
| <i>Опит 10.2.2. Химично отлагане на медно покритие.....</i> | 42 |
| <i>Опит 10.2.3. Метализиране на неорганични диелектрици</i> | 43 |
| <i>Упражнение 10.3. Нанасяне на изображението по метода на фотолитографията.....</i> | 44 |
| <i>Упражнение 10.4. Химично разяждане на силиций.....</i> | 45 |
| РАЗДЕЛ 11. ФИЗИКОХИМИЧНИ ПРОЦЕСИ ПРИ ИЗГОТВЯНЕТО НА ПЕЧАТНИ ПЛАТКИ..... | 47 |
| <i>Упражнение 11.1. Получаване на токопроводящата схема на платките чрез химическо разяждане (ецване).....</i> | 47 |
| <i>Упражнение 11.2. Отлагане на сплавно покритие калай-олово.....</i> | 47 |
| ЛИТЕРАТУРА | 50 |

РАЗДЕЛ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ НА РАБОТАТА В ЛАБОРАТОРИЯТА ПО ХИМИЯ

Практическите занятия по химия изискват добра теоретична подготовка, внимание и прецизност в експерименталната работа, за да се избегнат нещастни случаи, аварии, пожари и инциденти.

1.1. Правила за работа на студентите

1. Графикът на лабораторните занятия и учебното съдържание на всяко от тях по седмици се обявява предварително в началото на семестъра.

2. Преди лабораторните упражнения студентите са длъжни предварително да се запознаят с теорията и начина на изпълнение на предвидените в учебната програма лабораторни упражнения. Студенти, неподготвени според преценката на преподавателя, не се допускат до практическа работа в лабораторията.

3. Влизането в лабораторията по химия става групово, съгласно графика за учебните занятия, а напускането – след приключване на практическата работа и представяне на резултатите от нея на преподавателя.

4. Студентите са длъжни да следят внимателно указанията на преподавателя и да записват резултатите от проведените опити, които ще ползват при оформянето на учебния протокол по химия.

5. Преди започване на работа е необходимо да се набавят и подредят необходимите реактиви и лабораторна стъклария. За да започнат работа, студентите трябва да получат разрешение от преподавателя.

6. По време на упражненията студентите поддържат работното си място чисто и в съответния ред.

7. След завършване на упражнението работното място се почиства, използваните лабораторни съдове се измиват и поставят отново по местата им.

8. Резултатите от проведеното лабораторно упражнение се отразяват в лабораторната тетрадка (или в протокол) и се представя на преподавателя за проверка и защита.

9. Семестриалната заверка за лабораторните упражнения по „Химия” се получава след изработване на целия обем практическа лабораторна работа, предвиден в учебната програма, и представяне на лабораторна тетрадка или комплект протоколи с резултатите от проведените опити.

1.2. Правила за безопасност при работа в химическата лаборатория

1. Допускането на студентите до работа в химическата лаборатория става след провеждането на инструктаж от преподавателя, който се документира в дневник.

2. В лабораторията не се внасят и консумират хранителни продукти и напитки. Забранено е пиенето на вода от лабораторни съдове.

3. Не е позволено пробването на реактивите на вкус и мирис.

4. Навеждането над съдове, в които се извършва разтваряне, стапяне, или протичат химични процеси, трябва да се избягва.

5. Смесването или разреждането на концентрирани киселини и концентрирани основи, ако е изрично необходимо в хода на експеримента, се извършва изключително внимателно, с предвидените за целта предпазни средства.

6. При разреждане на концентрирани киселини или основи, реактивът се прелива към разтворителя (водата) на тънка струя при непрекъснато разбъркване. Ако, в резултат на разреждането, разтворът се загрее се изчаква да се охлади и тогава разреждането продължава.

7. При работа с токсични дисперсни реактиви (твърда NaOH или KOH) да се избягва контакта с тях поради токсичното им въздействие върху кожата.

8. Преди да се използва даден реактив е необходимо да се прочете етикетът с наименованието. В химическата лаборатория не се използват реактиви без указателни етикети.

9. Забранено е хвърлянето в мивките на хартия, парчета стъкла, метални остатъци и други предмети. Всички отпадъци се изхвърлят на предназначените за това места.

1.3. Предотвратяване на пожари

1. Студентите задължително се инструктират относно начина на действие при възникване на пожар в лабораторията и се информират къде се намират прекъсвача на електрически ток, пожарогасителите, противопожарния шланг и др.

2. Работещи електронагревателни уреди не се поставят върху горими поставки или в близост до леснозапалими материали.

3. Не се допуска оставянето на работещи електронагревателни уреди без наблюдение.

4. При възникване на пожар в лабораторията е необходимо незабавно да се изключи електрическият ток, да се уведоми преподавателя и да се използват наличните пожарогасителни средства.

1.4. Първа помощ при изгаряне и нараняване

1. При изгаряне с горещи предмети или водна пара поразеното място се промива с 3% разтвор на калиев перманганат KMnO_4 или етилов спирт и се поставя стерилна превръзка.

2. При попадане на киселини върху кожата или дрехите поразеното място първо се промива обилно с вода, а след това с 3% разтвор на натриев хидрогенкарбонат NaHCO_3 .

3. При попадане на основи върху кожата или дрехите поразеното място се промива обилно с вода, а след това с 3% разтвор на оцетна киселина CH_3COOH .

4. При попадане на капки или частици от реактиви в очите е необходимо те да се измият обилно с чиста течаща вода. Ако е попаднала киселина, след това очите трябва да се промият с 3% разтвор на натриев хидрогенкарбонат NaHCO_3 , а при основи – с наситен разтвор на борна киселина H_3BO_3 .

5. Ако в устата попадне киселина или основа, тя се изплаква обилно с вода без да се преглъща и след това се изплаква с 3% разтвор на натриев хидрогенкарбонат NaHCO_3 или с 3% разтвор на оцетна киселина CH_3COOH .

6. При порязване със стъкло се проверява дали в раната има парченца стъкло, раната се дезинфекцира и се прави стерилна превръзка.

7. При по-тежки случаи на нараняване или поражения се търси лекарска помощ.

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧНИ СВОЙСТВА НА МЕТАЛИТЕ

Упражнение 2.2. Химично установяване типа на сплавта

Опит 2.2.1. Доказване на железни сплави

Върху почистена с шкурка метална повърхност или върху метални стружки в часовниково стъкло се поставят 1-2 капки 20% разтвор на азотна киселина HNO_3 , след това се добавя капка 10 % разтвор на амониев тиоцианат NH_4CNS в 2 М солна киселина HCl . Интензивното и трайно кървавочервено оцветяване показва, че основният метал на сплавта е желязо. При прибавяне към него на капка от $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ оцветяването преминава в тъмно синьо (берлинско синило) от образувания $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$.

Опит 2.2.2. Доказване на мед в сплави

Върху почистена с шкурка метална повърхност или върху метални стружки в часовниково стъкло се поставят 1-2 капки концентрирана азотна киселина HNO_3 . След 1-2 min на същото място се добавят няколко капки 10% разтвор на амоняк NH_4OH . При наличие на мед в сплавта се получава синьо оцветяване.

Опит 2.2.3. Доказване на алуминиеви сплави

Върху почистена с шкурка метална повърхност или върху метални стружки в часовниково стъкло се поставят 2-3 капки 25% разтвор на натриева основа NaOH . Ако основният елемент в изследваната сплав е алуминий след 2-3 min започва интензивно отделяне на газови мехурчета от водород. Никой от останалите метали и сплави не реагира с NaOH .

Опит 2.2.4. Доказване на магнезиеви сплави

Ако външните белези насочват към лека сплав, а изследваната сплав не реагира с NaOH , върху стружки от същия метал се прибавя капка 3% разтвор на дижелезен трисулфат $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ подкиселен със сярна киселина H_2SO_4 . Ако сплавта е магнезиева, след около 1 min започва бурна реакция, а след 3-4 min се появява жълтокафява утайка от основна желязна сол. Алуминиевите сплави, стоманите и бронза не дават тази качествена реакция.

Упражнение 2.3. Откриване на легиращи елементи в стомани

Опит 2.3.1. Откриване на никел

Върху почистена с шкурка метална повърхност се поставят 1-2 капки 20% разтвор на азотна киселина HNO_3 . След 1 min капките се попиват с филтърна хартия и на същото място се поставя капка от разтвор на натриев хипофосфит

Na_2HPO_4 . При тези условия основните пречещи йони се утаяват като фосфати. След това върху петното се нанасят 2-3 капки разтвор на амоняк NH_4OH и 1 капка 1% алкохолен разтвор на диметилглиоксим. При наличие на никел се получава розов пръстен или аленочервено оцветяване в зависимост от концентрацията на никел в сплавта.

Опит 2.3.2. Откриване на хром

На повърхността на стоманена пластинка се поставят 2-3 капки от 30% разтвор на сярна киселина H_2SO_4 . След 5 min се добавят 2-3 капки от 30% разтвор на натриев пероксид Na_2O_2 и 2-3 капки от наситен разтвор на бензидин в 30% разтвор на оцетна киселина CH_3COOH . Получената кафява утайка се пренася върху филтърна хартия. До петното, получено върху хартията, се добавя една капка от разтвора на бензидин. След 5 min на допирните места се получава синьо оцветяване, което доказва наличие на хром в стоманата.

Опит 2.3.3. Откриване на молибден

Върху стоманената пластинка се капват 1-2 капки 20% HNO_3 и след 1-2 min се добавят 2-3 кристалчета Na_2O_2 . Когато взаимодействието приключи, се добавят няколко капки вода и в течността се потапя лентичка филтърна хартия. Когато течността се покачи по нея на около 3-5 mm над нивото на разтвора, хартията се изважда и до напоения край се поставя по една капка от 10% разтвор на калаен дихлорид SnCl_2 и 20% разтвор на амониев тиоцианат NH_4SCN в солна киселина. При наличие на молибден на допирното място на разтворите се появява червена ивица.

Опит 2.3.4. Откриване на волфрам

На повърхността на стоманена пластинка се поставя 1 капка от бромна вода. След като изчезне кафявото оцветяване се добавят 2 капки от разтвори на амониев пероксидисулфат, оксалова киселина и сярна киселина. Капките от бромна вода и сместа се разбъркват и пластинката се поставя в сушилен шкаф. Ако след изпаряване на разтвора върху нея остане синьо петно, това показва наличие на волфрам в стоманата.

РАЗДЕЛ 3. РАЗТВОРИ

Упражнение 3.2. Електропроводимост на разтвори

Опит 3.2.1. Влияние на природата на разтвореното вещество върху електропроводимостта на разтвора

В стъклени чаши с обем 250 ml последователно се наливат около 200 ml водни разтвори на етилов алкохол, глицерол, захар, амоняк, меден сулфат, калиев карбонат, натриев хлорид, оцетна киселина, сярна киселина, натриева основа и дестилирана вода. Медните електроди на измервателния уред се потапят в изследвания разтвор, включва се към електрическата мрежа и се отчита силата на електрическия ток протичащ в разтвора. След всяко измерване електродите се измиват с дестилирана вода. Получените резултати се представят в табл. 3.3.

Таблица 3.3

| Разтворено вещество | Сила на тока I, mA | Уравнение на електролитна дисоциация | Обяснение на резултата |
|---------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | | | |

Опит 3.2.2. Влияние на природата на разтворителя върху електропроводимостта на разтвора

В две стъклени чаши с обем 250 ml последователно се наливат 200 ml разтвори с еднаква концентрация на безводен меден дихлорид в ацетон ($\epsilon_r = 21,0$) и във вода ($\epsilon_r = 78,3$). Медните електроди на измервателния уред се потапят в изследвания разтвор, включва се към електрическата мрежа и се отчита силата на електрически ток протичащ в разтвора. Получените резултати се представят в табл. 3.4.

Таблица 3.4

| Разтворено вещество | Разтворител | ϵ_r на разтворителя | Сила на тока I, mA | Обяснение на резултата |
|---------------------|-------------|------------------------------|--------------------|------------------------|
| | | | | |

Упражнение 3.3. Измерване на специфична и еквивалентна електропроводимост на разтвори

Опит 3.3.1. Влияние на природата на разтвореното вещество върху специфичната електропроводимост на разтвори

В стъклени чаши от 100 ml последователно се наливат по 50 ml водни разтвори на амоняк, меден сулфат, дикалиев карбонат, натриев хлорид, оцетна киселина, сярна киселина, натриева основа и дестилирана вода. Потапя се измерителната клетка на кондуктометъра и се отчита електропроводимостта на съответния разтвор. Специфичната електропроводимост се изчислява по формулата:

$$K = k.G, \quad (3.10)$$

където: k е константата на клетката, която се определя чрез измерване електропроводимостта на 0,1 М разтвор на KCl и се изчислява по следната формула:

$$k = \frac{\kappa(KCl)}{G(KCl)}, \quad (3.11)$$

в която κ е специфичната електропроводимост на 0,1 М KCl (0,01167 S/cm при 20°C), G – отчетената електропроводимост на KCl от уреда, S.

Получените резултати се представят в табл. 3.5.

Таблица 3.5

| № | Вещество | G, S | κ , S/cm |
|---|----------|------|-----------------|
| | | | |

Упражнение 3.4. Определяне на водороден показател

Опит 3.4.1. Определяне на водороден показател с универсален индикатор

В гнездата на порцеланова плоча се поставят по 10 капки от 1 М разтвори на натриев хлорид NaCl, алуминиев трихлорид AlCl₃, магнезиев динитрат Mg(NO₃)₂, амониев ацетат CH₃COONH₄, дикалиев карбонат K₂CO₃ и тринатриев фосфат Na₃PO₄. Във всяко гнездо се потапя лентичка универсален индикатор. Оцветяването на лентичките се сравнява със стойностите на рН, дадени върху опаковката на индикатора. Получените данни от определянето на рН на солите се представят в табл. 3.6.

Таблица 3.6

| Вещество | Уравнение на реакцията | Характер на средата | рН |
|----------|------------------------|---------------------|----|
| | | | |

Опит 3.4.2. Определяне на водороден показател с рН-метър

В бехерови чаши от 100 ml се наливат по 50 ml разтвори на следните соли: натриев хлорид NaCl, алуминиев трихлорид AlCl₃, магнезиев динитрат Mg(NO₃)₂, амониев ацетат CH₃COONH₄, дикалиев карбонат K₂CO₃ и тринатриев фосфат Na₃PO₄.

Потапя се измерителната клетка на рН метъра и се отчита стойността. Получените данни от измерването с рН-метър се представят в табл. 3.7.

Таблица 3.7

| Вещество | Уравнение на реакцията | Характер на средата | рН |
|----------|------------------------|---------------------|----|
| | | | |

РАЗДЕЛ 4. ЕЛЕКТРОХИМИЯ

Упражнение 4.1. Определяне електродните потенциали на метали

Изследваните електроди (Cu, Ni, Pb, Cd, Fe, Zn и/или Al) се почистват с шкурка и се обезмасляват. В бехерова чаша от 250 ml се налива електролит съдържащ собствени метални йони с изследвания метал. Във втора бехерова чаша от 250 ml се потапя сравнителния електрод (каломелов електрод с електроден потенциал + 0,24V), потопен в наситен разтвор на калиев хлорид KCl. Двете чаши се свързват с помощта на електролитен мост (тръбичка запълнена с наситен разтвор на калиев хлорид KCl). Двата електрода се свързват с волтмер по такъв начин, че измерваното напрежение да има положителна стойност. В този случай електродът, свързан с отрицателния полюс на волтметъра, е отрицателен електрод, а този, свързан с положителния полюс – положителен електрод.

Търсеният потенциал се изчислява по формулата:

$$E_{ДН} = E_{К} - E_{А}$$

където $E_{К}$ е електродният потенциал на катода, а $E_{А}$ – на анода.

Данните от измерванията се нанасят в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Данни от измерване на електродни потенциали

| Изследван електрод | Измерено ЕДН (V) | Електроден потенциал, V | | | Относителна грешка, % |
|--------------------|------------------|-------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------|
| | | на сравнителен електрод | на изсл. електрод <i>стандартен</i> | на изсл. електрод <i>изчислен</i> | |
| | | + 0,24 | | | |

Относителната грешка (Δ , %) се изчислява по формулата:

$$\Delta = \frac{E_{ст} - E_{изч}}{E_{ст}} \cdot 100 \%$$

Упражнение 4.2. Електролиза на водни разтвори на соли с неразтворими електроди

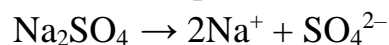
Опит 4.2.1. Електролиза на воден разтвор на динариев сулфат

В U-видна тръба се налива воден разтвор на динариев сулфат с концентрация 1 mol/l и се добавят по 1-2 капки алкохолен разтвор на индикатор фенолфталеин. Индикаторът показва характера на средата чрез промяна на цвета си. В неутрална и кисела среда е безцветен, а в основна – лилаво-червен.

Потапят се инертни (неразтворими) графитови електроди, които чрез проводник се свързват с източник на постоянен ток.

Пропуска се електричен ток в така конструираната електролизна клетка в продължение на 10 min, след което се наблюдават и описват настъпилите изменения в електролита и върху повърхността на електродите.

При разтваряне на Na_2SO_4 във вода протича електролитна дисоциация:



Водата, макар и слаб електролит, също се дисоциира:



Следователно водният разтвор на динатриевия сулфат съдържа два вида положителни (Na^+ и H^+) и два вида отрицателни (OH^- и SO_4^{2-}) йони.

Под действието на електричния ток към катода се насочват положителни йони и са възможни следните редукционни процеси:



От двата възможни процеса на катода се извършва процесът, който има по-положителен (по-голям) електроден потенциал. Следователно на катода ще се отделя водород (газ), което се наблюдава визуално.

В електролита около катода нараства концентрацията на хидроксидните аниони OH^- и средата променя характера си от неутрален към основен, което се наблюдава по промяната на цвета на разтвора в лилаво-червен.

Към анода се отправят отрицателни йони и са възможни следните окислителни процеси:



От двата възможни процеса на анода се извършва процесът с по-отрицателен (по-малък) електроден потенциал. На анода се окисляват хидроксидните йони, тъй като потенциалът на кислородния електрод е по-отрицателен (по-малък). Концентрацията на водородните йони около анода се увеличава, разтворът се подкиселява.

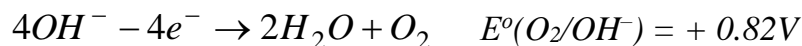
Опит 4.2.2. Електролиза на воден разтвор на меден дихлорид

В U-видна тръба се налива воден разтвор на меден дихлорид (CuCl_2). Потопят се графитови електроди и се пропуска електричен ток в продължение на 10 min. Наблюдават се и описват настъпилите изменения в електролита и върху повърхността на електродите.

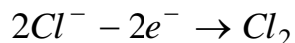
При разтварянето се извършва електролитна дисоциация, както на CuCl_2 така и на водата:



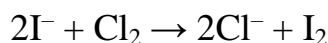
Върху анода са възможни следните три процеса:



От двата възможни процеса на окисление се извършва тази, която има най-малък потенциал (уравнение 4.50):



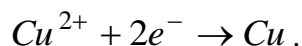
По време на електролизата върху анода се отделя газ. Ако в анодното пространство се поставят няколко капки разтвор, съдържащ нишесте и калиев йодид, се появява синьо оцветяване. То се дължи на отделилия се на анода хлор, който взаимодейства с йодните йони. Отделя се йод по следното уравнение:



Върху катода е възможно извършването на показаните по-долу два процеса:



От двете възможни реакции на редукция се извършва тази, която има най-голям потенциал (уравнение 4.53):



След приключване на процеса се установява, че върху катода се е отделила мед.

Упражнение 4.3. Електролиза на водни разтвори на соли с разтворими електроди

Опит 4.3.1. Електролиза на воден разтвор на меден дихлорид

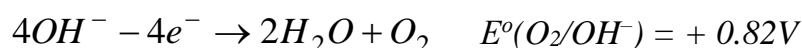
В U-видна тръба се налива воден разтвор на меден дихлорид ($CuCl_2$). Потопят се медни електроди и се пропуска електричен ток в продължение на 10 min.

Наблюдават се и описват настъпилите изменения в електролита и върху повърхността на електродите.

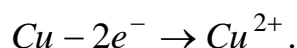
При разтварянето се извършва електролитна дисоциация, както на $CuCl_2$ така и на водата:



Върху анода са възможни следните три процеса:



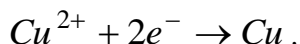
От трите възможни реакции на окисление се извършва тази, която има най-малък потенциал (уравнение 4.45):



Върху катода е възможно извършването на показаните по-долу два процеса:



От двете възможни реакции на редукция се извършва тази, която има най-голям потенциал (уравнение 4.46):



Опит 4.3.2. Електрохимично рафиниране на мед

В електролизна клетка се налива 10% разтвор на сярна киселина. За катод се поставя графитов електрод, а за анод – медна пластинка.

Електродите се свързват с източник на постоянен ток и се провежда електролиза в продължение на 15-20 min.

Запишете процесите на електролитна дисоциация.

Кои са възможните катодни и анодни реакции? Какви продукти се отделят върху електродите?

Опит 4.3.3. Електрохимична размерна обработка

В бехерова чаша се налива разтвор на натриев хлорид NaCl. На дъното на чашата се поставя пластина от алуминиево фолио, която чрез проводник се свързва с положителния полюс на източник за постоянен ток. Като катод се използва графитов електрод (който може да е профилиран). Краят на графитовия електрод се закрепва на минимално разстояние над фолиото.

В продължение на 6-8 min се пропуска електричен ток с големина 2 A.

Опишете наблюдаваното и изразете протичащите процеси с химични уравнения.

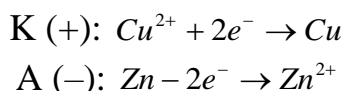
Упражнение 4.4. Галванични елементи

Опит 4.4.1. Получаване на галваничен елемент на Даниел-Якоби

В ерленмайерова колба се налива воден разтвор на цинков сулфат ZnSO₄ с концентрация 0,01 mol/l, а в друга – разтвор на меден сулфат CuSO₄ с концентрация 1 mol/l. Двете ерленмайерови колби се съединяват с електролитен мост (тръбичка напълнена с наситен разтвор на калиев хлорид KCl).

В първия разтвор се потапя цинков електрод, а във втория разтвор – меден електрод. Двата електрода се свързват с волтметър. Измерва се електродвижещото напрежение на галваничния елемент.

Върху електродите протичат следните реакции:



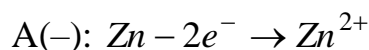
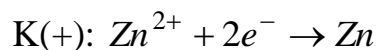
Електроните отделени при окислението на анода (Zn) преминават по външната верига, достигайки до медния катод. Медните йони от разтвора на медната сол приемат електрони и върху катода се отлага елементна мед, т.е. извършва се редукция.

Опит 4.4.2. Получаване на концентрационен галваничен елемент

В две ерленмайерови колби се налива воден разтвор на $ZnSO_4$ съответно с концентрация 0,01 mol/l и 1 mol/l. Двете ерленмайерови колби се съединяват с електролитен мост (тръбичка напълнена с разтвор на KCl) и в тях се потапят цинкови електроди.

Двата електрода се свързват с волтметър. Измерва се електродвижещото напрежение на галваничния елемент.

Върху електродите протичат следните реакции:



Изчислете равновесният електроден потенциал на двата електрода по уравнението на Нернст. Изчислете теоретичната стойност на електродвижещото напрежение на галваничния елемент, след което изчислете грешката от измерването.

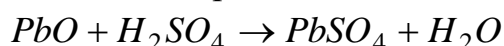
Упражнение 4.5. Аккумулятори

Опит 4.5.1. Оловен акумулатор

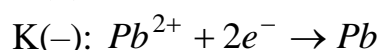
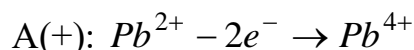
В бехерова чаша се налива 27-38 % разтвор на сярна киселина (плътност 1,2-1,3 g/cm³). Поставят се две добре почистени с шкурка оловни пластинки, които се съединяват чрез проводници с източник на постоянен ток. С помощта на потенциометър се задава заряден ток със сила 1 А. Електролизата се провежда докато върху анода забележимо се образува слой от червено-кафяв оловен диоксид PbO_2 .

Изключва се електрическият ток. Измерва се напрежението на заредения акумулатор. Във веригата на конструирания акумулатор се включва консуматор (електрическа крушка), след което отново се измерва отново напрежението на акумулатора.

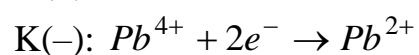
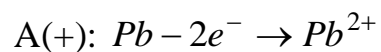
Реакциите които протичат на електродите са следните:



Зареждане (електролиза):



Разреждане (гальваничен елемент):

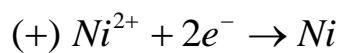
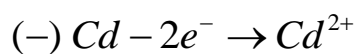


Опит 4.5.2. Кадмиево-никелов акумулатор

В бехерова чаша се наливат 250 ml 23 % разтвор на КОН. Потапят се почистени с шкурка електроди от Cd и Ni, които чрез проводници се свързват с източник на постоянен ток.

Електролизата (заредането) се провежда със заряден ток с големина 1 А в продължение на 15-20 min. Измерва се напрежението на заредения акумулатор.

Протичат следните процеси:

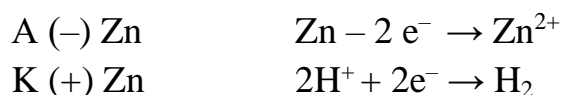


РАЗДЕЛ 5. КОРОЗИЯ НА МЕТАЛИТЕ

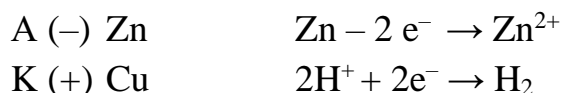
Упражнение 5.1. Корозия при контакт на два различни метала

В бехерова чаша от 50 ml се налива 25 ml разреден разтвор на сярна киселина H_2SO_4 . Предварително механично почистени пластинки от цинк и мед се потапят в корозионната среда без да се допират. Двете повърхности се наблюдават. След това пластинките се допират една до друга. Металните повърхности отново се наблюдават. Обръща се внимание върху коя се отделя газ преди контакта на двата метала и след него.

При отсъствие на контакт между металите се наблюдава отделяне на мехурчета газ само върху цинковата повърхност. Корозионните процеси, извършващи се върху микроанодните и микрокатодните участъци по повърхността на цинка са:



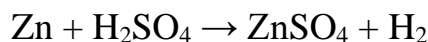
При създаване на контакт между пластинките се формира макрокорозионен галваничен елемент, в който цинкът играе роля на анод, а медта на катод, върху който се извършва катодния процес на отделяне на водород:



Упражнение 5.2. Микрогалванична корозия

В епруветка се наливат 3-4 cm^3 разреден разтвор на сярна киселина H_2SO_4 и се потапя цинкова пластинка. След това се добавят 4-5 капки разтвор на меден сулфат CuSO_4 .

При потапяне на цинковата пластинка се наблюдава отделяне на мехурчета газ в резултат на взаимодействието ѝ със сярната киселина:



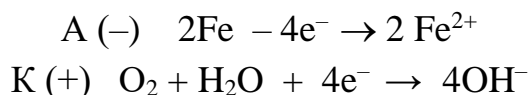
При добавяне на разтвор на меден сулфат CuSO_4 , цинкът измества медта от разтвора на нейната сол и върху него се отделя контактна мед. Образуват се многобройни галванични елементи, в които повърхността на цинка играе роля на анод, а участъците в които се е отделила контактна медта – на катод:



Упражнение 5.3. Корозия с кислородна деполяризация

В облодънна колба се поставят железни стружки. Омокрят се с 3 % разтвор на натриев хлорид NaCl, след което колбата се закрепва на статив. Изолира се добре от околния въздух, като се запушва с гумена тапа, в която е монтирана стъклена тръбичка. Краят на тръбичката се потапя в чаша с оцветен разтвор. След около 10 min се наблюдава нивото на течността в тръбичката.

Използваният разтвор на натриев хлорид е моделна среда на морска вода. Процесите върху микроанодните и микрокатодните участъци на желязо в контакт с морска вода са следните:

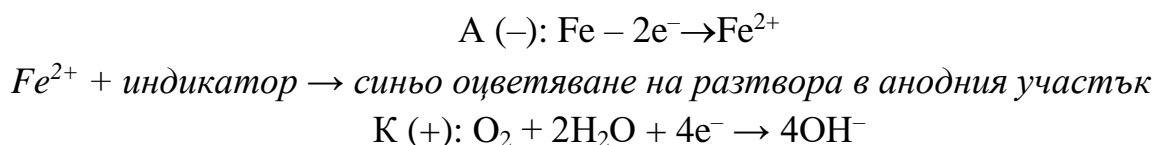


В резултат на протичане на корозия с кислородна деполяризация количеството на атмосферния кислород, затворен в колбата, намалява. Налягането на газовата фаза в колбата се понижава (създава се вакуум), в резултат на което нивото на течността в тръбичката, потопена в оцветения разтвор, се повишава.

Упражнение 5.4. Корозия в резултат на различен достъп на кислород

Върху предварително почистена и суха стоманена пластинка се капват 1-2 капки от 3 % разтвор на NaCl, съдържащ индикатор за хидроксидни йони (OH⁻) фенолфталеин, и индикатор за корозионните продукти на желязото Fe²⁺. След около 10 min се наблюдава появата на синьо оцветяване в центъра на капката и розово в краищата ѝ.

Корозията на желязото в неутралния разтвор на натриев хлорид протича с кислородна деполяризация. Процесите са следните:



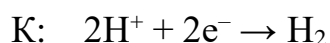
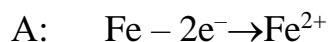
OH⁻ + индикатор → почервяване на разтвора при катодния участък

Кислородът от въздуха се разтваря в електролита и достига до повърхността на желязото по-лесно в периферните участъци на капката, където слой е по-тънък. В резултата на това там с предимство протича катодна деполяризация, а повърхността се обособява като катод в макрокорозионен галваничен елемент. В центъра на капката слой електролит е с по-голяма дебелина и, поради затруднения достъп на деполяризатора, там се обособява анодния участък – разтваряне на желязото. Добавените в разтвора индикатори потвърждават възникването на макрокорозионен галваничен елемент, като показват разположението на анодния и на катодния по повърхността под корозионния разтвор – в центъра на капката разтворът се оцветява в синьо, а по периферията – в розово-червено.

Упражнение 5.5. Електрична корозия на желязото

В бехерова чаша от 500 ml се налива 300 ml 10 % H_2SO_4 и 2-3 капки конц. разтвор на $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. В разтвора се поставят два месингови електрода. Между тях се закрепва добре изчистена с шкурка стоманена пластинка така, че да не се допира до електродите. Електродите се включват в източник на постоянен ток.

Месинговият електрод съдържа цинк и мед. Под действието на тока цинковите йони се окисляват и напускат пластинката. Страната на желязната пластинка, която е по-близо до анода (+) се явява катод и върху него ще се извърши най-положителния процес – деполяризация на водорода. Този процес отнема свободните електрони на желязото и отнема потенциала му в положителна посока. Страната на пластинката, която е по-близо до катода става анод. На анода се извършва най-положителния процес, който в случая е окисляването на желязото. На това се дължи и големия брой свободни желязни йони в пространството около катода. Процесите, които се извършват са:



Получава се синьо оцветяване в участъка, който е по-близо до катода (-).

РАЗДЕЛ 6. ЗАЩИТА НА МЕТАЛИТЕ ОТ КОРОЗИЯ

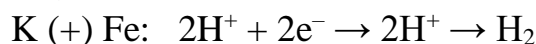
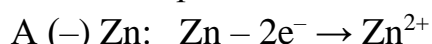
Упражнение 6.1. Защита чрез анодни и катодни покрития

Опит 6.1.1. Анодни и катодни покрития

В две бехерови чаши се наливат по 50 cm³ вода. Добавят се по 2-3 капки 15% разтвор на H₂SO₄ и по 2-3 капки 3% K₃[Fe(CN)₆]. В едната чаша се поставя надраскана покалаена желязна ламарина, а в другата – надраскана поцинкована желязна ламарина. Проследяват се протичащите процеси в продължение на 10 min.

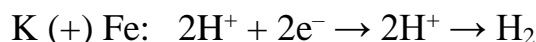
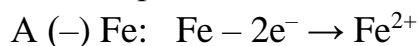
Процесите на катода и анода за двата възникващи макрокорозионни галванични елементи са следните:

- *поцинкована желязна ламарина – Fe/Zn:*



Тъй като електродният потенциал на цинка е по-малък от този на желязото, цинкът е анод във възникналия галваничен елемент, а желязото – катод. Следователно цинковото покритие е анодно спрямо желязото.

- *покалаена желязна ламарина – Fe/Sn:*



Тъй като електродният потенциал на калая е по-голям от този на желязото, то е анод във възникналия галваничен елемент, а калаят – катод. Следователно калаеното покритие е катодно спрямо желязото.

Опит 6.1.2. Поцинковане

Стоманена пластинка се почиства с шкурка, обезмаслява се с виенска вар и се байцава в 15 % разтвор на HCl в продължение на 3 min.

Пластинката се измива с вода и се окачва на катодната шина в електролит за поцинковане:

| | |
|--|-----------------------------|
| <i>Цинков сулфат, ZnSO₄.7H₂O</i> | <i>200 g/l</i> |
| <i>Натриев сулфат, NaSO₄.10H₂O</i> | <i>70 g/l</i> |
| <i>Алуминиев сулфат, Al₂(SO₄)₃.18H₂O</i> | <i>50 g/l</i> |
| <i>Желатин</i> | <i>2 g/l</i> |
| <i>Температура</i> | <i>18-25°C</i> |
| <i>Катодна плътност на тока</i> | <i>1-2 A/dm²</i> |
| <i>pH</i> | <i>3,5-4,5</i> |
| <i>Продължителност</i> | <i>20 min</i> |

Големината на тока, необходим за работа се изчислява по следната формула:

$$I = D.S,$$

където: I – сила на тока, А; D – плътност на тока, А/dm²; S – площ на пластината, dm².

От токоизправителя се задава изчислената големина на тока. След приключване на процеса образецът се измива с вода и се потапя в разтвор за едновременно просветляване и пасивиране с цел да се получи равномерен блясък на покритието и да се повиши корозионната му устойчивост. Разтворът е със следния състав:

| | |
|---|-----------------|
| <i>Хромен триоксид, CrO₃</i> | <i>15 g/l</i> |
| <i>Сярна киселина, H₂SO₄ (ρ = 1,84)</i> | <i>36 g/l</i> |
| <i>Азотна киселина, HNO₃ (ρ = 1,40)</i> | <i>28 g/l</i> |
| <i>Температура</i> | <i>15-25 °C</i> |
| <i>Продължителност</i> | <i>5-10 s</i> |

Образецът се измива с вода, подсушава се и се определя дебелината на полученото покритие по капков метод.

Капва се 1 капка от реактива (KI 200 g/l, I₂ 100 g/l) и със секундомер се отчита времето. След 1 min капката се попива с филтърна хартия и се капва втора капка.

Така се продължава докато се открие основния метал с повърхнина, приблизително равна на половината повърхнина на капката. По общия брой на капките се определя дебелината на покритието.

Дебелината на покритието по се определя по формулата:

$$\delta = \delta_0 \cdot (n - 0,5),$$

където δ е дебелината на покритието, μm ; n – брой на капките реактив, изразходвани за откриване на основния метал или подслоя; δ_0 – дебелината на покритието в μm , снета от една капка реактив за време 1 min, μm .

Таблица 6.1. Стойности на δ_0 (μm) при различни температури

| $t, ^\circ\text{C}$ | 10 | 15 | 20 | 25 |
|-------------------------|------|------|------|------|
| $\delta_0, \mu\text{m}$ | 0,78 | 1,01 | 1,24 | 1,45 |

Опит 6.1.3. Никелиране

Стоманена или месингова пластинка се почиства с шкурка, обезмаслява се с виенска вар и се измива с вода. Байцва се в 15 % разтвор на HCl в продължение на 3 min. Измива се с вода и се окачва като катод във ваната за никелиране. Никелирането се извършва в електролит със следния състав и режим на работа:

Електролит за блестящо никелиране

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Никелов сулфат, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ | 200 g/l |
| Борна киселина, H_3BO_3 | 40 g/l |
| Бляскообразувател Makrolux | 3 ml/l |
| Носител на блясъка GKL | 5 ml/l |
| Антипитинг Ni-M | 10 ml/l |
| Температура | 50-55 °C |
| Катодна плътност на тока | 3-5 A/dm ² |
| pH | 4-4,5 |
| Продължителност | 20-30 min |
| Аноди | никел |

Електролит за матово никелиране

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Никелов сулфат, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ | 200 g/l |
| Натриев хлорид, NaCl | 10 g/l |
| Борна киселина, H_3BO_3 | 40 g/l |
| Температура | 18-25 °C |
| Катодна плътност на тока | 1-1,5 A/dm ² |
| pH | 5,4-5,8 |
| Продължителност | 20-30 min |
| Аноди | никел |

Големината на тока, необходим за работа се изчислява по следната формула:

$$I = D \cdot S,$$

където: I – сила на тока, A; D – плътност на тока, A/dm²; S – площ на пластината, dm².

От токоизправителя се задава изчислената големина на тока. Никелираният образец се измива с вода, подсушава се и се правят следните изпитвания на качеството на покритието:

● *Определяне дебелината на покритието по капков метод.* Образецът се измива с вода, подсушава се и се определя дебелината на полученото покритие по капков метод. Капва се 1 капка от реактива (150 g/l FeCl₃, 100 g/l CuSO₄ и 250 g/l CH₃COOH) и със секундомер се отчита времето. След 1 min капката се попива с филтърна хартия и се капва втора капка. Така се продължава докато се открие основния метал с повърхнина, приблизително равна на половината повърхнина на капката. Появата на розово оцветяване е указание, че никеловото покритие се е разтворило. По общия брой на капките се определя дебелината на покритието. Дебелината на покритието по се определя по формулата:

$$\delta = \delta_0 \cdot (n - 0,5),$$

където δ е дебелината на покритието, μm ; n – брой на капките реактив, изразходвани за откриване на основния метал или подслой; δ_0 – дебелината на покритието в μm , снета от една капка реактив за време 1 min, μm .

Таблица 6.2. Стойности на δ_0 (μm) при различни температури

| t, °C | 13 | 15 | 18 | 20 | 23 | 25 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| δ_0 , μm | 0,57 | 0,61 | 0,67 | 0,70 | 0,73 | 0,75 |

• *Определяне на порестостта.* Върху подсушения никелиран образец се прилепва филтърна хартия, напоена с разтвор, съдържащ 10 g/l $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и 20 g/l HCl. След 5 min хартията се премахва, измива се с вода и се изсушава. Местата на порите се проявяват във вид на сини точки върху хартията. Точките се преброяват и се изчислява средния брой пори в 1 cm^2 . Покритието е качествено, ако порите са не повече от 3-4 на 1 cm^2 .

Опит 6.1.4. Помедяване

Предварително се извършва никелиране на образца в продължение на 5-10 min. След никелирането образецът се измива с вода и се помедява в електролит със следния състав и режим на работа:

| | |
|---|-----------------------|
| Меден сулфат, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 200-250 g/l |
| Сярна киселина, H_2SO_4 | 50 g/l |
| Етилов алкохол, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 3,5 g/l |
| Температура | 15-25 °C |
| Катодна плътност на тока | 1,8 A/dm ² |
| Продължителност | 10-15 min |

Големината на тока, необходим за работа се изчислява по следната формула:

$$I = D \cdot S,$$

където: I – сила на тока, A; D – плътност на тока, A/dm²; S – площ на пластината, dm².

От токоизправителя се задава изчислената големина на тока. Помеденият образец се измива с вода, подсушава се и се измерва дебелината на медното покритие по капковия метод.

Капва се 1 капка от реактива (44 g/l AgNO_3) и със секундомер се отчита времето.

След 1 min капката се попива с филтърна хартия и се капва втора капка. Така се продължава докато се открие основния метал с повърхнина, приблизително равна на половината повърхнина на капката.

Появата на бяло петно от никеловия подслой е указание, че медното покритие се е разтворило.

По общия брой на капките се определя дебелината на покритието. Дебелината на покритието по се определя по формулата:

$$\delta = \delta_0 \cdot (n - 0,5),$$

където δ е дебелината на покритието, μm ; n – брой на капките реактив, изразходвани за откриване на основния метал или подслой; δ_0 – дебелината на покритието в μm , снета от една капка реактив за време 1 min, μm .

Таблица 6.3. Стойности на δ_0 (μm) при различни температури

| | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| t, °C | 13 | 15 | 18 | 20 | 23 | 25 |
| δ_0 , μm | 0,85 | 0,89 | 1,01 | 1,08 | 1,16 | 1,20 |

Упражнение 6.2. Защита чрез неметални покрития

Опит 6.2.1. Горещо фосфатиране на стомана

Стоманена пластинка се почиства с шкурка, обезмаслява се с виенска вар и се измива с вода. Подготвената пластинка се фосфатира в електролит със следния състав и режим на работа:

| | |
|---|--------------------------|
| Фосфорна киселина, H_3PO_4 (отн. пл. 1,7) | 8 cm^3/l |
| Азотна киселина, HNO_3 (отн. пл. 1,4) | 4 cm^3/l |
| Цинков оксид, ZnO | 4 g/l |
| Кобалтов нитрат, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 0,3 g/l |
| Температура | 80-90 °C |
| Продължителност | 15 min |

Фосфатираната пластинка се измива с вода и се подсушава.

Определяне на корозионната устойчивост. Върху фосфатираната повърхност се капва реактив (6,5 g/l $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 33 g/l NaCl , 7 g/l конц. HCl). Цветът на капката се променя от светлосин до червен. Ако промяната при 18-20 °C настъпи след време, по-малко от 1 min – корозионната устойчивост е ниска, от 2-5 min – средна, при 5 min – нормална и над 5 min – голяма.

Опит 6.2.2. Студено фосфатиране на стомана

Стоманена пластинка се почиства с шкурка, обезмаслява се с виенска вар, измива се с вода и се подлага на фосфатиране при стайна температура в електролит със следния състав и режим на работа:

| | |
|---|--------|
| Фосфорна киселина, H_3PO_4 (отн. пл. 1,7) | 25 g/l |
| Цинков оксид, ZnO | 20 g/l |
| Натриев нитрит, NaNO_2 | 15 g/l |
| pH | 2,8 |
| Продължителност | 40 min |

Качеството на покритието се изпитва по метод, описан в предишния опит.

Упражнение 6.3. Електрохимична защита

Опит 6.3.1. Влияние на инхибиторите върху скоростта на корозия на стоманата

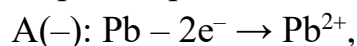
В две епруветки се налива по 20 % разтвор на сярна киселина H_2SO_4 , след което в една от тях се поставя инхибитор. В двете епруветки се поставят железни стружки, след което се затварят плътно с каучукови тапи с каучукови тръбички. Тръбичките се поставят в отворите на два градуирани мерителни цилиндъра напълнени с вода, потопени в съд с вода, с отворите надолу. В зависимост от скоростта на процесите в двете епруветки ефектът се отчита при стайна температура или след нагриването им на водна баня. Като указание за скоростта на процеса служи количеството отделящ се водород за единица време.

Опит 6.3.2. Защита чрез аноден протектор

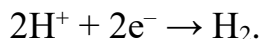
В две бехерови чаши се наливат по 50 cm³ 4 mol/l разтвор на оцетна киселина CH_3COOH и се добавят 10-15 капки 4 % разтвор на калиев йодид KI. В едната чаша се поставя оловна пластинка, а в другата – оловна и цинкова, свързани с електрически проводник. В продължение на 10 min се наблюдават протичащите процеси.

Незащитеният оловен електрод кородира в оцетнокиселата среда поради възникването на повърхността му на микрокорозионни галванични елементи.

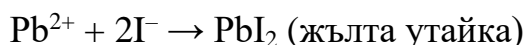
На анодните участъци се извършва процесът:



а на катодните:



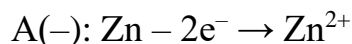
Pb^{2+} йони взаимодействат с I^- йони:



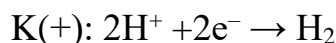
Във вторият случай възниква макрокорозионен галваничен елемент.

Цинкът има по-отрицателен потенциал от оловото и играе ролята на аноден протектор, като забавя корозията на оловото.

Цинкът (протекторът) кородира:



Върху катода (оловото) се извършва процесът:



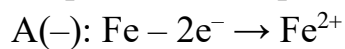
Утайка от PbI_2 не се образува или е в незначително количество.

Опит 6.3.3. Катодна защита на стомана

В две бехерови чаши се наливат по 50 cm³ 3 % разтвор на NaCl. Добавят се 3-4 капки 0,7 % разтвор на $K_3[Fe(CN)_6]$. В едната чаша се поставят стоманен и оловен електрод, като стоманеният се свързва с отрицателния полюс на източник на постоянен ток, а оловният – с положителния. Пропуска се електричен

ток в продължение на 10 min. За сравнение в другата чаша се поставя само стоманен електрод. Наблюдават се протичащите процеси.

В неутрална среда незащитената стоманена пластинка кородира в резултат на електрохимична корозия с кислородна деполяризация.



Наличието на Fe^{2+} се открива по синьото оцветяване на разтвора в резултат на реакцията между Fe^{2+} и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Във втория случай се разтваря свързаният с положителния полюс оловен електрод, а свързаният с катода стоманен електрод практически не кородира.

РАЗДЕЛ 7. СМАЗОЧНИ И СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЩИ МАТЕРИАЛИ. ГОРИВА

Упражнение 7.1. Определяне на вискозитет

Опит 7.1.1. Определяне на условен вискозитет с вискозиметър на Енглер

Във външния съд на вискозиметъра на Енглер се налива темперираща течност (най-често вода или глицерол, ако с апаратурата се извършат изпитния при по-високи температури). Поставя се щифтът, който запушва капилярката. Във вътрешния съд се налива предвиденото за изпитване масло в количество до нивото на щифтовете и вискозиметърът се затваря.

Под капилярката се поставя колба на Енглер. Изважда се щифта и се включва секундомер. Когато течността в мерителната колба достигне марката, съответстваща на 200 cm³, секундомерът се спира и се отчита времето. За всяко масло при зададена температура се извършват по три паралелни измервания.

При измерване на вискозитета при различни температури се включва нагревателят на вискозиметъра до достигане на определената температура, която се отчита с термометър.

Условният вискозитет на изпитвания продукт се изчислява по формулата:

$$W_t = \frac{\tau_t}{\tau_{H_2O}},$$

където: W_t е условният вискозитет при температурата на определянето, °E;
 $\tau_{H_2O} = 51 \pm 1$ s; τ_t – времето за изтичане на 200 cm³ от продукта при темп. t, s.

В зависимост от условията на упражнението, получени от преподавателя, се определя W_t на дадено масло при 3 до 5 различни температури и се построява зависимостта на W_t от температурата.

Опит 7.1.2. Определяне на динамичен вискозитет с вискозиметър на Хьоплер

Във вътрешната тръба на вискозиметъра се налива изпитваното масло, с помощта на пинсети се пуска съответното топче и се затваря. Включва се термостатът, чрез който стъкленият съд се напълва с топлоносител и се темперира изпитваното масло. Когато маслото в тръбата е достигнало необходимата температура (следи се от термометър), се отчита се времето за падане на топчето между двата белега (разстояние 100 mm) с помощта на секундомер.

За всяко масло при зададена температура се извършват по три паралелни измервания. За целта, когато след първото измерване топчето достигне крайно долно положение, съдът се завърта около стойката на 180° и измерването се повтаря.

Динамичният вискозитет се изчислява по формулата:

$$\eta = \tau \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot K,$$

където: η е динамичният вискозитет, cP; τ – времето за падане на топчето, s; ρ_1 – плътността на топчето, g/cm³; ρ_2 – плътността на течността при измерваната температура, g/cm³; K – константата на топчето, cP.cm³/g.s.

От полученият динамичен вискозитет (в cP) може да се премине в единиците на SI система – Pa.s. Чрез плътността на изследваното масло, може да се определи и кинематичният вискозитет по формулата:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

където: ν е кинематичният вискозитет, mm²/s; η – динамичният вискозитет, Pa.s; ρ – плътността, g/cm³;

Упражнение 7.2. Определяне на пламна температура

Опит 7.2.1. Определяне на пламната температура в отворен тигел с апарат на Маркусон

От определеното за изпитване масло в порцелановия тигел на апарата се налива проба в количество до марката на тигела. Монтира се съответния термометър така, че живачното резервоарче да бъде на около 5 mm от стената и 2 mm от дъното на тигела. Включва се нагревателят и непрекъснато се следят показанията на термометъра. Когато температурата достигне стойности с 30 до 40 °C по-ниски от очакваната пламна температура, над повърхността на изпитваната проба периодично се поднася за около 1 s пламък (от специално или друго запалващо устройство). Честотата на запалванията на пламъка се регламентира от скоростта на нарастване на температурата (през 2-3 °C). При извършване на определянето е желателно да се избягват въздушните течения в близост до апарата. За пламна температура се приема показанието на термометъра в момента на първото възпламеняване на парите на продукта над неговата повърхност.

Опит 7.2.2. Определяне на пламната температура в затворен тигел с апарат на Мартенс-Пенски

Проба от изследваният нефтопродукт се налива в тигела до марката и апарата се затваря. Под него се поставя горелка и се загрива отначало със скорост 10-12 °C в минута при масла с пламна температура над 150 °C или със скорост 5-8 °C в минута при масла с пламна температура под 150 °C, като периодично се разбърква с бъркалката, привеждана в движение чрез въртене на дръжката. С тази скорост се загрива, докато се достигне до температура, с около 30 °C по-ниска от предполагаемата пламна температура. В този момент се запалва лампичката, като полученият пламък има дължина 3-4 mm и почти сферична фор-

ма. По-нататък нагриването става със скорост 2°C в минута. При температура около 10°C под предполагаемата пламна температура се започва изпитването за запалване на образуваната газова смес на всеки 2°C . За тази цел се завъртва главата на приспособлението за отваряне отвора на капака и апаратът се държи в това положение 1 s. Преди отварянето на отвора разбъркването се прекратява. Ако не се получи пламване, температурата на маслото се повишава с още 2°C при разбъркване и пак се изпитва.

За пламна температура се приема тази, при която се появява краткотраен син пламък над повърхността на нефтопродукта. След първото пламване опитът продължава, като при следващата температура, по-висока с 2°C , се появява ново пламване. За пламна температура обаче се взема първоначално отчетената. Ако не се появи повторно пламване, опитът се повтаря. За краен резултат се взема средноаритметичното от две успоредни определяния с разлика между тях не повече от $\pm 2^{\circ}\text{C}$. За пламна точка се смята температурата с $0,5^{\circ}\text{C}$ по-ниска от тази, при която действително се е извършило възпламеняването.

Упражнение 7.3. Приготвяне на антифриз

При смесване на етилен гликол с вода се наблюдава рязко понижаване на температурата на замръзване до -75°C (смес на 67% етиленгликол и 33% вода). На табл. 7.1 са показани температурите на замръзване и относителната плътност на различни смеси на етиленгликол и вода.

таблица 7.1.

| Относителна плътност на етиленгликолов антифриз при 20°C | Температура на замръзване, $^{\circ}\text{C}$ |
|---|--|
| 1,155 | - 12 |
| 1,106 | - 30 |
| 1,089 | - 67 |
| 1,079 | - 55 |
| 1,073 | - 42 |
| 1,068 | - 34 |
| 1,057 | - 24 |
| 1,043 | - 13 |
| 1,029 | - 9 |

Като антифриз могат да се използват и водно-алкохолно-глицеролови смеси (табл. 7.2).

таблица 7.2.

| Температура на замръзване, °С | Състав на сместа, об. % | | |
|----------------------------------|-------------------------|----------|--------|
| | H ₂ O | глицерол | етанол |
| – 10°С | 60 | 10 | 30 |
| – 28°С | 45 | 15 | 40 |
| – 32°С | 43 | 15 | 42 |

Опит 7.3.1. Приготвяне на етиленгликолови антифризи

Да се приготви антифриз по задание от преподавателя, да се измери неговата относителна плътност и да се определи температурата му на замръзване.

Опит 7.3.2. Приготвяне на водно-алкохолно-глицеринов антифриз

Да се приготви водно-алкохолно-глицеринов антифриз по задание от преподавателя и да се определи неговата относителна плътност.

РАЗДЕЛ 8.ВИСОКОМОЛЕКУЛНИ СЪЕДИНЕНИЯ (ПОЛИМЕРИ)

Упражнение 8.1. Идентифициране на полимерите

Опит 8.1.1. Идентифициране на полимерните материали по поведението им на горене

Малка проба от полимера се внася в пламъка на газова горелка или спиртна лампа. Проследяват се внимателно следните изменения:

- омекване или разтопяване преди запалването;
- изтегляне във вид на нишка на получената стопилка (с помощта на телче);
- скорост на запалване (трудно, умерено трудно или лесно запалване);
- цвят на пламъка (в зоната на горене, в основата и в края на пламъка);
- вид и цвят на отделните газообразни и др. продукти;
- изменение на материала в зоната на горене;
- поведение на материала при изнасянето му от пламъка (самозагасване, намаляване на скоростта на горене и др.);
- мирис на отделените при горенето продукти.

За идентифицирането на непознатия полимер по белези на горене се използва табл. 8.1.

Таблица 8.1. Отнасяния на полимерите при горене

| Вид полимер | Средна плътност | Поведение при горене | Цвят на пламъка | Мирис на отделените продукти | Самозагасване |
|----------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------|
| Полиетилен | 0.91 ÷ 0.96 | бавно, топи се | жълт със синя зона в основата | на изгасена парафинова свещ | не |
| Полипропилен | 0.90 ÷ 0.91 | бавно, стапя се | син с жълти краища | на горещ парафин | не |
| Поливинилхлорид | 1.3 ÷ 1.4 | потъмнява, овъглява | жълто оран. зелен край в основата | остър, на HCl | да |
| Полистирен | 1.05 ÷ 1.10 | размеква се пука | жълто оранжев | сладникав | не |
| Полиметилметакрилат | 1.18 ÷ 1.21 | бавно с пръскане, слабо се овъглява | жълт със синя основа | сладникав, на плодове | не |
| Полиамид | 1.1 ÷ 1.2 | топи се, става прозрачен | жълтооранжев син отдолу | на изгорена вълна или рог | да |
| Ацетилцелулоза | 1.1:1.2 | топи се, пламъка кипи | жълто-оранжев | слаб, на оцетна киселина | не |
| Поликарбонат | 1.2 ÷ 1.4 | бавно, овъглява | жълто-оранжев | на горен рог | не |
| Полиетилентерефталат | 1.3 ÷ 1.4 | топи се | жълто-оранжев | сладникав, ароматен | не |

| Вид полимер | Средна плътност | Поведение при горене | Цвят на пламъка | Мирис на отделените продукти | Самозагасване |
|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|---------------|
| Полиестерни смоли | 1.2 ÷ 1.3 | бавно с пукане, овъглява | жълто-оранжев | черен восък | не |

Опит 8.1.2. Идентифициране на полимерите по устойчивостта им спрямо киселини, основи и органични разтворители

В епруветка се поставят гранули или парченце от изпитвания полимер. Прибавят се по 5 ml от предоставените за изпитанията киселини, основи, разтворители и др. Процеса може да се ускори чрез нагряване на пробите до около 60°C в термостат или на водна баня. След 10-20 min се проверява за евентуални изменения на изпитваните полимери. Идентифицирането се извършва с помощта на таблица 8.2.

Таблица 8.2. Отнасяния на полимерите спрямо въздействието на киселини и органични разтворители

| Наименование на полимера | бензин | бензен | метилхлорид | диетилов етер | ацетон | етилацетат | етанол | вода | тетрахлорметан | хлороформ | фенол (80%) | мравчена к-на | оцетна к-на | конц. HCl | конц. H ₂ SO ₄ | пиридин |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|---------------|--------|------------|--------|------|----------------|-----------|-------------|---------------|-------------|-----------|--------------------------------------|---------|
| Фенолформалдехидна смола | - | - | - | - | + | - | + | - | + | + | - | - | - | - | - | + |
| Карбамидформалдехидна смола | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | - | - | + | - | - | ± |
| Меламинформалдехидна смола | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | - | - | + | - | - | ± |
| Анилинформалдехидна смола | - | - | - | - | + | - | - | - | + | + | - | - | + | - | - | ± |
| Полиамид | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + | - | - |
| Полиуретан | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | - | + | - |
| Епоксидна смола | - | + | + | + | + | + | + | - | + | + | - | - | - | - | + | + |
| Полиестер | - | + | - | - | + | + | + | - | - | + | - | - | - | - | - | + |
| Поливинилхлорид | - | x | x | - | - | - | - | - | + | + | - | - | - | - | - | - |
| Поливинилиденхлорид | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| Поливинилацетат | - | + | + | x | + | + | + | - | + | + | - | - | + | - | - | + |
| Поливинилбутирал | - | + | + | - | - | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - | + |
| Поливинилов алкохол | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Полистирен | x | + | + | x | x | x | - | - | + | - | - | - | - | - | - | + |
| Полиетилен | - | ± | - | - | - | - | - | - | ± | ± | - | - | - | - | - | ± |

(-) неразтворим; (+) разтворим; (±) разтворим при загряване; (x) набъбва;

Упражнение 8.2. Изследване процесите на деструкция и съшиване на полимерите

Опит 8.2.1. Определяне температурата на деструкция на поливинилхлорид по продуктите от разлагането

Три предварително маркирани епруветки се напълват с поливинилхлорид до марката, поставят в маслена баня закрепени в отворите на държач, поставен на бехерова чаша от 600 ml. Поставя се термометър. В горната част на епруветките се закрепват ивици хартия, напоена с индикатор конгочервено така, че да достигат до горната марка. Епруветките се запушват с тапи и се загряват в маслената баня със скорост около $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Температурата, при която долния край на хартия започва да посинява се приема за температура на разлагане на поливинилхлорида. За краен резултат се приема средноаритметичното от стойностите на температурата за трите епруветки.

Опит 8.2.2. Деструкция на полиизопренов каучук

Няколко късчета полиизопренов каучук се поставят в епруветка, която се затваря със запушалка, снабдена с тръбичка. Свободният край на тръбичката се поставя в друга епруветка, съдържаща 2-3 ml разреден разтвор на калиев перманганат KMnO_4 . Епруветката с каучука се нагрива внимателно до температура $90-95^{\circ}\text{C}$, без да се овъглява материала. В резултат на деполимеризацията се отделя изопрен (C_5H_8), който обезцветява разтвора на KMnO_4 . Обезцветяването се дължи на образувания при окислението на изопрена пероксид.

Опит 8.2.3. Деструкция на полиметилметакрилат

В дестилационна колба от 25 cm^3 се насипват стърготини от полиметилметакрилат (плексиглас). Гърлото на колбата се запушва със запушалка, а страничният ѝ отвор се свързва с прав хладник. Колбата се нагрива отначало умерено, а след това силно, при което полимерът първо се стопява, а след това започва да деполимеризира. В приемника, който се охлажда, се събира безцветна или слабожълтеникава течност с естерна миризма.

Опит 8.2.4. Вулканизация на бутадиенстиренов каучук

В 250 ml ерленмайерова колба с конично дъно се разтварят 2g бутадиенов съполимер в бензен. Половината от разтвора се смесва с 1 ml S_2Cl_2 , като сместа се разбърква енергично, а втората половина се оставя без S_2Cl_2 . След 5 min разтворът, съдържащ S_2Cl_2 забележимо се сгъстява, а след около 10 min се превръща в гел. След около 20 min се образува плътна желеподобна маса. След няколко часа степента на сгъстяване е толкова висока, че протича разделяне на фазите с отделяне на разтворителя вследствие на синерезис.

РАЗДЕЛ 9. ПОЛУЧАВАНЕ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ МАТЕРИАЛИ

Упражнение 9.1. Израстване на кристали от течна фаза

Опит 9.1.1. Получаване на кристали от хромена стипца

10 g калиев дихромат се разтварят в 75 ml вода. Към този разтвор при непрекъснато разбъркване се добавя на малки порции концентрирана сярна киселина (13,33 ml). Реакционната смес се охлажда до 20-25 °C и към нея на капки се прибавя етиловият алкохол (12 ml). Реакцията е екзотермична и е необходимо непрекъснато охлаждане, за да не се повиши температурата на реакционната смес над 35 °C. В противен случай се получава зелена комплексна сол $K[Cr(SO_4)_2(H_2O)_2]$. Разтворът става червено-виолетов и се оставя да кристализира в продължение на седмица. Образованите тъмно виолетови октаедрични кристали от хромена стипца се филтрат с бюхнерова фуния, промиват се с малко студена вода и се сушат при стайна температура. Претеглят се и се записва добива.

Упражнение 9.2. Получаване на полупроводникови материали

Опит 9.2.1. Получаване на кадмиев сулфид

Обезводненият $Na_2S_2O_3$ (в сушилня за 2 часа, при 150-200 °C) се стрива fino в порцеланов хапан и се смесва със стрития кадмиев сулфат в съотношение 1:1 до получаване на хомогенна смес. Съдържанието се прехвърля в порцеланов тигел и се нагрива в тиглова пещ в продължение на 20 min при 600-800 °C. След изваждането на тигела от пещта и охлаждането му, полученият CdS се прехвърля количествено върху бюхнерова фуния и се промива с гореща вода, докато промивните води престанат да дават реакция за наличие на SO_4^{2-} (получаване на утайка от $BaSO_4$ при качествена реакция с 5 % разтвор на $BaCl_2$). Промитият CdS се суши при 100-105 °C.

Упражнение 9.3. Получаване на вода с висока степен на чистота по йонообменния метод и определяне на специфичната електропроводимост

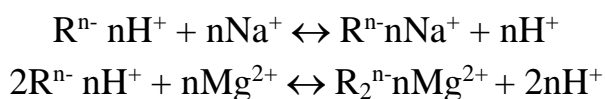
В технологията на полупроводниковите уреди и микросхеми химическата обработка заема първо място по брой операции, а след всяка химическа обработка следващата задължителна операция е промиването с дейонизирана вода. Тази операция се налага, тъй като при химико-технологичните процеси е неизбежно попадането върху повърхността на полупроводниковите материали на странични вещества, способни при термична обработка да дифундират в тях и да предизвикат изменение на електрическите параметри на уредите.

Електропроводимостта на водата и нейното специфично съпротивление се определят от *собствените йони и от йоните на различните видове примеси* (соли, киселини и основи), които са разтворени в нея. Тези примеси са дисоциирани и обуславят провеждането на електрически ток през нея. Самата вода също се дисоциира и съдържа положителни (H^+) и отрицателни (OH^-) йони, чиято концентрация зависи от температурата. Химически чистата вода при $18^\circ C$ показва специфична електропроводимост $4 \cdot 10^{-6} S/m$.

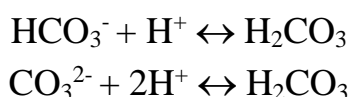
За получаване на чиста вода с висока степен на чистота най-широко приложение засега намира обработката с йонообменни смоли (йонити). *В основата на метода лежи свойството на някои минерални и органични вещества да поглъщат йоните на примесите, разтворени във водата.* Йонообменните смоли, встъпващи в обменни реакции с катионите, се наричат *катионити*. Те включват в своя състав групи като $-SO_3H$ (силнокисели катионити) или $-COOH$ (слабокисели катионити). Анионните йонообменни смоли съдържат функционални групи като $=NH$ или $-NH$ и се наричат *анионити*. *Амфотерните* йонообменни смоли (амфолити) съдържат едновременно киселинни и основни групи.

За получаването на вода с висока чистота се използва предварително очистена от твърди частици и колоиди вода, за предпочитане без съдържание на хлор, с отстранени от нея Ca^{2+} и Mg^{2+} , които образуват малкоразтворими съединения в нея. След предварителното грубо почистване на водата, се прилага обработка с йонообменни смоли за отстраняване на йонните онечиствания. За целта се подбират двойка смоли, които съдържат в молекулата си активен водороден йон H^+ (*H-катионит*) и такива, които съдържат в молекулата си активен хидроксилан анион OH^- (*OH-анионит*).

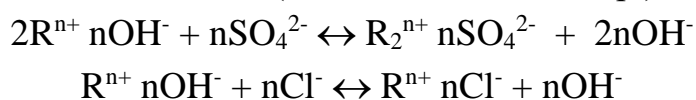
При пропускането на водата през катионита (фиг. 9.6) протича обмен на водородните йони с катионите, намиращи се във водата (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и др.):



В резултат на тези процеси концентрацията на H^+ във водата нараства, като една част от тях се свързва с HCO_3^- и CO_3^{2-} :

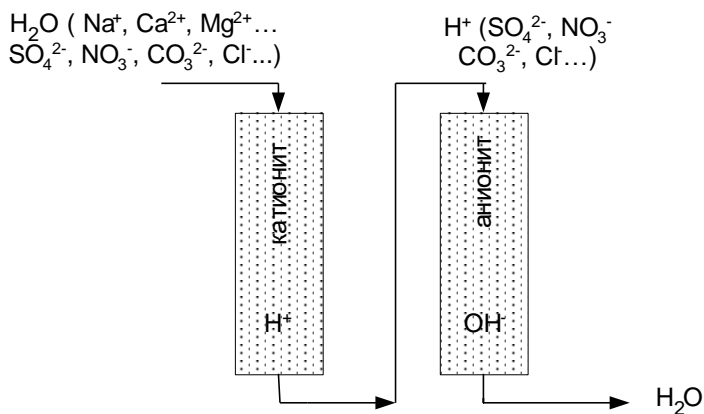


При преминаването на водата през анионита се извършва обмен на хидроксилните групи с анионите във водата (SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} и др.):



Чрез неколнократна обработка на водата през няколко двойки колони се постига изключително ниско съдържание на примеси – дори и най-трудно отстраняемите (Fe и Si) достигат съдържание от 10^{-6} - 10^{-7} %.

По този начин чрез селективен йонообмен се получава т. нар. *дейонизирана вода* за нуждите на полупроводниковата техника.



Фиг. 9.6. Схема на получаване на вода с висока чистота по метода на селективния йонообмен

Йонообменните смоли могат да се използват многократно, тъй като подлежат на регенерация – катионитите се обработват със слаб разтвор на киселина (5 % HCl) а анионитите – с разтвор на основа (4 % NaOH).

Чистотата на водата може да се контролира чрез нейната специфичната електропроводимост (кондуктометрично) или чрез стойността и на рН.

Кондуктометрично определяне чистотата на водата. Определянето на степента на чистота на водата се извършва на базата на специфичната й електропроводимост. Измерването се извършва с кондуктометър.

Измерва се началната електрическата проводимост $\mu_{нач}$, на проба от питейна вода. Водата се обработва последователно чрез пропускане през двойка колони с Н-катионит и ОН-анионит.

Измерва се специфичната й електропроводимост $\mu_{кр}$ на изхода от втората колона. Изчислява се степента на пречистване по формулата:

$$P = (\mu_{нач} - \mu_{кр}) \cdot 100 / \mu_{нач},$$

където: $\mu_{нач}$ е проводимостта на изходната проба вода, S/m; $\mu_{кр}$ е проводимостта на водата след втората колона, S/m; P – степента на пречистване, %.

РАЗДЕЛ 10. ПОВЪРХНОСТНИ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ

Упражнение 10.1. Химично отлагане на метални покрития

Опит 10.1.1. Химично отлагане на калай по обменния метод

Медна пластинка се обезмаслява с виенска вар, измива се, байцва се в продължение на 1 min в 20 % разтвор на солна киселина, отново се измива и се потапя в разтвор със следния състав:

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| калаен дихлорид, $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ | 8-12 g/l |
| тиокарбамид, $CS(NH_2)_2$ | 35-45 g/l |
| сярна киселина ($\rho = 1,84$) | 30-40 g/l |
| температура | 18-25 °C |
| продължителност | 15-20 min |

Опит 10.1.2. Химично отлагане на сребро чрез контактния метод

Като контактни метали при посребряването се използват алуминий или поцинкована стоманена тел.

Медна пластинка се обезмаслява с виенска вар, измива се, байцва се в продължение на 1 min в 20 % разтвор на солна киселина, отново се измива. Между нея и помощния метал се създава галванична връзка и те се потапят в разтвор със следния състав:

| | |
|---|----------|
| сребърен нитрат, $AgNO_3$ | 6 g/l |
| натриев хлорид, $NaCl$ | 6 g/l |
| калиев хексацианоферат, $K_3[Fe(CN)_6]$ | 4 g/l |
| калиев карбонат, K_2CO_3 | 2 g/l |
| температура | 18-25 °C |
| продължителност | 10 min |

Опит 10.1.3. Химично отлагане на сплавно покритие Ni-Co чрез редукиционния метод

Стоманена пластинка се почиства с шкурка, обезмасляване се виенска вар и се измива с вода. Декапира се в продължение на 3 min в 5 % разтвор на солна киселина, след което обилно се измива с вода. Неутрализира се с 2-3 % разтвор на натриев карбонат. Химичното метализиране се извършва чрез обработка на пластината в разтвор със следния състав:

| | |
|--|--------|
| кобалтов дихлорид, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ | 30 g/l |
| никелов дихлорид, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ | 30 g/l |
| натриев хипофосфит, $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ | 20 g/l |

| | |
|--|-----------------|
| <i>натриев цитрат, Na₃C₆H₅O₇·2H₂O</i> | <i>100 g/l</i> |
| <i>амониев хлорид, NH₄Cl</i> | <i>50 g/l</i> |
| <i>pH</i> | <i>8-9</i> |
| <i>температура</i> | <i>85-95 °C</i> |
| <i>продължителност</i> | <i>15 min.</i> |

Опит 10.1.4. Химично никелиране на стомана

Стоманена пластинка се почиства с шкурка, обезмаслява се с виенска вар и се подсушава с филтърна хартия. Измерват се размерите и се изчислява повърхността на пластинката S, cm². Претегля се на аналитична везна с точност 0,0002 g. Преди да се постави в електролита за химично никелиране, пластината се декапира в 5 % HCl в продължение на 1 min. Електролитът за химическо никелиране е със следния състав:

| | |
|---|------------------|
| <i>Никелов сулфат, NiSO₄·7H₂O</i> | <i>30 g/l</i> |
| <i>Натриев хипофосфит, NaH₂PO₂·H₂O</i> | <i>20 g/l</i> |
| <i>Амониев хлорид, NH₄Cl</i> | <i>40 g/l</i> |
| <i>Натриев цитрат, Na₃C₆H₅O₇·H₂O</i> | <i>45 g/l</i> |
| <i>Амоняк (2 %), NH₃</i> | <i>до pH 8-9</i> |
| <i>pH</i> | <i>8-9</i> |
| <i>температура</i> | <i>75-80 °C</i> |
| <i>продължителност</i> | <i>30 min</i> |

След изтичане на времето за отлагане образецът се промива, подсушава се и се претегля отново на аналитична везна. Дебелината на отложеното никелово покритие се определя по формулата:

$$\delta = \frac{m}{S \cdot d_{Ni}} \cdot 10^4,$$

където: δ – дебелина на никеловото покритие, μm ; m – тегло на отделения Ni, g; S – площта на образца, cm²; d_{Ni} – плътността на Ni = 8,9 g/cm³;

Упражнение 10.2. Химично метализиране на диелектрици

Опит 10.2.1. Метализиране на ABS-съполимери

За метализиране на детайли и изделия от ABS-съполимери се прилага следната технологична схема:

1. Байцване:

| | |
|--|--------------------|
| <i>хромен анхидрид, CrO₃</i> | <i>400-450 g/l</i> |
| <i>сярна киселина, H₂SO₄ (отн. пл. 1,84)</i> | <i>300-350 g/l</i> |
| <i>температура на разтвора</i> | <i>55-65 °C</i> |
| <i>продължителност</i> | <i>10-12 min</i> |

2. Измиване.

3. Обработване със солна киселина:

| | |
|---------------------------------------|----------|
| солна киселина, HCl (отн. пл. 1,19) | 300 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 3 min |
| (без междинно измиване!) | |

4. Активиране:

| | |
|---------------------------------------|----------|
| солна киселина, HCl (отн. пл. 1,19) | 300 g/l |
| паладиево-калаен концентрат | 100 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 3 min |

5. Измиване.

6. Акселериране:

| | |
|-------------------------|----------|
| натриева основа, $NaOH$ | 5-10 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 3 min |

7. Измиване.

8. Химическо никелиране:

8.1. в кисел електролит:

| | |
|--|-----------|
| никелов сулфат, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ | 22-24 g/l |
| натриев хипофосфит, $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ | 18-20 g/l |
| борна киселина, H_3BO_3 | 10-20 g/l |
| натриев бензоат | 8-10 g/l |
| pH | 4,3-4,6 |
| температура на разтвора | 60-65 °C |
| продължителност | 8-10 min |

8.2. в алкален електролит:

| | |
|--|-----------|
| никелов сулфат, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ | 25-30 g/l |
| натриев хипофосфит, $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ | 25-30 g/l |
| амониев хлорид, NH_4Cl | 30-35 g/l |
| оцетна киселина, CH_3COOH | 8-10 g/l |
| лимонена киселина | 8-10 g/l |
| pH | 9,5-11 |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 8-10 min |

9. Измиване.

10. Блестящо електрохимично помедяване:

| | |
|---|---------------|
| меден сулфат, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | 200-300 g/l |
| сярна киселина, H_2SO_4 (отн. пл. 1,84) | 55-65 g/l |
| натриев хлорид, $NaCl$ | 0,03-0,06 g/l |

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| блясъкообразувател | 2-6 g/l |
| анооди | мед |
| плътност на тока | 200-500 A/m ² |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 10 min |

11. Декапиране:

| | |
|--|----------|
| сярна киселина, H ₂ SO ₄ (отн. пл. 1,84) | 200 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 2-3 min |

12. Блестящо електрохимично никелиране:

| | |
|--|-------------------------|
| Никелов сулфат, NiSO ₄ ·7H ₂ O | 200 g/l |
| Натриев хлорид, NaCl | 10 g/l |
| Борна киселина, H ₃ BO ₃ | 40 g/l |
| Температура | 18-25 °C |
| Катодна плътност на тока | 1-1,5 A/dm ² |
| pH | 5,4-5,8 |
| Продължителност | 20-30 min |
| Анооди | никел |

Опит 10.2.2. Химично отлагане на медно покритие

Отлагането на медното покритие по химичен път следва същата технологична схема както никелирането и кобалтирането:

1. Байцване:

| | |
|--|-------------|
| хромен анхидрид, CrO ₃ | 400-450 g/l |
| сярна киселина, H ₂ SO ₄ (отн. пл. 1,84) | 300-350 g/l |
| температура на разтвора | 55-65 °C |
| продължителност | 10-12 min |

2. Измиване.

3. Обработване със солна киселина:

| | |
|-------------------------------------|----------|
| солна киселина, HCl (отн. пл. 1,19) | 300 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 3 min |

(без междинно измиване!)

4. Активиране:

| | |
|-------------------------------------|----------|
| солна киселина, HCl (отн. пл. 1,19) | 300 g/l |
| паладиево-калаен концентрат | 100 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 3 min |

5. Измиване.

6. Акселериране:

| | |
|-------------------------|----------|
| натриева основа, NaOH | 5-10 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 3 min |

7. Измиване.**8. Химично отлагане на медно покритие:**

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Меден дихлорид, CuCl ₂ | 10 g/l |
| Формалдехид, HCHO – 40 % | 60 ml/l |
| Метанол, CH ₃ OH | 360 ml/l |
| Продължителност | 12-15 min |

9. Измиване.**10. Блестящо електрохимично помедяване:**

| | |
|--|--------------------------|
| меден сулфат, CuSO ₄ ·5H ₂ O | 200-300 g/l |
| сярна киселина, H ₂ SO ₄ (отн. пл. 1,84) | 55-65 g/l |
| натриев хлорид, NaCl | 0,03-0,06 g/l |
| блясъкообразувател | 2-6 g/l |
| анооди | мед |
| плътност на тока | 200-500 A/m ² |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 10 min |

11. Декапиране в разтвор, съдържащ:

| | |
|--|----------|
| сярна киселина, H ₂ SO ₄ (отн. пл. 1,84) | 200 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 2-3 min |

12. Блестящо електрохимично никелиране:

| | |
|--|-------------------------|
| никелов сулфат, NiSO ₄ ·7H ₂ O | 200 g/l |
| натриев хлорид, NaCl | 10 g/l |
| борна киселина, H ₃ BO ₃ | 40 g/l |
| температура | 18-25 °C |
| катодна плътност на тока | 1-1,5 A/dm ² |
| pH | 5,4-5,8 |
| продължителност | 20-30 min |
| анооди | никел |

Опит 10.2.3. Метализиране на неорганични диелектрици

Технологичната схема включва следните операции и режими на работа:

1. Обезмасляване:

| | |
|---|-----------|
| натриева основа, NaOH | 40-50 g/l |
| натриев карбонат, Na ₂ CO ₃ | 50-80 g/l |

| | |
|--|-----------|
| натриев фосфат, $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ | 40-50 g/l |
| ПАВ | 3-8 g/l |
| температура на разтвора | 60-70 °C |
| продължителност | 10-15 min |
| 2. Измиване с вода. | |
| 3. Неутрализиране: | |
| солна киселина, HCl (отн. пл. 1,19) | 300 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 5 min |
| (без междинно измиване) | |
| 4. Активиране: | |
| солна киселина, HCl (отн. пл. 1,19) | 300 g/l |
| паладиево-калаен концентрат | 300 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 5 min |
| 5. Измиване. | |
| 6. Акселериране: | |
| натриева основа, NaOH | 10 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 3 min |
| 7. Химическо никелиране: | |
| никелов сулфат, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ | 25-30 g/l |
| натриев хипофосфит, $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ | 25-30 g/l |
| амониев хлорид, NH_4Cl | 30-35 g/l |
| оцетна киселина, CH_3COOH | 8-10 g/l |
| лимонена киселина | 8-10 g/l |
| pH | 9,5-11 |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 8-10 min |

Упражнение 10.3. Нанасяне на изображението по метода на фотолиитографията

Фотолиитографията се осъществява върху фолирани диелектрични подложки за изготвяне на печатни платки или върху силициеви пластини, чиято повърхност предварително е покрита с тънък диелектричен слой от силициев диоксид или от алуминий, сребро, молибден и др. Технологичната схема включва следните операции и режими на работа:

1. Обезмасляване с органичен разтворител (ацетон, етанол, тетра-хлорметан) или чрез обработка в ултразвукова вана.

2. Измиване.

3. Изсушаване с топъл въздух (в сушилня).

4. Нанасяне на слоя фоторезист.

5. Сушене на фоторезиста. Извършва се при стайна температура в продължение на 3-4 min, а след това в сушилня при 90-100°C, в продължение на 15 min.

6. Проекционно съвместяване на пластината с фотошаблона.

7. Експониране. Извършва се с източник на ултравиолетова светлина, за време от 15 s до 5 min в зависимост от източника.

8. Проявяване на изображението. Извършва се в разтвор със състав, избран в зависимост от вида на използвания фоторезист.

9. Измиване.

Упражнение 10.4. Химично разяждане на силиций

Преди провеждането на разяждането, силициевите пластини се обезмасляват с помощта на тампон, напоен с органичен разтворител (ацетон, етанол, тетра-хлорметан). След обезмасляване пластините се измиват много добре с дейонизирана вода и се изсушават с топъл въздух. В зависимост от целта на обработката от таблица 10.1 се подбира състава на разтвора и параметрите на процеса.

Таблица 10.1. Състави за химично разяждане на силиций

| № | Състав* | Режим | Цел на обработката |
|---|--|----------------------|---|
| 1 | 30 % NaOH | 70-75°C; 15 min | разкриване на структурни дефекти, анизотропно ецване |
| 2 | 5ml HNO ₃ + 3ml HF | 18-25°C; 15 s | химично полиране |
| 3 | 5ml HNO ₃ + 3ml HF + 3ml CH ₃ COOH | 18-25 °C; 3-4 min | по-бавно химично полиране, разкриване на p-n преходите и дислокациите |
| 4 | 18ml HNO ₃ + 25ml HF + 5ml CH ₃ COOH + 10ml H ₂ O ₂ + 0,1ml Br ₂ + 1g Cu(NO ₃) ₂ | 18-25°C; 3-4 min | разкриване на дислокациите и оценка на тяхната плътност във всички плоскости, разкриване на p-n преходите |
| 5 | 4 % NaOH + 40 % NaOCl | 80 °C | намаляване дебелината на образеца |
| 6 | 3 ч. 65 % HNO ₃ + 1 ч. 40 % HF | 1,5 s | Полиране на пластините |

Силициевите пластини се потапят в отделните състави с помощта на пластмасови пинсети. След разяждането те се промиват много добре (трикратно) с дестилирана вода и се изсушават с топъл въздух. Прехвърлянето на обработената пластина от разтвора за химично разяждане в чашите с дестилирана вода

трябва да се извърши бързо, тъй като при контакт с въздуха намокрената с разяждащ разтвор повърхност на силиция се окислява много бързо.

Резултатите от химичното разяждане се оценяват чрез визуално наблюдение на повърхността на силициевите пластини с помощта на микроскоп. Оценява се нееднородността на релефа на повърхността и нейната отразителна способност, появата на видими ямки на разяждане и т.н.

РАЗДЕЛ 11. ФИЗИКОХИМИЧНИ ПРОЦЕСИ ПРИ ИЗГОТВЯНЕТО НА ПЕЧАТНИ ПЛАТКИ

Упражнение 11.1. Получаване на токопроводящата схема на платките чрез химическо разяждане (ецване)

След нанасяне на изображението се извършва *химично разяждане (ецване)* на откритите участъци мед от подложката по следната схема:

1. Обработка на пластината в един от следните разтвори:

а). разтвор 1:

| | |
|----------------------------------|----------------|
| меден дихлорид, $CuCl_2$ | 65 g/l |
| амониев хлорид, NH_4Cl | 100 g/l |
| амониев карбонат, $(NH_4)_2CO_3$ | 20 g/l, |
| амоняк, NH_3 (25 %) | до pH 8,5-10,5 |
| температура | 45-50 °C, |
| продължителност | 15 min. |

б). разтвор 2:

| | |
|-----------------------------|------------|
| железен трихлорид, $FeCl_3$ | 300 g/l |
| солна киселина, HCl | 50 ml 10 % |
| температура | 45-50 °C, |
| продължителност | 15 min |

2. Измиване с дейонизирана вода.

3. Изсушаване с топъл въздух или в сушилен шкаф.

4. Нанасяне на защитно покритие:

| | |
|--|----------|
| калаен дихлорид, $SnCl_2$ | 20 g/l |
| тиокарбамид, $CS(NH_2)_2$ | 75 g/l |
| солна киселина, HCl ($d = 1.19$) | 50 g/l |
| натриев хипофосфит, $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ | 10 g/l |
| ПАВ | 1 g/l |
| температура | 65-80 °C |
| продължителност | 10 min |

Упражнение 11.2. Отлагане на сплавно покритие калай-олово

Отлагането на сплавно покритие Sn/Pb се извършва по технологична схема, включва следните операции:

1. Обезмасляване:

| | |
|---|--------|
| лимонена киселина | 50 g/l |
| моноетиленгликол | 16 g/l |
| натриев фосфат, $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ | 26 g/l |


| | |
|--|---|
| тиокарбамид, $CS(NH_2)_2$ | 1 g/l |
| ПАВ | 3 g/l |
| температура на разтвора | 50-60 °C |
| продължителност | 10 min |
| 2. Измиване. | |
| 3. Байцване: | |
| амониев пероксидисулфат, $(NH_4)_2S_2O_8$ | 200 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 10-15 s |
| 4. Измиване. | |
| 5. Декапиране: | |
| сярна киселина, H_2SO_4 (отн. пл. 1,84) | 200 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 1 min |
| 6. Електрохимично помедяване. | |
| 7. Измиване. | |
| 8. Декапиране: | |
| борфлуороводородна киселина, HBF_4 | 50 g/l |
| температура на разтвора | 18-25 °C |
| продължителност | 1 min |
| 9. Електрохимично отлагане на сплавно покритие калай-олово: | |
| калаен флуороборат, $Sn(BF_4)_2$ (като метал) | 14 g/l |
| оловен флуороборат, $Pb(BF_4)_2$ (като метал) | 7 g/l |
| борфлуороводородна киселина, HBF_4 | 250 g/l |
| борна киселина, H_3BO_3 | 20 g/l |
| пептон | 4 g/l |
| хидрохинон | 0,08 g/l |
| температура на електролита | 18-25 °C |
| катодна плътност на тока | 100-200 A/m ² |
| анооди | (сплав, съответстваща на получаваното покритие) |
| продължителност | 10 min |
| 10. Измиване. | |
| 11. Отстраняване на фоторезиста - с помощта на тампон, напоен с органичен разтворител | |
| 12. Измиване. | |
| 13. Химично разяждане на медта: | |
| меден дихлорид, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ | 65 g/l |
| амониев хлорид, NH_4Cl | 100 g/l |

*амониев карбонат, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
амоняк (25 %)
температура на разтвора*

*20 g/l
до pH 8,5-10,5
45-50 °C*

ЛИТЕРАТУРА

1. Бончева-Младенова, З., В. Василев. Химия и физикохимия на полупроводниковите материали. София, 1991.
2. Григорев, Ю. Полупроводникови материали. Технологии за производство и области на използване. Пловдив, 1999.
3. Дишовски, Н., И. Радулов, Р. Димитров. Усилване на еластомерите, Изд. на ХТМУ, София, 2005.
4. Добрева Е., А. Лирков. Ръководство за лабораторни упражнения по физикохимични основи на електронното производство. Изд. на ТУ-София, 1995.
5. Иванов, С., П. Възвъзова, С. Стаматов, Д. Тончев, Я. Давчева. Ръководство за лабораторни упражнения по органична химична технология. Пловдивско унив. издателство "П. Хилендарски", Пловдив, 1994.
6. Киркова, Е. Вещества с висока чистота. Методи за получаване. София, Унив. издателство "Св. Климент Охридски", 1994.
7. Колева, М. Основи на химичните технологии в електрониката и електротехниката. УИ „Васил Априлов”, 2009.
8. Костов, Р. Основи на минералогията. "Pensoft", София-Москва, 2000.
9. Монева, Л., Т. Владкова, М. Иванов. Синтетични латекси. Изд. на ХТМУ, София, 2005.
10. Панайотов, И., С. Факиров. Химия и физика на полимерите. "Наука и изкуство", София, 1982.
11. Петров, Х., М. Енчева. Обща химия. Изд. на ТУ-София, 1999.
12. Попова, А., Р. Бошнакова, Й. Марчева, Л. Пандева, Б. Цанева, Ръководство за лабораторни упражнения по химия, ТУ София, 2009.
13. Райчев, Р. Химично съпротивление на материалите и защита от корозия. "Техника", София, 1990.
14. Стойчев, П. Обща химия. УИ В. Априлов, 2006.
15. Хорозова, Е., С. Христоскова, Р. Семкова, Р. Манчева. Ръководство за лабораторни упражнения по физикохимия и колоидна химия. Унив. изд. "П. Хилендарски", Пловдив, 1999.
16. Василев, Д., А. Цонева, Компендиум по химия, Издателство „Екс-Прес”, Габрово, 2007, ISBN: 978-954-8606-03-05
17. Колева, М., П. Стойчев, Д. Василев, Ръководство за упражнения по химия, Унив. изд. „В. Априлов”, Габрово, 2014, ISBN: 978-954-683-517-8
18. Василев, Д., М. Колева, П. Стойчев, Учебна тетрадка по химия, Унив. изд. "Васил Априлов", Габрово, 2019, ISBN: 978-954-683-602-1

| ПЕРИОДИ | ГРУППЫ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-----|-----|------|------|-------|-------|------|--|--|---|--|--|
| | A I | B I | A II | B II | A III | B III | A IV | B IV | A V | B V | A VI | B VI | A VII | B VII | VIII | | | | | |
| 1 | H водород 1.00794 | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | |
| 2 | Li литий 6.941 | Be бериллий 9.01218 | B бор 10.811 | C углерод 12.011 | N азот 14.0067 | O кислород 15.9994 | F флуор 18.998403 | Ne неон 20.179 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Na натрий 22.98977 | Mg магний 24.305 | Al алюминий 26.98154 | Si кремний 28.0855 | P фосфор 30.97376 | S сера 32.066 | Cl хлор 35.453 | Ar аргон 39.948 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | K калий 39.0983 | Ca кальций 40.078 | Sc скандий 44.95591 | Ti титан 47.88 | V ванадий 50.9415 | Cr хром 51.9961 | Mn марганец 54.9380 | Fe железо 55.847 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Rb рубидий 85.4678 | Sr стронций 87.62 | Y итрий 88.9059 | Zr цирконий 91.224 | Nb ниобий 92.9064 | Mo молибден 95.94 | Tc технеций 97.9072 | Ru рутений 101.07 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Cs цезий 132.9054 | Ba барий 137.33 | La* лантан 138.9055 | Hf гафний 178.49 | Ta тантал 180.9479 | W вольфрам 183.85 | Re рений 186.207 | Os осмий 190.2 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Fr франций 223.0197 | Ra радий 226.02544 | Ac** актиний 227.0278 | Rf рифтерфордий [261] | Db дубний [261] | Sg сигборгий [263] | Bh борий [261] | Hs хесий [265] | | | | | | | | | | | | |

*лантаниды

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------|------------------|----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Se 58 | Pr 59 | Nd 60 | Pm 61 | Sm 62 | Eu 63 | Gd 64 | Tb 65 | Dy 66 | Ho 67 | Er 68 | Tm 69 | Yb 70 | Lu 71 |
| селен 78.96 | прасодим 140.12 | неодим 144.24 | прометий 144.9128 | самарий 150.36 | европий 151.96 | гадолиний 157.25 | тербий 158.9254 | диспросий 162.50 | holmий 164.9304 | ербий 167.26 | тулий 168.9342 | итербий 173.04 | лутенций 174.967 |

**актиниды

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Th 90 | Pa 91 | U 92 | Np 93 | Pu 94 | Am 95 | Cm 96 | Bk 97 | Cf 98 | Es 99 | Fm 100 | Md 101 | No 102 | Lr 103 |
| торий 232.0381 | проактиний 231.0359 | уран 238.0289 | нептуний 237.0482 | плутоний 244.0642 | амерций 243.0614 | кемрий 247.0703 | берклий 247.0703 | кальфорний 251.0796 | айнштейний 252.0828 | фермий 257.0951 | менделеевий 258.0986 | нобелий 259.1009 | лоуренсий 260.1054 |