

**Міністерство освіти і науки України
Національний авіаційний університет**

Лабораторний практикум

**З дисципліни
«Матеріалознавство і біосумісні матеріали»**

Галузь знань: 0514 "Біотехнологія"
Напрямок підготовки: 6.051402 " Біомедична інженерія "

2016р.

**Міністерство освіти і науки України
Національний авіаційний університет**

**Лабораторний практикум
З дисципліни
«Матеріалознавство і біосумісні матеріали»»**

Галузь знань: 0514 "Біотехнологія"
Напрямок підготовки: 6.051402 " Біомедична інженерія "

**Київ
Видавництво Національного авіаційного університету
«НАУ-друк»
2016р.**

**УДК
ББК
Т**

Рецензенти

**Затверджено методично-редакційною радою
Національного авіаційного університету**

**Основи біомеханіки. Лабораторний практикум.
Тісов Олександр Вікторович**

Лабораторний практикум містить завдання та опис методики виконання лабораторних робіт.....

Лабораторна робота №1

МІКРОСКОПІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Мета роботи. Ознайомитись з методикою мікроскопічного аналізу, дослідити мікроструктуру сталей, ознайомитись з конструкцією і принципом роботи металографічного мікроскопа МІМ7.

Матеріали і обладнання: металографічний мікроскоп МІМ7, набір мікрошліфів, об'єктив-мікрометр, окуляр мікрометр, таблиці, плакати.

Основні теоретичні відомості.

Мікроаналіз - дослідження структури і недоліків металів за допомогою мікроскопу. Дослідженням підлягають спеціально підготовлені зразки (**мікрошліфи**). Мікроаналіз дозволяє визначити структуру металів та сплавів в твердому стані після різних видів термічної обробки та пластичного деформування.

За допомогою мікродосліджень виявляють структурні складові, їх величину, форму і розташування, неметалічні включення, мікротріщини, характер та глибину поверхневого насичення сталевих деталей вуглецем, азотом та іншими елементами і т.д.

Мікроструктурний метод дослідження металів складається з декількох етапів:

- виготовлення шліфів - шліфування і полірування;
- травлення шліфів - виявлення структури;
- дослідження структури, дефектів металів та сплавів під мікроскопом.

Зразок металу спеціально підготовлений для дослідження його структури під мікроскопом, називається **мікрошліфом**. Зразок препарують з тієї частини деталі, котра в данному дослідженні представляє інтерес. Наприклад, якщо потрібно встановити причину руйнування, зразок беруть з місця близького до руйнування. Для дослідження мікроструктури деталей після хіміко-термічної обробки зразок відбирають таким чином, щоб

його поперечний розтин вміщував поверхневий шар. Найбільш придатний розмір мікрошліфа є циліндр діаметром 12мм і висотою 10мм, або паралелепіпед з площею основи **12x12** мм при тій же висоті (рис. 2.1а та 2.1 б). Заготовку для **мікрошліфа** відрізають ножовкою або на токарному чи фрезерному станках. Метали і сплави з високою твердістю, що важко оброблюються (загартовані сталі, білий чавун, сталі аустенітного класу), відрізають на тих же станках, але за допомогою інструменту з абразивних матеріалів або надтвердих сплавів, а також електроіскровим різанням. Під час різання і заторцовки зразок охолоджують водою, або іншими охолоджуючими рідинами, тому що нагрівання може змінити структуру ділянки, що досліджується. Для дрібних зразків незручної форми, або малих розмірів застосовують спеціальні пристрої (рис. 2.1 в і 2.1 г). Найбільш поширений метод – заливання дрібних зразків легкоплавким сплавом, сіркою, пластмасою в оправку з труби діаметром 10-20 мм. Оправка шліфується разом зі зразком. Для шліфування обирають шліфувальні шкурки, шліфувальний папір з різною величиною абразивного зерна. Починають шліфування на шліфувальному матеріалі з більшою величиною зерна і поступово переходять на матеріал з більш дрібним зерном.

При переході з одного шліфувального матеріалу на інший напрям шліфування змінюється на 90 °.

Для інтенсивного відзеркалення променів світла поверхня мікрошліфа повинна бути дзеркальною, тому після шліфування виконують полірування на фетрі, замші, тонкому сукні, що змочені водною суспензією дрібних частинок оксидів хрому, алюмінія, або алмазного порошку в гасі. Змінення структури під дією наклепу усувають застосуванням електролітичного полірування. В усіх випадках після полірування мікрошліф промивають водою, спиртом і сушать. Наступний етап – травління поверхні мікрошліфа розчинами кислот, лугів, солей для виявлення мікроструктури. При травленні на поверхні мікрошліфа утворюються гальванічні елементи. Структурні складові з більш електронегативним електродним потенціалом є анадами і швидше розчинюються, інші – катоди залишаються незмінними. Утворюються мікрорельєф у вигляді западин та

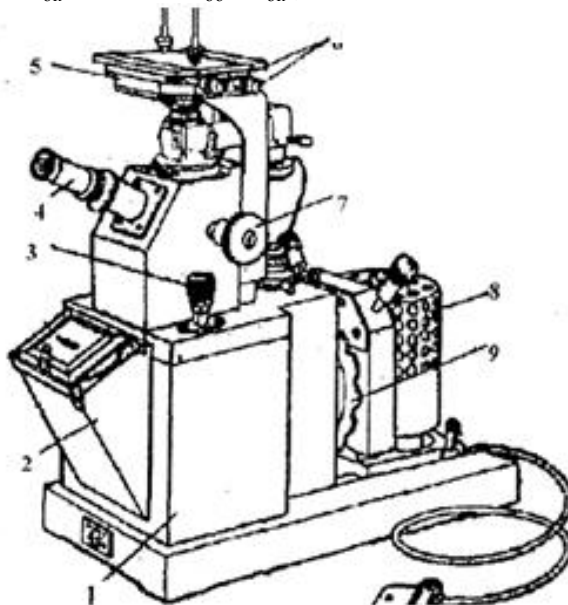
виступів, що по різному розсіюють світло. Западини на границях зерен розсіюють світло сильніше і тому виглядають як темні лінії. Виступи є світлими, тому зерна фериту в полі зору більш світлі ділянки (рис. 2.2а). Структура перліту має вигляд темних та світлих смуг (рис. 2.2б), тому що цемент виступає, відбиває більше променів і в полі зору буде світлим, а ферит навпаки темним.

Металографічний мікроскоп – це прилад для дослідження структури металів та сплавів, що використовує відбите світло від непрозорого об'єкта – мікрошліфа. Набір об'єтивів та окулярів забезпечує збільшення до 2000 разів, спеціальні пристрої дають можливість зафіксувати зображення фотографічним методом.

Основні характеристики металографічного мікроскопу.

Збільшення V_M оптичної системи визначається збільшенням об'єктива $V_{об}$ і окуляра $V_{ок}$ за допомогою яких провадиться дослідження:

$$V_M = V_{об} \times V_{ок} = 250 \times L / f_{об} \times f_{ок} ,$$



де 250 мм- відстань найкращого зору ока;

L – оптична довжина тубуса;

$f_{об}$, $f_{ок}$ – фокусні відстані об'єктива та окуляра.

Роздільна здатність світлової оптики – це здатність давати різке зображення двох як найближче розташованих точок об'єкта.

Математично межу дозволяючої здатності металографічного мікроскопу можна представити у вигляді:

$$d = \lambda/A$$

де d – найменша відстань між двома точками, відображення яких в мікроскопі виглядає роздільно;

λ – довжина хвилі;

A – апертура.

При цьому чим більша числова апертура об'єктиву і чим менша довжина хвилі, тим вища дозволяюча здатність мікроскопу, тобто меншу частинку можна побачити на об'єкті.

Існує декілька модифікацій металографічних мікроскопів, але найбільш придатний для вивчення в умовах університетських лабораторій є металографічний дослідний мікроскоп МИМ-7, зовнішній вигляд якого показано на рис. 2.3: 1- корпус, 2- фотокамера, 3- мікрометрична подача предметного столика; 4 – візуальний тубус; 5 – предметний столик; 6 – рукоятки переміщення столика; 7 – рукоятка грубої подачі столика; 8 – освітлювач; 9 – диск з набором світлофільтрів.

Перш ніж приступити до роботи з мікроскопом, необхідно ознайомитися з його будовою та окремими частинами, їх розміщенням та призначенням. При роботі з мікроскопом забороняється припускати швидких рухів при –фокусуванні об'єктів і при встановленні та заміні оптики (об'єктивів та окулярів). Якщо обертання макро- та мікрогвинтів чомусь заважке, не потрібно використовувати надмірну силу, необхідно відразу звернутися до технічного персоналу.

Забороняється ставити на предметний столик шліф, що не висушений або зразу ж після травлення, залишки реактивів можуть пошкодити об'єктив, а також предметний столик мікроскопа. Забороняється рухати шліфом по столику та торкатися його поверхні пальцями. Забороняється без керівника торкатися відповідальних частин мікроскопу, крім макро- і мікрометричних гвинтів та гвинтів переміщення столика.

Вимірювання мікроскопічних об'єктів за допомогою окулярних та об'єктивних мікрометрів.

Розмір зерна, глибину поверхні азотування, цементування, тощо можливо визначити під мікроскопом за допомогою об'єктмікрометра та окулярмікрометра. Об'єктмікрометр представляє собою невелику поліровану лінійку, на котрій нанесено 1 мм, розділений на 100 частинок з ціною поділки 10 мкм.

Окулярмікрометр - це звичайний окуляр зі встановленою в нього допоміжною шкалою, поділеною на 100 поділок.

До вимірювання об'єкту необхідно визначити ціну поділки шкали окулярмікрометра, Для чого в полі зору суміщають дві шкали: окулярмікрометра та об'єктмікрометра таким чином, щоб вони **співпадали**. Наприклад, данному окулярі **25поділок** окулярмікрометра в полі зору мікроскопу, покривають всю шкалу об'єктмікрометра (рис. 2.4). Це значить, що ціна однієї поділки окулярмікрометра дорівнює $1:25 = 0,04\text{мм}$. Знаючи ціну поділки окулярмікрометра можна легко міряти об'єкт, встановлений на предметний столик замість об'єктмікрометра. Припустимо, що об'єкт займає 10 поділок тоді це число помножуємо на ціну поділки окулярмікрометра, і отримуємо розмір об'єкту.

Визначення розміру зерна (за допомогою окулярного мікрометра).

Стандартний номер зерна за допомогою окулярмікрометра визначають наступним чином. Спочатку підраховують лінійний розмір в горизонтальному напрямку по формулі:

$$L_{\text{гор}} = kc/M_{\text{гор}},$$

Де k – число поділок окулярмікрометра; c – ціна поділки окулярмікрометра для данного об'єктива;

M – число зерен, що припадає на « k » поділок окулярмікрометра. Тим же методом визначають лінійний розмір в вертикальному напрямку $L_{\text{вер}}$. Середній розмір зерна $L_{\text{сер}}$ дорівнює

$$L_{\text{сер}} = (L_{\text{гор}} + L_{\text{вер}}) * 0,5$$

Якщо вважати зерно рівновісним, то середній лінійний розмір зерна є середнім діаметром зерна

$$L_{\text{сер}} = d_{\text{сер}} \text{ і площа зерна дорівнює}$$

Визначивши за допомогою окулярмікрометра дійсну площу зерна в мкм^2 , стандартний номер зерна N визначають по табл.2

$a/\text{cp} = 500$

$n=2$

a - натуральна площа зерна в мкм^2

N – стандартний номер (бал) зерна

n – число зерен, приходячих на площу 6,25 см при збільшенні в 100 разів.

Таблиця 2

З ерно ³	Дійсна площа зерна, мкм^2		
	найменша	середня	найбільш а
1	40 000	64 000	80 000
2	20 000	32 000	40 000
3	10 000	16 000	20 000
4	5 000	8 000	10 000
5	2 500	4 000	5 000
6	1 200	2 000	2 500
7	600	1 000	1 200
8	300	500	600

Даний метод застосовують для виливків, відпалених металів і сплавів, тому що вони мають зерна приблизно однакові за розмірами і по формі наближуються до кулі.

Порядок виконання лабораторної роботи.

1. Ознайомитись з методикою виготовлення мікрошліфа.

2. Ознайомитись з конструкцією та принципом роботи металографічного мікроскопу МІМ7.

3. Виконати вимір середнього діаметру зерна технічно чистого заліза або сталі 45.

Питання для самоконтролю.

1. Що таке мікрошліф?
2. Поясніть методику виготовлення мікрошліфа.
3. Як виконується шліфування мікрошліфа?
4. Як виконується полірування мікрошліфа.
5. Обґрунтуйте призначення травління мікрошліфа.
6. Назвіть основні характеристики мікроскопу.
7. Назвіть основні частини конструкції мікроскопу.
8. Поясніть метод вимірювання величини зерна за допомогою об'єктмікрометра.
9. Поясніть метод визначення величини зерна з порівнянням зі стандартною шкалою.

Звіт про виконану роботу.

Письмовий звіт про виконану роботу студент надає в довільній формі. В звіті потрібно описати основні задачі мікроаналізу, методику виготовлення мікрошліфа. Навести основні характеристики мікроскопу ММ7. Описати методику вимірювання величини зерна за допомогою об'єktiv-мікрометра та метод порівняння досліджуємого зерна зі стандартною шкалою.

Лабораторна робота №2

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: вивчити найбільш розповсюджені методи вимірювання твердості металів і сплавів
Матеріали і обладнання: твердомір системи Віккерса, набір зразків

Основні теоретичні відомості

Твердість- це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пружній пластичній деформаціям або руйнуванню при місцевій пластичній взаємодії з боку іншого, більш твердішого тіла (індентора) відповідної форми та розмірів.

Для багатьох сплавів встановлена чітка залежність між твердістю, механічними та технологічними характеристиками (міцністю, оброблюваністю різанням, тиском тощо). Тому вимірювання твердості є найбільш поширеним методом механічних випробувань. Способи визначення твердості поділяють на статичні та динамічні в залежності від швидкості прикладення навантаження, а за способом його прикладання – на методи вдавлювання та шкрябання. Найбільш розповсюджені методи де використовуються, це статичне навантаження індентора перпендикулярно до поверхні зразка. Це методи Брінеля, Роквела та Віккерса

Твердість за Віккерсом

При стандартному вимірюванні твердості за Віккерсом, де в поверхню зразка вдавлюється алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині 136° під дією навантаження P , яке вибирають в межах 49...1176 Н (5...120 кгс) на протязі 5...10 с

(ГОСТ 2999-75). В результаті вимірювання на поверхні зразка утворюється відбиток у вигляді ромба, діагональ якого вимірюється спеціальним мікроскопом (рис. 6-б),

Число твердості за Віккерсом HV визначають діленням навантаження P на площу бічної поверхні отриманого

пірамідального відбитка F:

$$HV=2P \sin(\alpha / 2)/d^2=1.854 P/d^2,$$

Де d-середнє арифметичне двох діагоналей відбитка;

$\alpha =136^0$ -кут при вершині піраміди.

Твердість вимірюють в кгс/мм² і записують HV 200 без вказання одиниці вимірювання,або в Н/м² і записують з вказуванням одиниці вимірювання,наприклад HV 200 МПа.

Числа HB і HV близькі за абсолютною величиною,однак тільки до значення приблизно HB 400.

Вище цих значень метод Брінелля дає спотворені результати в наслідок залишкової деформації сталльної кульки.Алмазна піраміда в методі Віккерса дозволяє визначити твердість практично будь-яких металевих матеріалів.Ще більш важлива перевага цього методу полягає у суворому співставленні чисел твердості HV будь-яких матеріалів,випробуваних при різних навантаженнях

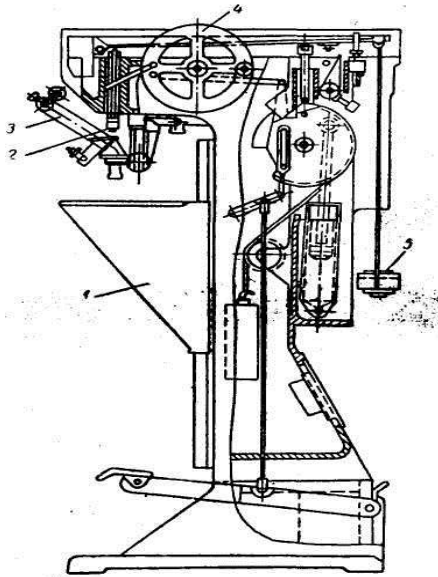


Схема приладу для визначення твердості по Віккерсу:

1-столік для встановлення випробовуваного зразка;

2-шток залмазною пірамідою;

3-мікроскоп; 4-штурвал;5-вантаж

Результати вимірювань

№	d1	d2	dcp	HV	HRC	HB
1						
2						
3						
4						
5						

Порядок виконання лабораторної роботи.

1. Ознайомитись з методикою вимірювання твердості на твердомірі системи Вікерса.
2. Ознайомитись з конструкцією та принципом роботи твердріра.
3. Виконати вимір твердості зразків за методикою Вікерса і перевести отримані значення у інші системи.

Питання для самоконтролю.

1. Що таке твердість?
2. Що таке індентор і які вони бувають за формою?
3. Як виконується вимірювання твердості за методом Вікерса?
4. Які статичні методи вимірювання твердості ви знаєте?
5. Які матеріали використовуються для виготовлення інденторів?
6. Обґрунтуйте необхідність вимірювання твердості.
7. Назвіть основні частини твердоміру.
8. Опишіть метод вимірювання твердості за вікерсом.

Лабораторна робота 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОГО ЕЛЕКТООПОРУ ПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ВІД

ТЕМПЕРАТУРИ

I. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з теоретичними уявленнями про природу електропровідності провідникових матеріалів.

2. Визначити електроопір і температурний коефіцієнт питомого електроопору даних зразків.

3. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Класична електронна теорія металів описує твердий провідник у вигляді системи, яка складається з вузлів кристалічних іонних ґраток, усередині якої знаходиться електронний газ, утворений з електронів зовнішніх оболонок атомів. Під дією зовнішнього електричного поля електронний газ набуває направлене переміщення. При зіткненні електронів з вузлами кристалічних ґраток енергія, накопичена під час прискорення електронів в електричному полі, передається металічній основі провідника, внаслідок чого він нагрівається. Математичне розглядання цього процесу призвело до закону Джоуля-Ленца.

Проте класична електронна теорія металів не дає відповіді на ряд суперечностей між дослідними і теоретичними даними. Наприклад, 1) розходження значень питомого електроопору при зміні температури; 2) розходження значень теплоємності.

Кажучи про температурну залежність опору, необхідно коротко зупинитися на явищі надпровідності.

У 1911 році голландський фізик Камерлінг-Оннес відкрив явище надпровідності. Він виявив, що електроопір ртуті при температурі біля 4К стрибкоподібно знижується до нуля, тобто ртуть набуває нескінченну електропровідність. Надпровідність була виявлена у багатьох чистих металів: Hg, Zr, Al, Pb, Fe, In, Sn, Hg, Mg, Os, V та інші, а також у великій кількості з'єднань і сплавів.

Зникнення електроопору відбувається при деякій температурі T_c (різній для різних металів), яка називається критичною

температурою. Відомі критичні температури знаходяться в інтервалі від нуля до (приблизно) 20К. Однією з найбільш високих критичних температур (18К) володіє з'єднання **ІМЬз 8п**.

Чудовий є той факт, що при переході в надпровідниковий стан обертається в нуль як залежна від температури частина електроопору, так і залишковий електроопір. Це указує на те, що при переході в надпровідниковий стан електрони перестають взаємодіяти з ґратками металу. Електричний потік, який виникає в надпровідниковому кільці, не зустрічає опір, продовжує циркулювати в ньому без помітного притухання дуже довгий час. Під час досліду спостерігається випадок, коли сила такого потоку практично не зменшується протягом року. Надпровідниковий стан може бути зруйновано зовнішнім або внутрішнім магнітним полем. Величина напруги магнітного поля, вище якої зникає надпровідність, називається критичною. Інша чудова фундаментальна властивість надпровідників полягає в тому, що в не дуже сильному магнітному полі в масивний надпровідник магнітні силові лінії не заходять (за винятком дуже тонкого поверхневого шару товщиною звичайного порядку $10^6 - 10^8$ м, яка називається глибина проникнення). Це явище одержало назву ефекту Мейенера, установлене ним в 1933 році. Отже, матеріал в надпровідниковому стані є ідеальним діаманетиком.

II. Методика виконання роботи

за допомогою вимірюючого мосту марки МО-62 вимірюють електроопір зразків прН кімнатній і підвищеній температурі. Потім розраховують питомий електроопір і температурний **коефіцієнт за**

Ці суперечності долаються квантовою хвильовою механікою, згідно з якою електрон розглядається не як частинка, а як хвиля.

При направленому русі в електричному полі електронна хвиля розсіює свою енергію на теплових коливаннях кристалічної ґратки, дефектах структури, іонах домішки.

У результаті цих трьох факторів кожний провідниковий матеріал має свій електроопір, який приблизно можна подати як суму двох частин:

$$K = Y_1(T) + K_2, \quad 5.1.$$

де $Y_1(T)$ - опір, обумовлений розсіянням на теплових

(5.1)

коливаннях ґратки. Цей доданок намагається до нуля при приближенні до абсолютного нуля температури; K_2 обумовлений розсіянням на іонах домішки і дефектах структури, від T воно не залежить і дає величину остаточного опору при приближенні до абсолютного нуля температури.

Фізичною константою, яка характеризує електричні властивості металу, є питомий електроопір ρ , який обчислюється за формулою:

(5.2)

де R - опір
 S - поперечний
 довжині провідника, m^2 ; /
 l - довжина провідника, м.

$$\rho = R \frac{S}{l}$$

провідника, Ом;
 розріз, постійний по усій

Діапазон питомих електроопорів металічних провідників достатньо вузький: від 0,016 мкОмм для срібла і приблизно 100 мкОмм для залізохромалюмінієвих сплавів.

У вузьких діапазонах температури величину питомого електроопору підраховують за формулою:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (5.3)$$

де ρ_0 - питомий електроопір при початковій температурі;

(α - температурний коефіцієнт питомого електроопору; ΔT - різниця між кінцевою та початковою температурою.

Лабораторна робота 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ І. МЕТА РОБОТИ

1. Дослідити температурну залежність електроопору напівпровідникових залежності $\rho = f(T)$.

2. Розрахувати температурний коефіцієнт електроопору напівпровідника і енергію активації на підставі отриманих даних.

3. Дослідити залежність струму від прикладеної напруги для напівпровідника, побудувати вольт-амперну характеристику досліджуваного матеріалу.

ІІ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

До напівпровідників відноситься група речовин, електропровідність яких обумовлена переміщенням електронів, збуджених різними енергетичними впливами (теплота, світло, електричне поле й ін.). За значенням питомого електроопору ($10^8 - 10^9$ Ом м) напівпровідники займають проміжне положення між діелектриками і провідниками.

Залежність електроопору напівпровідникових матеріалів від зовнішніх факторів обумовлена особливостями будови цих речовин. При утворенні кристала, виходячи з положень квантової механіки, завдяки зближенню N^2 однакових атомів на відстані, близькій до відстані між атомами в кристалічних ґратах, починає виявлятися взаємодія атомів між собою. У цьому випадку принцип Паулі поширюється на всю сукупність атомів, як на єдину систему, і в результаті такої взаємодії еквівалентні рівні електронів ізольованих атомів утворюють енергетичні зони, що складаються з N формулами:

$$E_{0n} = E_n; \quad \rho_p = R \cdot l \sim -^p \cdot Y$$

R_0

ІІІ. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з інструкцією по роботі з мостом МО-62, принципова схемаякого зображена на рис. 5.1.

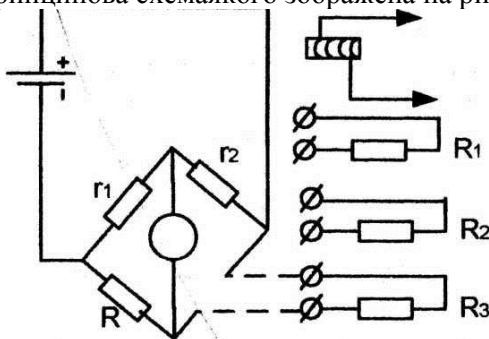


Рис. 5.1. Блок-схема для вимірювання електроопору провідникових матеріалів: Ш, К2, К3 - вимірювальні опори; К, г_і,

г2 - плечі мосту

2. Виміряти опір виданих зразків при кімнатній і підвищеній температурі, вказаної викладачем.

3. Розрахувати ρ_0 , ρ , a_p за формулами (5.4).

ІV. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Якими причинами викликано електроопір металів?

2. З яких доданків може бути поданий електроопір дійсного металу?

3. Що таке залишковий електроопір?

4. Поясніть, як ви розумієте явище надпровідності? Таким чином, у власному напівпровіднику під час кожного акту порушення виникають два типи носіїв заряду n - і p -типів. Його електропровідність :

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p)$$

де e - заряд електрона; n - концентрація збуджених електронів (дірок); μ_n - рухливість електронів; μ_p - рухливість дірок. Для

більшості напівпровідників власна провідність стає істотною при високій температурі (500°C), що робить економічно вигідним їхнє використання при створенні більшості напівпровідникових приладів.

Тому широке поширення на практиці одержали напівпровідникові матеріали, істотна частка провідності яких обумовлена домішками.

Енергетичні рівні (активних) домішкових атомів можуть розташовуватися або поблизу дна зони провідності, або поблизу стелі валентної зони основного (власного) напівпровідника.

У першому випадку, валентні електрони домішки можуть активуватися в зону провідності значно меншою енергією A_i ,

чим валентні електрони основної речовини. Провідність у цьому випадку буде p -типу.

Прикладом домішки, що обумовлює електронний тип провідності, є атоми, що мають більшу кількість валентних електронів, ніж атоми основного напівпровідника. Так, чотири електрони атома миш'яку, введеного в кремній, йдуть на утворення ковалентного зв'язку з атомами основної речовини, а п'ятий

електрон в організації зв'язку участі не приймає. Енергетичний рівень останнього розміщується поблизу зони провідності і бере участь у електропереносі.

Якщо атом алюмінію внести як домішку в кремній, що має три валентних електрони, то вони будуть брати участь в організації зв'язків із сусідніми атомами. При цьому один з чотирьох зв'язків з найближчими атомами основної речовини виявиться незавершеною. У результаті теплових коливань ґратки вона може бути заповнена електронами сусіднього зв'язку, що у свою чергу рівнів. При цьому енергетичні зони, подібно енергетичним рівням електрона в ізолюваному атомі, в загальному випадку розділені інтервалами заборонених енергій $AIV i$, що називають забороненими зонами.

Для напівпровідникових матеріалів ширина забороненої зони досягає 3 еВ. Заборонена зона розділяє саму верхню з заповнених зон - валентну і саму нижню з вільних дозволених - зону провідності.

Вплив деяких зовнішніх факторів на електропровідність напівпровідників

Для власних напівпровідників електропровідність може здійснюватися за рахунок переходу електронів з валентної зони в зону провідності. Однак для здійснення такого переходу електрону необхідно придбати додаткову енергію, рівну чи більшу DI^7 . Ця енергія може бути повідомлена електрону унаслідок впливу на напівпровідник світла, електричного і магнітного полів, теплоти.

Якщо розглянути атомну модель напівпровідника, наприклад, кристал кремнію, то перехід з валентної зони відбувається за рахунок розриву ковалентного зв'язку. Активовані електрони вільно переміщуються між атомами і беруть участь в електропровідності доти, поки їхня енергія не понизиться на величину $AIV i$. Електропровідність, що здійснюється за рахунок збуджених електронів, називається електронною провідністю і позначається як провідність *i*-типу.

При відході електрона з валентної зони (з валентного зв'язку) утвориться вакансія - дірка, яку прагнуть заповнити електрони, що залишилися у валентній зоні. Електропровідність, обумовлена дифузією дірок - переміщенням електронів у валентній зоні від

атома до атома, що супроводжується відновленням і порушенням валентних зв'язків, називається дірочною провідністю і позначається як провідність \wedge -типу, тому що переміщення дірок еквівалентно переміщенню позитивного заряду в напрямку, зворотному напрямку переміщення валентних електронів. ч и

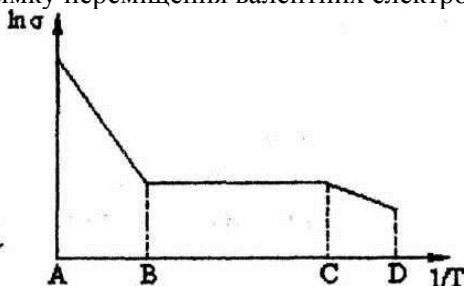


Рис .6.1 . Графік залежності провідності напівпровідника від температури

Ділянка BC являє собою область насичення, коли $D E z < k T A E x$ ■ (6.5)

У цьому випадку всі атоми домішок іонізовані, але теплова енергія ще недостатня для іонізації атомів основної речовини. Отже, концентрація електронів провідності не залежить від температури: виявиться незавершеною і так далі. Така домішка буде називатися акцепторною, а напівпровідник - \wedge -типу, тобто з дірочним типом провідності. Енергетичний рівень домішкового атома розташується поблизу валентної зони. У міру підвищення температури ці локальні рівні будуть заповнюватися електронами з валентної зони з утворенням відповідні кількості дірок .

Слід зазначити, що під домішками розуміють включення в основний напівпровідник сторонніх атомів, а також надлишків атомів одного з елементів, що утворять хімічні сполуки, що є напівпровідниками (оксиди, сульфіді, карбіді), усілякі дефекти кристалічних ґраток (дислокації, пори та ін.).

Таким чином, для появи помітної провідності напівпровідників вимагаються менші енергетичні впливи. Вона виявляється при температурах більш низьких, ніж власна провідність напівпровідника.

Сумарна питома провідність напівпровідникового матеріалу

може бути виражена в такий спосіб:

$\sigma = A_1 \exp(-E_2/kT) + A_2 \exp(-E_1/kT)$,

де A_1 і A_2 - константи; e - заряд електрона; μ_1 і μ_2 - рухливості

носіїв заряду (рухливість заряду чисельно дорівнює його

Графік залежності $\ln \sigma = \ln p(1/T)$ зображений на рис.6.2.

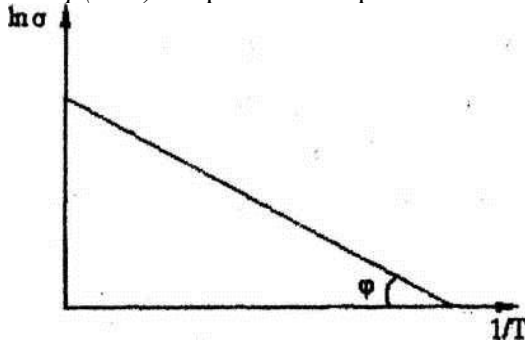


Рис .6.2. Графік залежності питомої провідності основного напівпровідника від температури

швидкості при напруженості поля, що дорівнює одиниці); E_1 і E_2 -

енергія іонізації (активізації) атомів відповідно до основної речовини (енергія, яку необхідно надавати електрону атома для подолання ним забороненої зони) і атомів домішки. k - постійна Больцмана, T - абсолютна температура.

Перший член правої частини рівняння (6.2) характеризує власну провідність, другий - домішкову. Рухливість носіїв заряду є функцією температури.

Графік типової залежності питомої провідності від температури зображений на рис. 6.1.

Ділянка СД - область домішкової провідності, коли

$E_1 \ll kT \ll E_2$

У цьому випадку першим членом рівняння (6.2) можна знехтувати. Тоді питома провідність Графік залежності питомої електропровідності напівпровідників від напруженості електричного поля зображений на

рис.6.3.

Так, при напруженості $E < E_{кр}$ електропровідність не залежить від напруженості поля (область "слабких" електричних полів). При

напруженостях електричного поля $E > E_{кр}$ ("сильні" поля, порядку $10^6 - 10^7$ В/м) у напівпровіднику починають з'являтися надлишкові носії заряду і його питомі провідність зростає.

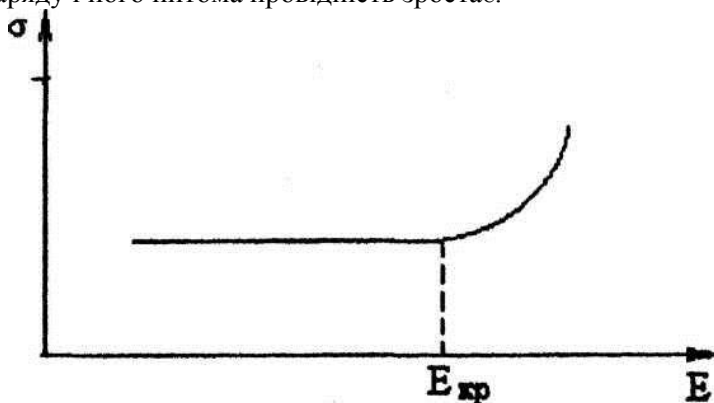


Рис.6.3. Графік залежності електропровідності напівпровідника від напруженості електричного поля

Напівпровідниковий прилад, робота якого заснована на цій залежності, називається нелінійним опором (ННОд) чи варистором. Вигляд їхньої вольт-амперної характеристики зображений на рис.6.4.

Варистори можна характеризувати величиною опору чи провідності при заданому значенні прикладеної напруги і диференціальним опором чи провідністю при тій самій напрузі, а також коефіцієнтом нелінійності.

Коефіцієнтом нелінійності резистора називають відношення:

$$\frac{\Delta R}{R}$$

ш

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta E}{E}$$

Ділянка АВ являє собою область власної провідності. Хід провідності в цьому випадку визначається рівнянням:

$$\sigma = A i^{\gamma} M \exp\left(\frac{U}{kT}\right)$$

чи

$$\sigma = A e^{-\frac{U}{kT}}$$

$$\sigma = (T \cdot \sigma_0)^{\gamma}$$

Через залежність питомої провідності від температури можна розрахувати енергію іонізації атомів основної речовини $A E_i$

домішок $A E_2$ *

Прологарифмувавши рівняння (6.8), одержимо:

$A E \setminus$

$I_{па} = I_{па0} \exp(-\alpha T) \quad (6.9) \text{ кГ}$

де α - питома провідність основного (власного) напівпровідника

на початку досліджуваного температурного діапазону.

Рівняння (6.9) являє собою рівняння прямої з тангенсом кута нахилу до осі абсцис (з урахуванням масштабу):

$A E \setminus$

$= (6.10) \text{ кТ}$

Аналогічно обчислюється енергія іонізації атомів домішок. У більшості випадків для спостереження повної картини залежності питомої провідності напівпровідника від температури необхідне проведення вимірів у дуже широкому інтервалі температур.

Таким чином, електроопір напівпровідників при нагріванні зменшується. Цю залежність використовують для виготовлення напівпровідникових приладів - термісторів, що застосовуються для вимірювання і регулювання температури. Виготовляються термістори звичайно із сумішей (окислів чи сульфідів карбідів металів).

2. Після прогріву необхідно відкалібрувати прилад, для чого варто натиснути кнопку "Швидко" і натиснути кнопку "Калібрування". На табло повинна з'явитися цифра 1505. Якщо на табло з'явиться цифра відмінна від 1505, то необхідно установити її за допомогою регулятора передньої панелі. Після цього кнопки "Швидко" і "Калібрування" віджати.

V

Рис.6.5. Схема виміру температурної залежності електроопору

\

3. Для проведення вимірів електроопору необхідно натиснути кнопку "Кл" виду запуску "Повільно", а також кнопку межі А.

4,

Підключити сполучні шнурк до вимірюваного термінатора. Звіт

показань значень електроопору зробити за індикаторним пристроєм приладу.

Для проведення дослідження температурної залежності електроопору напівпровідникових матеріалів необхідно:

- а) зібрати схему, показану на рис.6.5;
- б) ознайомитися з правилами користування приладом Щ 4310;
- в) помістити термістор у термошкаф, термошкаф підключити до мережі і увімкнути його. Через кожні 10°C записувати показання електроопору в табл. 6.1.

Таблиця 6. К

Температура, °С	
Електроопір K , кОм	

Варистори виготовляються на напругу 3...200 В, робочі струми ОД... 1000 мА, з коефіцієнтом нелінійності 2...7 і потужністю

••

розсіювання ОД...200 Вт. їх використання різноманітно: для стабілізації напруги, регулювання кількості обертів чи реверса двигунів, керування ланцюгом змінного струму за рахунок постійної напруги, розшифровки імпульсів по амплітудах, регулювання чутливості в телефонних апаратах і т.п. Широко застосовуються варистори в ЕОМ.

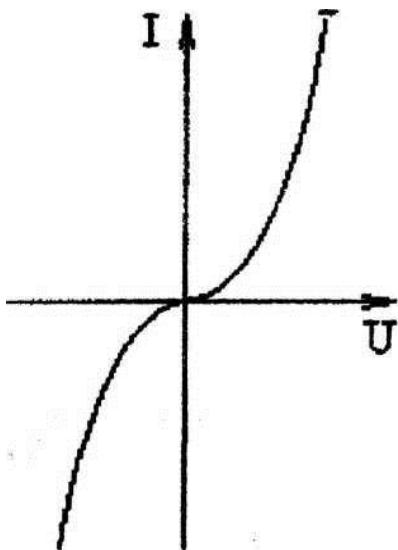


Рис .6.4. Вольт-амперна характеристика варистора

III. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Дослідження температурної залежності електроопору напівпровідникових матеріалів.

Схема для зняття температурної залежності електроопору напівпровідникових матеріалів" зображена на рис.6.5. Термістор поміщений у термошкаф. Вимір електроопору робиться за допомогою комбінованого цифрового приладу Щ 4310.

Перед виміром електроопору необхідно прилад підготувати до роботи.

1. Увімкнути шнур мережного живлення в мережу. Після цього натиснути кнопку "Мережа". Увімкнення супроводжується появою індикації. Прогріти прилад протягом однієї години .

2. показання" + 0,9500 В"; перемикач "Межі" установити в положення і потенціометром "Калібрування 0,9500 В" установити на табло показання" - 0,9500 В".

7. Для проведення вимірів установити перемикач "Межі" у потрібне положення і підключити до входу приладу вимірювану напругу.

Для зняття вольт-амперної характеристики напівпровідникових матеріалів необхідно:

1. Ознайомитися з правилами користування приладів Щ 4310 і В2-23 відповідно до вказівок.

2. Зібрати схему, показану на рис.6.6. При цьому схему підключити до гнізд "Вихід 0-400" джерела живлення постійного струму.

3. Перевірити правильність підключення приладів у схемі і тільки після цього увімкнути тумблер "Мережа" блоку живлення. Перед увімкненням необхідно, щоб ручка регулятора вихідної напруги була в лівому крайньому положенні.

4. Поступово збільшувати вихідну напругу з джерела живлення, через кожні 10 В реєструвати значення струму і напруги. Виміри робити до 100 В. Після цього змінити полярність, для чого переключити на схемі тумблер на протилежний знак і вимірити значення струму і напруги, змінюючи значення живильної напруги до 0 В. Дані занести в табл. 6.2.

ІV. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідити температурну залежність електроопору напівпровідника відповідно до вказівок розд.2. Дані занести в табл.6.1. За даними вимірів побудувати графік залежності

$R - / (T)$ і визначити енергію активізації за формулою (6.10), використовуючи залежність (6.8).

2. Дослідити залежність провідності напівпровідника від прикладеної напруги, відповідно до розділу 4. Дані занести в табл. 6.2

Дослідження залежності електропровідності напівпровідникових матеріалів від додатка напруги

Для зняття вольт-амперної характеристики варисторів служить схема, зображена на рис.6.6. Вимір струму проводиться за допомогою

приладу Щ 4310, а напруги - за допомогою приладу - цифрового вольтметра В2-23. З джерела енергії подається регульована напруга на варистор.

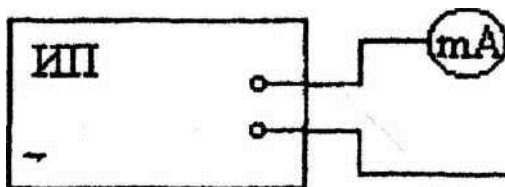


Рис .6.6. Схема для зняття вольт-амперної характеристики напівпровідникових матеріалів

Для вимірювання струму необхідно підготувати прилад до роботи. Виміри проводити в такому порядку: натиснути кнопку вибору роду робіт "І"-Натиснути кнопку виду запуску "Повільно"; натиснути кнопку "т А-2".

Відлік показань робити за індикаторним пристроєм приладу.

\

Порядок проведення вимірів за допомогою приладу В2-23

1. Перед роботою з приладом необхідно перевірити заземлення.

2. Підключити мережний шнур у мережу.

3. Перемикачі "Межі", "Час виміру" і "Вид запуску" поставити відповідно в положення "Г", "1" і "Період 1,1".

4. Увімкнути тумблер "Мережа".

5. Прогріти прилад протягом 30 хв.

6. Після прогріву приладу перед початком вимірів необхідно зробити установку нуля і калібрування приладу для чого:

- підключити вхідний кабель до вхідного гнізда "Вхід 1-100 В" і закоротити його кінці;

- за допомогою потенціометра "Уст. нуля" установити на табло приладу показання " $\pm 0,000$ ";

- перемикач "Межі" установити в положення "+" і потенціометром "Калібрування 0,9500 В" установити на табло

витрат. Якщо поляризація відбувається без витрат, то її називають пружною або безгістеризною, а якщо з витратами - релаксаційною або гістеризісною. У загальному випадку в діелектричних матеріалах можливі наступні основні види поляризації: пружно-електронна або просто електронна; пружно-іонна; іонно-релаксаційна; дипольно-релаксаційна; спонтанна; резонансна і міграційна.

Електронна поляризація являє собою пружне зміщення і деформацію електронних оболонок атомів під дією сил електричного поля. Цей вигляд поляризації властивий всім типам діелектриків, але є основним у всіх неполярних діелектриків. Значення діелектричної проникності для матеріалів, що мають електронну поляризацію, невисокі і коливаються в межах $\epsilon = 1-3$.

Час встановлення електронної поляризації незначний

$$I^i A \text{ ф} \quad | \quad c$$

($10 \text{ н} - 10 \text{ с}$), тому діелектрична проникність зберігає своє значення в широкому діапазоні частот. Температура трохи впливає на величину діелектричної проникності матеріалів з даним механізмом поляризації в основному за рахунок зміни об'єму.

Іонна поляризація характерна для іонних кристалів (слюда, кварц, мармур та ін.) і зумовлена пружними зміщеннями іонів під дією зовнішнього поля E . Оскільки електричні моменти іонів більше, ніж атомів, величина поляризації матеріалів з іонною поляризацією вище, ніж з електронною. Значення діелектричної проникності для речовин з вказаним механізмом поляризації лежать в межах $\epsilon=5-15$. Час встановлення іонів у напрямі дії поля незначний ($10^{10} - 10^6\%$), внаслідок чого діелектрична проникність для матеріалів з іонною структурою майже не залежить від частоти. При підвищенні температури зменшуються сили взаємодії між іонами, полегшуються взаємні переміщення під дію сил зовнішнього поля, а отже, збільшується чисельне значення діелектричної проникності.

Електронно-релаксаційна поляризація в матеріалах, що мають «дефекти» в електронній будові. Вона пов'язана з орієнтацією електронів і дірок. Внаслідок утворення високоефективних локальних полів величина діелектричної проникності має велике значення.

Таблиця 6

Струм I, A	V		
Напруга U, B	i -----		

3. Зробити висновки по роботі.

V. *ЗАПИТАННЯ* *ДЛЯ*
САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які матеріали називаються напівпровідниками?
2. Як змінюється електроопір напівпровідників при нагріванні?
3. Що таке температурний коефіцієнт електроопору?
4. Що таке термістор?
5. Що таке варистор?

Дябораторна робота 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІ ДІЕЛЕКТРИКІВ

МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з методикою визначення діелектричної проникності діелектриків.

2. Дослідити вплив частоти електричного поля на значення діелектричної проникності.

II. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Однією з основних властивостей діелектриків, що характеризують їх поведінку в електричному полі, є здатність поляризуватися. Поляризація - це направлене, але обмежене зміщення зв'язаних електричних зарядів в діелектрику під впливом зовнішнього поля.

Залежно від вигляду зміщення заряду поляризація буває: 1) електронна; 2) іонна; 3) дипольна. Кожна з них може здійснюватися як з витратами енергії зовнішнього поля, так і без У більшості випадків поляризованість пропорційна і іаируженості поля в даній точці діелектрика:

$$P = K_3 \epsilon E,$$

де K_3 - діелектрична сприйнятливість безрозмірна величина;

*: - електрична постійна, що дорівнює $10^{19}/36$ ф/м. Добуток

$K_3 \epsilon$ називається абсолютною діелектричною сприйнятливістю.

У нелінійних діелектриків

пропорційності між P і ϵ немає.

Поляризацію характеризують ще одним вектором - електричною індукцією, або електричним зміщенням:

$$\mathcal{E} = \epsilon E + P$$

0

або

$$B = \epsilon \epsilon_0 E,$$

де ϵ - відносна діелектрична проникність; ϵ_0 - абсолютна діелектрична проникність.

Підставивши вираз (7.3) в рівняння (7.4), отримаємо:

$$\mathcal{E} = \epsilon E + K_3 \epsilon E = (\epsilon + K_3 \epsilon) E.$$

Порівнявши рівняння (7.6) і (7.5), знаходимо зв'язок діелектричної проникності з діелектричною сприйнятливістю:

$$\epsilon = 1 + K_3 \blacksquare$$

Звідси видно, що діелектрична проникність завжди більше 1, Длн вакууму $K_3 = 0$ та $\epsilon = 1$.

Іонно-релаксаційна поляризація властива іонним діелектрикам зі слабким закріпленням окремих часток. Процес поляризації залежить від теплового коливання іонів і від кількості іонів,

»

зірваних з місць закріплення. З підвищенням температури кількість зірваних з місць закріплення іонів збільшується, внаслідок чого діелектрична проникність зростає. Збільшення частоти струму знижує діелектричну проникність, оскільки цей вигляд поляризації пов'язаний із запізненням у встановленні зарядів відносно до змін електричного поля. Крім того, іонно-релаксаційна поляризація супроводиться розсіюванням електричної енергії.

Дипольна, або релаксаційно-орієнтаційна поляризація спостерігається в твердих діелектриках, що містять полярні групи молекул або радикалів, здатні орієнтуватися при впливі поля. Механізм релаксаційно-орієнтаційної поляризації зводиться до повороту диполів у напрямі дії поля.

При низькій температурі, коли рухливість молекул мала, а сили молекулярної взаємодії великі, диполі не орієнтуються під дією сил поля і діелектрична проникність має невисоке значення ($\epsilon=2-2,5$), що визначається в основному електронною поляризацією.

Зміщення пов'язаних зарядів приводить до виникнення внутрішнього поля в діелектрику антипаралельного зовнішньому полю. Отже, індуковане в діелектрику внутрішнє поле послаблює зовнішнє.

Внесемо ряд понять, що характеризують поляризацію діелектрика. При зміщенні пов'язаних зарядів молекули виникає електричний момент молекули P , що дорівнює заряду на відстань зміщення:

$$P = d \cdot q$$

Мірою поляризації діелектрика служить вектор поляризації, χ або поляризованість, яка дорівнює сумарному електричному

(7.

моменту одиниці об'єму:

$$P = \frac{\sum p}{V} \quad (7.2)$$

різниці потенціалів $\phi_0^{\text{мн}}$ повинні до джерела напруги додати деяку кількість зарядів, що дорівнює заряду поляризації діелектрика. Ємність конденсатора зростає:

$$C_0 = \frac{Q}{U}$$

$$U >$$

де Q - заряд поляризації.

Відношення ємності конденсатора з діелектриком до ємності з вакуумом разом дає чисельне значення відносної діелектричної проникності:

$$\epsilon = \frac{C}{C_0} = \frac{Q}{Q_0} = \epsilon_0 \pm \epsilon_m = \epsilon_0 + \epsilon^*$$

Чим більше поляризований діелектрик, тим більше ϵ . Іншими словами, діелектрична проникність характеризує здатність діелектрика до поляризації.

На рис.7.2 подана температурна і частотна залежність діелектричної проникності при різних видах поляризації. Пружно-електронна поляризація ϵ_3 від температури не залежить.

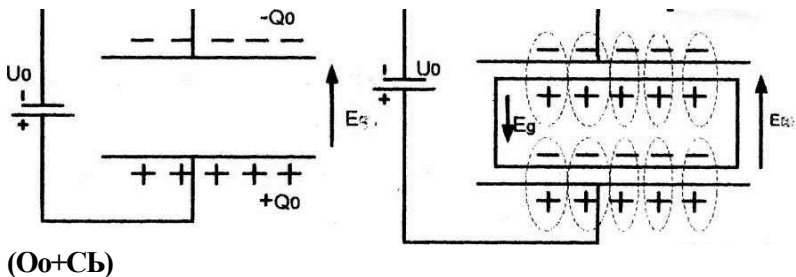
Однак спостерігається її легке пониження за рахунок зменшення кількості часток в одиниці об'єму матеріалу при тепловому розширенні. У газоподібному стані значення ϵ прагне до 1. Для дипольно- і електронно-релаксаційної поляризації ϵ

і: крива проходить через максимум; зі збільшенням температури

збільшується рухливість молекул, слабшають сили зв'язку, що приводить до полегшення орієнтації і, отже, до зростання ϵ . Але при подальшому підвищенні температури порушує тепловий рух орієнтацію диполів, поляризація падає і ϵ , меншає.

$$\epsilon^* P \propto P$$

Щоб уявити фізичну суть діелектричної проникності ϵ , розглянемо два плоских конденсатори: з вакуумним зазором і з діелектриком ^рис. 7.1.



($O_0+СБ$)

Рис. 7.1. Поляризація діелектрика у зовнішньому електричному Полі Для конденсатора з вакуумним зазором ємність

♦(O_0+O_p)

(7.8)

де (Q_0 -заряд на обкладці конденсатора;

$$C_0 = \frac{Q_0}{U_0}$$

U_0 - подане напруження.

При переміщенні діелектрика в полі між обкладками конденсатора пов'язані негативно заряджені частки змістяться проти поля, позитивно заряджені - по полю. У результаті поле всередині діелектрика E , буде антипаралельно зовнішньому полю E_0 і, отже, буде його послаблювати. Чим більше поляризація, тим сильніше ослаблюється зовнішнє поле. При цьому кількість зарядів на обкладці конденсатора меншає за рахунок нейтралізації індукованими зарядами діелектрика. Для збереження колишньої

III, МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Відомо багато методів вимірювання діелектричної проникності: бруківки, резонансний, волноводний, оптичний і т.д. У діапазоні низьких і середніх частот найбільш простими і в достатній мірі точними є бруківки і резонансні методи. При цьому під низькими і середніми прийнято розуміти такі частоти, при яких довжина хвилі більше лінійних розмірів приладів, що застосовуються. При цих умовах можна вважати, що поширення електромагнітного збудження відбувається вміть і однаково у всіх гонках зразка.

Тому його можна описати зосередженими параметрами, такими

як ємність і опір.

Суть мостового і резонансного методів полягає в наступному. Відомо, що ємність конденсатора з діелектриком, що має діелектричну проникність ϵ , визначається відношенням:

$$C = \epsilon \epsilon_0 C_0$$

де

C - ємність конденсатора з діелектриком; C_0 - ємність конденсатора у вакуумі.

Тому діелектричну проникність можна знайти шляхом вимірювання ємності з діелектриком і у вакуумі.

Оскільки діелектрична проникність повітря $\epsilon = 1$, то з достатньою точністю вимірювання ємності без діелектрика можна виробляти р повітрі

Зростання пружно-іонної, іонно-релаксаційної і спонтанної поляризації пояснюється аналогічно. Спонтанній поляризації

властива обмежена кількість діелектриків, які виділяються в особливу групу сегнетоелектриків. Діелектрична проникність цих матеріалів може досягати великих значень $\sim 10^5$ при деякій температурі, яка називається точкою Кюрі.

/

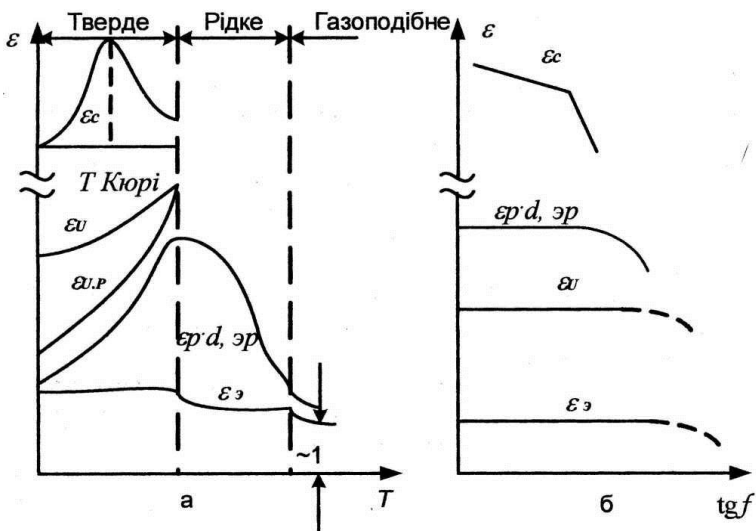


Рис. 7.2. Залежність відносної діелектричної проникності: **а** - температурна, **б** - частотна (для різних видів поляризації); ϵ_3 - пружно-

електронна; $\epsilon_{и}$ - пружно-іонна, $E_{иp}$ - іонно-релаксаційна, $\epsilon_{рp}$ - дипольно- релаксаційна, $\epsilon_з$ - електронно-релаксаційна, ϵ_c - спонтанна

Резонансний метод вимірювання ємності схематично проілюстрований на рис.7.4.

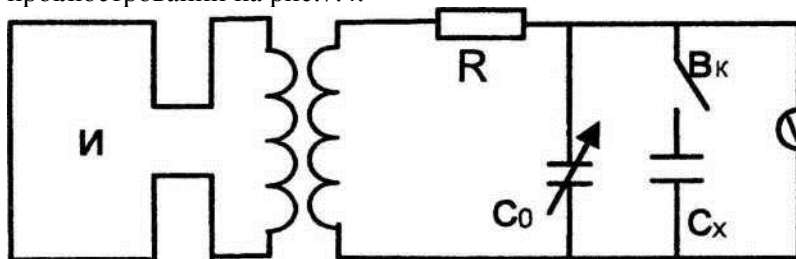


Рис. 7.4. Схема резонансного методу вимірювання ємності C_x - вимірювана ємність, C_0 - еталонна ємність

При відключеному конденсаторі ємність C_x вимірюється, ланцюг настроюють в резонанс каліброваним конденсатором змінної ємності C_0 ■ Момент резонансу визначають за максимальним свідченням вольтметра. Умови резонансу напруження

можна записати так:

$$(0^2 IC = 1,$$

де $\omega = 2\pi$ кругова частота; L - індуктивність вимірювального контуру; C_1 - значення резонансної ємності еталонного конденсатора.

Потім до вимірювального контуру підключають випробуваний конденсатор і знов настроюють його в резонанс. Умови резонансу можна записати таким чином:

$$\omega^2 4C_1 C_2 = 1,$$

$$C_1 C_2 = C_1 C_2$$

де C_1 - значення резонансної ємності еталонного конденсатора при другому вимірюванні

Використовуючи рівність (7.15) і (7.16), отримуємо:

$$C_x = C_1 C_2 \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \quad (7.12)$$

де C_n ємність конденсатора в повітрі; $\epsilon_{\text{в}}$ - діелектрична проникність повітря.

Мостовими методами ємність визначають шляхом порівняння з еталонною ємністю, включеною в суміжну гілку вимірювального моста (рис. 7.3).

Рис. 7.3. Схема мостового методу зміни ємності: C_x - ємність, що вимірюється; C_0 - еталонна ємність

Умова рівноваги моста

$$K_4$$

$$C_0 C_x = C_3 C_4$$

(7.13)

ЗВІДКИ

(7.14)

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{K_3} \quad \text{При відомих і незмінних } K_3, K_4, C_0, C_3 \text{ знаходять співвідношення}$$

г) ручку «регулювальник напруження» встановити в крайнє ліве положення;

д) дати приладу прогрітися протягом 15 хв;

е) підключити конденсатор, що вимірюється, до клем "С-Ь-КЛ" встановивши вид вимірювання в положення «С»;

ж) встановити «і§8» в положення «1§<5»;

з) ручкою «Установка нуля» встановити стрілку приладу в

межах шкали (80+100);

і) встановити частоту 100 Гц. Для визначення множника при даній частоті потрібно поставити суматор відліку в положення «1» і «0,5», шкалу біля тангенса кута втрат в положення 0,02-0,05 і, змінюючи множник, знайти мінімальне відхилення стрілки індикатора;

к) при знайденому множнику виміряти ємність, врівноважуючи ручками суматора «Відлік» і тангенсом кута втрат;

л) аналогічно пунктам і), зробити відлік ємності при 1000 Гц. Дані занести в табл.7.1.

3. Ємність конденсатора з повітряним зазором підраховується за формулами:

$$VI$$

(= -----; (для круглого зразка)

14,4/?
/²

$$C = \frac{11,3}{?},$$
 (для квадратного зразка)

ДЄ D - діаметр електродів (15 см); H - товщина діелектрика.

4. Підрахувати значення діелектричної проникності зразків, ЩО досліджуються, для 100 і 1000 Гц.

5. За значенням діелектричної проникності визначити вигляд ЯБЛяризації і охарактеризувати його.

СХЕМА УСТАНОВКИ

Вимірювання ємності проводиться резонансним методом за допомогою куметра Е12-2.

У роботі використовується конденсатор, зображений на рис. 7.5.

Обкладками конденсатора служать дві пластини: нерухома 1 і рухома 2, яка жорстко пов'язана з мікрометром 3. Дослідні

діелектрики, видані викладачем, затискаються між обкладками конденсатора.

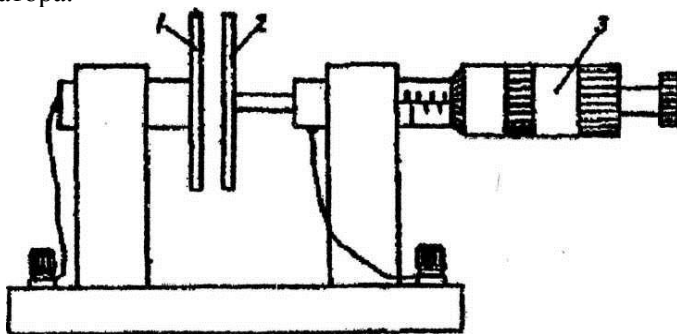


Рис. 7.5. Вимірювальний конденсатор

IV.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

[.Ознайомитися з установкою і правилами роботи з приладами.

2. Підготувати куметр до роботи;

а) увімкнути шнур живлення Е 12-2 в мережу;

б) перевірити установку механічного нуля приладу і, якщо треба, встановити коректором стрілку на нуль;

в) увімкнути тумблер «Мережа»;

Лабораторна робота №6

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ПОРИСТОГО ГІДРОКСИПАТИТУ

Мета роботи. Дослідити мікроструктуру пористого ГАП. Визначити середню пористість зразка і його густину.

Матеріали і обладнання: металографічний мікроскоп МІМ7, зразки ГАП, об'єктив-мікрометр, окуляр-мікрометр.

Основні теоретичні відомості.

Гідроксиapatит – мінеральна складова кісткової тканини. Насьогодні він є одним із основних матеріалів для кістково-пластичної хірургії завдяки широкому спектру властивостей, що міняються від біоінертних до біоактивних залежно від структури, розміру частинок, умов виготовлення.

Вимірювання мікроскопічних об'єктів за допомогою окулярних та об'єктивних мікрометрів.

Розмір зерна, глибину поверхні азотування, цементування, тощо можливо визначити під мікроскопом за допомогою об'єктомікрометра та окулярмікрометра. Об'єктомікрометр представляє собою невелику поліровану лінійку, на котрій нанесено 1 мм, розділений на 100 частинок з ціною поділки 10 мкм.

Визначення ціни поділки окуляр-мікрометра

Ціна поділки окулярного мікрометра залежатиме від поєднання збільшення об'єктива і окуляра. Визначимо ціну поділки для двох варіантів, які будуть найбільш придатними для використання в лабораторній роботі.

Для цього необхідно скористатися формулою:

$$C_{ок} = \frac{C_{об} \cdot N_{об}}{N_{ок}}$$

Де $C_{ок}$ – ціна поділки окулярного мікрометра, $C_{об}$ – ціна поділки об'єкт-мікрометра = 100 мкм, $N_{об}$ – кількість поділок об'єкт-

мікрометра, $N_{ок}$ – кількість поділок окулярного мікрометра. Результати вимірювань запишемо в табл. 1.

Таблиця 1.

Ціна поділки окулярного мікрометра

Кратність окуляра	Кратність об'єктива	$N_{ок}$	$N_{об}$	$C_{ок}$, мкм
5	5			
5	5			

Визначення розміру пор (за допомогою окулярного мікрометра).

Розмір пор у зразку визначають за допомогою окуляр мікрометра. Для цього проводять вимірювання діаметру пор у вертикальному і горизонтальному напрямках. Для цього необхідно заміряти не менше 10 пор. Спочатку підраховують лінійний розмір в горизонтальному напрямку по формулі:

$$d = kc$$

Де k – число поділок окулярмікрометра; c – ціна поділки окулярмікрометра для даного об'єктива. Результати вимірювань заносять в табл. 2.

Таблиця 2.

Середній діаметр пор

		Вимірювання									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметр, тр,	dg										
	dv										
	dc										
Середній діаметр, мм		D= _____									

Припускаємо, що форма пор близька до кулі. У такому разі ми можемо вирахувати середню пористість матеріалу. Для цього визначимо середню площу поперечного перерізу однієї пори:

$$S_n = \pi D^2 / 4 = \quad (\text{мкм}^2)$$

Визначаємо площу поля зору окулярного мікрометра:

$$S_{ок} = \pi (100 C_{ок})^2 / 4 = \quad (\text{мкм}^2)$$

Визначаємо кількість пор у полі зору окулярного мікрометра (за 10 вимірюваннями). Результати запишемо в табл. 3.

Таблиця 3
Середня кількість пор у полі зору

		Номер вимірювання									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість Пор	M										
Середня кількість	M_c										

Середня пористість матеріалу визначається за формулою:

$$P = (M_c \times S_n) / S_{ок} =$$

Пористість значно впливатиме на питому масу (густину) виробів із гідроксиапатиту. Вона визначається за формулою:

$$\rho = \rho_{\text{грат}} \times P = \dots\dots\dots (\text{г/см}^3)$$

де $\rho_{\text{грат}} = 3,17$ (г/см³) – густина кристалічного щільного гідроксиапатиту.

Зростання пористості призводить до окрихчування матеріалу з однієї сторони, але і до збільшення біорезорбності матеріалу, оскільки при цьому зростає питома поверхня матеріалу. Для цього необхідно визначити середній об'єм однієї пори

$$V_i = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi D^3}{3 \cdot 8} = \frac{\pi D^3}{6} = \quad (\text{мкм}^3)$$

Кількість пор у одиниці об'єму матеріалу:

$$N_n = P / V_n = \dots\dots\dots$$

Сумарна площа поверхні пор в одиниці об'єму гідроксиапатиту:

$$\Sigma S = N_i \pi D^2 = \quad \text{мкм}^2 = \quad \text{см}^2$$

Таким чином, питома площа пор в матеріалі дорівнює _____ см²/см³

Порядок виконання лабораторної роботи.

4. Ознайомитись з методикою проведення досліджень.
5. Ознайомитись із методикою вимірювання пористості матеріалу.
6. Визначити середню пористість матеріалу
7. Визначити питому площу поверхні пор в матеріалі.

Висновки

Лабораторна робота №7

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКВІАТОМНОГО НІКЕЛІДУ ТИТАНУ

Мета роботи. Дослідити хімічний склад нікеліду титану. Дослідити вплив хімічного складу на температурний проміжок прямого і зворотнього мартенситних перетворень. Дослідити залежність формовідтворення еквіатомного нікеліду титану від температури.

Матеріали і обладнання: стрічка з нікеліну титану, термос, нагрівальний прилад, термометр спиртовий, транспортир, лінійка.

Основні теоретичні відомості.

Гідроксиапатит – мінеральна складова кісткової тканини. Насьогодні він є одним із основних матеріалів для кістково-пластичної хірургії завдяки широкому спектру властивостей, що міняються від біоінертних до біоактивних залежно від структури, розміру частинок, умов виготовлення.

Вимірювання мікроскопічних об'єктів за допомогою окулярних та об'єктивних мікрометрів.

Розмір зерна, глибину поверхні азотування, цементування, тощо можливо визначити під мікроскопом за допомогою об'єктмікрометра та окулярмікрометра. Об'єктмікрометр представляє собою невелику поліровану лінійку, на котрій нанесено 1 мм, розділений на 100 частинок з ціною поділки 10 мкм.

Визначення ціни поділки окуляр-мікрометра

Ціна поділки окулярного мікрометра залежатиме від поєднання збільшення об'єктива і окуляра. Визначимо ціну поділки для двох варіантів, які будуть найбільш придатними для використання в лабораторній роботі.

Для цього необхідно скористатися формулою:

$$C_{ок} = \frac{C_{об} N_{об}}{N_{ок}}$$

Де $C_{ок}$ – ціна поділки окулярного мікрометра, $C_{об}$ – ціна поділки об'єкт-мікрометра = 100 мкм, $N_{об}$ – кількість поділок об'єкт-мікрометра, $N_{ок}$ – кількість поділок окулярного мікрометра. Результати вимірювань запишемо в табл. 1.

Таблиця 1.

Ціна поділки окулярного мікрометра

Кратність окуляра	Кратність об'єктива	$N_{ок}$	$N_{об}$	$C_{ок}$, мкм
5	5			
5	5			

Визначення розміру пор (за допомогою окулярного мікрометра).

Розмір пор у зразку визначають за допомогою окуляр мікрометра. Для цього проводять вимірювання діаметру пор у вертикальному і горизонтальному напрямках. Для цього необхідно заміряти не менше 10 пор. Спочатку підраховують лінійний розмір в горизонтальному напрямку по формулі:

$$d = kc$$

Де k – число поділок окулярмікрометра; c – ціна поділки окулярмікрометра для данного об'єктива. Результати вимірювань заносять в табл. 2.

Таблиця 2.

Середній діаметр пор

		Вимірювання									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаме тр,	dg										
	dv										
	dc										
Середній діаметр, мм		D= _____									

Припускаємо, що форма пор близька до кулі. У такому разі ми можемо вирахувати середню пористість матеріалу. Для цього визначимо середню площу поперечного перерізу однієї пори:

$$S_n = \pi D^2 / 4 = \quad (\text{мкм}^2)$$

Визначаємо площу поля зору окулярного мікрометра:

$$S_{ок} = \pi(100C_{ок})^2/4 = \quad (\text{мкм}^2)$$

Визначаємо кількість пор у полі зору окулярного мікрометра (за 10 вимірюваннями). Результати запишемо в табл. 3.

Таблиця 3
Середня кількість пор у полі зору

		Номер вимірювання									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість Пор	M										
Середня кількість	M_c										

Середня пористість матеріалу визначається за формулою:

$$P = (M_c \times S_n) / S_{ок} =$$

Пористість значно впливатиме на питому масу (густину) виробів із гідроксиапатиту. Вона визначається за формулою:

$$\rho = \rho_{\text{грат}} \times P = \dots\dots\dots (\text{г/см}^3)$$

де $\rho_{\text{грат}} = 3,17 \text{ (г/см}^3)$ – густина кристалічного щільного гідроксиапатиту.

Зростання пористості призводить до окрихчування матеріалу з однієї сторони, але і до збільшення біорезорбності матеріалу, оскільки при цьому зростає питома поверхня матеріалу. Для цього необхідно визначити середній об'єм однієї пори

$$V_i = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi D^3}{3 \cdot 8} = \frac{\pi D^3}{6} = \quad (\text{мкм}^3)$$

Кількість пор у одиниці об'єму матеріалу:

$$N_n = P / V_n = \dots\dots\dots$$

Сумарна площа поверхні пор в одиниці об'єму гідроксиапатиту:

$$\Sigma S = N_i \pi D^2 = \quad \text{мкм}^2 = \quad \text{см}^2$$

Таким чином, питома площа пор в матеріалі дорівнює _____ $\text{см}^2/\text{см}^3$

Порядок виконання лабораторної роботи.

8. Ознайомитись з методикою проведення досліджень.
9. Ознайомитись із методикою вимірювання пористості матеріалу.
10. Визначити середню пористість матеріалу

11. Визначити питому площу поверхні пор в матеріалі.

Висновки _____
