

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ІОННОЇ ПРОВІДНОСТІ ЛУЖНО-ГАЛОЇДНИХ КРИСТАЛІВ

Мета роботи:

1. Вивчити залежність провідності лужно-галоїдних кристалів від температури в широкому інтервалі температур.
2. Виділити температурні області власної та домішкової провідності кристалів.
3. Вирахувати енергію активації власної та домішкової провідностей. Уяснити фізичний зміст виміряних величин.

Загальні відомості.

Ця лабораторна робота присвячена вимірюванню провідності лужно-галоїдних кристалів в широкому інтервалі температур.

Як відомо, в цих кристалах іонна провідність здійснюється міграцією іонів (переважно катіонів) під впливом зовнішнього електричного поля. Дифузійний акт полягає в обміні місцями іона та вакансії в тій же підгратці. Реальний лужно-галоїдний кристал, як правило, має вакансії двох типів: а) «власні», що з'являються внаслідок флуктуації енергії теплових коливань іонів у вузлах гратки при температурах відмінних від нуля; б) «домішкові», які з'являються при наявності в кристалі домішок іонів, валентність яких більша за валентність іонів гратки. Із співвідношення Нернста-Ейнштейна витікає, що

$$\sigma = \frac{AD}{T} = \frac{A\xi}{T} D_e = \frac{A\xi}{T} e^{-Q_m/kT},$$

де σ - провідність; D і D_e - коефіцієнти дифузії іонів і вакансій відповідно; ξ - концентрація вакансій в катіонній підгратці; Q_m - енергія, що необхідна для флуктуаційного обміну місцями катіона та вакансії; T - абсолютна температура; k - стала Больцмана; A - константа.

Відомо також, що $\xi e^{-Q_{yme}/kT}$ в так званій «області власної провідності» та $\xi \approx const$ в низькотемпературній області домішкової провідності (Q_{yme} - енергія, яка необхідна для утворення пари відокремлених вакансій по Шотки). Виходячи із сказаного, температурна залежність провідності в координатах $\ln \sigma T \left(\frac{1}{T} \right)$ може бути зображена так, як це показано на рис. 1. За нахилом прямих у відповідних областях можна знайти Q_{yme} та Q_m .

Вимірювання провідності лужно-галоїдних кристалів слід виконувати в змінному електричному полі тому, що вимірювання в постійному полі може бути викривленим (особливо при низьких температурах) внаслідок накопичення зарядів в областях кристалу, що межують із електродами.

Процес вимірювання провідності ґрунтується на наступному.

Зразок кристалу, що досліджується, вміщується між електродами. Він являє собою діелектрик, який слабо проводить струм. еквівалентна електрична схема цього досліду може бути зображена так, як показано на рис. 2.



Рис. 1. Температурна залежність власної та домішкової провідності.

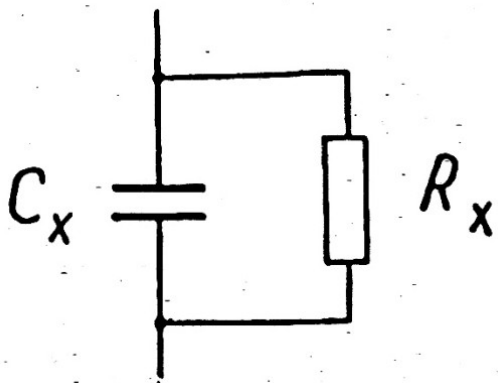


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема зразка.

Еквівалентний комплексний опір:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_x}{\sqrt{1 + R_x^2 \omega^2 C_x^2}} e^{-i\varphi},$$

де ω - кругова частота, C_x - ємність зразка, $\varphi = \text{arctg} R_x C_x \omega^2$.

В області низьких температур опір R_x надзвичайно великий ($R_x > 10^8$ Ом). Із-за того, що $C_x \approx 5 \cdot 10^{-12}$ Ф, $\omega \approx 10^5$ сек $^{-1}$, то $R_x \omega C_x > 50$, а φ близько до $\pi/2$. В цій області температур

$$R_{\text{екв}} \approx \frac{1}{\omega C_x} e^{-i(\frac{\pi}{2} - \delta)},$$

а тангенс діелектричних втрат δ змінюється за законом:

$$\text{tg} \delta = \frac{1}{R_x \omega C_x}.$$

Якщо зразок, що вивчається, помістити до плеча мосту (рис. 3-а), то підбором C_1 та R_1 можна збалансувати міст і знайти $\text{tg} \delta$ та C_x . Це дозволить вирахувати R_x .

При підвищенні температури зразка опір його R_x зменшується експоненційно, та при деякій температурі величина $R_x \omega C_x$ стає меншою за 1. При цьому $R_{\text{екв}} \approx R_x e^{-i\varphi}$ та $\varphi \rightarrow 0$.

В цьому температурному інтервалі величину R_x можна виміряти безпосередньо, якщо вмістити кристал до вимірювального плеча мосту за схемою, що наведена на рис. 3-б.

Зауважимо, що при вимірюванні C_x безпосередньо вимірюється не величина C_x , а сума C_x з додатковою ємністю з'єднувальних провідників і вимірювальної схеми. Аналогічно, безпосередньо вимірюється величина $\text{tg} \delta = (\text{tg} \delta)_{\text{образца}} + (\text{tg} \delta)_{\text{схеми}}$. При кімнатній температурі $(\text{tg} \delta)_{\text{образца}} \ll (\text{tg} \delta)_{\text{схеми}}$.

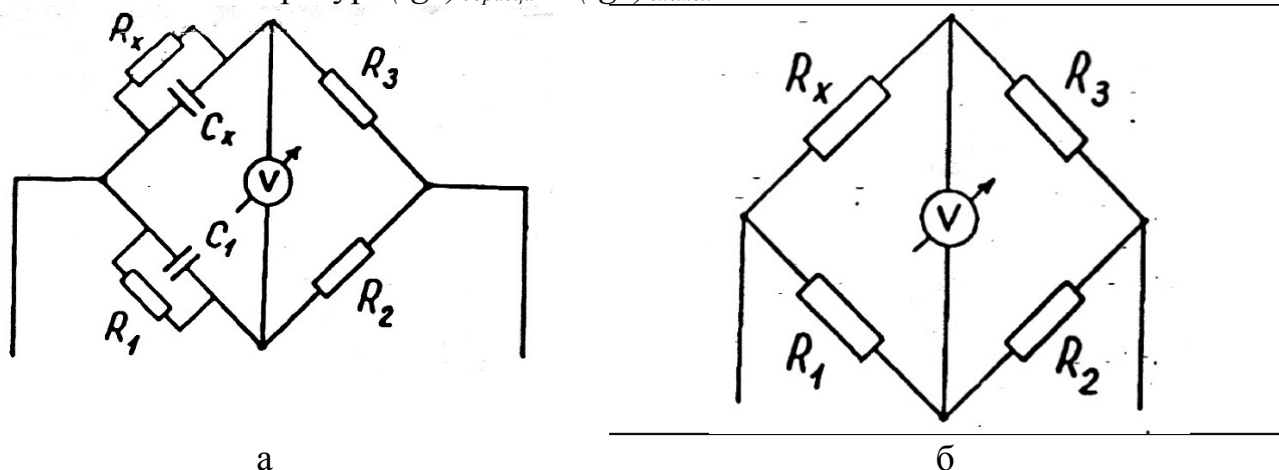


Рис. 3. Схема для вимірювання R_x , б) в області низьких температур, а) в області високих температур.

Експериментальна установка.



Рис.4. Експериментальна установка.

Блок-схема для проведення вимірювань необхідних фізичних величин зображена на рис. 5.

Кристал, розміри якого $(10 \times 10 \times 4)$ мм³, вміщується між двома металевими пластинками. Ця система утворює конденсатор постійної ємності. В якому роль

діелектрика між обкладками виконує кристал, який ми досліджуємо. Цей конденсатор вміщується до печі, а обкладками конденсатор підключається до вимірювального плеча мосту змінного струму P557.

Живлення мосту P557 здійснюється від звукового генератора ГЗ - 18. Електронний осцилограф використовується для індикації балансу моста в зовнішньому режимі роботи, що обумовлюється конструктивними особливостями мосту P557.

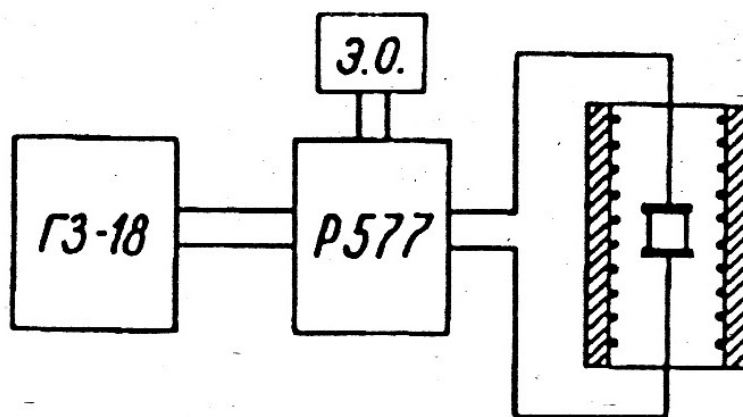


Рис. 5. Блок-схема розміщення приладів при проведенні вимірювань.

При включеній до мережі пічці на з'єднувальних провідниках вимірювального плеча моста виникає низькочастотна наведена ЕРС. Це ускладнює індикацію мосту на зовнішньому індикаторі рівноваги. Тому на час вимірювання її бажано відключати від мережі.

Вимірювальні прилади та правила їх використання.

1. Звуковий генератор ГЗ - 18 являє собою генератор сигналів синусоїдальної форми з частотою, що може змінюватися в діапазоні від 20 Гц до 20 кГц. Він вмикається до діагоналі вимірювальної схеми моста (клеми "живлення зовнішнє"). Частота встановлюється поворотом ручки "установка частоти". А величина напруги - ручкою "регулятор виходу". Для живлення моста P-557 на виході генератора слід встановити напругу 4 вольти.

2. Вимірювальний міст змінного струму P-557 використовується для вимірювання R та C , а також величини $tg\delta$ і дає можливість виконувати вимірювання як при зовнішньому режимі живлення, так і при внутрішньому.

В цій роботі використовується зовнішній режим живлення. Зміна режиму живлення мосту виконується крайнім лівим перемикачем (положення «зовнішнє»). Зміна типу вимірювання (R чи C) виконується правим перемикачем. При цьому на табло, яке розміщене над перемикачем, висвітлюється відповідна схема. Крапка, що при цьому засвітлюється, вказує на рядок таблиці меж вимірювання за порядком величини (перемикач межі вимірювання знаходиться ліворуч від перемикача роду робіт).

Під перемикачем роду роботи знаходиться барабан цілих чисел (від 0 до 10). На одній з них осі – ручка точної балансировки мосту. Табло для вимірювання $tg\delta$ знаходиться під перемикачем режимів живлення.

Перед тим, як увімкнути міст і приступити до його балансування, необхідно встановити перемикач меж вимірювання положення, яке б відповідало

очікуваному порядку вимірюваної величини. Ручкою перемикачів роду роботи встановити необхідну схему заміщення вимірюваної величини.

Балансування моста.

Точного балансу досягають обертанням одночасно двох ручок: ручки точної балансування моста (знаходиться на одній осі з барабаном цілих чисел) і ручки вимірювання $\operatorname{tg} \delta$. Для правильного зчитування значень $\operatorname{tg} \delta$ показник шкали необхідно помножити на коефіцієнт 0,1. Показники барабана цілих чисел і шкали точної балансування моста показують ємність утвореного конденсатора. Вимірювання опору проводиться обертанням барабана цілих чисел та ручки точної балансування моста до мінімального вертикального відхилення сигналу на осцилографі.

Для правильного визначення вимірюваної величини, число, яке встановлюється на барабані цілих чисел та реохорді точної регулювання мосту, помножити на значення вимірюваної величини за порядком.

Порядок виконання роботи.

1. Увімкніть експериментальну установку.

2. Виміряйте величину $\operatorname{tg} \delta$ - вашої схеми.

3. Увімкніть нагрівальну піч (на латрі ставимо 50В). Потрібно почекати 5 хвилин для того, щоб піч прогрілася і температура почала зростати. Експериментально встановіть залежність $\operatorname{tg} \delta = f(T)$. В зв'язку з тим, що на час вимірювання піч необхідно вимкнути, балансування моста проводьте якомога швидше. Величина $\operatorname{tg} \delta$ зростає з температурою.

Тому, коли величина $\operatorname{tg} \delta$ вийде за межі вимірювань, перейдіть до безпосередньо вимірювання величини опору R .

4. Виміряйте $R_x = f(T)$ до температури $T \leq 680^\circ \text{C}$.

5. За виміряними величинами R_x та лінійними розмірами зразка вирахуйте $\sigma(T)$.

6. Побудуйте залежність $\ln(\sigma T) = f\left(\frac{1}{T}\right)$.

7. В низькотемпературній області $\operatorname{tg} \delta \sim \sigma$, тому можна вважати, що $\ln[T(\operatorname{tg} \delta)] = \ln(\sigma T) + B$. Константу B легко було б знайти за відомою частотою та ємністю C_x . Але в експерименті безпосередньо величина C_x не вимірюється. Тому величину B можна знайти за умовою того, що низькотемпературна гілка кривої $\ln(\sigma T) = f\left(\frac{1}{T}\right)$ повинна бути безпосереднім продовженням

високотемпературної гілки рис.6. Побудувавши залежність $\ln(\sigma T) = f\left(\frac{1}{T}\right)$ у всьому температурному інтервалі, вирахуйте Q_{ym} та Q_m .

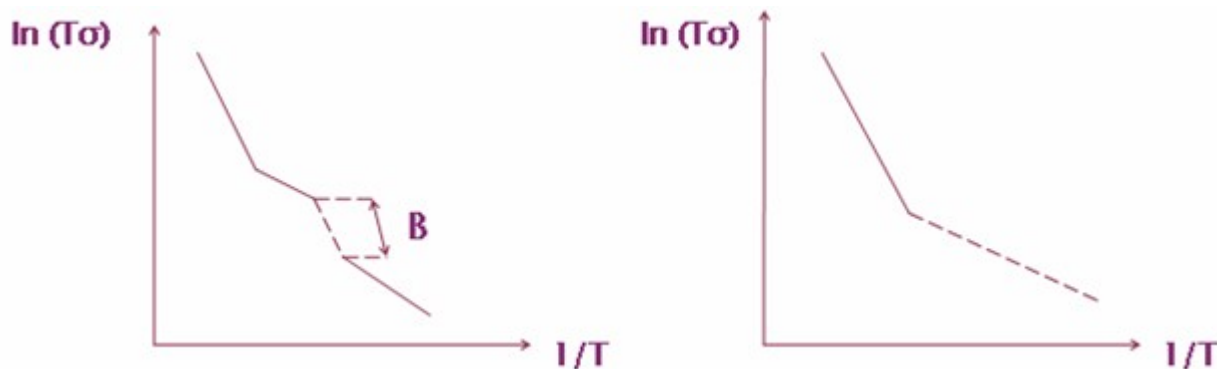


Рис. 6.

Звіт

Звіт про виконану роботу повинен вміщувати:

- 1) Графік залежності $\ln \sigma T \left(\frac{1}{T} \right)$.
- 2) Розрахунок енергій активації власної та домішкової провідностей

Контрольні питання.

1. Яким чином здійснюється іонна провідність у лужно-галоїдних кристалах?
2. Як здійснюються власна і домішкова провідності?
3. Яким методом проводяться вимірювання іонної провідності в даній роботі?
4. Фізичний зміст енергії активації власної, домішкової провідностей?
5. Яка енергія активації більше - енергія активації власної провідності або енергія активації домішкової провідності? Відповідь обґрунтуйте.

Література:

1. Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов. - М., 1962.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М: Наука, 1978.
3. Ремез Г.А. Курс основных радиотехнических измерений. - М., 1966.