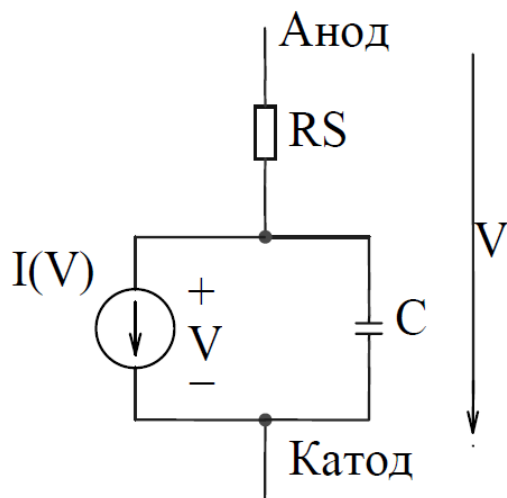


Вивчення р-п переходу

Теоретичне підґрунтя:

Діод - вакуумний або напівпровідниковий пристрій, що пропускає електричний струм в одному напрямку. Напівпровідниковий діод - пристрій з одним р-п - переходом і двома виходами, він є типовим нелінійним пристроєм. Одна з областей р-п - структури (р+) , звана емітером , має велику концентрацію основних носіїв заряду, ніж інша область , звана базою. Еквівалентна схема напівпровідникового діода складається з ідеального діода, ємності р-п переходу C і об'ємного опору R_s .



Вольт-амперна характеристика (ВАХ) діода досить добре описується формулою Шоклі (американський фізик Shockley W. , 1949 р.) :

$$I = I_s \left(e^{\frac{U}{m\phi_T}} - 1 \right),$$

де I_s - струм насичення(зворотний струм, визначається типом напівпровідника, конструкцій, технологією, площею переходу, концентрацією носіїв, температурою і т.д.) має порядок $10^{-6} \div 10^{-7} \text{ A}$;

$\phi_T = \frac{kT}{e_0}$ - термічний (температурний) потенціал (при $t = 20^\circ \text{ C}$, тобто $T =$

293° K , $\phi_T \approx 25 - 26 \text{ мВ}$) ;

m - поправочний коефіцієнт, що характеризує плавність і товщину р-п - переходу ($1 < m < 2,5$). Для різких (тонких) р-п - переходів , близьких до ідеалізованим , $m = 1$, для плавних $m = 2$. Причому , для германієвих діодів верхня межа коефіцієнта $m = 2$, а для кремнієвих - $2,5$ (в іншій літературі наводиться $m = 1$ для германієвих р-п - переходів і $m = 2$ для кремнієвих рп - переходів при малому струмі).

Кремнієві діоди мають істотно менше значення зворотного струму в порівнянні з германієвими , унаслідок нижчої концентрації неосновних носіїв заряду. Зворотна гілка ВАХ у кремнієвих діодів при даному масштабі

практично зливається з віссю абсцис. Пряма гілка ВАХ у кремнієвих діодів розташована значно правіше, ніж у германієвих.

Для розрахунку параметрів діода потрібно знати пряму і обернену вольт-амперну характеристику і вольт-фарадну характеристику діода.

Ємності діода. Прийнято говорити про загальну ємності діода C_d , вимірної між виходами діода при заданій напрузі зсуву і частоті. Загальна ємність діода дорівнює сумі бар'єрної ємності C_b , дифузійної ємності $C_{диф}$ та ємності корпусу приладу C_k .

Бар'єрна (зарядна) ємність обумовлена некомпенсований об'ємним зарядом іонів домішок, зосередженими по обидві сторони від кордону р-п-переходу.

Модельним аналогом бар'єрної ємності може служити ємність плоского конденсатора, обкладинками якого є р-і п-області, а діелектриком служить р-п-перехід, практично не має рухомих зарядів. Значення бар'єрної ємності коливається від десятків до сотень пікофарад; зміна цієї ємності при зміні напруги може досягати десятиразової величини.

Дифузійна ємність. Зміна величини об'ємного заряду нерівноважних електронів і дірок, викликане зміною прямого струму, можна розглядати як наслідок наявності так званої дифузійної ємності, яка включена паралельно бар'єрної ємності.

Значення дифузійної ємності можуть мати порядок від сотень до тисяч пікофарад. Тому при прямій напрузі місткість р-п-переходу визначається переважно дифузійної ємністю, а при зворотному напрузі - бар'єрної ємністю.

Варікап - напівпровідниковий діод, призначений для застосування в якості елемента з електрично керованою ємністю. При збільшенні зворотної напруги ємність варикапа зменшується за законом

$$C_{\text{вф.}} = C_0 \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_k + U} \right)^v$$

де $C(u)$ - ємність діода; C_0 - ємність діода при нульовому зворотному напрузі; φ_k - контактна різниця потенціалів; v - коефіцієнт, що залежить від типу варикапу ($v = 1/2 - 1/3$), U - зворотне напруги на клеммах варикапу.

Диференціальним опором діода називають відношення приросту напруги на діод до викликаного їм приросту струму :

$$R_{\text{диф}} = dU / dI$$

Завдання та вказівки до виконання

1. З отриманих експериментальних даних знайти струм насичення та коефіцієнт m та побудувати вольт-фарадну залежність.

Вказівка: При фітуванні експерименту бажано використовувати такі математичні пакети програм як Математика, Маткад або Менл, оскільки у Excel не існує алгоритму підгонки функції, яка відповідає вольт-амперній характеристиці р-п переходу.

При підгонці бажано теоретичну ВАХ представити у вигляді:

$$U = \varphi + m \ln [I/I_0 + 1]$$

2. Підрахувати повну похибку величини m та зробити висновок про тип діода (германієвий або кремнієвий)
3. Визначити значення диференційного опору діода у двох точках на прямій гілці ВАХ діода.
4. З ВФХ при зворотніх напругах знайти контактну різницю потенціалів.

Контрольні запитання

1. Напівпровідники n та p типу. Напівкласична теорія p - n переходу
2. Як виникає p - n перехід при ідеальному контакті напівпровідників з різним типом електропровідності.
3. Намалювати схему і пояснити спосіб зняття ВАХ діодів за допомогою амперметра і вольтметра .
4. Пояснити роботу p - n переходу при прямому і зворотному включенні.
5. Чим відрізняються ВАХ ідеального p - n переходу і реального діода.
6. Дати визначення диференціального опору діода і пояснити графічно спосіб його визначення .
7. Записати рівняння ВАХ випрямного діода, графік ВАХ і його пояснення.
8. Намалювати ВАХ стабілітрона і визначити робочу ділянку ВАХ при стабілізації напруги .
9. Чому величина бар'єрної ємності залежить від прикладеної напруги?
10. Яка фізична природа дифузійної ємності p - n переходу ?
11. Перерахувати основні параметри діодів.
12. Зонна теорія p - n переходу.
13. Енергія Фермі. Звідки виникають зони? Як змінюються зони і енергія Фермі при різних підключеннях діода? Як змінюється зона при домішковому напівпровіднику? (підготовлено Я.Д.Кривенко-Еметовим)

