

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Фізичний факультет
Основи електроніки

ЗВІТ ПО ЛАБОРАТОРНІЙ РОБОТІ №3

Напівпровідникові діоди

Роботу виконала
Гордєєва Софія
студентка 2 курсу
5-Б групи
Фізичного факультету
Київського національного
університету
імені Тараса Шевченка

Київ 2021

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Мета роботи
2. Методи вимірювання

РОЗДІЛ 1. Теоретичні відомості

РОЗДІЛ 2 Практична частина

- 2.1. Вступ до практичної частини
- 2.2. Діод
- 2.3. Стабілітрон
- 2.4. Світлодіод

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

1. Мета роботи

Навчитися одержувати зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, дослідити властивості р-п-переходів напівпровідникових діодів різних типів.

2. Метод вимірювання

В роботі використовуються:

1) одержання зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, який працює в режимі характериографа;

2) побудова ВАХ діодів шляхом вимірювання певної кількості значень сили струму ІД, що відповідають певним значенням та полярності напруги УД, і подання результатів вимірів у вигляді графіка.

РОЗДІЛ 1.

Теоретичні відомості

1. Напівпровідники n- та p-типу. Основні та неосновні носії заряду в таких напівпровідниках.

Напівпровідник p-типу — напівпровідник, в якому основними носіями заряду є дірки. Напівпровідники p-типу отримують методом легування власних напівпровідників акцепторами. Напівпровідник n-типу — напівпровідник, в якому основні носії заряду — електрони провідності. Для того, щоб отримати напівпровідник n-типу, власний напівпровідник легують донорами.

В напівпровідниках розрізняють основні носії заряду й неосновні носії заряду. В напівпровідниках n-типу основними носіями заряду є електрони провідності, а дірки є неосновним носіями заряду. В напівпровідниках p-типу основними носіями заряду є дірки, а електрони — неосновними.

2. p-n перехід. Власне електричне поле переходу. Контактна різниця потенціалів. Дифузійний та дрейфовий струми.

Розглянемо роботу p-n-переходу, утвореного на межі поділу двох середовищ, які являють собою один і той же напівпровідник, в одну з частин якого введені донорні домішки і яка відповідно має провідність n-типу (тобто перше середовище — це матеріал n-типу), а в іншу введені акцепторні домішки і яка має провідність p-типу (друге середовище матеріал p-типу). Концентрація вільних електронів в матеріалі n-типу набагато більша, ніж концентрація вільних дірок.

Якщо матеріал типу привести в контакт з матеріалом p-типу, то почнеться процес дифузії електронів з матеріалу n-типу (де їх концентрація велика) в матеріал p-типу (де їх концентрація мала). Аналогічно, дірки будуть дифундувати з матеріалу p-типу (де їх концентрація велика) в матеріал n-типу (де їх концентрація мала). Зрозуміло, що при двох вищезгаданих процесах матеріал n-типу буде втрачати негативний заряд і набувати позитивного

заряду, а матеріал р-типу, навпаки, буде втрачати позитивний заряд і набувати негативного заряду. В результаті в області контакту буде виникати електричне поле, яке буде протидіяти подальшому переходу електронів в р-область та дірок в п-область, і між матеріалом п-типу і матеріалом р-типу виникатиме різниця потенціалів. Ця різниця потенціалів називається контактною різницею потенціалів ϕ_k , а вищезгадане електричне поле — полем р-п-переходу E_{p-n}

3. Пряме та зворотне включення р-п переходу. Рух основних та неосновних носіїв через р-п перехід під дією прямої та зворотної напруги.

Якщо до такої структури прикласти зовнішнє електричне поле (напругу), то в колі виникне струм, який залежатиме як від полярності прикладеної напруги, так і від її величини. Залежність струму крізь діод від прикладеної до нього напруги у достатньо гарному наближенні можна описати формулою:

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right]$$

де I – сила струму крізь р-п-перехід, e – елементарний електричний заряд, U – прикладена напруга, k – стала Больцмана, T – температура, I_0 – стала величина, яка не залежить від напруги.

Таким чином, якщо напругу прикладено так, що більший потенціал відповідає р-області, а менший п-області діода (така напруга називається прямою або прикладеною у прямому напрямі), то буде спостерігатися експоненційна залежність струму I від прикладеної напруги U . Це зростання зумовлене збільшенням величини струму основних носіїв за рахунок зменшення потенціального бар'єру прикладеним до р-п-переходу зовнішнім електричним полем. При прикладанні до р-п-переходу напруги зворотної полярності (таку напругу називають зворотною або прикладеною у зворотному напрямі) показник експоненти стає від'ємним і при достатньо великих абсолютних величинах цієї напруги експоненційним членом в дужках можна знехтувати порівняно з одиницею. Струм при цьому змінює знак (напрямок протікання) і перестає залежати від величини U . Отже, струм I_0 – це зворотний струм неосновних носіїв заряду. Величина цього зворотного струму

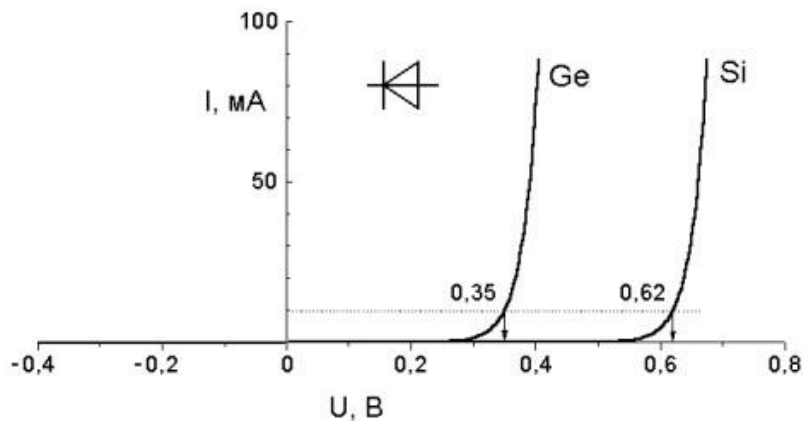
є невеликою порівняно з величиною прямого струму і залежить від температури та ширини забороненої зони напівпровідника, яка, у свою чергу, визначає висоту енергетичного бар'єру.

4. Вольт-амперна характеристика (ВАХ) випрямлювального діода, її залежність від температури. Застосування випрямлювальних діодів в техніці.

Графік вольт-амперної характеристики (ВАХ) діода, що описується рівнянням

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right]$$

подано на рисунку:

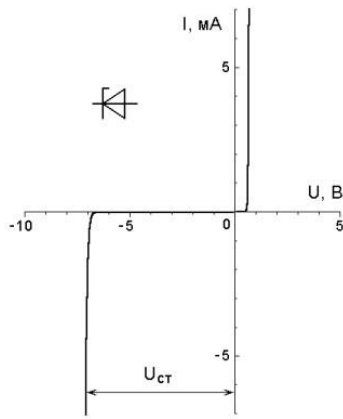


Діоди, що мають таку ВАХ, називають *випромінювальними*.

Їх використовують у пристроях випрямлення, обмеження, детектування. Найпотужніші з них здатні працювати при значеннях прямого струму до кількох тисяч ампер і витримувати без пробію зворотні напруги в десятки кіловольт.

5. Оборотний та необоротний електричний пробій р-п переходу. ВАХ стабілітрона. Застосування стабілітрона.

При великих зворотних напругах р-п-переході "пробивається" і крізь нього протікає дуже великий струм. Існує три основних механізми пробію: теплова, теплова нестійкість, тунельний ефект і лавинне розмноження. Пробій є відновлюваним, доки теплова потужність, розсіювана на р-п-переході, не перевищує припустимої, при якій відбувається його руйнування. Ця ділянка

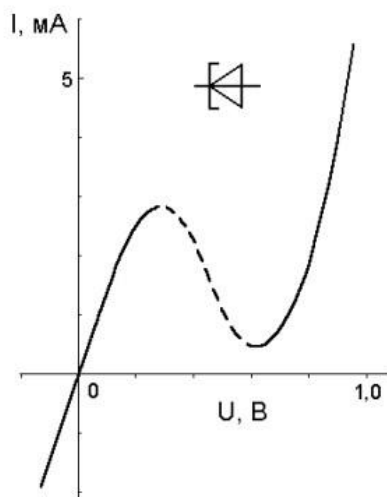


ВАХ (див. рисунок) використовується на практиці в пристроях стабілізації напруги, а діоди, що мають таку ділянку, називають *стабілітронами*. Напругу пробою можна регулювати технологічно (як правило, варіюванням концентрації домішок в р- і n-областях) в широких межах – від одиниць до сотень вольт.

6. Тунельний ефект. Енергетична діаграма та ВАХ тунельного діода. Застосування тунельних діодів.

Тунелювання або тунельний ефект — фізичне явище, яке полягає в тому, що фізичний об'єкт долає потенційний бар'єр, величина якого більша від його кінетичної енергії. Найвідомішим прикладом явища є альфа-розпад. Це явище існує завдяки хвильовій природі квантових процесів, але проявляється не лише у квантових системах. Приклади тунелювання можна спостерігати і в оптиці, де процеси також описуються хвильовими рівняннями.

Якщо виготовити р-n-перехід з сильнолегованого напівпровідника, то



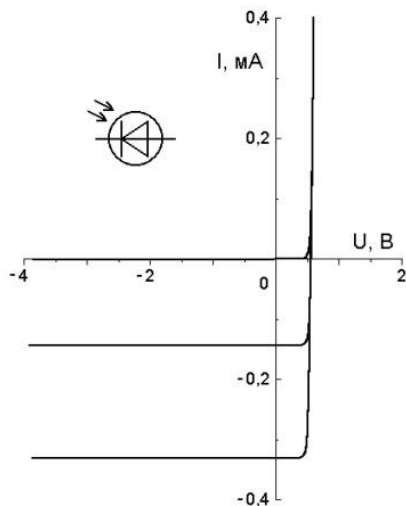
перехід стає тонким і тунельні явища будуть проявлятися і на прямій гілці ВАХ. Крива, зображена на рисунку, й ілюструє таку ситуацію. На прямій гілці виникає ділянка з від'ємним диференціальним опором. Такі діоди називаються *тунельними* й використовуються при створенні

швидкодіючих тригерів і генераторів. Принцип дії тунельного діода добре описаний у багатьох підручниках.

7. Випромінювальна рекомбінація носіїв заряду в напівпровідниках. Принцип роботи і застосування світлодіодів.

У будь-якому прямозміщеному (включеному в прямому напрямку) р-п-переході при протіканні струму має місце рекомбінація носіїв заряду, в тому числі й випромінювальна, тобто з народженням фотонів. Випромінювально рекомбінує лише частина носіїв. І лише частина фотонів, уникнувши поглинання в самому діоді, зможе вийти назовні. Для створення практично придатного *світловипромінювального діода (світлодіода)* необхідні матеріали з високою імовірністю випромінювальної рекомбінації. Якщо для випрямлювальних діодів використовуються переважно германій Ge і кремній Si, то матеріалом для світлодіодів є арсенід галію GaAs, фосфід галію GaP і потрібні напівпровідникові сполуки на їх основі, а також карбід кремнію SiC. Оскільки енергія фотонів випромінювання (колір свічення) близька до ширини забороненої зони напівпровідника, то на основі перелічених напівпровідникових матеріалів вдалося створити світлодіоди, що випромінюють у всій видимій та ближній інфрачервоній областях спектра.

8. Внутрішній фотоефект у напівпровідниках. Принцип роботи і застосування фотодіодів. Сонячні батареї.



Будь-якого носія заряду, електрона чи дірку, народженого в області дії поля контактної різниці потенціалів, буде відразу підхоплено цим електричним полем і виштовхнуто: електрона – в p-область, дірку – в n-область. Якщо такі електрон і дірка виникли під дією кванта світла з енергією, більшою за ширину забороненої зони, то з ними відбудеться

теж саме. На цьому ґрунтується принцип дії *фотодіода*, тобто пристрою, що здійснює пряме перетворення енергії оптичного випромінювання в електричну.

РОЗДІЛ 2

Практична частина

2.1. Вступ до практичної частини

Спочатку ми досліджуємо діод, потім стабілітрон, і на залишок світлодіод

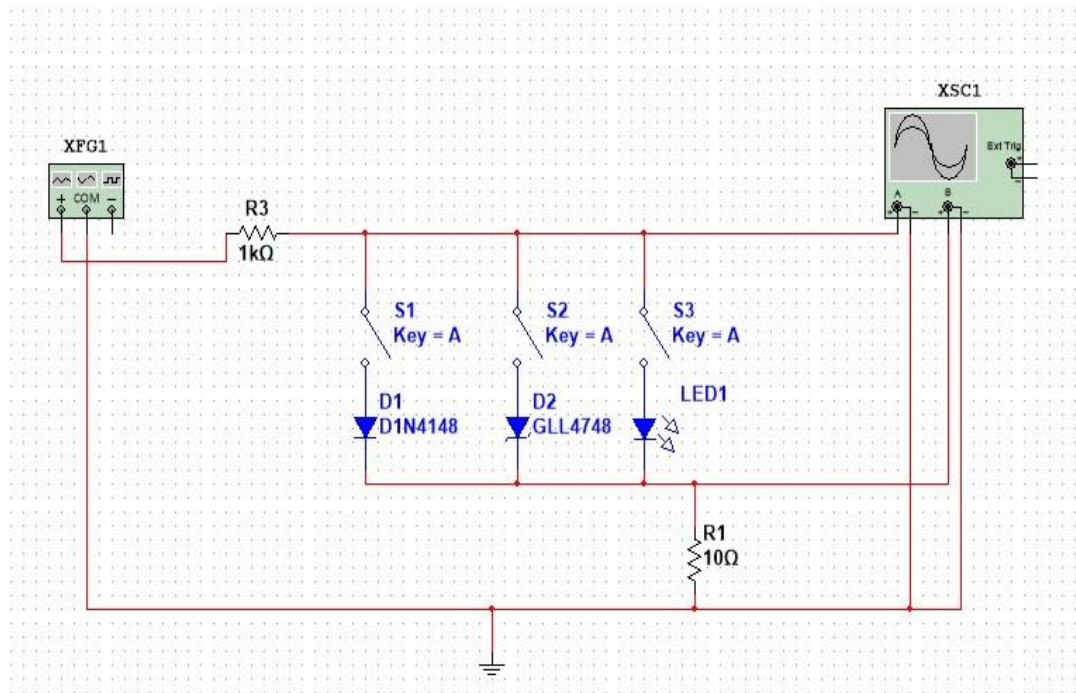


Рис.1 Схема для спостереження на екрані осцилографа вольт-амперних характеристик діодів.

2.2. Діод

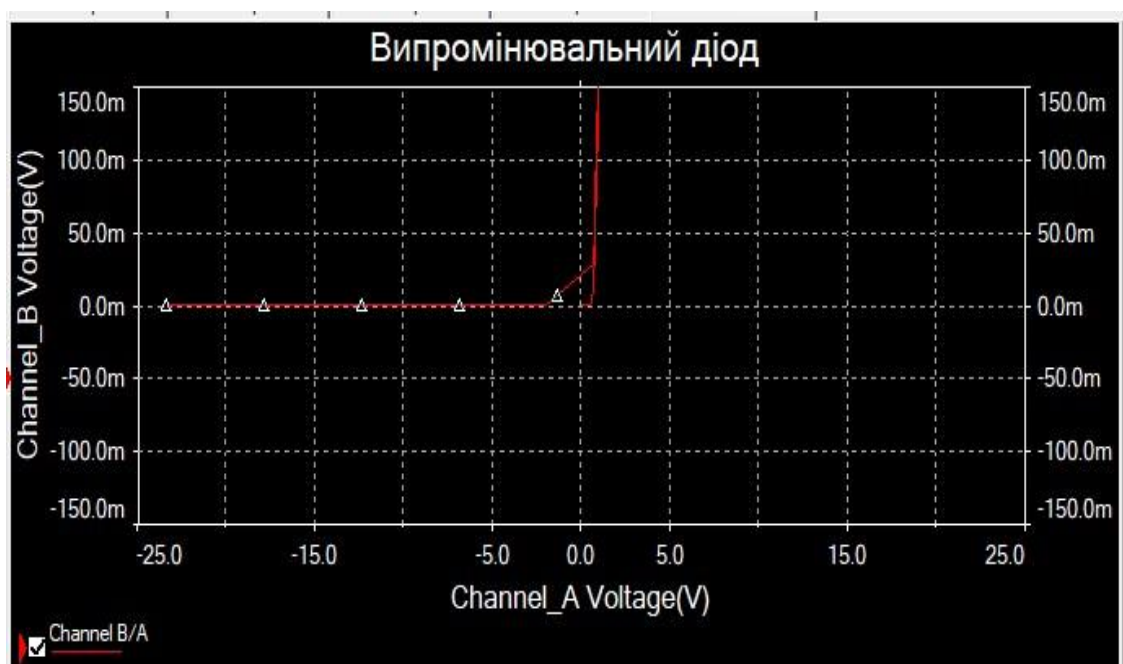
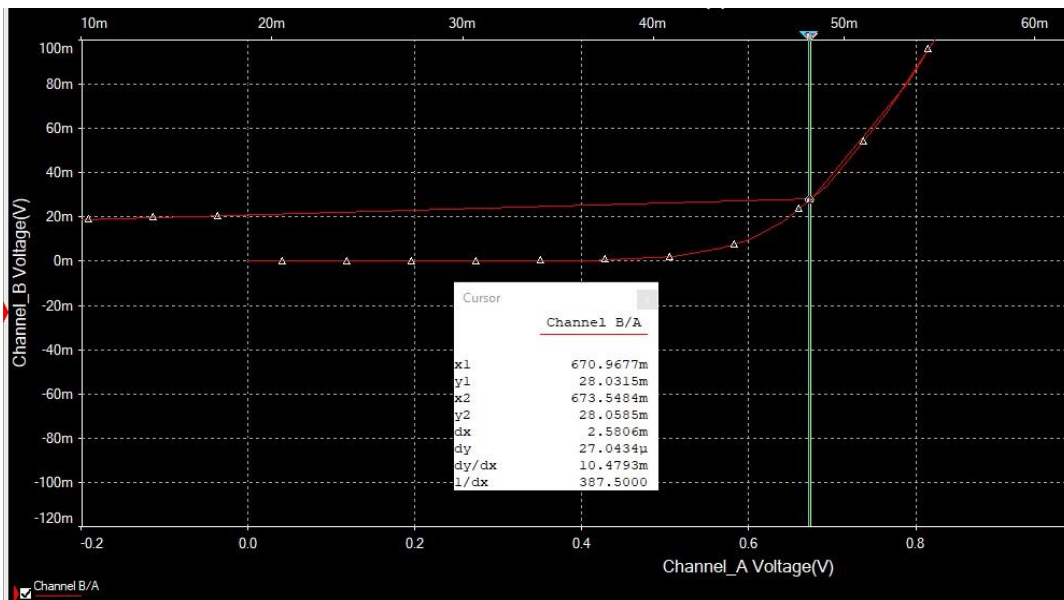


Рис.2 ВАХ випромінювального діода



$E_g = U_x =$
 $673 \cdot 10^{-3}$
 $E_g = 673 \text{ eV}$
 Тож,
 робимо
 висновок,
 що в нас
 діод з
 германію.

2.3. Стабілітрон

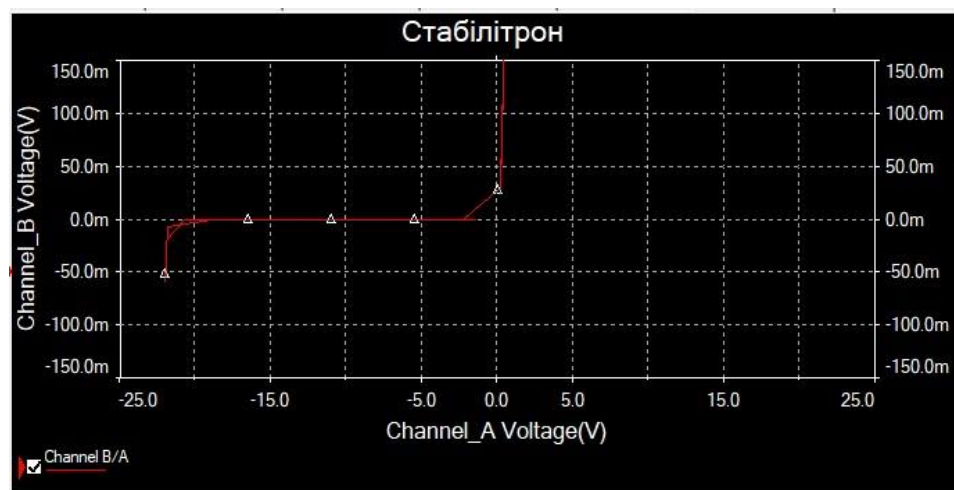
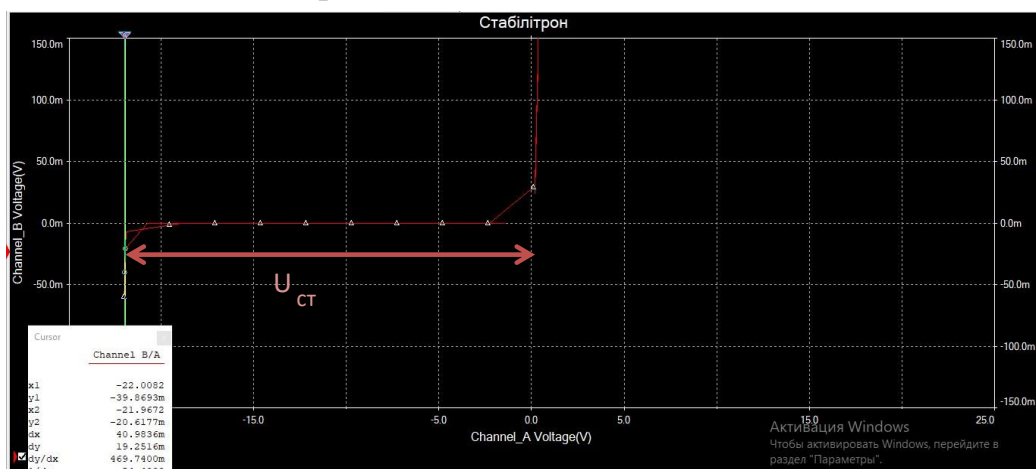


Рис.4 ВАХ стабілітрон



Тоді можемо порахувати напругу стабілізації:

$$U_{ст} = 22 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 1.1 \text{ В}$$

2.4. Світлодіод

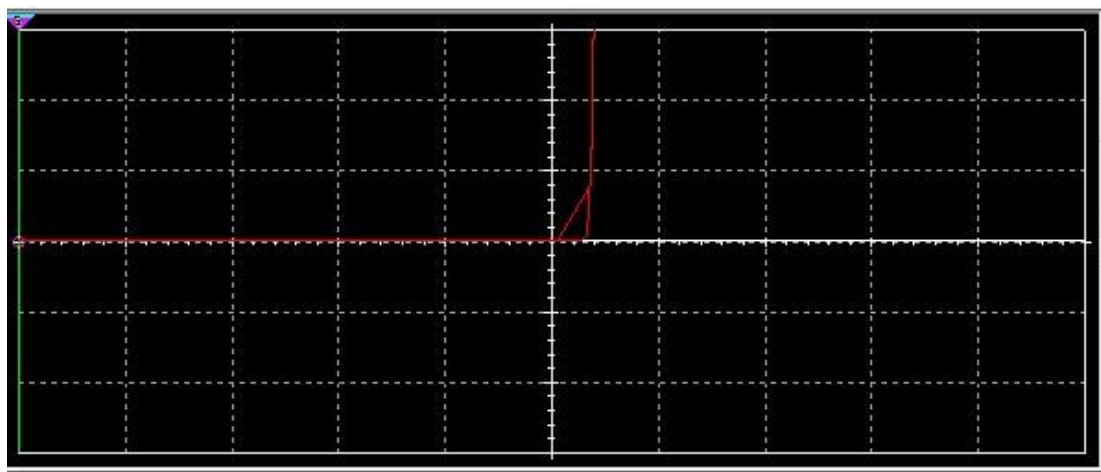
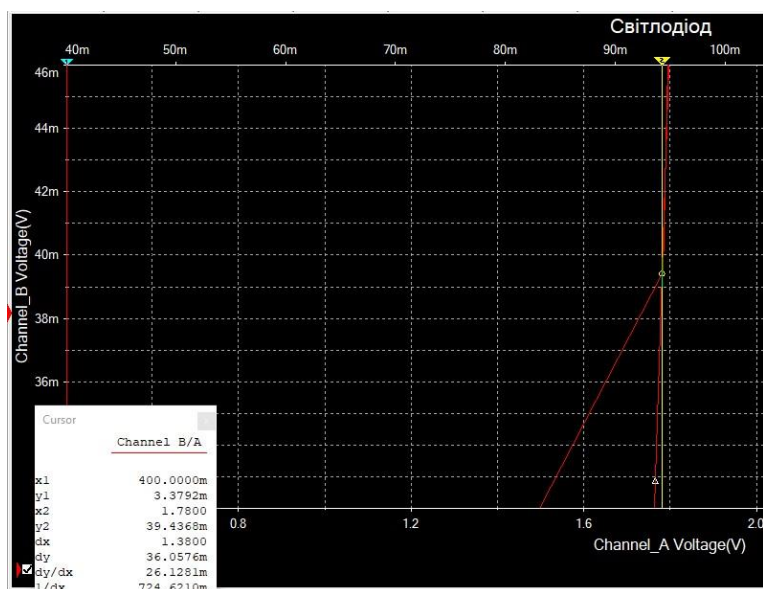


Рис.5 ВАХ світлодіоду



$$E_g = U_x e$$

$$E_g = h \frac{\lambda}{c} = 664 \text{ нм, що}$$

відповідає червоному світлу

ВИСНОВОК

У ході даної лабораторної роботи ми навчилися одержувати зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, що можна побачити на рис.2, рис.4 і рис.5, дослідили властивості р-п-переходів напівпровідникових діодів різних типів. Виміряли ширину забороненої зони для випромінювального діода, та з'ясували, що він зроблений з германію. Також дізналися, що напруга стабілізації для досліджуваного стабілітрона становить 1.1В. Для світлодіода виміряли довжину хвилі, яка становить 664 нм, що відповідає червоному світлу (як і повинно було бути).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян “Вивчення радіоелектронних схем методом комп’ютерного моделювання” : Методичне видання. – К.: 2006.- с.
2. Методичні вказівки до практикуму «Основи радіоелектроніки» для студентів фізичного факультету / Упоряд. О.В.Слободянюк, Ю.О.Мягченко, В.М.Кравченко.- К.: Поліграфічний центр «Принт лайн», 2007.- 120 с.