Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ

про виконання лабораторної роботи №1

з дисципліни: «Напівпровідникова електроніка»

Тема роботи: «Дослідження випрямляючих напівпровідникових діодів»

Виконав студент 3-го курсу групи ДП-91

Ремез Сергій Олександрович \_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис) (дата здачі)

Перевірив Королевич Любомир Миколайович \_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис) (дата здачі)

Київ-2021

**1. МЕТА РОБОТИ**

Теоретичне вивчення і практичне дослідження випрямляючих діодів; визначення фізичних та основних технічних параметрів германійових та кремнійових діодів із їх вольт-амперних характеристик.

**2. ЗАВДАННЯ**

1. Вивчити структуру параметрів (паспортних даних) досліджуваного підкласу діодів. Ознайомитися із вимірювальним стендом та використовуваними приладами.

2. Зібрати схему для дослідження вольт-амперної характеристики випрямляючих діодів .

3. Виміряти вольт-амперні характеристики германієвого та кремнієвого діодів при кімнатній температурі. Результати вимірювань записати в таблиці.

4. \*Провести температурні дослідження ВАХ германієвого та кремнієвого діодів при температурі +70 о С (для прямої та зворотної полярності напруги).

5. Побудувати графіки вольт-амперних характеристик діодів.

6. Графічно визначити дифузійний потенціал φ0 , опір бази rb та струм виродження I вир для кожного з діодів. Оцінити тепловий струм германієвого діода.

7. За побудованими графіками характеристик визначити основні параметри діодів.

8. \*\*Побудувати графіки залежностей статичного та динамічного опорів діодів від прикладеної напруги (або вирахувати статичний та диференційний опори посередині прямої та зворотної гілок ВАХ кожного діоду і порівняти їх між собою).

9. Провести аналіз результатів досліджень, і зробити висновки з виконаної роботи.

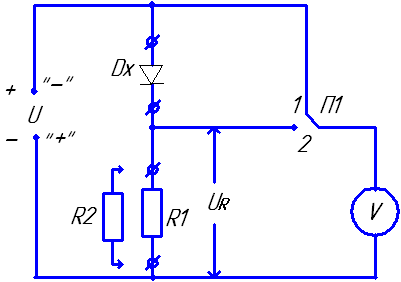
**3****. СХЕМА ВИМІРЮВАННЯ**

Рис. 1. Схема для вимірювання ВАХ діода. При знятті зворотної гілки ВАХ змінюється полярність джерела живлення та номінал резистора R (величина резистора для прямої гілки R1=5 кОм; для зворотної R2 = 100 кОм).

**4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**4.1 Результати вимірювань**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *U[B]* | *[B]* | *[В]* | *[А]* | *[мА]* |
| 0,69 | 0,61 | 0,08 | 0,00012 | 0,122 |
| 3,52 | 3,37 | 0,15 | 0,00067 | 0,674 |
| 5,23 | 5,05 | 0,18 | 0,00101 | 1,01 |
| 6,45 | 6,35 | 0,1 | 0,00127 | 1,27 |
| 7,52 | 7,33 | 0,19 | 0,00147 | 1,466 |
| 9,48 | 9,27 | 0,21 | 0,00185 | 1,854 |
| 11,9 | 11,7 | 0,2 | 0,00234 | 2,34 |
| 13,5 | 13,1 | 0,4 | 0,00262 | 2,62 |
| 14,6 | 14,3 | 0,3 | 0,00286 | 2,86 |
| 16,7 | 16,5 | 0,2 | 0,0033 | 3,3 |
| 18,7 | 18,3 | 0,4 | 0,00366 | 3,66 |
| 21,6 | 21,4 | 0,2 | 0,00428 | 4,28 |
| 22,4 | 22 | 0,4 | 0,0044 | 4,4 |
| 23 | 22,6 | 0,4 | 0,00452 | 4,52 |
| 23,7 | 23,3 | 0,4 | 0,00466 | 4,66 |
| 25,4 | 25,1 | 0,3 | 0,00502 | 5,02 |
| 27 | 26,7 | 0,3 | 0,00534 | 5,34 |
| 29,3 | 29,1 | 0,2 | 0,00582 | 5,82 |
| 31 | 30,7 | 0,3 | 0,00614 | 6,14 |
| 32,5 | 32,3 | 0,2 | 0,00646 | 6,46 |
| 33,3 | 33 | 0,3 | 0,0066 | 6,6 |
| 34,5 | 34,2 | 0,3 | 0,00684 | 6,84 |
| 35 | 34,7 | 0,3 | 0,00694 | 6,94 |
| 36,2 | 35,3 | 0,9 | 0,00706 | 7,06 |
| 38 | 37,5 | 0,5 | 0,0075 | 7,5 |
| 38,3 | 38,2 | 0,1 | 0,00764 | 7,64 |
| 39,4 | 39,2 | 0,2 | 0,00784 | 7,84 |
| 40,6 | 39,8 | 0,8 | 0,00796 | 7,96 |
| 42,9 | 42,6 | 0,3 | 0,00852 | 8,52 |
| 44 | 43,6 | 0,4 | 0,00872 | 8,72 |
| 47 | 46,9 | 0,1 | 0,00938 | 9,38 |
| 48,9 | 48,6 | 0,3 | 0,00972 | 9,72 |
| 49,1 | 48,8 | 0,3 | 0,00976 | 9,76 |
| 50,27 | 49,9 | 0,37 | 0,00998 | 9,98 |

Табл. 4.1. ВАХ германієвого (Ge) діода

(умови досліджень: пряме зміщення, *R1 = 5 кОм, Т1 = 20°С)*

Розрахунок напруги *UD* на германієвому діоді проводиться за формулою:

*;*

Розрахунок струму *ІD,*  що протікає через діод проводиться за формулою:

*;*

Знайдемо струм для прямого зміщення, :

Занесемо отримані значення до таблиці 4.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *U[B]* | *[B]* | *[В]* | *[А]* | *[мА]* |
| 0,6 | 0,54 | 0,06 | 0,0000054 | 0,0054 |
| 1,07 | 0,89 | 0,18 | 0,0000089 | 0,0089 |
| 1,21 | 0,95 | 0,26 | 0,0000095 | 0,0095 |
| 1,4 | 0,96 | 0,44 | 0,0000096 | 0,0096 |
| 1,54 | 1 | 0,54 | 0,00001 | 0,01 |
| 2,54 | 1,32 | 1,22 | 0,0000132 | 0,0132 |
| 3,1 | 1,4 | 1,7 | 0,000014 | 0,014 |
| 4,8 | 1,76 | 3,04 | 0,0000176 | 0,0176 |
| 5,38 | 1,82 | 3,56 | 0,0000182 | 0,0182 |
| 6,5 | 1,9 | 4,6 | 0,000019 | 0,019 |
| 7,3 | 1,93 | 5,37 | 0,0000193 | 0,0193 |
| 8,5 | 1,95 | 6,55 | 0,0000195 | 0,0195 |
| 10 | 2,03 | 7,97 | 0,0000203 | 0,0203 |
| 11,1 | 2,08 | 9,02 | 0,0000208 | 0,0208 |
| 12,03 | 2,12 | 9,91 | 0,0000212 | 0,0212 |
| 13,65 | 2,34 | 11,31 | 0,0000234 | 0,0234 |
| 14,1 | 2,43 | 11,67 | 0,0000243 | 0,0243 |
| 16,6 | 3,24 | 13,36 | 0,0000324 | 0,0324 |
| 17,3 | 3,55 | 13,75 | 0,0000355 | 0,0355 |
| 18,4 | 4,02 | 14,38 | 0,0000402 | 0,0402 |
| 19,35 | 4,45 | 14,9 | 0,0000445 | 0,0445 |
| 20,2 | 4,95 | 15,25 | 0,0000495 | 0,0495 |
| 21,8 | 5,75 | 16,05 | 0,0000575 | 0,0575 |
| 22,6 | 6,25 | 16,35 | 0,0000625 | 0,0625 |
| 23,1 | 6,45 | 16,65 | 0,0000645 | 0,0645 |
| 24,4 | 7,25 | 17,15 | 0,0000725 | 0,0725 |
| 25,7 | 8 | 17,7 | 0,00008 | 0,08 |
| 26,6 | 8,55 | 18,05 | 0,0000855 | 0,0855 |
| 27 | 9,15 | 17,85 | 0,0000915 | 0,0915 |
| 28,42 | 9,61 | 18,81 | 0,0000961 | 0,0961 |
| 29,2 | 10,1 | 19,1 | 0,000101 | 0,101 |
| 30,1 | 10,67 | 19,43 | 0,0001067 | 0,1067 |
| 32,2 | 11,8 | 20,4 | 0,000118 | 0,118 |
| 34,3 | 13,1 | 21,2 | 0,000131 | 0,131 |
| 35,7 | 14 | 21,7 | 0,00014 | 0,14 |
| 37 | 14,75 | 22,25 | 0,0001475 | 0,1475 |
| 39,3 | 16,2 | 23,1 | 0,000162 | 0,162 |
| 40,8 | 17,07 | 23,73 | 0,0001707 | 0,1707 |
| 42,8 | 18,3 | 24,5 | 0,000183 | 0,183 |
| |48,5 | 18,8 | 29,7 | 0,000188 | 0,188 |
| 44,1 | 19,02 | 25,08 | 0,0001902 | 0,1902 |
| 45,25 | 19,86 | 25,39 | 0,0001986 | 0,1986 |
| 46,5 | 20,7 | 25,8 | 0,000207 | 0,207 |
| 48,3 | 21,7 | 26,6 | 0,000217 | 0,217 |
| 50,01 | 22,85 | 27,16 | 0,0002285 | 0,2285 |

Табл. 4.2. ВАХ германієвого (Ge) діода

(умови досліджень: зворотне зміщення, *R1 = 100 кОм, Т1 = 20°С)*

Розрахунок напруги *UD* на германієвому діоді проводиться за формулою:

*;*

Розрахунок струму *ІD,*  що протікає через діод проводиться за формулою:

Знайдемо струм для зворотного зміщення, :

Занесемо отримані значення до таблиці 4.2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *U[B]* | *[B]* | *[В]* | *[А]* | *[мА]* |
| 0,64 | 0,19 | 0,45 | 0,000038 | 0,038 |
| 1,6 | 1,16 | 0,44 | 0,000232 | 0,232 |
| 2,8 | 2,2 | 0,6 | 0,00044 | 0,44 |
| 3,3 | 2,75 | 0,55 | 0,00055 | 0,55 |
| 4,25 | 3,68 | 0,57 | 0,000736 | 0,736 |
| 6,78 | 6,17 | 0,61 | 0,001234 | 1,234 |
| 7,05 | 6,42 | 0,63 | 0,001284 | 1,284 |
| 8,09 | 7,45 | 0,64 | 0,00149 | 1,49 |
| 10,3 | 9,7 | 0,6 | 0,00194 | 1,94 |
| 11,3 | 10,73 | 0,57 | 0,002146 | 2,146 |
| 12,8 | 12 | 0,8 | 0,0024 | 2,4 |
| 14,5 | 13,8 | 0,7 | 0,00276 | 2,76 |
| 15,3 | 14,4 | 0,9 | 0,00288 | 2,88 |
| 16,1 | 15,3 | 0,8 | 0,00306 | 3,06 |
| 17,08 | 16,42 | 0,66 | 0,003284 | 3,284 |
| 20,7 | 20,1 | 0,6 | 0,00402 | 4,02 |
| 22,9 | 21,9 | 1 | 0,00438 | 4,38 |
| 23,3 | 22,5 | 0,8 | 0,0045 | 4,5 |
| 26,2 | 25,5 | 0,7 | 0,0051 | 5,1 |
| 27,7 | 27 | 0,7 | 0,0054 | 5,4 |
| 29,1 | 28,4 | 0,7 | 0,00568 | 5,68 |
| 30,7 | 29,9 | 0,8 | 0,00598 | 5,98 |
| 31,06 | 30,36 | 0,7 | 0,006072 | 6,072 |
| 33,6 | 32,9 | 0,7 | 0,00658 | 6,58 |
| 34,1 | 33,3 | 0,8 | 0,00666 | 6,66 |
| 35,2 | 34,5 | 0,7 | 0,0069 | 6,9 |
| 37,1 | 36,4 | 0,7 | 0,00728 | 7,28 |
| 38,9 | 38,2 | 0,7 | 0,00764 | 7,64 |
| 42,1 | 41,3 | 0,8 | 0,00826 | 8,26 |
| 44,6 | 43,9 | 0,7 | 0,00878 | 8,78 |
| 46,3 | 45,6 | 0,7 | 0,00912 | 9,12 |
| 47 | 46,2 | 0,8 | 0,00924 | 9,24 |
| 48,5 | 47,7 | 0,8 | 0,00954 | 9,54 |
| 49,3 | 48,5 | 0,8 | 0,0097 | 9,7 |
| 50,7 | 50 | 0,7 | 0,01 | 10 |

Табл. 4.3. ВАХ кремнієвого (Si) діода

(умови досліджень: пряме зміщення, *R1 = 5 кОм, Т1 = 20°С)*

Розрахунок напруги *UD* на кремнієвому діоді проводиться за формулою:

Розрахунок струму *ІD,*  що протікає через діод проводиться за формулою:

*;*

Знайдемо струм для прямого зміщення, :

Занесемо отримані значення до таблиці 4.3.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *U[B]* | *[B]* | *[В]* | *[А]* | *[мА]* |
| 0,6 | 0,01 | 0,59 | 1E-07 | 0,0001 |
| 1,5 | 0,02 | 1,48 | 2E-07 | 0,0002 |
| 3,12 | 0,02 | 3,1 | 2E-07 | 0,0002 |
| 4,42 | 0,01 | 4,41 | 1E-07 | 0,0001 |
| 5,4 | 0,02 | 5,38 | 2E-07 | 0,0002 |
| 6,3 | 0,02 | 6,28 | 2E-07 | 0,0002 |
| 7,72 | 0,02 | 7,7 | 2E-07 | 0,0002 |
| 9,47 | 0,02 | 9,45 | 2E-07 | 0,0002 |
| 10,06 | 0,02 | 10,04 | 2E-07 | 0,0002 |
| 11,3 | 0,0002 | 11,2998 | 2,2E-09 | 2,2E-06 |
| 12,8 | 0,0004 | 12,7997 | 3,5E-09 | 3,5E-06 |
| 13,9 | 0,0004 | 13,8996 | 3,8E-09 | 3,8E-06 |
| 14,5 | 0,42 | 14,08 | 4,2E-06 | 0,0042 |
| 16,5 | 0,0004 | 16,4996 | 4,4E-09 | 4,4E-06 |
| 17,9 | 0,46 | 17,44 | 4,6E-06 | 0,0046 |
| 18,3 | 0,48 | 17,82 | 4,8E-06 | 0,0048 |
| 20,21 | 0,51 | 19,7 | 5,1E-06 | 0,0051 |
| 21,3 | 0,52 | 20,78 | 5,2E-06 | 0,0052 |
| 22,5 | 0,0006 | 22,4995 | 5,5E-09 | 5,5E-06 |
| 24,6 | 0,0006 | 24,5994 | 6E-09 | 6E-06 |
| 27,7 | 0,65 | 27,05 | 6,5E-06 | 0,0065 |
| 28,9 | 0,7 | 28,2 | 7E-06 | 0,007 |
| 30,02 | 0,75 | 29,27 | 7,5E-06 | 0,0075 |
| 31,5 | 0,8 | 30,7 | 8E-06 | 0,008 |
| 32,6 | 0,85 | 31,75 | 8,5E-06 | 0,0085 |
| 33,3 | 0,86 | 32,44 | 8,6E-06 | 0,0086 |
| 34,5 | 0,97 | 33,53 | 9,7E-06 | 0,0097 |
| 40,1 | 1 | 39,1 | 0,00001 | 0,01 |
| 41,35 | 1,02 | 40,33 | 1E-05 | 0,0102 |
| 42,3 | 0,0012 | 42,2989 | 1,2E-08 | 1,2E-05 |
| 43,5 | 0,0012 | 43,4988 | 1,2E-08 | 1,2E-05 |
| 45,6 | 0,0012 | 45,5988 | 1,2E-08 | 1,2E-05 |
| 47,7 | 0,0012 | 47,6988 | 1,2E-08 | 1,2E-05 |
| 48,9 | 0,0013 | 48,8988 | 1,3E-08 | 1,3E-05 |
| 49,3 | 0,0013 | 49,2987 | 1,3E-08 | 1,3E-05 |
| 50,03 | 0,0014 | 50,0287 | 1,4E-08 | 1,4E-05 |

Табл. 4.4. ВАХ кремнієвого (Si) діода

(умови досліджень: зворотне зміщення, *R1 = 100 кОм, Т1 = 20°С)*

Розрахунок напруги *UD* на кремнієвому діоді проводиться за формулою:

*;*

Розрахунок струму *ІD,*  що протікає через діод проводиться за формулою:

Знайдемо струм для зворотного зміщення, :

Занесемо отримані значення до таблиці 4.4.

**4.2 Побудування графіків:**

У наступному графічному зображенні вольт-амперної характеристики діодів були “викресленні” точки значення яких є аномальним та не підходить для нашого аналізу, тому ми не врахували їх при проведенні лінії залежності.

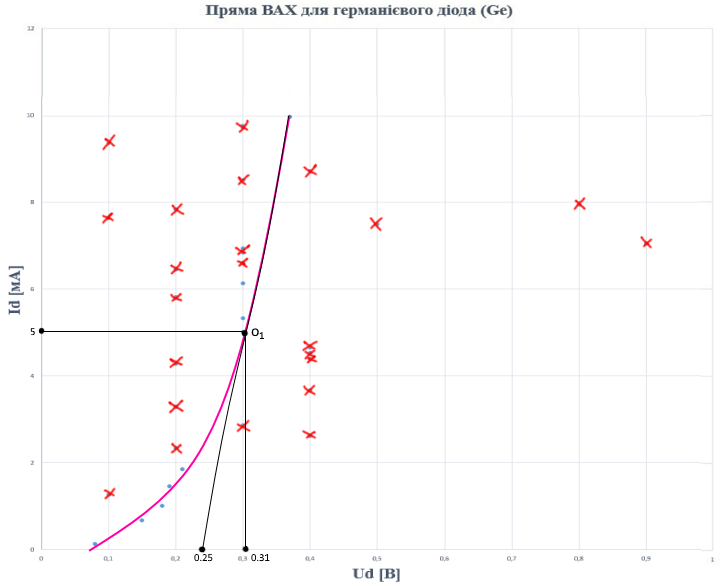


Рис. 1. Гілка ВАХ для германієвого діода (Ge) при прямому зміщенні.

Опір бази та струм виродження для германієвого діода:

Використовуючи апроксимацію Шоклі знайдемо дифузійний потенціал та опір бази.

де *k* = [] - стала Больцмана, *T* = 290 [*К*] – температура навколишнього середовища, *q* =  [*Кл*] - електричний заряд;

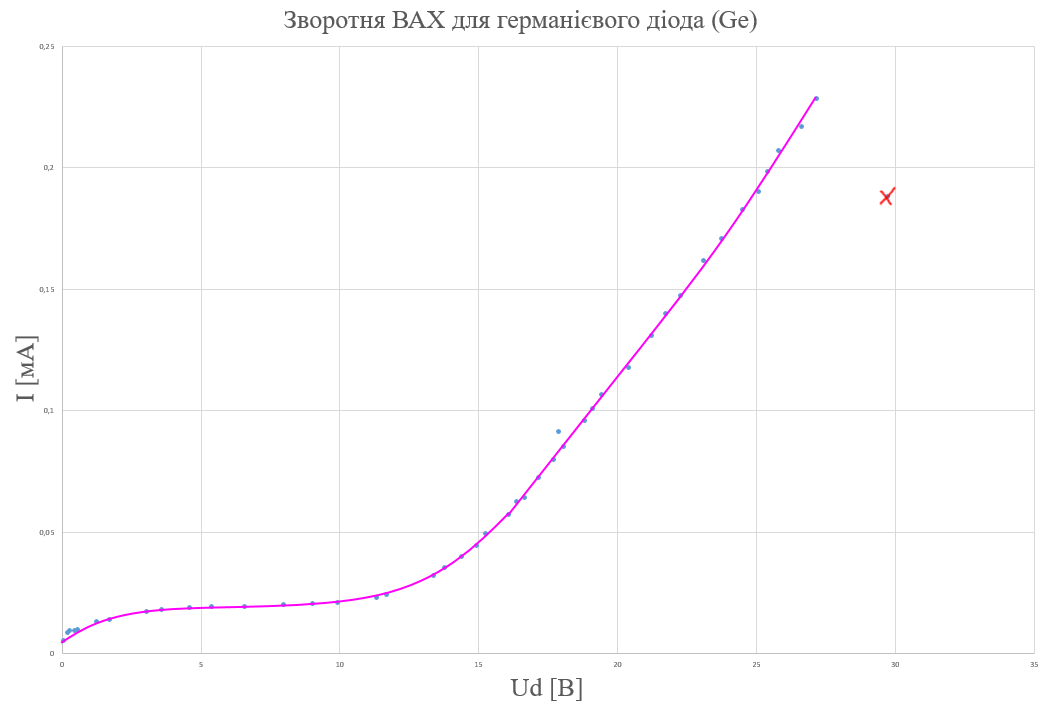
Підставимо отримані дані у формулу:

На графіку у точці отримаємо опір бази . З точки опускається перпендикуляр на вісь струмів та напруг. Визначається струм = 5 мА і відповідна напруга = 0,31 В. Дотична проведена до т. пересікаючи вісь струмів визначає = 0,27 В. Отже, опір бази буде рівний:

Визначивши rb знайдемо струм виродження:

де - температурний потенціал електрона, він рівний 25 *мВ*.

Знайдемо максимальну похибку прямого зміщення германієвого діода для отриманих значень напруги та струму відповідно:

Рис. 2. Гілка ВАХ для германієвого діода (Ge) при зворотньому зміщенні.

Знайдемо максимальну похибку зворотнього зміщення германієвого діода для отриманих значень напруги та струму відповідно:

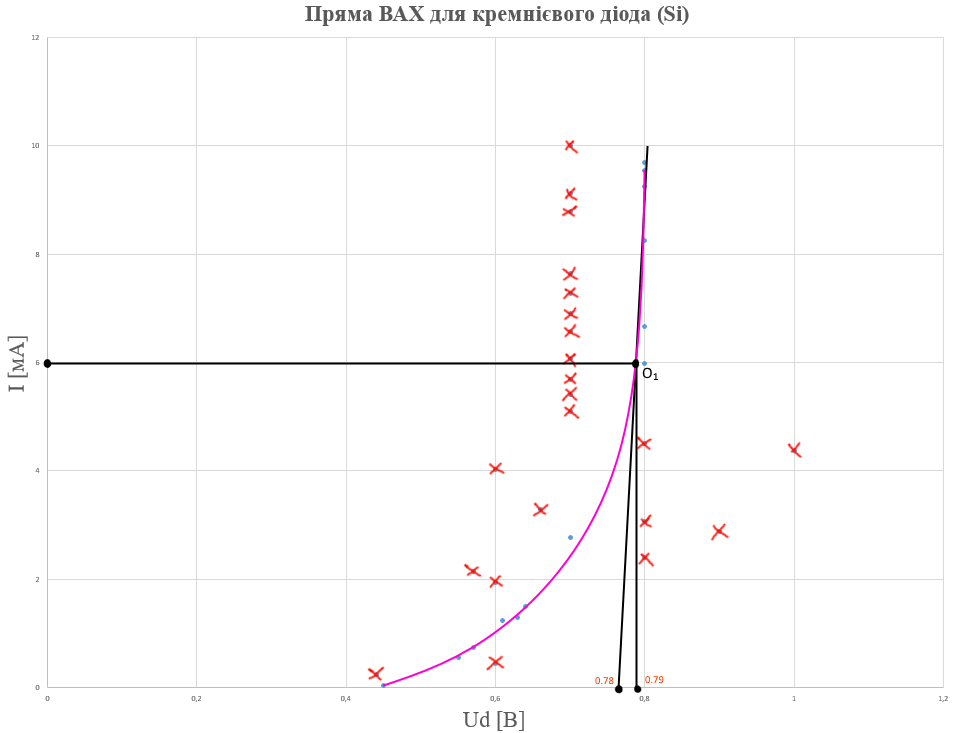
****

Рис. 3. Гілка ВАХ для кремнієвого діода (Si) при прямому зміщенні.

Опір бази та струм виродження для кремнієвого діода:

Використовуючи апроксимацію Шоклі знайдемо дифузійний потенціал та опір бази.

де *k* = []- стала Больцмана, *T* = 290 [*К*] - температура

навколишнього середовища, *q* =  [*Кл*] - електричний заряд;

На графіку у точці отримаємо опір бази . З точки опускається перпендикуляр на вісь струмів та напруг. Визначається струм = 6 мА і відповідна напруга = 0,79 В. Дотична проведена до т. пересікаючи вісь струмів визначає = 0,683 В. Отже, опір бази буде рівний:

Визначивши знайдемо струм виродження:

де - температурний потенціал електрона, він рівний 25 *мВ*.

Знайдемо максимальну похибку прямого зміщення кремнієвого діода для отриманих значень напруги та струму відповідно:

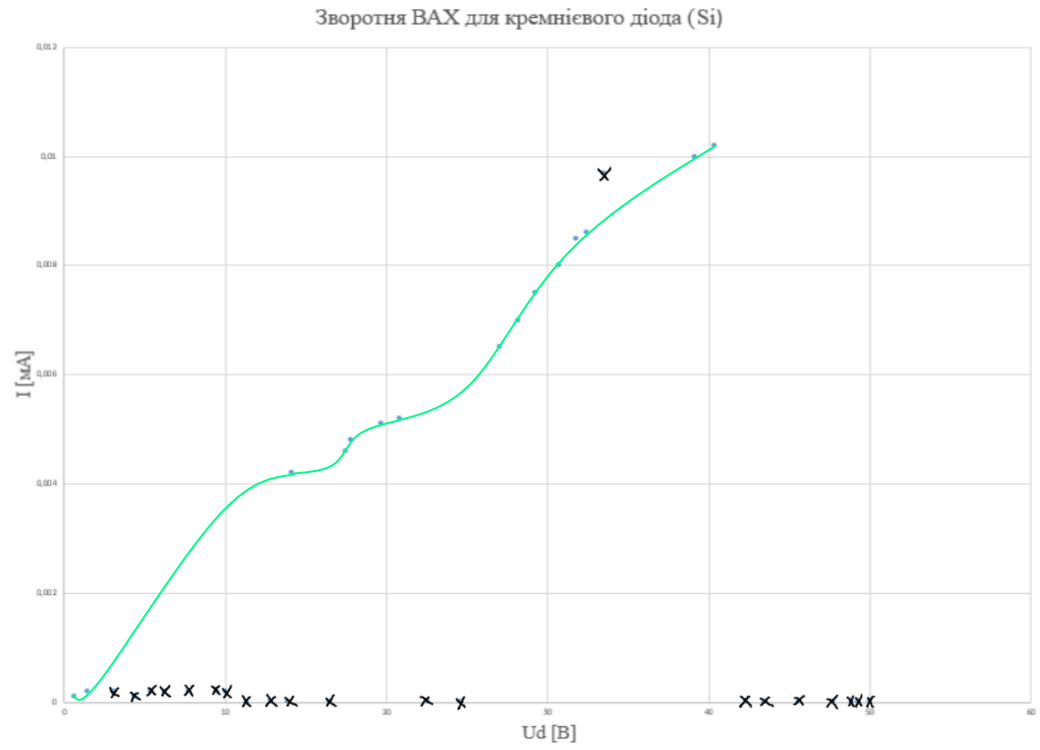
****

Рис. 4. Гілка ВАХ для кремнієвого діода (Si) при зворотному зміщенні.

Знайдемо максимальну похибку зворотного зміщення кремнієвого діода для отриманих значень напруги та струму відповідно:

**5. РОЗРАХУНКИ.**

5.1. Із вольт-амперної характеристики, використовуючи апроксимацію Шоклі для високого рівня інжекції, визначаємо (див. побудову на графіках ВАХ):

Табл. №5: Отримані дані.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Основні параметри |  | *,[Ом]* | *,[мА]* | Напівпровідниковий матеріал діода |
| для діода D1: | 0,27 | 8 |  | Германій (Ge) |
| для діода D2: | 0,683 | 17,83 |  | Кремній (Si) |

**6. ВИСНОВОК.**

У ході виконання даної лабораторної роботи, було проведено попереднє теоретичне вивчення та практичне дослідження випрямних діодів: їх фізичні властивості та основні технічні параметри германієвих і кремнієвих діодів виходячи з їх ВАХ.