Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ

про виконання практичного заняття №3

з курсу: «Твердотільна електроніка - 1»

Виконала: Калюга Богдана

Прийняв: Королевич Л. М.

Київ – 2020

Завдання: дано плавний p-n перехід. Градієнт концентрації донорних домішок *ND'*, акцепторних домішок – *NA'*. Виконати розрахунки для матеріалу Mat. При розрахунках вважати що температура навколишнього середовища рівна *T*=300 К. Значення *NA'*, *ND'*, Mat визначаються із таблиці за варіантом, вказаним викладачем (такі саме як у практичній роботі №2).

Побудувати графіки розподілу електричного поля і електричного потенціалу та енергетичні діаграми ідеалізованого p-n переходу. Розрахувати відстань між металургійною і реальною межами поділу p-n переходу. Розрахунки і побудови робити в рівноважному стані, а також при двох прикладених зовнішній напругах: (0,8)·φ0 і (−2)·φ0 (побудови для всіх трьох випадків робити на одному графіку з однаковим масштабом).

В кінці звіту навести табличку з основними (контрольними) величинами:

1. ширина p та n області (в рівноважному стані, а також при двох прикладених зовнішній напругах: (0,8)·φ0 і (−2)·φ0).

2. висота потенціального бар'єру (в рівноважному стані, а також при двох прикладених зовнішній напругах: (0,8)·φ0 і (−2)·φ0).

3. максимальне поле для (в рівноважному стані, а також при двох прикладених зовнішній напругах: (0,8)·φ0 і (−2)·φ0).

4. Енергія рівню Фермі відносно дна/стелі зони провідності/валентної зони (1 значення - в рівноважному стані з вказівкою в якій області та відносно якого рівня енергії).

5. Відстань між металургійною та реальною межами.

Дано: матеріал Si; ; ; ε=11,9; ε0=8,85·10-14 (Ф·см-1) (Фм-1); *Т*=300 (К); для даної температури φТ=25,8·10-3 (В).

Формули для розподілу електричного поля в області *n* та в області *p* (1):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Формули для ширин областей об’ємного заряду (2):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Вираз для дифузійного потенціалу прийме вигляд (3):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Розглянемо перший випадок для рівноважного стану.

Дифузійний потенціал та ширина переходу шукається за допомогою розв’язку системи двох нелінійних рівнянь, укладеної раніше (5):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Розв’яжемо систему (5) чисельно за допомогою середовища Мatlab.

Програмно розв’язуємо дану систему двох нелінійних рівнянь за допомогою чисельних методів.

Таким чином, для рівноважного стану дифузійний потенціал рівний φ0=0,7524 (В).

Підставивши отримане значення в одне з двох рівнянь системи (5), одержимо значення ширини переходу *l*0:



|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Одразу, на основі отриманого розв'язку, розрахуємо ширину областей об'ємного заряду *ln* та *lp*, підставивши φ0 та *l0* у формули (2):

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Проведемо розрахунки для нерівноважного стану. Запишемо формулу для знаходження ширини переходу, підставивши замість φ0 згідно з виразом (3) φ0–*U* (6):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Таким чином, для нерівноважного стану дифузійний потенціал рівний φ0=0,7262 (В) при прямому зміщенні.

Підставивши отримане значення в одне з двох рівнянь системи (6), одержимо значення ширини переходу *l*0:



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Одразу, на основі отриманого розв'язку, розрахуємо ширину областей об'ємного заряду *ln* та *lp*, підставивши φ0 та *l0* у формули (7):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |
| де *U*=0,8·φ0, [В]. |  |

Розглянемо третій випадок, коли прикладається напруга при зворотньому зміщенні. Тоді вираз для дифузійного потенціала приймає вигляд (3).

Запишемо формулу для знаходження ширини переходу, підставивши замість φ0 згідно з виразом (4) φ0−*U* (8):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Таким чином, для нерівноважного стану дифузійний потенціал рівний φ0=0,7741 (В) при зворотньому зміщенні.

Підставивши отримане значення в одне з двох рівнянь системи (8), одержимо значення ширини переходу *l*0:



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Одразу, на основі отриманого розв'язку, розрахуємо ширину областей об'ємного заряду *ln* та *lp*, підставивши φ0 та *l0* у формули (9):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |
| де *U*=−2·φ0, [В]. |  |

Відповідно до формул (1) побудуємо графік розподілу електричного поля 

Рис. 1 – Розподіл електричного поля *E(x)*

Формули для розподілу електричного заряду в області *n* та в області *p* (10):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

За формулою для потенціала, будуємо графік розподілу потенціала в області об'ємного заряду. Для побудови графіків в рівноважному стані та при двох прикладених напругах, будемо по черзі брати значення φ0, *ln* та *lp*, розрахованих раніше, коли шукався розподіл електричного поля.

Отже, для рівноважного стану:

φ0=0,7524 (В),

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для прикладеної напруги 0,8·φ0:

φ0=0,7262 (В),

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для прикладеної напруги −2·φ0:

φ0=0,7741 (В),

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

На рисунку 2 зобразимо розподіл електричного потенціалу:



Рис. 2 – Розподіл електричного потенціалу φ*(x)*

Зонна діаграма. Необхідно знайти значення ширини забороненої зони. Заборонена зона є півсумою значень зони провідності та валентної зони (11):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

де *EC* – енергія дна зони провідності, [еВ]; *EV* – енергія верха валентної зони, [еВ].

Знайдемо рівень Фермі в *n* та *p* областях за формулами (12):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

де *Ei* – значення енергії середини забороненої зони, [еВ]; , – значення енергій рівня Фермі в *p* та *n* областях відповідно, [еВ];

Знайдемо різницю між фізичною та металургійною межею p-n переходу. Фізичною межею *р-п* переходу є площина, що проходить через точку, де рівень Фермі перетинає середину забороненої зони. Відповідно до цього визначення укладемо систему трьох рівнянь (13):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

де = ·*x=*· *ln*, де =·*x=*· *lp* – концентрація, що розписана через градієнт концентрації;

Перепишемо два перших рівняння системи (13), підставляючи замість концентрацій їх градієнти (14):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

Розв’язавши за допомогою чисельних методів систему рівнянь відносно *E* та *x*, отримали наступне значення: δ=8,576·10-6 (см). Це значення і є різницею між металургійною та фізичною межею переходу.

Відповідно до усіх співвідношень, побудуємо графік зонної діаграми діода (рис. 3):

Рис. 3 – Графік зонної діаграми діода

За побудовани графіком бачимо, що точка перетину рівня Фермі *EF* і рівня середини забороненої зони *Ei* буде не на металургійній межі, а у високоомній області *n*.  
 Систематизуємо усі отримані дані у вигляді таблиці (табл. 1):

Таблиця 1 – Розраховані значення:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | U=0 | U=0,8 |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |