

ДОДАТОК Б

тунельного діоду

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОННОЇ ТА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА МЕЕПП

Атестаційна робота

на тему: «Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику
резонансно тунельного діоду»

Керівник: доц. каф. МЕЕПП Пащенко О.Г.

Виконавець: студент 2-го курсу, групи МНПм-19-1 Гаврішев В.Р.

ХАРКІВ 2020

1

Атестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Об'єктом дослідження є п'ятишарова активна область резонансно-тунельного діоду, яка являє собою квантово обмежений шар розташований між двома обмежуючими бар'єрами, які, у свою чергу, знаходяться поміж додатковими буферними шарами.

Мета роботи – визначити як конструктивні параметри буферних шарів активної області впливають на вольт-амперну характеристику резонансно-тунельного діоду.

Метод дослідження – квантово-механічне моделювання процесу тунелювання носіїв електричного струму крізь активну область резонансно-тунельного діоду, за допомогою розв'язання стаціонарного рівняння Шредінгера.

2

Розроб.	Гаврішев В.Р.			<i>ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНЕЛЬНОГО ДІОДУ</i>	
Перев.	Пащенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 1
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно-тунельного діоду»

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

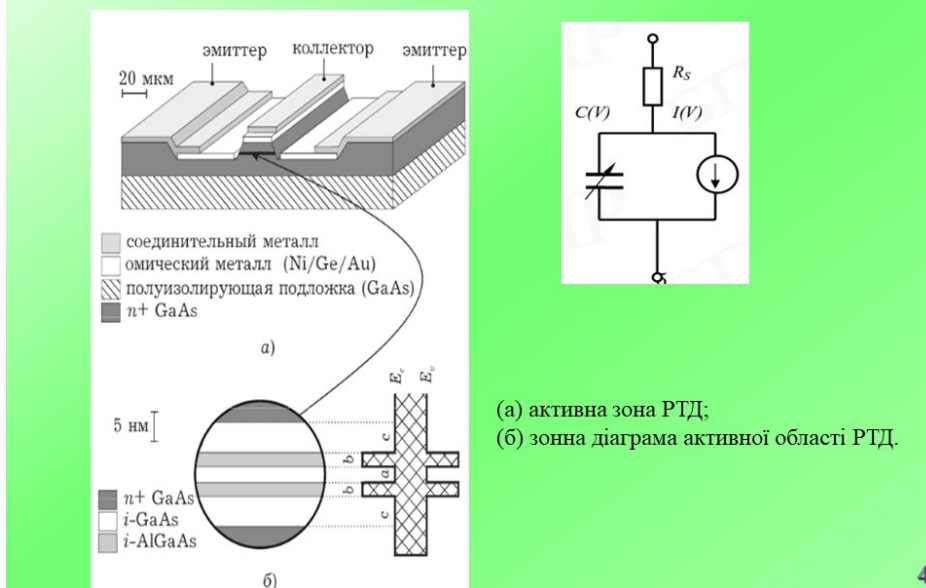
- розробка і вдосконалення наноелектронного приладу не оптоелектронного призначення;
- освоєння НВЧ і терагерцового діапазонів довжин хвиль – підвищення швидкодії напівпровідникових засобів;
- встановлення чіткого взаємозв'язку між нанорозмірними параметрами приладу і його макроскопічними характеристиками в рамках однієї обраної моделі;
- дослідження застосованості обраної моделі до ускладнення конструкції приладу, що розглядається.

3

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно-тунельного діоду»

Типова топологія резонансно-тунельного діоду і його еквівалентна схема



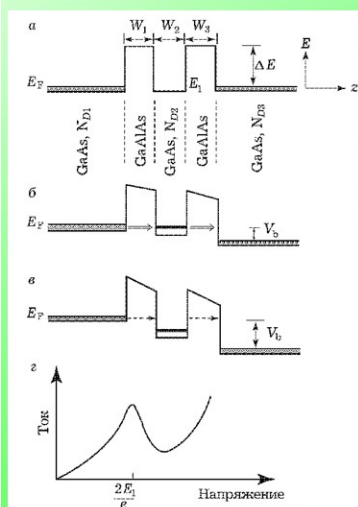
4

Розроб.	Гаврішев В.Р.			<i>ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНЕЛЬНОГО ДІОДУ</i>	
Перев.	Пащенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 2
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

Агестайна работа на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Просторова зміна енергії електрона в складній КЯ з подвійним бар'єром у резонансно тунельному приладі GaAs/GaAlAs/GaAs/GaAlAs/GaAs при трьох напругах зміщення



- а) нульовий зсув;
 б) напруга зміщення $V_b = 2 \cdot E_1/q$;
 в) $V_b > 2 \cdot E_1/q$ де E_1 - енергія електронної підзони всередині КЯ GaAs;
 г) схематичні I – V характеристики приладу, на яких видно область НДО для напруги зсуву трохи вище $2E_1/q$;

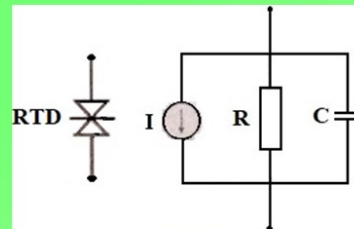
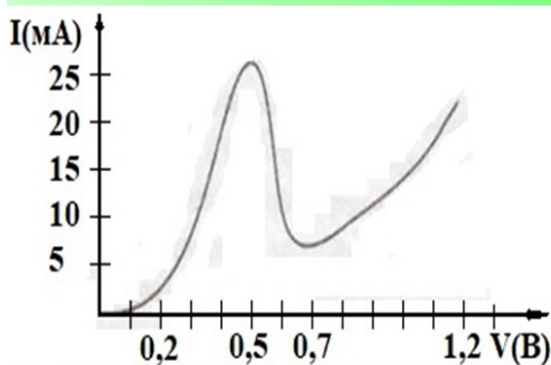
5

Агестайна работа на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Розрахункова ВАХ RTD для схематичних розрахунків

Символ і електрична еквівалентна схема RTD



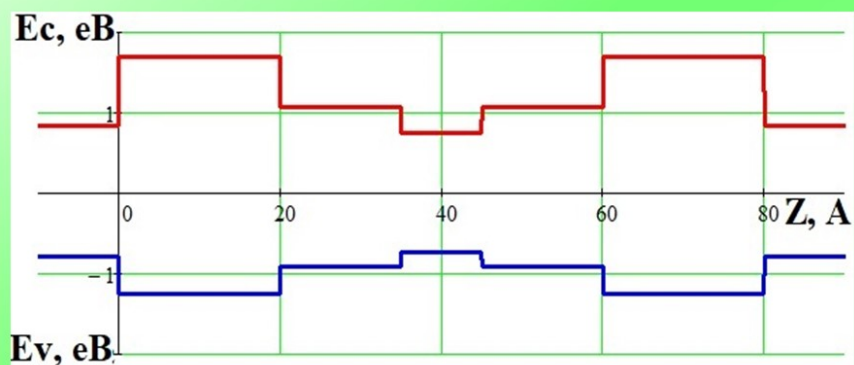
6

Розроб.	Гаврішев В.Р.			ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНельНОГО ДІОДУ	
Перев.	Пащенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 3
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Модель зонної діаграми РТД з буферними шарами



7

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Вихідна система рівнянь

$$-\frac{\hbar^2}{2m_1^*} \cdot \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z^2} + V_1 \varphi_1 = E \varphi_1$$

.....

$$-\frac{\hbar^2}{2m_7^*} \cdot \frac{\partial^2 \varphi_7}{\partial z^2} + V_7 \varphi_7 = E \varphi_7$$

8

Розроб.	Гаврішев В.Р.			<i>ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНЕЛЬНОГО ДІОДУ</i>	
Перев.	Пашенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 4
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -\frac{k_2 m_1}{k_1 m_2} & \frac{k_2 m_1}{k_1 m_2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{ik_2 d_1} & -e^{-ik_2 d_1} & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{ik_2 d_1} & -e^{-ik_2 d_1} & -\frac{k_3 m_2}{k_2 m_3} & \frac{k_3 m_2}{k_2 m_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{ik_3 a} & e^{-ik_3 a} & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{ik_3 a} & -e^{-ik_3 a} & -\frac{k_4 m_3}{k_3 m_4} & \frac{k_4 m_3}{k_3 m_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{ik_4 d_2} & e^{-ik_4 d_2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{ik_4 d_2} & -e^{-ik_4 d_2} & -\frac{k_5 m_4}{k_4 m_5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

9

Агестаційна робота на тему:

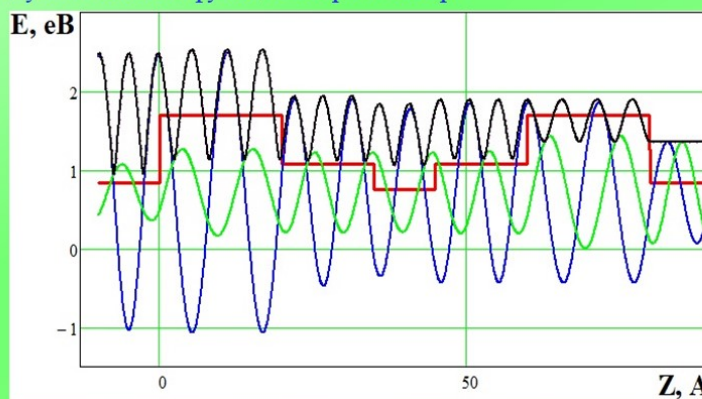
«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Складові хвильової функції, показані на фоні межі зони провідності активної області РТД

Реальна частина хвильової функції – синій колір;

Уявна частина хвильової функції – зелений колір;

Квадрат модуля хвильової функції – чорний колір.



10

Розроб.	Гаврішев В.Р.			<i>ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНІЛЬНОГО ДІОДУ</i>	
Перев.	Пащенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 5
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

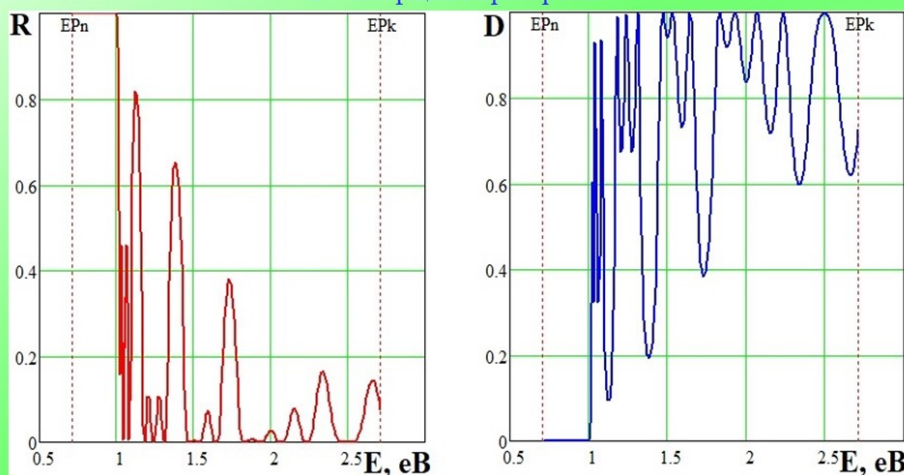
Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Діаграми коефіцієнтів відбиття і прозорості розгляданої структури

R – коефіцієнт відбиття;

D – коефіцієнт прозорості.

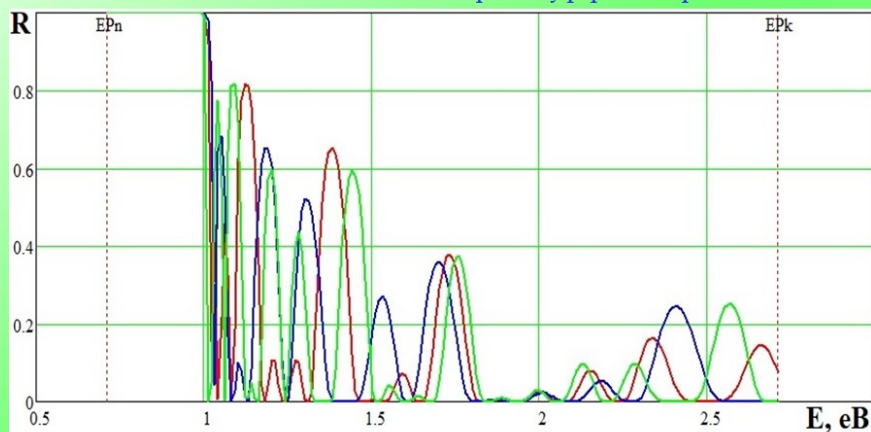


11

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Діаграма коефіцієнту відбиття розгляданої структури розраховані при зменшенні і збільшенні ширини буферних шарів



початкові значення коефіцієнтів – червона крива;

значення коефіцієнтів при зменшенні ширини буферних шарів – синя крива;

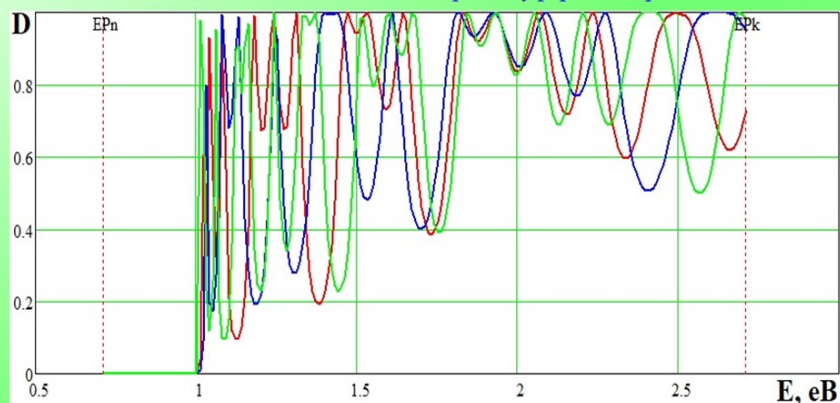
значення коефіцієнтів при збільшенні ширини буферних шарів – зелена крива. 12

Розроб.	Гаврішев В.Р.			<i>ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНЕЛЬНОГО ДІОДУ</i>	
Перев.	Пащенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 6
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

Агестайна работа на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Діаграма коефіцієнту прозорості розгляданої структури розраховані при зменшенні і збільшенні ширини буферних шарів



початкові значення коефіцієнтів – червона крива;

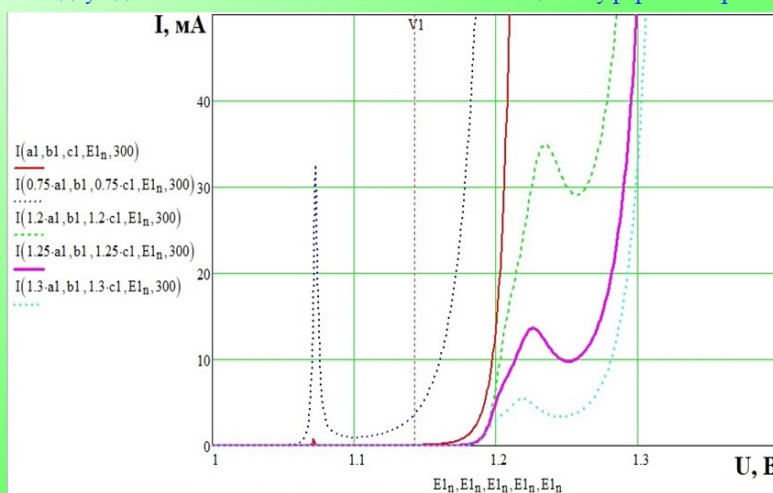
значення коефіцієнтів при зменшенні ширини буферних шарів – синя крива;

значення коефіцієнтів при збільшенні ширини буферних шарів – зелена крива. 13

Агестайна работа на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

Вольт – амперна характеристика резонансно-тунельного діоду розрахована для випадку однакового зменшення / збільшення товщини буферних шарів



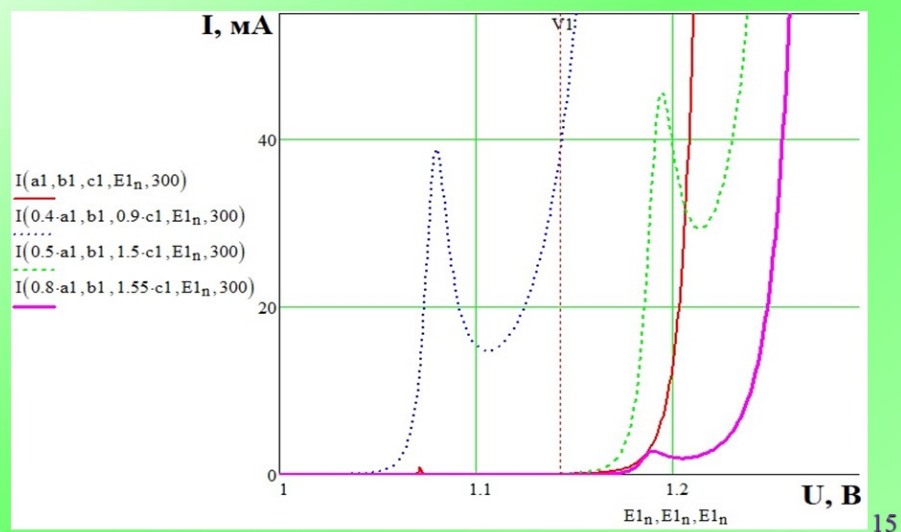
14

Розроб.	Гаврішев В.Р.			ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНЕЛЬНОГО ДІОДУ	
Перев.	Пащенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 7
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно-тунельного діоду»

Вольт – амперна характеристика резонансно-тунельного діоду розрахована для випадку неоднакового зменшення / збільшення товщини буферних шарів

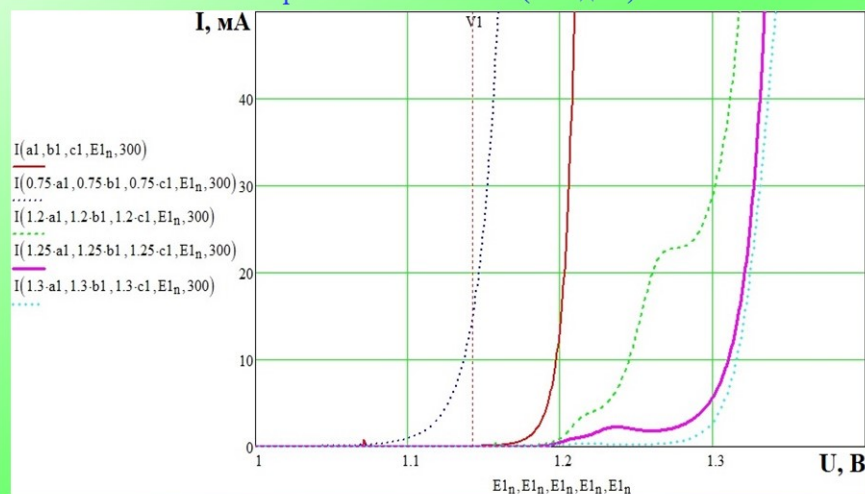


15

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно-тунельного діоду»

Вольт – амперна характеристика резонансно-тунельного діоду розрахована для випадку однакового зменшення / збільшення товщини буферних шарів разом з шириною квантової ями (колодязя)



16

Розроб.	Гаврішев В.Р.			ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНЕЛЬНОГО ДІОДУ	
Перев.	Пащенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 8
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

ВИСНОВКИ

ВАХ РТД за певних параметрів структури має яскраво виражену ділянку негативного диференціального опору, пік якого зменшується з ростом ширини буферних шарів. Відмінною особливістю отриманої ВАХ РТД, є також і те, що зростанням ширини буферних шарів пік і долина ділянки ВАХ з негативним диференціальним опором поступово зменшуються і «розмиваються», причому за певних товщин буферних шарів ділянка НДО майже повністю зникає.

При несинхронному зменшенні ширини буферних шарів ділянка НДО виділяється різко, хоча і дещо розширюється, однак співвідношення струмів «піка» і «долини» досягає суттєвих значень. Також досить невелике відхилення у зменшенні/збільшенні ширини буферних шарів призводить до зменшення ділянки НДО і зсуву її до більших значень напруги зміщення. Подальше збільшення відхилення призводить до майже повного розмивання і зникнення ділянки НДО. Таку поведінку кривих можна пояснити явищем порушення просторової когерентності хвильових функцій в наслідок непружної взаємодії (неповного відбиття і неповного проникнення) частинок з потенційними бар'єрами не межах металургійних контактів структури.

При синхронному збільшенні ширини буферних шарів і квантової ями (квантового колодязя), ділянок з НДО на ВАХ РТД майже не спостерігається. Така поведінка кривих може бути пояснена тим, що збільшення ширини квантової ями, призводить до збільшення її місткості, і як наслідок, до збільшення кількості енергетичних станів частинок і зменшенню відстані між ними.

17

Агестаційна робота на тему:

«Вплив буферних шарів на вольт-амперну характеристику резонансно тунельного діоду»

***Дякую за
увагу!***

18

Розроб.	Гаврішев В.Р.			<i>ВПЛИВ БУФЕРНИХ ШАРІВ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ РЕЗОНАНСНО- ТУНЕЛЬНОГО ДІОДУ</i>	
Перев.	Пашенко О.Г.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				МНПм – 19 – 1	Аркуш 9
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів 9