

А.О. Дружинін, І.П. Островський, Ю.Р. Когут, С.І. Нічкало  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра напівпровідникової електроніки

**МАГНЕТООПІР НИТКУВАТИХ КРИСТАЛІВ Si-Ge  
 З КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ДОМІШКИ В ОКОЛІ КОНЦЕНТРАЦІЙНОГО  
 ПЕРЕХОДУ МЕТАЛ-ДИЕЛЕКТРИК ЗА КРІОГЕННИХ ТЕМПЕРАТУР**

*Ó Дружинін А.О., Островський І.П., Когут Ю.Р., Нічкало С.І., 2008*

A.A. Druzinin, I.P. Ostrovskii, Iu.R. Kogut, S.I. Nichkalo

**MAGNETORESISTANCE OF Si-Ge WHISKERS WITH IMPURITY  
 CONCENTRATION IN THE VICINITY TO METAL-INSULATOR  
 TRANSITION AT CRYOGENIC TEMPERATURES**

*Ó Druzinin A.A., Ostrovskii I.P., Kogut Iu.R., Nichkalo S.I., 2008*

Наведено результати дослідження магнетоопору ниткуватих кристалів (НК) Si-Ge з вмістом Ge 1–5 ат.%, легованих домішкою В та комбінацією В+Hf до концентрацій  $10^{17}$ – $5 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>, за низьких температур 4,2–77 К та сильних магнітних полів до 14 Тл. Показано, що характер залежностей магнетоопору від магнітного поля істотно відрізняється для зразків з різною концентрацією легуючої домішки. Висловлено припущення, що введення домішки Hf у ростову шихту сприяє очищенню НК Si-Ge від домішки бору, який входив в НК під час росту.

The paper contains results of investigation of magnetoresistance (MR) for Si-Ge whiskers with 1–5 % Ge content doped with B and B+Hf impurities up to concentrations  $10^{17}$ – $5 \cdot 10^{18}$  cm<sup>-3</sup> at low temperatures 4,2–77K in high magnetic field up to 14T. A character of MR dependency on magnetic field intensity was shown to differ substantially for samples with various doping impurities concentrations. It has been assumed that introducing of Hf impurity into the growth tube leads to purification of Si-Ge whiskers from doping impurity during the growth.

**Вступ**

Дослідження магнетоопору (МО) ниткуватих кристалів (НК) твердих розчинів Si-Ge дає змогу поглибити знання про характер їх провідності в області кріогенних температур, а також визначити умови легування кристалів для створення сенсорів, працездатних в сильних магнітних полях. Так, електропровідність носіїв заряду в НК Si-Ge вивчали у роботі [1]. Чимало робіт [2–4] присвячено теоретичному та експериментальному вивченню МО кристалів Si та Ge. У роботах [5–7] наводяться результати дослідження електропровідності та МО НК Si-Ge, легованих домішкою бору до концентрацій поблизу переходу метал-діелектрик (ПМД), при кріогенних температурах. Зокрема, досліджено поведінку магнетоопору залежно від вмісту германію в НК Si-Ge, температури та деформації кристалів, виявлено явище від'ємного магнетоопору (ВМО), визначені концентрації домішки в НК для створення сенсорів, працездатних у сильних магнітних полях. Становить інтерес створення таких сенсорів з підвищеною радіаційною стійкістю. Для цього кристали, як правило, легують рідкоземельними домішками. Зокрема в [8] досліджено особливості домішкової провідності НК Si-Ge, легованих комбінацією домішок Hf+В. Однак магнітоопір таких кристалів поки що не вивчали.

Метою роботи є дослідження магнетоопору НК Si-Ge з вмістом Ge 1–5 ат.%, легованих домішкою В та комбінацією В+Hf до концентрацій  $10^{17}$ – $5 \cdot 10^{18}$   $\text{см}^{-3}$ , за низьких температур 4,2–77 К та сильних магнітних полів до 14 Тл для з'ясування можливості створення радіаційно стійких сенсорів теплових величин, працездатних в сильних магнітних полях.

### Методика експерименту

НК Si-Ge вирощували методом хімічних транспортних реакцій у закритій бромідній системі з використанням домішок бору, золота та платини. Також, використовуючи домішку гафнію, одержували НК Si-Ge <В+Hf>. Температура зони джерела становила 1370 К, температура зони кристалізації – 1070–1150 К. Склад твердого розчину контролювали за допомогою методу мікрозондового аналізу: вміст Ge в НК становив 1–5 ат. %. Діаметр НК становив 40–50 мкм. Досліджували кристали з концентрацією акцепторної домішки, що перекривала діапазон від глибокої діелектричної фази ПМД ( $\sim 10^{17}$   $\text{см}^{-3}$ ) до критичної концентрації ПМД ( $\sim 5 \cdot 10^{18}$   $\text{см}^{-3}$ ).

Вимірювалися температурні залежності (4,2–300 К) електропровідності НК Si-Ge та їх магнетоопір в інтервалі магнітних полів з індукцією 0–14 Тл при температурах 4,2–77 К.

### Результати досліджень

Типові температурні залежності опору досліджуваних НК Si-Ge показані на рис. 1. Як очевидно з рис. 1, для сильнолегованого зразка з концентрацією домішки в безпосередній близькості до ПМД спостерігається залежність  $\rho(T)$  з максимумом поблизу 50 К, який ймовірно пояснюється особливостями стрибкової провідності по домішкській зоні в кристалах в області низьких температур 4,2–50 К [1]. Для решти зразків спостерігається типовий напівпровідниковий хід зміни опору з температурою (зменшення опору НК за збільшення температури).

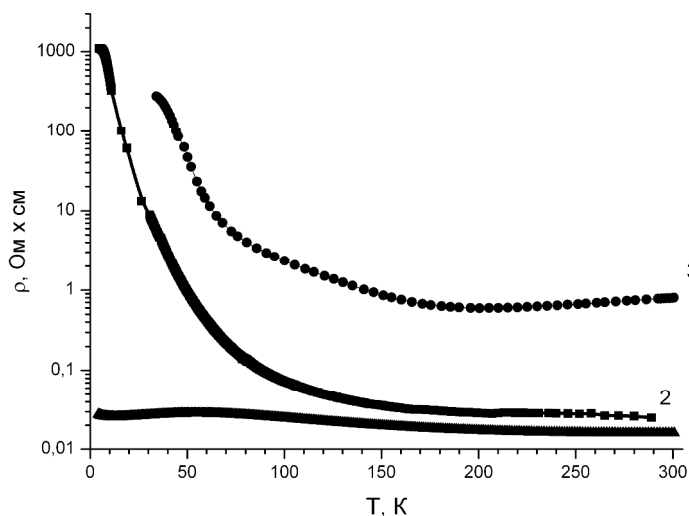


Рис. 1. Температурна залежність питомого опору НК Si-Ge легованих бором:  
 1 –  $N_A \sim 5 \times 10^{18}$   $\text{см}^{-3}$ ,  $\rho_{300} = 0,013$   $\text{Ом} \cdot \text{см}$ ; 2 –  $N_A \sim 1 \times 10^{18}$   $\text{см}^{-3}$ ,  $\rho_{300} = 0,025$   $\text{Ом} \cdot \text{см}$ ;  
 3 – комбінацією <В+Hf>,  $N_A \sim 1 \times 10^{17}$   $\text{см}^{-3}$ ,  $\rho_{300} \sim 1$   $\text{Ом} \cdot \text{см}$

Польові та температурні залежності магнетоопору НК Si-Ge <В>, <В+Hf> зображено на рис. 2–4. Зрозуміло, що характер залежностей магнетоопору  $\Delta R_B/R$  від магнітного поля В істотно відрізняється для зразків з різною концентрацією легуючих домішок. Польову залежність МО цих кристалів можна апроксимувати степеневою функцією  $\frac{\Delta R}{R} \sim C \cdot B^n$  ( $C = \text{const}$ , В – індукція магнітного поля, n – показник степеня, різний для кристалів з різним рівнем легування).

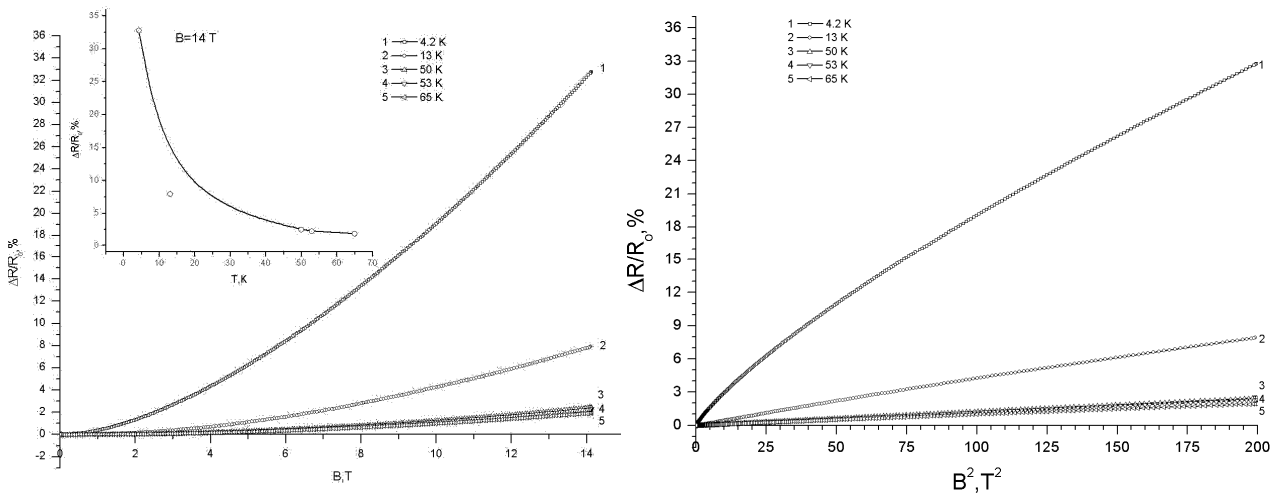


Рис. 2. Магнетоопір низькоомних НК Si-Ge<B> ( $N_A \sim 5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) зразків з питомим опором  $0,013 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

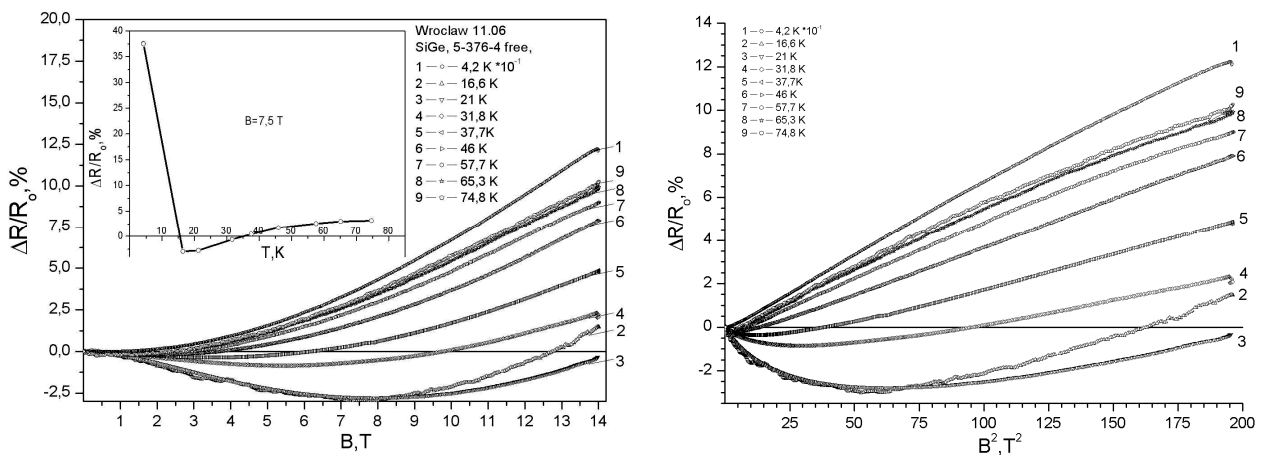


Рис. 3. Магнетоопір НК Si-Ge ( $N_A \sim 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $\rho = 0,025 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ).  
На вставці показана температурна залежність магнетоопору НК

Для НК з концентрацією домішки  $N_a = (1-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  магнетоопір за температур вище 15–30 К залежить від магнітного поля квадратично  $\Delta R_B/R \sim B^2$  (рис. 2, 3). За температури рідкого гелію і при температурах 50–75 К (зразки з концентрацією  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) незначно відхиляється від квадратичного закону. В інтервалі температур 10–30 К у зразках з концентрацією домішки  $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  спостерігається ВМО, який зберігається в інтервалі магнітних полів 0,5–14 Тл і слабо залежить від взаємної орієнтації струму і поля. Максимальне значення ВМО досягає 3 % при магнітному полі 7,5 Тл і температурі 20 К. Аналогічний ефект спостерігався в [4] для НК Si р-типу з ізолюючого боку ПМД.

Залежність магнетоопору НК Si-Ge <B> від температури є типовою: з ростом температури МО спадає (див вставку рис. 2, 3). Натомість характер температурних залежностей МО НК Si-Ge<B+Hf> істотно відрізняється від температурних залежностей МО НК, легованих домішкою бору: магнетоопір не спадає з ростом температури, і на його температурній залежності спостерігається максимум (див. вставку на рис. 4). З підвищенням температури від 30 до 50 К магнетоопір зростає від 10 до 60 %, досягає максимуму за  $T=50 \text{ К}$ , а далі повільно зменшується до 45 % за  $T=77 \text{ К}$ . Крім того, в міру зростання температури спостерігається зміна показника степеня  $n$

в залежності  $\frac{\Delta R}{R} \sim C \cdot B^n$ , де  $C$  – константа. Визначено, що за  $T < 45 \text{ К}$   $n \approx 0,8$ , а за  $T > 45 \text{ К}$   $n \approx 1,2 \div 1,3$  (рис. 5).

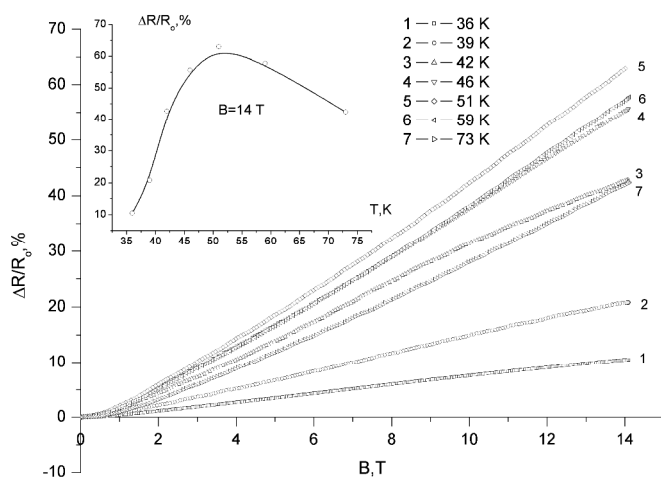


Рис. 4. Поведінка магнетоопору слабо легованих НК SiGe <B+Hf> в магнітному полі та інтервалі температур 35–75 K

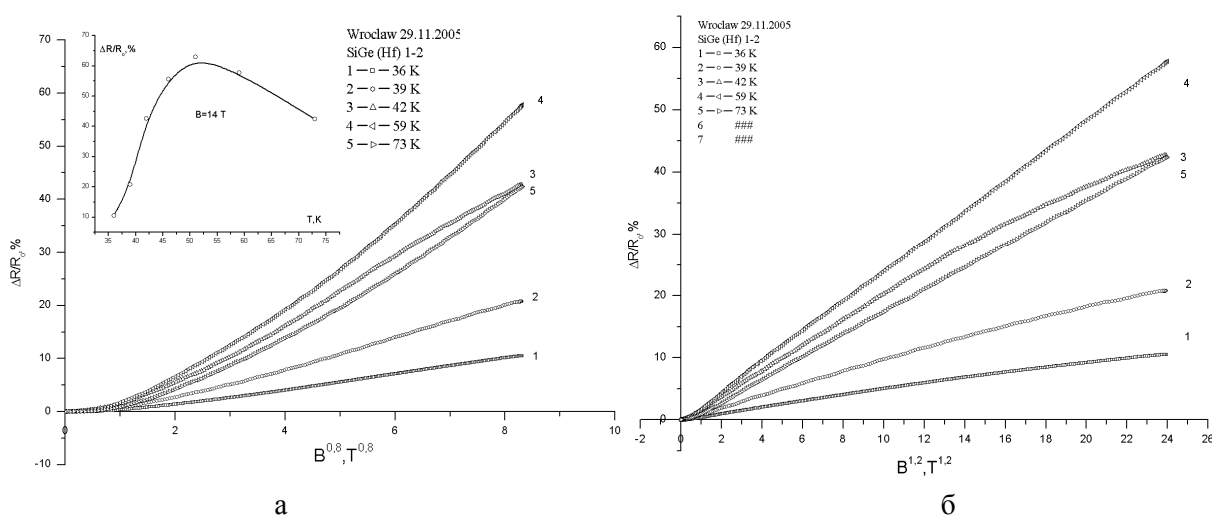


Рис. 5. Залежність МО слабо легованих НК SiGe <B+Hf> в інтервалі температур 35-75K: а – від  $B^{0,8}$ ; б – від  $B^{1,2}$

Виконане опромінення НК Si-Ge <B>, <B+Hf>  $\gamma$ -квантами з енергією  $\sim 1,2$  MeV до дози  $6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  не спричинило жодних змін у провідності та магнетоопорі кристалів. Відомо [9], що така доза зумовлює певні зміни у провідності об'ємного Si-Ge. Тому можна стверджувати, що НК Si-Ge володіють підвищеною радіаційною стійкістю.

### Обговорення результатів

Оскільки об'єктами нашого дослідження є ниткуваті кристали, необхідно розглянути можливість впливу на вимірювані параметри таких факторів, як: 1) розмірний ефект; 2) характер розподілу германію та домішок в твердому розчині Si-Ge.

1. Можливий прояв розмірних ефектів в НК розглянемо в таких трьох аспектах: а) мікроскопічний (квантовий) розмірний ефект; б) мезоскопічний розмірний ефект (пов'язаний з впливом поверхні на властивості кристалів); в) макроскопічний розмірний ефект (його виникнення переважно зумовлене неідентичністю зразків різного розміру, тому такий ефект доцільніше називати геометричним).

а) у попередній роботі [10] ми показали, що вклад квантового розмірного ефекту в електрофізичні параметри НК варто враховувати у кристалах з поперечними розмірами

$$a = \frac{\hbar p}{\sqrt{2m_0 kT}}, \quad (1)$$

де  $m_o$  – ефективна маса дірок;  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – абсолютна температура. Для НК Si p-типу провідності  $a \approx 100$  нм.

Враховуючи, що діаметр досліджених нами НК  $d = 40\text{--}50$  мкм є набагато більший від оціненого параметра  $a$ , можна зробити висновок, що впливом квантових розмірних ефектів на параметри кристалів можна знехтувати.

б) У наших попередніх роботах [11, 12] ми виявили низку мезоскопічних ефектів в НК Si та Si-Ge. Зокрема було показано, що у кристалах з діаметрами  $d < 1$  мкм спостерігається зміна параметра ґратки [11] та оптичних характеристик кристалів [12]. Ці ефекти пояснювалися впливом поверхні на підповерхневі шари кристала малого діаметра. Властивості НК більших діаметрів  $d > 1$  мкм не відрізнялися від властивостей об'ємних кристалів. Останній висновок підтвердився під час вивчення електрофізичних параметрів НК Si з діаметрами 20–60 мкм [13].

Оскільки досліджувані нами НК мають діаметри  $d = 40\text{--}50$  мкм, то можна вважати, що поверхневий вплив на їх електрофізичні параметри буде незначний.

2. Відомо [14], що як електропровідність, так і магнетопір значною мірою залежить від характеру розподілу домішок у кристалах. Зокрема утворення домішкових кластерів у кристалах Si може призводити до зменшення їх магнетопору [14]. Тому для пояснення експериментальних результатів важливо знати інформацію про розподіл Ge та домішок в НК. Наші попередні дослідження НК Si-Ge методом мас-спектроскопії [11] показали, що як германій, так і домішки розподілені в них однорідно, тобто утворення кластерів не спостерігається.

Наведені вище міркування свідчать, що досліджувані нами НК Si-Ge можна розглядати як об'ємні матеріали з однорідним розподілом домішки та германію в об'ємі кристала.

Відомо [2], що квадратичний закон зміни магнетопору з полем відповідає зонній провідності, або провідності по локалізованих станах верхньої зони Хаббарда  $A^+$  (або  $D$  для напівпровідників n-типу провідності) з енергією активації  $\epsilon_2$ . Раніше [1] ми показали, що в НК з концентраціями домішок в безпосередній близькості до ПМД ( $\sim 10^{18}$  см<sup>-3</sup>) при 4,2 К дійсно спостерігається стрибова провідність з енергією активації  $\epsilon_2$ . Спостереження квадратичної польової залежності магнетопору у досліджуваних зразках p-типу провідності з концентрацією бору  $(1\text{--}5) \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup> і питомим опором 0,013–0,025 Ом·см (рис. 2, 3) свідчить про те, що в цьому випадку реалізується провідність по локалізованих станах ( $A^+$ ) верхньої зони Хаббарда.

Від'ємний магнетопір, як правило, спостерігається у зразках з концентрацією домішки, близькою до критичної концентрації для ПМД. Ми виявили ВМО в НК з ізолюючого боку ПМД (рис. 3). Припускаємо, що як і в [7] в таких зразках поява ВМО може бути спричинена утворенням діркових пар внаслідок антиферромагнітної обмінної взаємодії магнітних моментів під час стрибкової провідності по делокалізованих станах верхньої зони Хаббарда [15]. Визначене значення енергії активації цієї провідності становить  $\epsilon_2 = 4,5$  меВ. Характерною особливістю ефекту ВМО у досліджуваних зразках, як і в роботі [19], де досліджували МО сильно легованого Ge n-типу, є відсутність квадратичної залежності МО від магнітного поля в області порівняно слабких полів (рис. 6). Автори [19] пояснювали ефект виникнення ВМО внаслідок утворення “двійок” – двох станів зі спареними спінами, щодо близьких між собою і віддалених від інших, які існують поблизу рівня Фермі. Всередині такої “двійки” очевидним є виникнення сильної антиферромагнітної взаємодії, яка приводить до спарювання спінів. Ефект ВМО, пов'язується зі зміною густини станів поблизу рівня Фермі з магнітним полем. У разі однократної іонізації “двійки”, її рівень за збільшення магнітного поля зміщується догори. Частина рівнів зміщується донизу, а частина догори, що призводить не тільки до зміщення рівня Фермі, а й до зміни густини станів у його околі. Наслідком цієї моделі мало б бути насичення ефекту МО в достатньо сильному магнітному полі, коли відбудеться повна “перекачка” з “двійок” в “одиноці”. Насправді на рис. 3 помічений незначний ефект насичення МО в сильних магнітних полях. Висока величина магнетопору НК при 4,2 К ймовірно пов'язана з фактом, що  $kT$  є доволі мале для забезпечення провідності по

верхній зоні Хаббарда в таких зразках. Тому, як потрібно було очікувати, ВМО проявляється при вищих температурах 10–30 К.

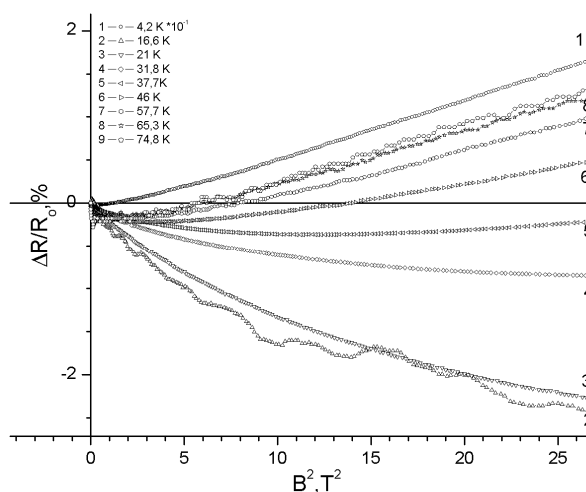


Рис. 6. Від'ємний магнетоопір НК Si-Ge ( $N_A \sim 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $\rho = 0,025 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ) в області слабких магнітних полів

Розглянемо тепер високоомні зразки, леговані комбінацією домішок <B+Hf>. Експоненційне зменшення електропровідності з температурою в області 30–77 К у цих кристалах свідчить про те, що домішка гафнію з бором утворює мілкий акцепторний рівень, що добре узгоджується з результатами роботи [16]. Визначена енергія активації акцепторних домішок у досліджуваних НК становить приблизно 40 меВ. Ця величина є близька до енергії активації бору в твердих розчинах Si-Ge, що дорівнює 44 меВ. За даними роботи [17] гафній може утворювати в р-Si кілька глибоких акцепторних або донорних рівнів. Отже, поведінка електропровідності при комбінованому легуванні бором та гафнієм є не зовсім зрозумілою. Можливо, особливості температурних залежностей електропровідності високоомних зразків НК SiGe <B+Hf> пов'язані з взаємною поведінкою цих домішок ще у разі легування під час росту. Відомо, що рідкоземельні домішки, додані в шихту, сприяють очищенню кристалів від легуючої домішки, до того ж самі у кристал не входять (наприклад, така ситуація спостерігається при легуванні НК GaAs домішкою Gd [18]). Так для легування кристалів бором ми використовували КДБ-01 з питомим опором 0,01 Ом·см. Утворені кристали мали питомий опір  $\sim 1$  Ом·см. Ймовірно, що в цьому випадку відбувається компенсація мілких акцепторів глибокими донорними рівнями домішок Hf чи Au, яке використовується як ініціатор росту НК. Однак за методикою, описаною в [8], визначено, що зразки НК SiGe <B+Hf> з опором близько 1 Ом·см є слабо компенсованими і концентрації акцепторних і донорних домішок відповідно становлять  $N_A \cong (5-6) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_D \cong 0.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Тому припущення про можливе очищення НК Si-Ge домішкою гафнію під час росту виглядає цілком правомірним.

Виявлений характер температурної зміни магнетоопору НК Si-Ge<B+Hf> може вказувати на зміну характеру розсіювання носіїв заряду у кристалах внаслідок особливостей поведінки рухливості  $\mu$  носіїв заряду із зміною температури, згідно з залежністю  $\Delta R_B/R \sim (\mu B)^n$ : від розсіювання на іонізованих домішках при низьких температурах ( $T < 50$  К) до розсіювання на теплових коливаннях кристалічної ґратки при підвищених температурах ( $T > 50$  К). В області максимуму температурних залежностей магнетоопору ( $T = 30-60$  К) спостерігається змішаний характер розсіювання носіїв заряду в НК Si-Ge <B+Hf>.

Зауважимо, що для з'ясування впливу домішки гафнію на провідність НК Si-Ge і підтвердження висунутих припущень необхідно виконати ще чимало додаткових досліджень електродфізичних параметрів цих кристалів під впливом магнітного поля як за нижчих температур, так і за ширшого діапазону концентрацій домішки Hf.

## Висновки

При криогенних температурах досліджувалися магнетопір та електропровідність НК Si-Ge з концентрацією акцепторної домішки ( $N_a = 1 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) та вмістом Ge ( $x = 1-5$  ат. %), леговані бором та комбінацією бору і гафнію. Магнетопір НК Si-Ge з концентрацією носіїв заряду в околі  $N_c$  описується квадратичною залежністю від магнітного поля і в основному визначається провідністю по локалізованих станах  $A^+$  верхньої зони Хаббарда з енергіями активації  $\varepsilon_2 = 4,5$  меВ. В НК з ізольованого боку ПМД з концентрацією  $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  виявлено ВМО, величина якого досягає 3 % при індукції магнітного поля 0,5–12 Тл і температурі 10–30 К, що ймовірно пояснюється утворенням діркових пар внаслідок антиферромагнітної обмінної взаємодії магнітних моментів під час стрибкової провідності по делокалізованих станах верхньої зони Хаббарда. У високоомних зразках НК Si-Ge  $\langle B+Hf \rangle$  з концентрацією домішок  $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  польові залежності МО є степеневими функціями магнітного поля з показником степеня, що змінюється від  $n \approx 0,8$  до  $n \approx 1,2$  при зміні температури від  $T < 45$  К до  $T > 45$  К відповідно. Така поведінка пояснюється зміною характеру розсіювання носіїв заряду у кристалах внаслідок особливостей температурної поведінки рухливості носіїв заряду: від розсіювання на іонізованих домішках при низьких температурах до розсіювання на теплових коливаннях кристалічної ґратки при підвищених температурах.

Введення домішки Hf у ростову шихту імовірно сприяє очищенню НК Si-Ge від леуючих домішок – бору та золота. Однак для підтвердження висунутого припущення про специфічний прояв домішки гафнію у складно легованих НК вимагає виконання ще чималої кількості досліджень їх електрофізичних параметрів під впливом магнітного поля.

Отримані результати поки що свідчать про неможливість застосування НК Si-Ge  $\langle B+Hf \rangle$  в сенсорах теплових величин. Магнетопір цих кристалів є доволі високим і сильно залежить від температури. Тому, незважаючи на високу радіаційну стійкість, потенційні сенсори теплових величин на основі цих кристалів неможливо застосовувати при дії сильних магнітних полів.

**Робота виконана за часткової підтримки проекту № 184-2007-1 (державний реєстраційний номер 0107U008813).**

1. Дружинін А.О., Лавитська О.М., Варшава С.С., Островський І.П., Лях Н.С. Низькотемпературний транспорт носіїв заряду в складно-легованих ниткоподібних кристалах Si-Ge // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2001. – № 423. – С. 76–80. 2. Шкловський В.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. – М.: Наука, 1979. – 416 с. 3. Rafey E.El., S.A. El.-Atawy. Magnetoresistance of intermediate concentration n-Ge at helium temperature // Can. J. Phys. – 1987. – Vol. 65. – P. 88. 4. Gastner T.G., Shafarman W.N. Brooks J.S., Martin K.P. The metal-insulator transition in n-type Si in high magnetic fields // Solid State Phys. – 1988. – N 5. – P. 366. 5. Дружинін А.О., Островський І.П., Лях Н.С. Провідність і магнітопір ниткоподібних кристалів Si-Ge в області переходу метал-діелектрик // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2002. – № 454. – С. 3–7. 6. Дружинін А.О., Островський І.П., Лях Н.С. Магнітопір ниткоподібних кристалів Ge-Si // Фізика і хімія твердого тіла. – 2003. – Т. 4, № 3. – С. 485–490. 7. Druzhinin A.A., Ostrovskii I.P., Kogut Iu.R. and Warchulska J.K. Magnetoresistance and magnetic susceptibility of doped Si-Ge whiskers // Functional Materials 14. – 2007. – No. 4. 8. Буджак Я.С., Дружинін А.О., Островський І.П., Ховерко Ю.М., Когут Ю.Р. Дослідження домішкової провідності ниткоподібних кристалів SiGe  $\langle Hf, Pt \rangle$  // Фізика і хімія твердого тіла. – 2007. – Т. 8, № 3. – С. 504–509. 9. Коноплева Р.Ф., Остроумов В.И. Взаимодействие заряженных частиц высоких энергий с германием и кремнием. – М.: Атомиздат, 1975. – 128 с. 10. Буджак Я.С., Дружинин А.О., Островский И.П., Лях Н.С. Термоэлектрические эффекты в нитевидных кристаллах германия // Термоэлектричество. – 2003. – № 1. – С. 37–42. 11. Klimovskaya A.I., Ostrovskii I.P., Baitsar R.I., Ostrovskaya A.S. X-ray study of free-standing filament crystals of  $Ge_xSi_{1-x}$  solid solution // J. Phys.: Condens. Matter. – 1995. – 7. – 1229 p. 12. Gule E.G.,

Rudko G.Yu., Klimovskaya A.I., Valakh M.Ya. and Ostrovskii I.P. Visible light emission from free-standing filament crystals of silicon // *Phys. Stat. Solid. B.* – 1997. Vol. 161. – P. 565. 13. Винецкий Р.М., Городничий О.П., Шейхем Э.Г. Особенности рассеяния электронов в кристаллах кремния, содержащих кластеры // *ФТП.* – 1981. – Т. 15, № 5. – С. 1002. 14. Klimovskaya A.I., Ostrovskii I.P., Ostrovskaya A.S. Influence of growth conditions on morphology, composition, and electrical properties of n-Si wires // *Phys. Stat. Sol. A.* – 1996. – Vol. 153. – P. 465–472. 15. Трофимов И.Е., Денин А.И., Мухин В.П. Магнитосопротивление в D̄ зоне / *Препринт.* – М., 1989. 16. Горнык В.С. // *ФТП.* – 1994. – 28. – № 2. – С. 228–231. 17. Утамурадова Ш.Б., Далиев Х.С., Каландаров Э.К., Далиев Ш.Х. Об особенностях поведения атомов лантана и гафния в кремнии // *Письма в ЖТФ.* – 2006. – Т. 32, № 11. – С. 11–15. 18. Заячук Д.М., Рибак В.М., Рибак О.В. Особливості вирощування мікро кристалів GaAs під впливом домішки гадолінію // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2000. – № 397. – С. 11–17. 19. Ионов А.Н., Шлимак И.С., Эфрос А.Л. Отрицательное магнитосопротивление в области прыжковой проводимости мотовского типа // *ФТТ.* – 1975. – 176. – С. 2763–2765.

УДК 621.315.592

О.П. Малик

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра напівпровідникової електроніки

## ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕКТРОНІВ З БЛИЗЬКОДІЮЧИМ ПОТЕНЦІАЛОМ КРИСТАЛІЧНИХ ДЕФЕКТІВ У ВУЗЬКОЩІЛИННОМУ ТВЕРДОМУ РОЗЧИНІ CdHgTe ПРИ НИЗЬКІЙ ТЕМПЕРАТУРІ

О Малик О.П., 2008

O.P. Malyk

## ELECTRON INTERACTION WITH SHORT-RANGE POTENTIAL OF THE LATTICE DEFECTS IN NARROW-GAP CdHgTe SOLID SOLUTION AT LOW TEMPERATURE

© Malyk O.P., 2008

Запропонована близькодіюча модель розсіяння електронів на потенціалі статичної деформації в твердому розчині  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $0 \leq x \leq 0.36$ ). Розраховані температурні залежності рухливості електронів в інтервалі 4.2–300 К.

Model of electron scattering on the short-range potential caused by the static strain field in the solid solution  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $0 \leq x \leq 0.36$ ) is proposed. The temperature dependences of electron mobility in the range 4.2–300 K are calculated.

### Вступ

Розсіяння електронів в твердому розчині  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  розглядали в наближенні часу релаксації в роботах [1–3]. Однак моделі розсіяння, що використовували в цих роботах, мають істотний недолік – вони є далекодіючі. У них припускалося, що носій взаємодіє з усім кристалом (електрон-фононна взаємодія) або носій взаємодіє з потенціалом зарядженої домішки, радіус дії якого ~50 –