

ВПЛИВ ОДНОВІСНОЇ ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА ПОЛОЖЕННЯ ГЛИБОКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РІВНІВ У МОНОКРИСТАЛАХ n-Ge (Au)

Анатолій ФЕДОСОВ¹, Сергій ЛУНЬОВ¹, Дмитро ЗАХАРЧУК¹,
Сергій ФЕДОСОВ², Леонід ПАНАСЮК¹

¹ Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, Луцьк 43018

² Волинський національний університет імені Лесі Українки,
просп. Волі 13, Луцьк 43025

Редакція отримала статтю 10 лютого 2010 р.

Досліджено вплив одновісної пружної деформації X на зміну положення глибокого енергетичного рівня золота $E_C - 0,2$ еВ в n-Ge за даними п'єзохоллефекту $n = f(X)$ в широкій області механічних напруг $X = 0 - 13 \cdot 10^3$ кГ/см² для випадку $X // J // [111]$. Обчислено зміну енергетичної щільності між глибоким рівнем $E_C - 0,2$ еВ і нижніми долинами зони провідності n-Ge (Au) – $5,7 \pm 0,01 \cdot 10^{-3}$ еВ в розрахунку на кожні 10^3 кГ/см². Оцінено ступінь заповнення α глибоких рівнів. Визначено середнє значення коефіцієнта α для різних температур.

Зміна положення глибоких рівнів при деформації може сильно змінювати електрофізичні властивості напівпровідників. Тому проблема глибоких центрів як радіаційного, так і технологічного походження досить актуальна в теоретичному і практичному аспектах [1,2].

Вплив одновісної пружної деформації X на величину зміни положення глибокого рівня золота $E_C - 0,2$ еВ в n-Ge за даними п'єзохоллефекту $n = f(X)$ в широкій області механічних напруг $X = 0 - 13 \cdot 10^3$ кГ/см² досліджували для випадку $X // J // [111]$ [1].

Залежність концентрації електронів у зоні провідності від деформації [3]

$$n_\varepsilon = n \exp\left(-\frac{\Delta E_C}{2\alpha kT}\right), \quad (1)$$

де n – концентрація електронів у недеформованому напівпровіднику; α – коефіцієнт, який змінюється від 1 до 2 залежно від ступеня заповнення рівня; ΔE_C – зміщення того мінімуму зони провідності, який виявився нижнім при деформації.

Для мінімумів типу L_1 , які будуть нижніми при деформації в зоні провідності германію, [4]:

$$\Delta E_C([111]) = -X[(\Xi_d + \frac{1}{3}\Xi_u)(S_{11} + 2S_{12}) + \frac{1}{3}\Xi_u S_{44}], \quad (2)$$

де S_{11} , S_{12} , S_{44} – сталі жорсткості; Ξ_u і Ξ_d – сталі деформаційного потенціалу.

Продиференціюємо (1) по X :

$$\frac{dn_\varepsilon}{dX} = -\frac{n}{2\alpha kT} \exp\left(-\frac{\Delta E_C}{2\alpha kT}\right) \cdot \frac{d(\Delta E_C)}{dX}, \quad (3)$$

де згідно з (2) можна записати:

$$\frac{d(\Delta E_C)}{dX} = -(\Xi_d(S_{11} + 2S_{12}) + \Xi_u S_{11}) = \text{const}. \quad (4)$$

Значення похідної dn_ε/dX у якійсь точці X_1 дорівнює тангенсу кута нахилу дотичної до графіка функції $n_\varepsilon = f(X)$. Тоді похідна dn_ε/dX в точці X_1 становить:

$$\left.\frac{dn_\varepsilon}{dX}\right|_{X_1} = \text{tg}\beta_1. \quad (5)$$

Згідно з (1), (3) і (5) запишемо:

$$\frac{d(\Delta E_C)}{dX} = -\frac{2\alpha_1 kT}{n_\varepsilon(X_1)} \text{tg}\beta_1. \quad (6)$$

Беручи до уваги, що $d(\Delta E_C)/dX = \text{const}$, для двох різних значень X_1 і X_2 згідно з (4) і (6)

$$\frac{\alpha_1 \text{tg}\beta_1}{n_\varepsilon(X_1)} = \frac{\alpha_2 \text{tg}\beta_2}{n_\varepsilon(X_2)}. \quad (7)$$

У [1] показано, що залежність концентрації при температурах $T > T_x$ має вигляд $n \sim \exp\left(-\frac{E_0}{2kT}\right)$. При температурах $T \leq T_x$ під знак експоненти входить повна енергія активації рівня. T_x – певна характеристична температура, яка визначається експериментально з температурної залежності концентрації носіїв струму ($\ln n = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$).

Тоді $\alpha = 1$ при $T \leq T_x$. Згідно з (7)

$$\frac{\alpha_1 \text{tg}\beta_1}{n_\varepsilon(X_1)} = \frac{\text{tg}\beta_0}{n_\varepsilon(X_0)}, \quad (8)$$

де $\text{tg}\beta_0$ – тангенс кута нахилу дотичної до залежності $n_\varepsilon = f(X)$ в точці X_0 , у якій $n_\varepsilon(X_0) = n(T_x)$.

Зміна енергетичної щільності між глибоким рівнем $E_C - 0,2$ еВ і нижніми долинами зони провідності n-Ge (Au) [3]:

$$\frac{d(\Delta E)}{dX} = -\frac{kT}{n_\varepsilon(X_0)} \text{tg}\beta_0. \quad (9)$$

На рис.1 представлена температурна залежність концентрації носіїв струму в кристалах n-Ge (Au) [1].

Згідно з рис. 1, $T_x = 155$ К, а відповідна концентрація $n(T_x) \cong 3 \cdot 10^{13}$ см⁻³.

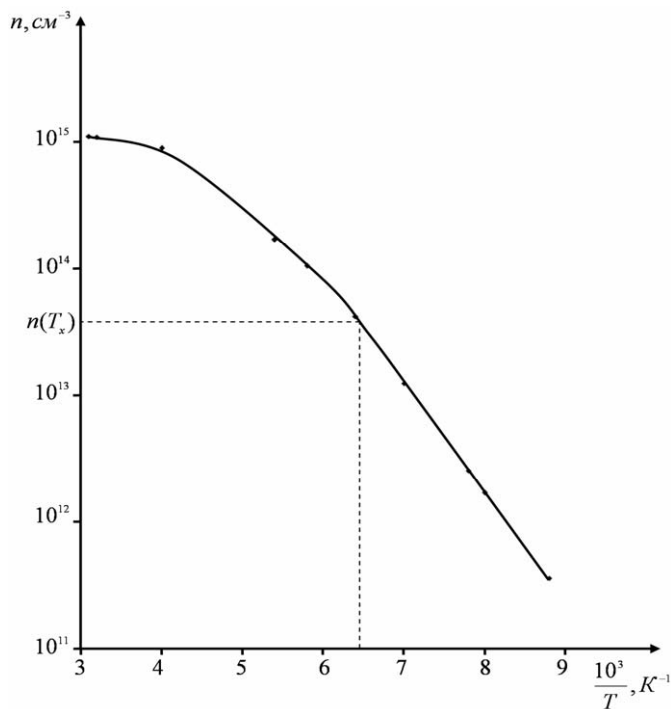


Рис. 1. Температурна залежність концентрації носіїв струму в кристалах n-Ge (Au) [1].

Усереднене значення зміни енергетичної щільності між глибоким рівнем $E_C - 0,2$ еВ і нижніми долинами зони провідності n-Ge (Au) для випадку $X//J//[111]$, визначене за даним методом, становить $(5,7 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ еВ із розрахунку на кожні 10^3 кГ/см² (рис. 2, залежності 1-4), що добре узгоджується зі значеннями, які приведені в роботах [1,2].

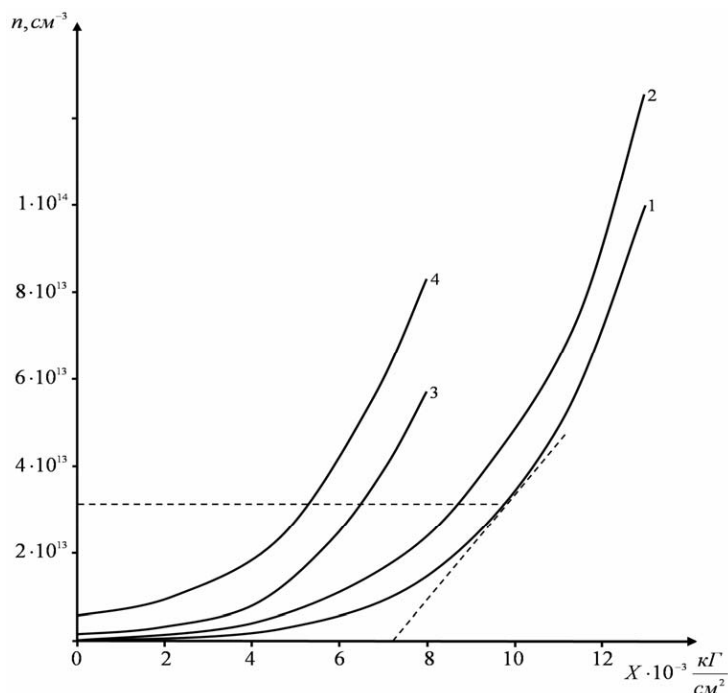


Рис. 2. Залежність $n = f(X)$ у кристалах n-Ge(Au) для випадку $X//J//[111]$ при різній температурі T : 1 – 116 К, 2 – 122 К, 3 – 130 К, 4 – 140 К.

У загальному випадку для довільного значення механічної напруги $X = X_n$ і температури $T_1 \leq T_x$ ($T_1 = \text{const}$) [3]:

$$\alpha_n = \begin{cases} \frac{n_\varepsilon(X_n) \cdot \text{tg}\beta_0}{n_\varepsilon(X_0) \cdot \text{tg}\beta_n}, & \text{якщо } X_n \neq X_0 \\ 1, & \text{якщо } X_n = X_0 \end{cases} \quad (10)$$

Нижче наведено усереднене значення коефіцієнта α для різних температур:

T, K	116	122	130	140
α_c	1,12	1,24	1,36	1,54

Отже, середнє значення коефіцієнта α при підвищенні температури збільшується, що пояснюється зменшенням ступеня заповнення глибокого рівня золота в n-Ge.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Семенюк А.К. Радіаційні ефекти в багатодолинних напівпровідниках. Луцьк: Надстир'я, 2001. 323 с.
- [2] Баранський П.І., Федосов А.В., Гайдар Г.П. Фізичні властивості кристалів кремнію та германію в полях ефективного зовнішнього впливу. Луцьк: Надстир'я, 2000. 280 с.
- [3] Федосов А.В., Луньов С.В., Захарчук Д.А., Федосов С.А., Тимошук В.С. Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Фіз. науки. 2008. № 18. 54–58.
- [4] Бир Г.Л., Пикус Г.Е. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках. М.: Наука, 1972. 584 с.

**THE EFFECT OF UNIAXIAL ELASTIC DEFORMATION
ON THE LOCATION OF DEEP ENERGY LEVELS
IN $n\text{-Ge}\langle\text{Au}\rangle$ MONOCRYSTALS**

Anatolij FEDOSOV¹, Serhij LUNIOV¹, Dmytro ZAKHARCHUK¹,
Serhij FEDOSOV², Leonid PANASYUK¹

¹ Lutsk National Technical University,
75 Lvivska Str., Lutsk 43018

² Lesya Ukrainka Volyn National University,
13 Voli Ave., Lutsk 43025

The effect of uniaxial elastic deformation X on the change of the location of deep energy level of gold $E_C - 0,2$ eV in $n\text{-Ge}$ according to piezo-Hall-effect $n = f(X)$ in a wide area of mechanical tensions $X = 0 - 13 \cdot 10^3$ $\kappa\text{G}/\text{cm}^2$, is investigated under a condition $X//J//[111]$. The change of the energy gap between the deep level $E_C - 0,2$ eV and the lower valleys of a conductivity zone of $n\text{-Si}\langle\text{Ge}\rangle$ is calculated to be $-5,7 \pm 0,01 \cdot 10^{-3}$ eV per each 10^3 $\kappa\text{G}/\text{cm}^2$. The state of filling of the energy levels α is estimated. The average value of an α coefficient was determined at different temperatures.