

Харківський національний педагогічний університет ім. Г.С.Сковороди, м. Харків
*Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, м. Львів

ВПЛИВ ОПРОМІНЕННЯ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ХОЛЛІВСЬКИХ ДАТЧИКІВ

Аналізуються структурні зміни, що відбуваються в результаті високоенергетичного електронного опромінення в холловських датчиках промислового типу. Обговорюється природа радіаційних дефектів, введених опроміненням.

Ключеві слова: опромінення, напівпровідники, дефекти.

Анализируются структурные изменения в холловских датчиках промышленного типа в результате облучения высокоэнергетичными электронами. Обсуждается природа радиационных дефектов введенных облучением.

Ключевые слова: облучение, полупроводники, дефекты.

Analyse structure change which take place in result high-energy electron radiation in hall-sensor industrial type. Nature of import defects after radiation discussion.

Keywords: radiation, semiconductors, defects.

В даній роботі досліджувались холлівські датчики промислового виробництва, виготовлені з кремнію із такими параметрами: X501 – $R_{ex}=5,2$ кОм, $I=0,2$ А, чутливість $Z=2,7$ В/(А с); X214 – $R_{ex}=1,9$ кОм, $R_{вих}=1,3$ кОм, $I=0,12$ А, $Z=0,38$ В/(А с), що підлягали електронному опроміненню ($E=20$ МеВ) з інтегральною дозою 10^{16} ел/см². В інтервалі температур 77 – 300 К визначались ЕРС Холла і питомий опір до і після опромінення.

На рис. 1 показано температурні залежності коефіцієнта Холла $R_x(T)$ і питомого опору $\rho(T)$. Для вихідних зразків різних датчиків ці залежності різні. Так, для зразка X214 в температурній області, де R_x має постійне значення ($5 - 5,2$) · 10³ см³/Кл, визначено концентрацію електрично активної домішки $N_d - N_a = 1/eR_x = 6 \cdot 10^{14}$ см⁻³. Тоді, як для X501 маємо у відповідній області $R_x = 6,8 - 7$ см³/Кл і концентрацію домішки $N_d - N_a = 10^{18}$ см⁻³. Крім цього, для X501, до температури 110 К існує домішкова провідність, яка, як відомо [4], залежить від енергії активації домішкових центрів і їх концентрації. Загальний зв'язок між цими величинами виражається співвідношенням:

$$\frac{1}{g} \left(\frac{N_d}{N_a} - 1 \right) N_c \exp\left\{ -\frac{(E_c - E_d)}{kT} \right\} = N_d - N_a \quad (1)$$

де g – фактор виродження домішкового рівня ($g=2$); N_c – ефективна густина станів в зоні провідності (для Si $N_c = 5,47 \cdot 10^{15} \cdot T^{1,5}$), $E_c - E_d$ – енергія активації домішкового рівня.

Наявність низькотемпературної ділянки на залежності $R_x(T)$ згідно рівняння (1) обумовлено центрами з енергією активації $E_c - E_d$. Її величина, оцінена з експерименту $\sim 10^{-2}$ еВ, що є типовим значенням для точкових дефектів. Для X214 перехід до змішаної провідності починається з $T=330$ К. Ця величина є верхньою температурою виснаження домішки.

Після опромінення для X501 спостерігається зниження коефіцієнта Холла в температурній області домішкового виснаження до $1,2$ см³/Кл, тобто концентрація донорних центрів збільшується до $5 \cdot 10^{18}$ см⁻³ (у порівнянні з вихідними зразками збільшується в 5 разів). Починаючи з $T=165$ К, відбувається збільшення R_x , і, відповідно, зменшується концентрація донорних центрів. Така зміна можлива, якщо в результаті опромінення вводяться центри з різною енергією актива-

ції. До температури 165 К проявляються центри першого типу з меншою енергією активації, а при $T > 165$ К – центри другого типу – з більш високою. Причому, центри

першого типу треба віднести до донорних, а другого – до акцепторних, оскільки відбувається часткова компенсація вихідних донорів.

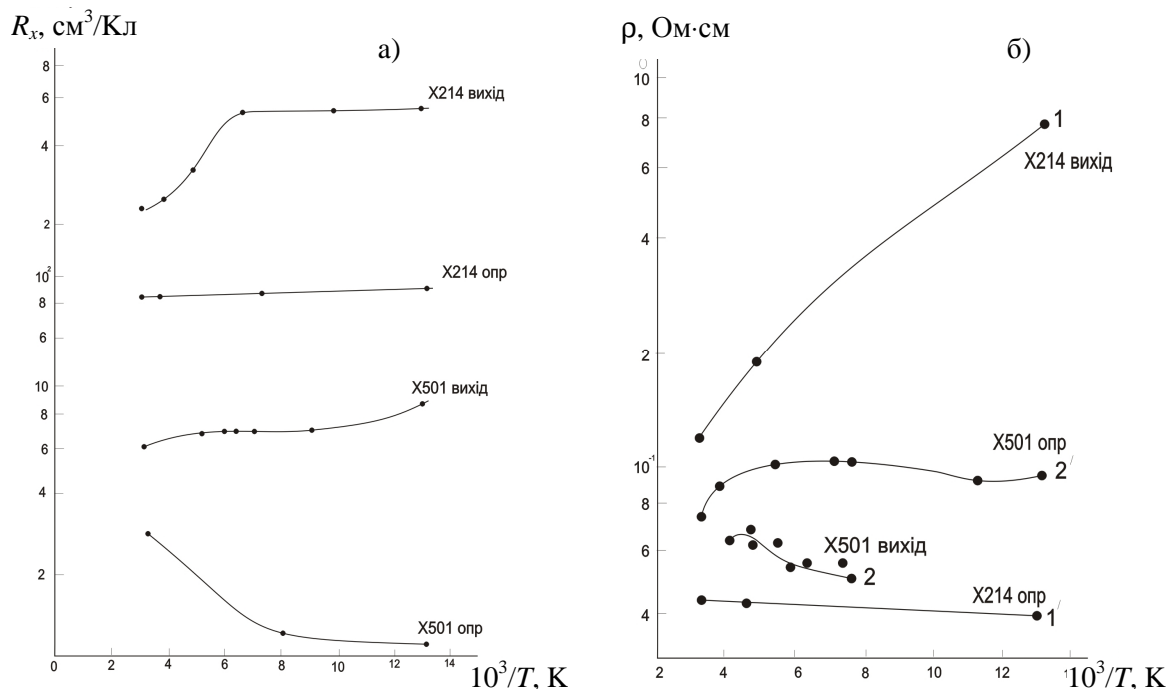


Рис. 1. Температурні залежності коефіцієнта Холла $R_H(T)$ (а) і питомого опору $\rho(T)$ (б) холлівських датчиків до і після опромінення.

Природа донорних центрів, що вводяться опроміненням, своєрідна: вони мають малу енергію активації (10^{-2} eV) і мають високу концентрацію (10^{18} cm^{-3}). Міжвузлові атоми кремнію в цьому випадку не підходять (велика енергія активації 10^{-1} eV). Найбільш прийнятним є уявлення про участь кисню в зміні електричних властивостей. По-перше, концентрація кисню, що міститься в кремнії, досить висока (до 10^{17} cm^{-3}); по-друге, кисень частіше всього є донорним центром. Якщо вважати, що опромінення електронами приводить до утворення комплексу SiO_4 , то дати пояснення появи донорних центрів з низькою енергією активації і достатньою концентрацією можна, використовуючи запропоновану в роботі [5] модель комплексу SiO_4 .

Симетрія одиничного донорного центра нижча за симетрію тетраедра, однак, симетрія комплексу SiO_4 має симетрію тетраедра. Як видно з рис. 2 чотири атоми кисню заміщають атом кремнію, з'єднуючись че-

рез загальний атом Si. Атом кисню не знаходиться на місці вакансії Si, а дещо зміщений до центра міжвузля ($1/2, 1/2, 1/2$).

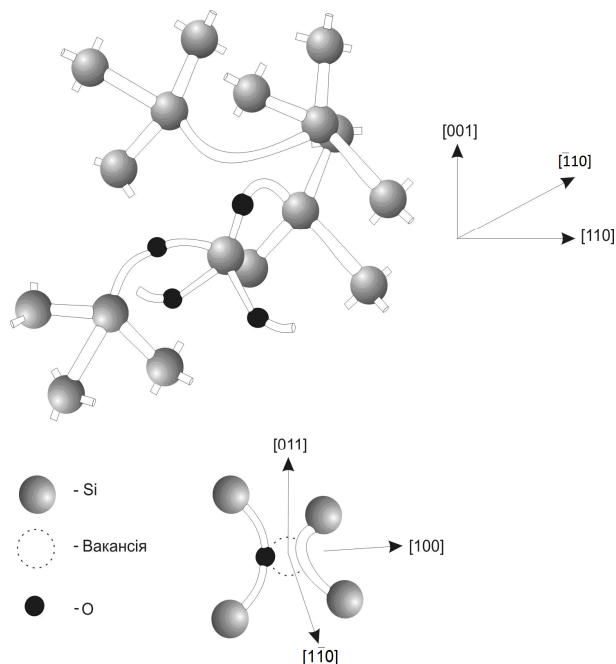


Рис. 2. Модель комплексу SiO_4 (а) і одиничного донорного центра (б).

Не виключено, що в результаті опромінення з'являються і більш глибокі центри, але за рахунок значно менших концентрацій вони не проявляються. Дані про такі центри можна отримати, аналізуючи температурну залежність рухливості носіїв. На рис. 1б наведено температурні залежності питомого опору. Використовуючи зв'язок між питомим опором і коефіцієнтом Холла, можна знайти рухливість: $\mu_x = R_x / \rho$.

Температурні залежності рухливості для Х214 і Х501 показані на рис. 3.

Для вихідного датчика Х214 характерний ріст рухливості зі збільшенням температури. Наявність вигину на кривій $\mu_x(T)$ свідчить про адитивність механізму розсіювання. Після опромінення рухливість падає з ростом температури: $\mu_x \sim T^{-0,07}$.

Для Х501 в вихідному стані $\mu_x \sim T^{-1,1}$, що дещо менше, ніж для розсіювання на акустичних фонах ($\mu_x \sim T^{-1,5}$). Після опромінення маємо не монотонність в залежності $\mu_x(T)$. До 200 К

рухливість зменшується приблизно за законом $\mu_x \sim T^{-1}$, а потім – зростає: $\mu_x \sim T^{3,5}$.

Характер температурної залежності рухливості носіїв струму визначається певним механізмом розсіювання: це може бути розсіювання на акустичних фонах (ця складова суттєва для вихідного зразка Х501), оптичних фонах, нейтральних і іонізованих домішок, а також на дислокаціях. В випадку декількох механізмів розсіювання рухливість розраховується таким чином:

$$\mu = \left\{ \sum (1/\mu_i) \right\}^{-1}. \quad (2)$$

Наявність зростаючої ділянки залежності $\mu_x(T)$ для Х501 свідчить, скоріше всього, про зростання ступеню розсіювання на заряджених дефектах, що виникли після опромінення, оскільки в цьому випадку $\mu_x \sim T^a$, де $a > 1$ [6]. Причому, разом з цим існують і інші механізми розсіювання. Зменшення рухливості для двох типів датчиків є наслідком зростання дефектності структури після опромінення.

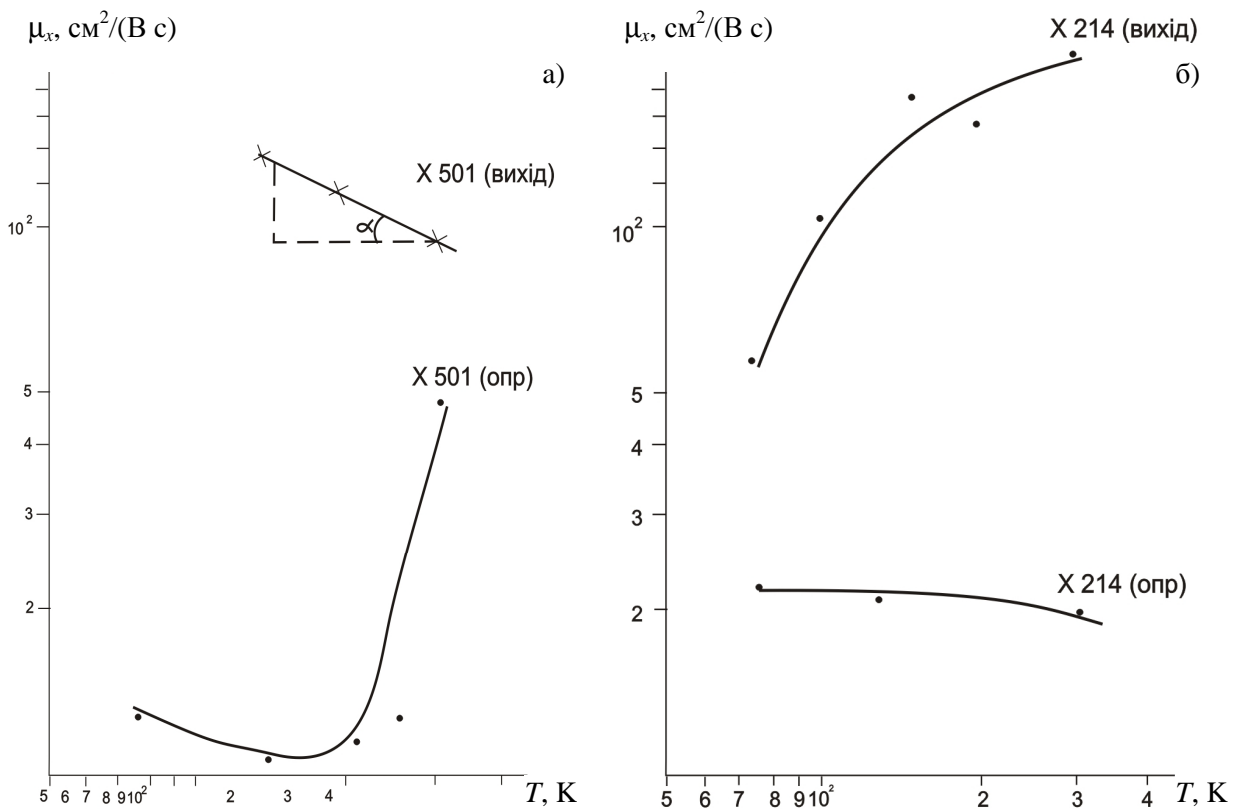


Рис. 3. Температурні залежності рухливості носіїв струму до і після опромінення для холлівських датчиків Х 501 (а) і Х 214 (б).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Солошенко *И.И.*, Малец *Е.Б.*, Мялова *Е.М.*, Касьян *М.М.*, Лемберг *Е.А.*, Стратиенко *В.А.*, Ткач *Ю.В.* Структурне изменения в кремнии под действием γ -квантов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 1980. – 2, №13. – С.35-38.
2. Неклюдов *И.М.*, Поляшенко *Р.Ф.*, Коваленко *И.В.*, Малец *Е.Б.*, Самокиш *С.А.* Изменение электрофизических свойств GaAs под воздействием высокоэнергетичного электронного облучения // Радиационное материаловедение, изд. ХФТИ АН УССР. – 1991. – 9. – С.91-99.
3. Конозенко *И.Д.*, Семенюк *А.К.*, Хиврич *В.И.* Радиационные эффекты в кремнии. – К.: Наукова думка, 1974. – 197с.
4. Блатт *Ф.* Физика электронной проводимости в твердых телах. – М.: Мир, 1971. – 471с.
5. Блистанов *А.А.*, Вишняков *В.Н.*, Гераськин *В.В.* Температурная зависимость внутреннего трения в кремнии // Механизмы релаксационных явлений в твердых телах. Каунас: Изд. АН СССР. – 1974. – С.176-180.
6. Смирнов *Л.С.*, Соловьев *С.П.*, Стась *В.Ф.*, Харченко *В.А.* Легирование полупроводников методом ядерных реакций. – Новосибирск: Наука, 1981. – 184с.