

Національна академія наук України  
Міністерство освіти та науки України  
Наукова рада з проблеми «Фізика напівпровідників  
і діелектриків» при Відділенні фізики і астрономії  
Національної академії наук України  
Українське фізичне товариство  
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
Ужгородський національний університет  
Інститут електронної фізики НАН України

*Конференція присвячена 120-річчю  
з дня народження академіка Лашкарьова В.Є. і  
100-річчю з дня народження проф. Чепура Д.В.*

**ІХ УКРАЇНСЬКА НАУКОВА  
КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ  
НАПІВПРОВІДНИКІВ  
УНКФН–9**

**IX UKRAINIAN SCIENTIFIC  
CONFERENCE ON PHYSICS  
OF SEMICONDUCTORS  
(USCPS-9)**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ  
ABSTRACTS**

Ужгород, Україна  
22 - 26 травня 2023

Uzhhorod, Ukraine  
May 22-26, 2023

## **Кінетика світло-індукованих процесів в кремнієвих сонячних елементах, обумовлених домішками заліза**

**В. М. Власюк<sup>1</sup>, Р. М. Коркішко<sup>1</sup>, В. П. Костильов<sup>1</sup>, О. Я. Оліх<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,  
пр. Науки 41, м. Київ, 03680, Україна

<sup>2</sup> Фізичний факультет Київського національного університету імені Тараса  
Шевченка, пр. Академіка Глушкова, 4, м. Київ, 03127, Україна

Однією з найпоширеніших і водночас з найшкідливіших домішок в кремнії є атоми заліза (Fe). У роботах, присвячених впливу центрів, обумовлених залізом, на параметри сонячних елементів (СЕ), досліджувалися як правило, пластини кремнію, з яких потім виготовлялися СЕ. Ця обставина обумовлена застосуванням відповідних методик визначення концентрації заліза за зміною часу життя (довжини дифузії) при проведенні операцій дисоціації-асоціації пар FeV, – поверхневої фотонапруги та квазістаціонарної фотопровідності. Зазначені методики не підходять для визначення концентрації заліза і його поведінки у готових СЕ. Разом із тим, поведінка заліза у готових структурах СЕ може мати особливості порівняно з пластинами, оскільки СЕ – це багатошарова багато бар'ерна структура на відміну від пластин, і на процеси дифузії заліза можуть впливати потенціальні бар'єри на границях областей з різним типом провідності і рівнем легування. Крім того, у технологічному процесі виготовлення СЕ, який містить декілька високотемпературних операцій, може мати місце як ефект забруднення домішками (у т.ч. залізом) з технологічного обладнання і оснастки, хімічних реактивів і т.п., так і ефект гетерування домішок. Отже, дослідження процесів, обумовлених домішками заліза у готових СЕ є важливим і актуальним.

Відомо, що Fe у кремнії може бути у двох станах: у вигляді пари FeV (енергетичний рівень  $E_c - 0,27$  eV), у міжвузельному стані Fe<sub>i</sub> (енергетичний рівень  $E_c - 0,735$  eV) – утворюється при дисоціації пари FeV. При кімнатній температурі і концентрації бору  $> 10^{14}$  см<sup>-3</sup> весь Fe, зв'язаний в пари FeV, перебуває у рівновазі, тоді як при температурах вище 200 °С і концентрації бору  $< 10^{16}$  см<sup>-3</sup> більшість Fe знаходиться в міжвузлії. Fe<sub>i</sub> з його порівняно глибоким енергетичним рівнем є більш ефективним рекомбінаційним центром, ніж FeV з енергетичним рівнем, близьким до краю валентної зони. Розпад пар FeV може бути обумовлений дією зовнішніх факторів: температури, опромінення випромінюванням з енергією квантів, більшою за ширину забороненої зони кремнію і та ін.

Експериментальні дослідження були проведені на зразках кремнієвих сонячних елементів (СЕ) виготовлених на основі монокристалічних пластин кремнію р-типу марки КДБ-10 з питомим опором 10 Ом·см.

Для дослідження кінетики дисоціації пар FeV проводилося вимірювання напруги розімкненого кола  $V_{oc}$  і струму короткого замикання  $I_{sc}$ , спочатку на вихідному зразку, а потім після кожного з етапів послідовного освітлення зразків галогеновою лампою (1 Сонце =  $100 \text{ мВт/см}^2$ ), що призводить до дисоціації пар FeV. Така перебудова дефектної структури призводить до зменшення ефективного часу життя нерівноважних носіїв струму, що може бути зареєстровано при дослідженні. Для досягнення рівномірної по товщині SE генерації нерівноважних надлишкових електронно-діркових пар вимірювання  $V_{oc}$  і  $I_{sc}$  проводилися при освітленні SE інфрачервоним світлодіодом з довжиною хвилі 950 нм.

На рис. 1а, б наведені експериментальні кінетики напруги розімкненого кола і струму короткого замикання обумовлені дисоціацією пар FeV – маркери, та їх апроксимація – лінія.

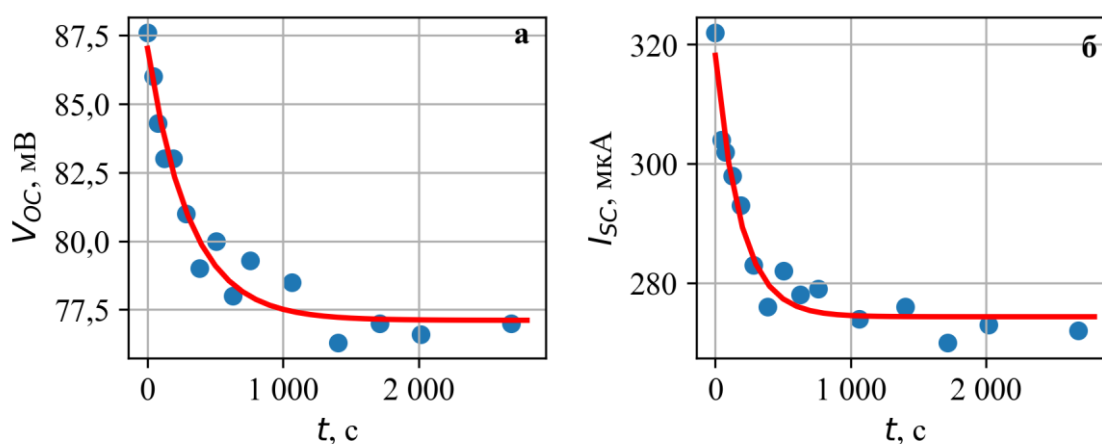


Рис. 1. Кінетики напруги розімкненого кола а) і струму короткого замикання б) обумовлені дисоціацією пар FeV – маркери, та їх апроксимація – крива.

Залежності мають експоненційний характер, збільшення тривалості світлової обробки призводить до зменшення як напруги розімкненого кола, так і струму короткого замикання. При значеннях часу світлової обробки  $> 1000 \text{ с}$  залежності виходять на полицю і подальша світлова обробка фактично не призводить до зменшення вказаних величин.

Використовуючи кінетики напруги розімкненого кола і струму короткого замикання отримано кінетику ефективного часу життя нерівноважних електронно-діркових пар. Як і у випадку кінетик напруги розімкненого кола і струму короткого замикання отримані залежності є спадаючими і мають експоненційний характер. Крім того, було отримано кінетику зміни концентрації міжвузольного заліза  $\text{Fe}_i$  за рахунок дисоціації пар FeV при поетапному освітленні SE галогеновою лампою.

Мінімальне значення концентрації заліза  $\text{Fe}_i$ , на вихідному зразку, знаходиться на рівні  $4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ , а максимальне досягається після 1000 с фотодисоціації і дорівнює  $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ .