

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

Особливості світло-індукованого розпаду комплексів FeV у монокристалічних кремнієвих сонячних елементах

О.Я. Оліх¹, А.Р. Костина¹, Я.М. Оліх²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Україна, 01601, місто Київ, вул. Володимирська, 64/13

² Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
Україна, 03680, місто Київ, пр. Науки, 41
olegolikh@knu.ua

Відомо, що залізо є однією з найбільш поширених та шкідливих металевих міжвузлових домішок у кремнієвих сонячних елементах (КСЕ), яка у стані рівноваги утворює пари з акцепторами [1]. Розпад пари може бути ініційовано термічно, шляхом інжекції неосновних носіїв або освітленням. В останньому випадку темп дисоціації [2,3]

$$R_d = KG^m \quad (1)$$

де G – темп генерації носіїв, показник ступеня m близький до 2, що відображає двостадійність процесу розпаду, а коефіцієнт K залежить від наявності інших каналів рекомбінації [2,3]. У цій роботі досліджено вплив на m та K спектрального складу освітлення.

Було використано три галогенові лампи Orion 52240, Osram 64653 та General Electric 43537 (GE), калібровані як за інтегральною інтенсивністю W_{ill} , так і за спектральним складом випромінювання $\omega_{\text{ill}}(\lambda)$. Вимірювання проводилися при 340 К на n^+p -КСЕ, виготовлених з пластин КДБ10. R_d визначався за залежністю концентрації дисоційованих пар $N_{\text{Fe},0}$ від часу освітлення, для якої справедливо [2]

$$N_{\text{Fe},0}(t_{\text{ill}}) = A \exp(-t_{\text{ill}} / \tau_d) + R_d N_{\text{Fe,tot}} / (R_d + R_a), \quad (2)$$

де τ_d – характерний час дисоціації, $\tau_d^{-1} = R_d + R_a$, R_a – темп асоціації пари, $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$; $N_{\text{Fe,tot}}$ – повна концентрація атомів заліза. Визначення $N_{\text{Fe},0}$ проводилося за кінетикою відновлення величини струму короткого

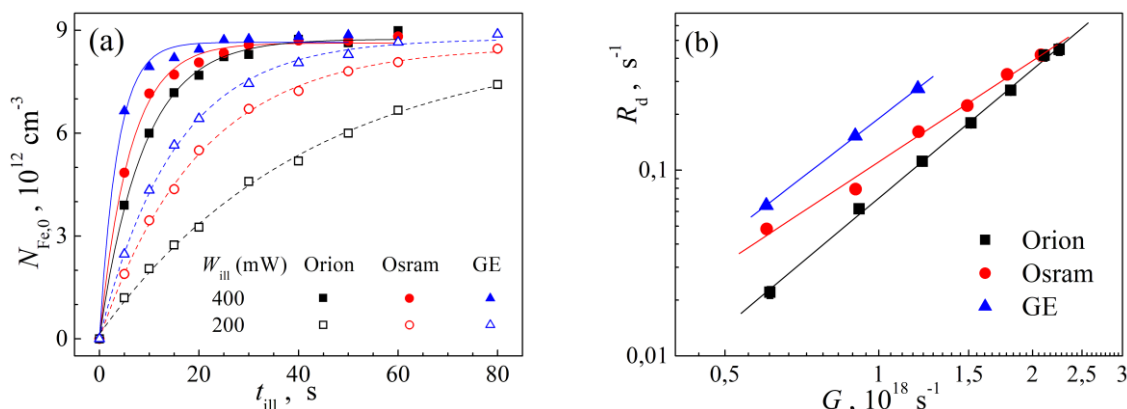


Рис.1. Залежності концентрації звільнених міжвузлових атомів заліза від тривалості освітлення (а) та швидкості дисоціації пар FeV від темпу утворення електронів при використанні різних джерел (б). Точки – експеримент, лінії – апроксимація відповідно до (2) (а) або лінійно (б)

замикання після освітлення [4], G оцінювався за загальною кількістю падаючих фотонів, використовувався діапазон $W_{\text{ill}} = (200 \div 750)$ мВт.

Отримані результати (рис.1, табл.) свідчать, що темп дисоціації пар FeV не визначається лише інтенсивністю освітлення чи загальною кількістю фотогенерованих носіїв. Виявлені особливості пов'язані з відмінністю у спектрі випромінювання використаних джерел (рис.2а), для характеристики яких була використана середня енергія фотону $\langle E_{\text{ph}} \rangle$:

$$\langle E_{\text{ph}} \rangle = \sum_{\lambda} h c N_{\text{ph}}(\lambda) / \lambda / \sum_{\lambda} N_{\text{ph}}(\lambda) \quad (3)$$

де $N_{\text{ph}}(\lambda)$ – кількість фотонів при певній довжині хвилі випромінювання. Зауважимо, що зі збільшенням W_{ill} спостерігалися перебудови спектрів джерел зі зміщенням максимуму у короткохвильову область – рис.2б.

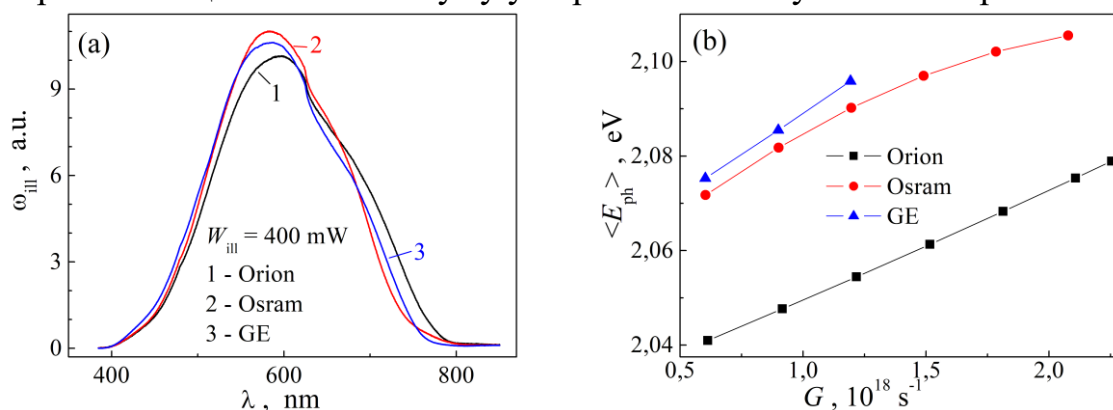


Рис.2. Спектри використаних галогенових ламп при інтегральній інтенсивності 400 мВт (а) та залежності середньої енергії фотонів від темпу утворення електронів (б)

Табл. Параметри розпаду пар FeV при використанні різних джерел

джерело	$\tau_d, \text{с}$	$G, 10^{18} \text{с}^{-1}$	m	$K, 10^{-37} \text{с}$
	$(W_{\text{ill}} = 400 \text{ мВт})$			
Orion	$8,8 \pm 0,3$	$1,22 \pm 0,01$	$2,30 \pm 0,04$	$0,87 \pm 0,03$
Osram	$6,1 \pm 0,3$	$1,20 \pm 0,01$	$1,81 \pm 0,09$	$1,00 \pm 0,02$
GE	$3,6 \pm 0,3$	$1,19 \pm 0,01$	$2,12 \pm 0,02$	$1,92 \pm 0,03$

Отримані значення m та K (див. табл.) свідчать, що ефективність світлоіндукованого розпаду пар FeV зростає зі збільшенням енергії фотонів, а показник ступеня визначається як механізмом дисоціації, так і перебудовою спектра джерела. В свою чергу, це свідчить що серед двох відомих [2] можливих варіантів проходження другої стадії розпаду комплексу більш ймовірним є рекомбінаційно-підсилені процеси, а не іонізація іону заліза.

[1] X. Zhu, D. Yang, X. Yu *et al.* AIP Advances **3**, 082124 (2013)

[2] C. Moller, T. Bartel, F. Gibaja *et al.* J. Appl. Phys. **116**, 024503 (2014)

[3] N. Khelifati, H.S. Laine, *et al.* Phys. Status Solidi A **216**, 1900253 (2019)

[4] O. Olikh, V. Kostylov *et al.* J. Appl. Phys. **130**, 235703 (2021)