

**ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЧАСУ ЗАТРИМКИ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ПАСТОК ЗАХОПЛЕННЯ В КОМІРЦІ ПАМ'ЯТІ НА БАЗІ ХСН****Вступ**

Використання нового типу пам'яті, що базується на зміні фазового стану халькогенідних склоподібних напівпровідників (ХСН), дасть можливість розширити межі застосування електронних приладів так, як зазначений матеріал практично не змінює своїх електричних властивостей при дії сильного іонізуючого випромінювання і при зміні зовнішньої температури від  $-50$  до  $400$  °С [1]. Тому визначення основних параметрів комірок пам'яті на базі ХСН є актуальною задачею.

**Постановка задачі досліджень**

Час затримки перемикання фази зразка ХСН визначає загальний час формування запам'ятовуючого стану, а, отже, і швидкість комірки пам'яті, так, як перемикання самої фази відбувається практично миттєво – за декілька піко-секунд [2]. Тому задачею даної праці є оцінювання залежності часу затримки перемикання фази комірки пам'яті від температури та концентрації пасток захоплення в матеріалі ХСН.

**Розв'язання задачі**

В праці [3] показано, що для накопичення емісійного заряду, необхідного для утворення замикаючого контакту, тобто провідникового кластера в комірці пам'яті на базі ХСН, необхідний певний час затримки, величину якого можна визначити за виразом:

$$\tau_3 = \frac{d^2}{\mu_p \cdot U_{\text{пор}}} \quad (1)$$

де  $d$  – відстань між електродами або товщина плівки ХСН,  $\mu_p$  – ефективна рухливість дірок,  $U_{\text{пор}}$  – порогова напруга.

Величину порогової напруги можна розрахувати за виразом:

$$U_{\text{пор}} = \frac{(B - k \cdot T \cdot \ln P_{\text{пер}}) \cdot d}{q \cdot \lambda} \quad (2)$$

де  $P_{\text{пер}}$  – поріг перколяції,  $B$  – іонізаційний бар'єр (еВ),  $\lambda$  – довжина вільного пробігу (мм).

Поріг перколяції розраховується за виразом:

$$P_{\text{пер}} = A \cdot \exp\left(-\frac{B - q \cdot \lambda \cdot E_{\text{пор}}}{k \cdot T}\right) \quad (3)$$

де  $E_{\text{пор}}$  – порогове значення електричного поля (В/см),  $A$  – масштабний коефіцієнт.

Підставивши (2) в (1) отримаємо вираз для розрахунку залежності часу затримки від довжини вільного пробігу носіїв заряду та їх рухливості:

$$\tau_3 = \frac{d \cdot q \cdot \lambda}{\mu_p(\tau) \cdot (B - k \cdot T \cdot \ln P_{\text{пер}})} \quad (4)$$

Залежність ефективної рухливості дірок від температури для випадку неперервного розподілу пасток в інтервалі енергій до  $E_0$  біля валентної зони можна розрахувати за виразом:

$$\mu_p(\tau) = \mu_0 \cdot \frac{N_v}{N_e} \cdot \frac{E_0}{kT} \cdot e^{\frac{E}{kT}} \quad (5)$$

де  $N_v$  – ефективна щільність станів у валентній зоні,  $E = E_0 - k \cdot T \cdot \ln(E_0/kT)$ ;  $N_e$  – щільність пасток біля рівня Фермі.

Аналіз виразу (4) показує, що час затримки залежить від довжини вільного пробігу, ефективної рухливості носіїв заряду та порогу перколяції, які в свою чергу є функціями температури та концентрації пасток захоплення. Тому доцільно оцінити залежність довжини вільного пробігу від температури та концентрації пасток. В праці [4] отримано вирази для оцінювання залежності ефективної довжини вільного пробігу носіїв заряду від температури та щільності пасток захоплення біля валентної зони  $N_v$ :

$$\lambda = \lambda_0 \cdot e^{\frac{E}{kT}} \quad (6)$$

де  $\lambda_0 = \tau_0 \cdot \frac{2\sqrt{24} \cdot \pi^{3/2} \cdot m_p \cdot E_0 \cdot k \cdot T}{h^3 \cdot N_t}$  – характеристична довжина, величина якої залежить від

концентрації пасток та їх енергетичного спектру, де  $m_p$  – ефективна маса дірок,  $h$  – стала Планка,  $\tau_0$  – час вільного пробігу без захоплення на пастках.

Таким чином, підставивши (5), (6) у вираз (4) отримаємо вираз для дослідження залежності часу затримки від температури та щільності пасток захоплення біля валентної зони  $N_t$ :

$$\tau_3 = \frac{2\sqrt{24} \cdot q \cdot N_e \cdot k^2 \cdot T^2 \cdot \pi^{3/2} \cdot m_p \cdot d}{h^3 \cdot N_t \cdot \mu_0 \cdot N_v \cdot (B - kT \ln P_{nep})}, \quad (7)$$

При проведенні розрахунків використовувалися такі вхідні данні:  $\ln P_{nep} = 1,5$ ;  $d = 32 \text{ нм}$ ;

$E_0 = (0,01 - 2) \cdot 10^5 \text{ В/см}^2$ ;  $E_{nop} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ В/см}^2$ ;  $N_t = (0,2 - 2) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ;  $\tau_0 = 5 \cdot 10^{-12} \text{ с}$ ;  $\frac{N_v}{N_e} = 1$ .

Графіки залежності часу затримки від температури для різних значень іонізаційного бар'єру приведені на рисунку 1, де крива 1 –  $B = 0,2 \text{ eV}$ , крива 2 –  $B = 0,3 \text{ eV}$ , крива 3 –  $B = 0,4 \text{ eV}$ . Графіки залежності часу затримки від концентрації пасток захоплення для різних значень рухливості дірок приведені на рисунку 2, де крива 1 –  $\mu_0 = 10^{-3} \text{ см}^2/(B \cdot \text{с})$ , крива 2 –  $\mu_0 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/(B \cdot \text{с})$ , крива 3 –  $\mu_0 = 10^{-4} \text{ см}^2/(B \cdot \text{с})$ .

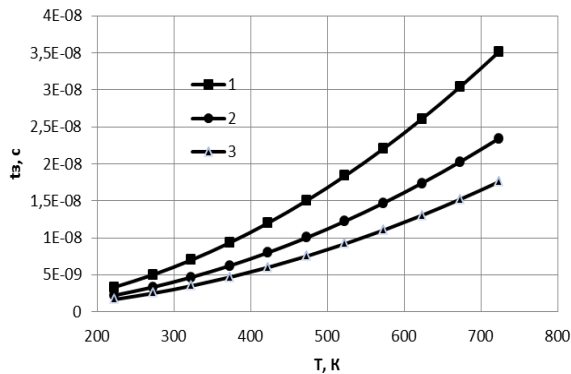


Рисунок 1 – Залежність часу затримки перемикавання від температури при різних значеннях іонізаційного бар'єру

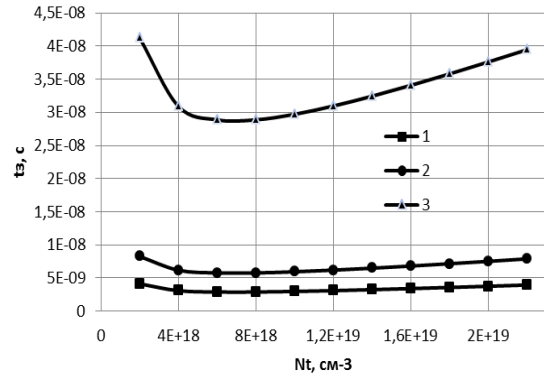


Рисунок 2 – Залежність часу затримки перемикавання від концентрації пасток захоплення при різних значеннях рухливості дірок

### Висновки

Проведені дослідження показують, що при збільшенні температури час затримки перемикавання комірки пам'яті на базі ХСН нелінійно зростає, причому, чим більший іонізаційний бар'єр, тим повільніше відбувається зростання. Встановлено, що при збільшенні ефективної рухливості дірок відбувається різке зменшення часу затримки. Також виявлено, що мінімальний час затримки спостерігається лише на певному проміжку концентрації пасток, а їх подальше зменшення веде до різкого нелінійного збільшення цього часу. При зростанні концентрації пасток час затримки стабільно, лінійно збільшується. Отримані результати збігаються із експериментальними і це дає можливість покращити математичне моделювання фізичних процесів, що відбуваються у комірках пам'яті на базі ХСН.

### Література

1. Кичак В.М. Оцінювання впливу температури на порогову напругу комірки пам'яті на базі аморфних напівпровідників / В.М. Кичак В.М., Н.Г. Курилова І.В. Слободян // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування. – Вінниця. – 2011. – С.66-67.
2. Кичак В.М. Дослідження зміни часу перемикавання комірки пам'яті на базі ХСН від товщини плівки та перенапруження у зразку / В.М. Кичак В.М., І.В. Слободян // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №2. – С.68-70.
3. Temperature Dependence of Phase-Change Random Access Memory Cell / Miao X.C., Shi I.P., Lee H.K., Tan P.K., Lim K.G., Yang H.X., Chong T.C. // Jpn. J. Appl. Phys. Part.2. – 2006. V. 45, p. 3945.
4. Characteristics of OUM Phase Change Materials and Devices for High Density Nonvolatile Commodity and Embedded Memory / Tyler A. Lowrey, Stephen J. Hedges, Wally Czubatuj, Charles H. Dennison, Sergey A. Kostylev and Guy C. Wicker. // Applications Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 803. – 2004.