

## РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.397

В. М. Кичак, д-р техн. наук, проф.;

І. В. Слободян, асп.

### ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕМИКАННЯ КОМІРКИ ПАМ'ЯТІ НА БАЗІ АМОΡФНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ

*Розглянуто питання обчислення та якісного оцінювання часу затримки перемикавання комірки пам'яті на базі аморфного напівпровідника від температури та концентрації пасток захоплення. На основі отриманих формул побудовано та проаналізовано графіки залежності часу затримки від температури для різних значень іонізаційного бар'єру та графіки залежності часу затримки від концентрації пасток захоплення для різних значень рухливості дірок.*

#### Вступ та постановка задачі досліджень

Використання нового типу пам'яті, що базується на зміні фазового стану аморфного напівпровідника (АН), дасть можливість розширити межі застосування електронних приладів, оскільки зазначений матеріал практично не змінює своїх електричних властивостей у разі дії сильного іонізуючого випромінювання та зі зміною зовнішньої температури від  $-50$  до  $400$  °С [1]. Найчастіше в якості матеріалу для перемикавання, тобто зміни високоомного стану в низькоомний, використовують халькогенідний склоподібний напівпровідник (ХСН). Тому визначення основних параметрів комірок пам'яті (КП) на базі ХСН є актуальною задачею.

Час затримки перемикавання КП визначає загальний час формування запам'ятовуючого стану, а отже, і швидкодію комірки пам'яті, оскільки зміна фазового стану речовини відбувається практично миттєво — за декілька піко секунд [2]. Тому *задачею роботи* є оцінювання залежності часу затримки перемикавання КП від температури та концентрації пасток захоплення в матеріалі АН.

#### Розв'язання задачі

В роботі [3] показано, що для накопичення емісійного заряду в плівці аморфного напівпровідника (АН), необхідного для утворення замикаючого контакту, тобто провідникового кластера в КП на базі ХСН, необхідний певний час, величину якого можна визначити за виразом [3]

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

де  $d$  — відстань між електродами або товщина плівки ХСН;  $\mu_p$  — ефективна рухливість дірок в плівці АН;  $U_{\text{пор}}$  — порогова напруга за якої здійснюється перехід фазових станів плівки АН.

Величину порогової напруги можна розрахувати за виразом [3]

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

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

Перколяція — це явище просочування, протікання або не протікання рідин через пористі матеріали, електричного струму через суміш провідних і непровідних частинок і інші подібні процеси. Вони виникають за деякої критичної концентрації носіїв заряду (поріг перколяції) в результаті утворення безперервної сітки (каналу) з частинок (кластерів) носіїв заряду від одного кінця зразка матеріалу до протилежного. Поріг перколяції розраховується за виразом [3]:

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

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:

$$\tau_3 = \frac{dq\lambda}{\mu_p(\tau)(B - kT \ln P_{\text{пер}})} \quad (4)$$

Залежність ефективної рухливості дірок від температури для випадку неперервного розподілу пасток в інтервалі енергій до  $E_0$  біля валентної зони можна розрахувати за виразом [4]

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

де  $N_v$  — ефективна щільність станів у валентній зоні;  $E = E_0 - kT \ln(E_0/kT)$ ;  $N_e$  — 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 роботі [4] отримано вирази для оцінювання залежності ефективної довжини вільного пробігу носіїв заряду від температури та щільності пасток захоплення біля валентної зони  $N_t$ :

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

де  $\lambda_0 = \tau_0 \frac{2\sqrt{24} \cdot \pi^{3/2} m_p E_0 kT}{h^3 N_t}$  — характеристична довжина, величина якої залежить від концентрації пасток та їх енергетичного спектра; де  $m_p$  — ефективна маса дірок;  $h$  — стала Планка;

$\tau_0$  — час вільного пробігу без захоплення на пастках.

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

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

Під час розрахунків використовувалися такі вхідні дані:  $P_{\text{пер}} = (0,15 - 0,35)$ ;  $d = 32 \text{ нм}$ ;

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

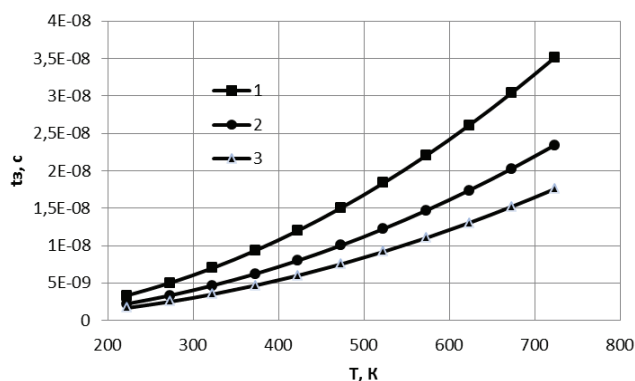


Рис. 1. Залежність часу затримки перемикачів від температури за різних значень іонізаційного бар'єру

як і слід було очікувати, приводить до незначної залежності часу затримки перемикачів КП у разі зміни температури.

Графіки залежності часу затримки від концентрації пасток захоплення для різних значень рухливості дірок показані на рис. 2, де крива 1 —  $\mu_0 = 10^{-3} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ ; крива 2 —  $\mu_0 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ ;

Графіки залежності часу затримки від температури для різних значень іонізаційного бар'єру показані на рис. 1, де крива 1 —  $B = 0,2 \text{ eV}$ , крива 2 —  $B = 0,3 \text{ eV}$ , крива 3 —  $B = 0,4 \text{ eV}$ .

Як видно із отриманих графіків, час затримки перемикачів КП нелінійно зростає зі збільшенням температури. Значення цього параметра, коли іонізаційний бар'єр  $B = 0,2 \text{ eV}$  при  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$  і при  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  відрізняються більше, ніж у 6 разів. А за вищого значення  $B = 0,4 \text{ eV}$ , ця різниця вже складає близько 3 разів. Отже, збільшення іоні-

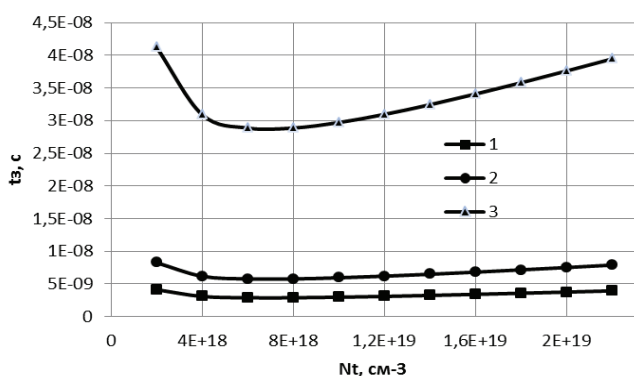


Рис. 2. Залежність часу затримки перемикаччя від концентрації пасток захоплення з різними значеннями рухливості дірок

$\mu_0 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  — 8 нс, а якщо  $\mu_0 = 10^{-4} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ , то час затримки становить вже 40 нс. Результати дослідження показують, що найкращий, тобто мінімальний час затримки перемикаччя спостерігається за концентрації пасток захоплення від  $4\text{E} + 18$  до  $10\text{E} + 18$  в  $\text{см}^3$ .

Експериментальні дослідження [5] показують, що час затримки перемикаччя в КП з розмірами менше 50 ангстремів ( $10^{-10}$  м) на базі аморфного напівпровідника у разі дії імпульсу стирання тривалістю 20 нс, що є довшим за імпульс зчитування, становить близько 25 нс. Середній час затримки перемикаччя КП, обчислений за результатами, наведеними на рис. 1 та рис. 2, становить близько 20 нс, отже, розбіжність не перевищує 25 %. Експериментальних досліджень залежності впливу на час затримки перемикаччя від концентрації пасток захоплення з різними значеннями рухливості дірок та від температури з різними значеннями іонізаційного бар'єру іншими вченими не проводилося, тому подані в цій статті результати є новими.

### Висновки

Проведені дослідження показують, що зі збільшенням температури час затримки перемикаччя комірки пам'яті на базі аморфного напівпровідника нелінійно зростає, причому, чим більший іонізаційний бар'єр, тим повільніше відбувається зростання. Встановлено, що у разі збільшення ефективної рухливості дірок відбувається різке зменшення часу затримки. Виявлено, що мінімальний час затримки спостерігається лише на певному проміжку концентрації пасток, а їх подальше зменшення веде до повільного лінійного збільшення цього часу. Також дослідження показали, що поріг перколяції в зазначених межах не впливає на час затримки перемикаччя комірки пам'яті. Отримані результати збігаються із експериментальними і це дає можливість покращити математичне моделювання фізичних процесів, що відбуваються у комірці пам'яті на базі аморфного напівпровідника.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кичак В. М. Оцінювання впливу температури на порогову напругу комірки пам'яті на базі аморфних напівпровідників / В. М. Кичак, Н. Г. Курилова, І. В. Слободян // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування. — Вінниця. — 2011. — С. 66—67.
2. Кичак В. М. Дослідження зміни часу перемикаччя комірки пам'яті на базі ХСН від товщини плівки та перенапруження у зразку / В. М. Кичак, 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. etc.] // Jpn. J. Appl. Phys. — 2006. — Part. 2, 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 etc.] // Applications Mat. Res. Soc. Symp. Proc. — 2004. — Vol. 803.
5. Programming Speed in Ovonic Unified Memory / Sergey Kostylev, Tyler Lowrey, Wally Czubatuj // Ovonyx Technologies, Inc. and \*Ovonyx, Inc. 2956 Waterview Drive, Rochester Hills, Michigan, USA. J. Phys. Chem. Solids. — P. 29—40.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення.

Стаття надійшла до редакції 25.06.2013  
Рекомендована до друку 3.10.2013

**Кичак Василь Мартинович** — завідувач кафедри, **Слободян Іван Володимирович** — аспірант.  
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця