

**В. М. Кичак**<sup>1</sup>  
**В. Л. Вовк**<sup>1</sup>  
**І. О. Барабан**<sup>1</sup>

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ПАРАМЕТРИ БІСТАБІЛЬНИХ ПЕРЕМИКАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ АМОΡФНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Проведено оцінювання впливу температури та радіаційних опромінь на порогову напругу та час затримки перемикального пристрою на базі ХСН. Показано, що зі зміною температури від 250 до 350 К порогова напруга змінюється в межах  $\pm 5$  мВ, при цьому температурний коефіцієнт напруги становить близько 0,03 %/град, що значно менше у порівнянні з аналогічними пристроями на базі монокристалевих напівпровідників.*

*Отримано аналітичні вирази та проведено дослідження залежності часу затримки перемикального пристрою від температури та щільності пасток захоплення близько рівня Фермі.*

*Результати досліджень залежності часу затримки перемикального пристрою від температури показують, що зі зміною температури від 250 до 350 К час затримки змінюється на 0,35 пс, а температурний коефіцієнт часу затримки не перевищує 0,42 %/град. При чому зі збільшенням рухливості носіїв заряду час затримки зменшується. Дослідження залежності часу затримки перемикального пристрою від щільності пасток захоплення показав, що ця залежність є практично лінійною і зі збільшенням щільності пасток захоплення на порядок, час затримки змінюється також на порядок.*

*Отримано аналітичні залежності рухливості носіїв заряду, та часу затримки перемикального пристрою від щільності потоку нейтронів. Показано, що зі зміною щільності потоку нейтронів до  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup> рухливість носіїв заряду повільно зменшується від  $10^{-2}$  до  $0,99 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/В·с, а за подальшого збільшення дози до  $10^{18}$  н/см<sup>2</sup> — рухливість зменшується у двічі і становить  $0,5 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/В·с. Час затримки перемикального пристрою з ростом дози опромінення від  $10^{10}$  до  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup> зростає від 26,2 нс до 26,8 нс, а за подальшого збільшення щільності потоку нейтронів час затримки швидко зростає і становить 57 нс зі щільністю потоку нейтронів  $10^{18}$  н/см<sup>2</sup>. Наведені результати досліджень свідчать про те, що перемикальні пристрої на базі халькогенідних склоподібних напівпровідників характеризуються вищою радіаційною стійкістю у порівнянні з пристроями на базі монокристалевих біполярних напівпровідникових компонентів, підсилювальні властивості яких вже за щільності потоку нейтронів до  $10^{12}$  н/см<sup>2</sup> зменшуються майже у двічі.*

**Ключові слова:** радіаційна стійкість, аморфні напівпровідники, час затримки, рухливість носіїв заряду, порогова напруга.

### Вступ

Важливою умовою для проектування радіоелектронних систем військового та космічного призначення є забезпечення високої стійкості до дії зовнішніх впливів, таких як: проникна радіація, іонізуюче опромінення, температура та інші [1], [2].

Відомо, що під дією проникаючої радіації на напівпровідникові електронні компоненти, які виготовляються на базі монокристалевих напівпровідників, має місце утворення великої кількості дефектів за рахунок чого зростає електропровідність, що призводить до їх руйнування [3], [4]. У випадку аморфних напівпровідників (АН), де має місце значна розупорядкованість атомів, дія проникаючої радіації суттєво не впливає на їх електропровідність і тому забезпечується висока радіаційна стійкість, яка на 2—3 порядки перевищує радіаційну стійкість компонентів на базі монокристалевих напівпровідників [5], [6].

В перемикальних пристроях на базі АН використовуються два фазових стани речовини: кристалевий і аморфний, один з яких відповідає високій провідності, а інший — малій провідності.

Різниця між цими станами може становити 4—6 порядків [7]. Одними з найважливіших параметрів таких перемикальних пристроїв є час затримки перемикання та порогова напруга.

Метою статті є дослідження впливу радіаційних опромінь, температури та щільності пасток захоплення на основні параметри перемикальних пристроїв на базі АН.

### Результати дослідження

Згідно з останніми теоріями ефекту перемикання пристроїв на базі АН, перемикання відбувається в момент, коли емісійний заряд досягає певного значення, величина якого залежить від геометричних розмірів та хімічного складу плівки АН. Величину цього заряду можна розрахувати за виразом [8]

$$q_k = P(E)N(E), \quad (1)$$

де  $P(E)$ ,  $N(E)$  — ймовірність емісії та концентрація носіїв заряду, відповідно.

Допускаємо, що накопичення заряду здійснюється в режимі генератора струму. Тоді величину емісійного заряду можна розрахувати за виразом

$$q_k = SdeN(E)P(E), \quad (2)$$

де  $S$  — площа електрода,  $d$  — відстань між електродами або товщина плівки АН.

Величина прохідного струму, під дією якого накопичується цей заряд, залежить від геометричних розмірів плівки, концентрації носіїв заряду, напруженості електричного поля та рухливості носіїв заряду. Величину цього струму можна розрахувати аналогічно дрейфовому струму в напівпровідниках

$$I_n = SeN(E)P_k(E)\mu_n E,$$

де  $\mu_n$  — рухливість носіїв заряду;  $E$  — напруженість електричного поля.

Відношення величини накопиченого емісійного заряду до величини прохідного струму визначає час затримки перемикання

$$\tau_3 = \frac{q_k}{I_n} = \frac{d^2}{\mu_p U_n}, \quad (3)$$

де  $U_n$  — порогова напруга.

Проведено оцінювання впливу температури та радіаційних опромінь на величину порогової напруги та час затримки перемикання.

Величину порогової напруги можна розрахувати за виразом [9]

$$U_{\text{пор}} = \frac{(B - KT \ln P_{\text{пер}})d}{q\lambda}, \quad (4)$$

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

Поріг перколяції залежить від температури, напруженості електричного поля та довжини вільного пробігу [7]

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

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

Підставивши (4) в (3), отримаємо вираз для розрахунку залежності часу затримки від довжини вільного пробігу носіїв заряду та їх рухливості:

$$\tau_3 = \frac{dq\lambda}{\mu_p(T)(B - KT \ln P_{\text{пер}})}. \quad (5)$$

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

$$\mu_p(T) = \mu_0 \frac{N_v}{N_e} \frac{E_0}{KT} e^{\frac{E_0}{KT}}, \quad (6)$$

де  $N_v$  — ефективна щільність станів у валентній зоні,  $E = E_0 - KT \ln\left(\frac{E_0}{KT}\right)$ ,  $N_e$  — щільність пасток захоплення близько рівня Фермі.

Аналіз виразу (5) 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. В роботі [9] отримано вирази для оцінювання залежності ефективної довжини вільного пробігу від температури та щільності пасток захоплення близько валентної зони  $N_t$ .

$$\lambda = \lambda_0 e^{\frac{E}{KT}}, \quad (7)$$

де  $\lambda_0 = \tau_0 \frac{2\sqrt{24}\pi^{3/2} m_p E_0 KT}{n^3 N_e}$  — характеристична довжина, величина якої залежить від концентрації

пасток та їх енергетичного спектру;  $m_p$  — ефективна маса дірок,  $h$  — постійна Планка;  $\tau_0$  — час вільного пробігу без захоплення на пастках.

Таким чином, використовуючи вирази (3), (4) і (7), можна дослідити залежність порогової напруги та часу затримки від температури та щільності пасток захоплення близько валентної зони  $N_e$ .

Залежність порогової напруги від температури для різних значень товщини плівки АН подана у табл. 1.

Таблиця 1

Залежність порогової напруги від температури для різних значень товщини плівки АН

$d$ , нм	$U_{\text{пор}}$				
	200 К	250 К	300 К	350 К	400 К
10	0,36	0,365	0,37	0,375	0,38
20	0,731	0,741	0,751	0,761	0,771
40	1,442	1,462	1,482	1,502	1,523
60	2,162	2,193	2,223	2,253	2,284

Як випливає з табл. 1, зі збільшенням температури від 250 К до 350 К порогова напруга змінюється на 5 мВ, при цьому температурний коефіцієнт напруги становить 0,027 %/град, що значно менше у порівнянні з монокристальними напівпровідниками. Зі збільшенням товщини плівки АН, порогова напруга зростає пропорційно товщині.

Підставивши (6) і (7) в (5), після нескладних перетворень отримаємо вираз для оцінювання залежності часу затримки перемикачів від температури та щільності пасток захоплення близько валентної зони  $N_e$ .

$$\tau_3 = \frac{\lambda_0 N_e}{\mu_0 N_t} \frac{dqKT}{E_0} (B - KT \ln P_{\text{пер}})^{-1}, \quad (8)$$

Результати дослідження залежності часу затримки перемикачів від температури показані на рис. 1. Аналіз отриманих результатів показує, що зі зміною температури в межах від 250 К до 350 К зміна часу затримки не перевищує 0,35 пс за температурного коефіцієнта 0,41 %/град. Зі збільшенням рухливості носіїв заряду час затримки перемикачів зменшується.

Використовуючи вираз (8), проведені дослідження залежності часу затримки перемикачів від щільності пасток захоплення близько рівня Фермі. Результати досліджень показані на рис. 2, з аналізу яких випливає, що зростання щільності пасток захоплення приводить до збільшення часу затримки перемикачів, і ця залежність є практично лінійною. Такий хід вигляду характеристик для різної товщини плівки ХСН зумовлений насамперед тим, що збільшення концентрації носіїв заряду приводить до зменшення їх рухливості, а також довжини вільного пробігу.

Проведено дослідження залежності часу затримки перемикачів від дії радіаційних опромінь. З погляду розробників радіоелектронних засобів, стійких до дії радіації, доцільно розглянути два основних види опромінь: це іонізуюча радіація, тобто рентгенівські та гама-промені та нейтронне опромінення. У випадку дії гама-опромінь на компоненти на базі АН концентрація носіїв заряду мало змінюється і це не приводить до значної зміни рухливості носіїв заряду. У випадку монокристальних провідникових компонентів під дією гама-променів утворюються надлишкові носії заряду, а також підвищується температура.

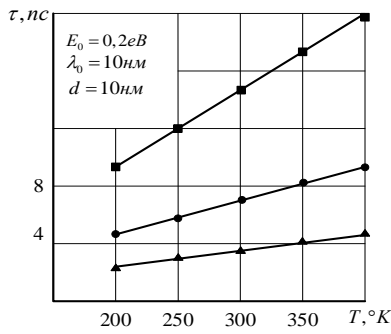


Рис. 1. Залежність часу затримки перемикавання від температури

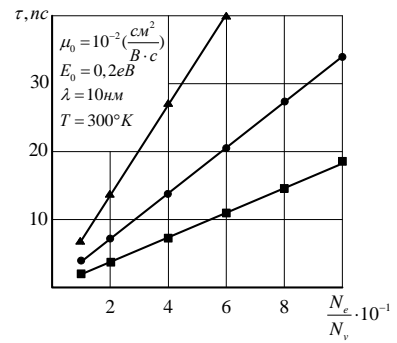
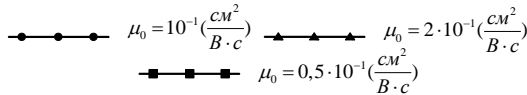
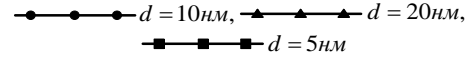


Рис. 2. Залежність часу затримки перемикавання від щільності пасток захоплення близько рівня Фермі



Можливі три механізми, які зумовлюють вплив гама-опромінь на роботу схем на базі електронних компонентів. Це виникнення фотоструму, порушення роботи електронних компонентів і погіршення поверхневих властивостей.

Імпульс іонізуючого опромінення, у разі дії на перехід, викликає виникнення фотоструму через утворення електронно-діркових пар у збіднених шарах р-п переходів. Ці носії заряду дрейфують через збіднений шар і за рахунок цього виникається фотострум. У випадку перемикальних елементів на базі АН р-п переходи не використовуються, тому цей механізм впливу гама-опромінь є несуттєвим.

Утворення фотоструму та порушення нормальної роботи електронних компонентів є зворотними процесами за умови, коли величина повного струму обмежується за допомогою зовнішніх схемних елементів. Крім того, іонізуюче опромінення може викликати незворотні процеси на межі розділу між напівпровідником і діелектриком. Електронні пари, що утворюються в діелектрику, можуть розмножуватися і на межі розподілу будуть зосереджуватись тільки позитивні заряди, які приводять до інверсії слабологованих р-областей біля поверхні. У випадку АН ці процеси також суттєво не впливають на роботу перемикальних пристроїв і вони є важливими у застосуванні польових транзисторів з ізольованим заслоном (МОН-транзисторів) [10]. Суттєвіше впливає на параметри приладів на базі ХСН дія нейтронного опромінення, яке може призвести до незворотних дефектів. Внаслідок зіткнень атомів ХСН з нейтронами можуть утворюватися центри рекомбінації та розсіювання, які призведуть до зменшення часу життя та рухливості носіїв заряду. Експериментальні дослідження показують, що значення рухливості носіїв заряду в АН пов'язано з величиною потоку нейтронів таким співвідношенням:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_0} - \frac{\tau_k \phi}{\gamma}, \tag{9}$$

де  $\tau_k$  — час проходження носіями заряду плівки АН,  $\phi$  — потік нейтронів н/см<sup>2</sup>,  $\gamma$  — постійна, яка визначається експериментально.

Враховуючи вираз (9), залежність рухливості носіїв заряду та часу затримки перемикавання від щільності потоку нейтронів можна розрахувати за виразами

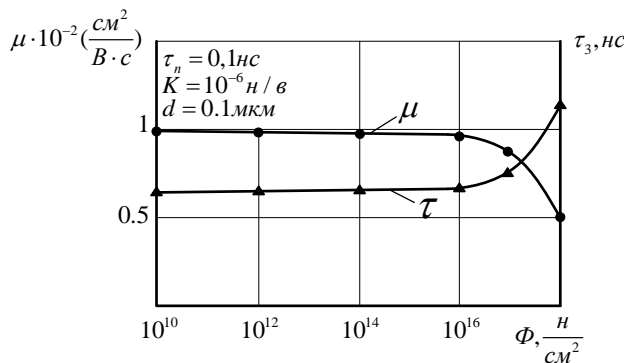


Рис. 3. Залежність рухливості носіїв заряду та часу затримки перемикавання від дози нейтронного опромінення

$$\mu = \frac{\mu_0 \gamma}{\gamma + \tau \phi \mu_0}; \tag{10}$$

$$\tau_3 = \lambda_0 \frac{N_e}{N_c} \frac{dqKT(\gamma + \tau \phi \mu_0)}{E_0 \mu_0 \gamma (B - KT \ln P_{пер})}. \tag{11}$$

Результати дослідження, проведені на базі виразів (10) і (9), показані на рис. 3.

Аналіз цих результатів і порівняння їх з аналогічними дослідженнями, проведеними для монокристалевих біполярних електронних компонентів показує, що значні зміни рухливості носіїв заряду та часу перемикавання мають місце за доз опромінення близько 10<sup>17</sup>...10<sup>18</sup> н/см<sup>2</sup>.

Водночас коефіцієнт передачі по струму біполярного транзистора вже за доз опромінення близько  $5 \cdot 10^{14}$  н/см<sup>2</sup> зменшується більше ніж на 50 %, а суттєві зміни питомої електропровідності монокристалевого кремнію n-типу мають місце за доз близько  $10^{15} \dots 10^{16}$  н/см<sup>2</sup> і зі збільшенням питомого опору кремнію менші дози опромінення приводять до суттєвої зміни електропровідності [11].

Для проведення розрахунків використовувались такі вихідні дані:  $B = 0,35$  еВ,  $\lambda = 10$  нм,  $P_{\text{пер}} = 0,3$ ,  $\gamma = 10^6$  н/с·см<sup>2</sup>,  $\mu_0 = 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/В·с,  $\tau_0 = 10^{-12}$  с.

### Висновки

Отримано аналітичні вирази залежності для оцінювання впливу температури, щільності пасток захоплення та радіоактивних опромінь на основні параметрів перемикального елемента на базі халькогенідних склоподібних напівпровідників.

Проведені дослідження залежності часу затримки перемикавання, порогової напруги та рухливості носіїв заряду показали, що з ростом температури порогова напруга перемикального елемента на базі ХСН суттєво не змінюється, а температурний коефіцієнт напруги не перевищує 0,027 %/град. Разом з тим, час затримки перемикавання з ростом температури зростає і температурний коефіцієнт становить 0,41 %/град, а зі збільшенням рухливості носіїв заряду швидкість зростання часу затримки зменшується.

Збільшення щільності пасток захоплення приводить до збільшення часу затримки перемикавання, а зі зменшенням товщини плівки халькогенідного склоподібного напівпровідника зменшується швидкість зростання часу затримки.

Отримано вираз для оцінювання залежності часу затримки від щільності потоку нейтронів. Показано, що перемикальні елементи на базі халькогенідних склоподібних напівпровідників є працездатними за доз опромінення близько  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup>, що приблизно у два рази більше, у порівнянні з пристроями на базі монокристалевих біполярних транзисторів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. Н. Белоус, В. А. Солодуха, и С. В. Шведов, *Космическая электроника*, моногр. в 2 ч. Москва, РФ: Техносфера. 2015, 696 с., 488с.
- [2] Jeffrey Prinzie, Karel Appels, and Szymon Kulis, "Optimal Physical Implementation of Radiation Tolerant High-Speed Digital Integrated Circuits in Deep-Submicron Technologies," Reprinted from: *Electronics* 2019, 8, 432. <https://doi.org/10.3390/electronics8040432>.
- [3] Kyungsoo Jeong, Duckhoon Ro, Gwanho Lee, Myounggon Kang, and Hyung-Min Lee, "A Radiation-Hardened Instrumentation Amplifier for Sensor Readout Integrated Circuits in Nuclear Fusion Applications," Reprinted from: *Electronics* 2018, 7, 429. <https://doi.org/10.3390/electronics7120429>.
- [4] Bjorn Van Bockel, Jeffrey Prinzie and Paul Leroux, "Radiation Assessment of a 15.6 ps Single-Shot Time-to-Digital Converter in Terms of TID," Reprinted from: *Electronics* 2019, 8, 558. <https://doi.org/10.3390/electronics8050558>.
- [5] H.-S. Philip, et al., "Wong Phase Change Memory," *Proceedings of the IEEE*, vol. 98, no. 12, pp. 2201-2227, 2010.
- [6] Bipin Rajendran, et al., *Phase change memory technology*, IBM Research, 2009. [Electronic resource]. Available: [http://www.itrs.net/ITWG/Beyond\\_CMOS/2010Memory\\_April/Proponent/Nanowire%20PCRAM.pdf](http://www.itrs.net/ITWG/Beyond_CMOS/2010Memory_April/Proponent/Nanowire%20PCRAM.pdf).
- [7] Н. А. Богословский, и К. Д. Цэндин, «Физика эффектов переключения и памяти в халькогенидных стеклообразных полупроводниках», *Физика и техника полупроводников*, т. 46, вып. 5, с. 577-608, 2012.
- [8] Ю. В. Ануфриев, «Температурная независимость напряжения включения ячеек энергонезависимой памяти на основе халькогенидных полупроводников», *Вестник Московского энергетического института*, № 6, с. 144-147, 2007.
- [9] В. М. Кичак, І. В. Слободян, «Дослідження зміни часу перемикавання комірки пам'яті на базі ХСН від товщини плівки та перенапруження у зразку», *Міжнародний науково-технічний журнал, Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2 (40), с. 67-70, 2012. ISSN 2219-9365.
- [10] А. П. Лазар, и Ф. П. Коршунов, «Моделирование радиационной стойкости элементов логических КМОП интегральных микросхем», *Доклады БГУИР*, № 5(75), 2013.
- [11] Alan V. Grebene, *Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design*. Reprinted from: Wiley-Interscience, p. 912, 1984.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 5.05.2021

**Кичак Василь Мартинович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: vmkychak@gmail.com ;

**Вовк Віктор Леонідович** — аспірант кафедри телекомунікаційних систем та телебачення;

**Барабан Інна Олександрівна** — магістр з метрології та вимірювальної техніки, e-mail: akakieva@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. M. Kychak<sup>1</sup>  
V. L. Vovk<sup>1</sup>  
I. O. Baraban<sup>1</sup>

## Assessment of the Influence of External Factors on the Parameters of Bistable Switching Devices Based on Amorphous Semiconductors

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

The influence of temperature and radiation on the threshold voltage and switching delay time of the switching device based on ChGS is evaluated. It is shown that when the temperature changes from 250 to 350 °K, the threshold voltage changes within  $\pm 5$  mV, and the temperature voltage coefficient is about 0,03 %/deg, which is much less compared to similar devices based on single-crystal semiconductors.

Analytical expressions were obtained and a study of the dependence of the switching delay time on the temperature and density of capture traps near the Fermi level was performed.

The results of studies of the dependence of the switching delay time on the temperature show that when the temperature changes from 250 to 350 K, the delay time changes by 0,35 ps, and the temperature coefficient of the delay time does not exceed 0,42 %/deg. Moreover, with increasing mobility of the charge carriers, the delay time decreases. The study of the dependence of the switching delay time on the density of the capture traps showed that this dependence is practically linear and when the density of the capture traps increases by an order of magnitude, the delay time also changes by an order of magnitude.

Analytical dependences of charge carrier mobility and switching delay time on neutron flux density are obtained. It is shown that the change in neutron flux density up to  $10^{16}$  N/cm<sup>2</sup> the mobility of charge carriers slowly decreases from  $10^{-2}$  to  $0,99 \cdot 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/V·s, and with a further increase in the dose to  $10^{18}$  N/cm<sup>2</sup> the mobility decreases twice and is  $0,5 \cdot 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/V·s. The switching delay time with increasing irradiation dose from  $10^{10}$  to  $10^{16}$  N/cm<sup>2</sup> increases from 26,2 ns to 26,8 ns, and with a further increase in the neutron flux density, the delay time increases rapidly and is 57 ns at a neutron flux density of  $10^{18}$  N/cm<sup>2</sup>. The results of the research indicate that switching devices based on chalcogenide glassy semiconductors are characterized by higher radiation resistance in comparison with devices based on single-crystal bipolar semiconductor components, the amplifying properties of which change at a neutron flux to  $10^{12}$  N/cm<sup>2</sup> decrease more than twice.

**Keywords:** radiation resistance, amorphous semiconductors, delay time, mobility of charge carriers, threshold voltage.

**Kychak Vasyl M.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: kychak@vntu.edu.ua ;

**Vovk Viktor L.** — Post-Graduate Student of the Chair of Telecommunication Systems and Television;

**Baraban Inna O.** — Master of Metrology and Measurement Engineering, e-mail: akakieva@gmail.com

В. М. Кичак<sup>1</sup>  
В. Л. Вовк<sup>1</sup>  
И. А. Барабан<sup>1</sup>

## Оценка влияния внешних факторов на параметры бистабильных переключающих устройств на базе аморфных полупроводников

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

Проведена оценка влияния температуры и радиационных облучений на пороговое напряжение и время задержки переключения переключающего устройства на базе ХСП. Показано, что при изменении температуры от 250 до 350 К пороговое напряжение изменяется в пределах  $\pm 5$  мВ, при этом температурный коэффициент напряжения составляет около 0,03 %/град, что значительно меньше в сравнении с аналогичными устройствами на базе монокристаллических полупроводников.

Получены аналитические выражения и проведено исследование зависимости времени задержки переключения от температуры и плотности ловушек захвата вблизи уровня Ферми.

Результаты исследований зависимости времени задержки переключения от температуры показывают, что при изменении температуры от 250 до 350 К время задержки изменяется на 0,35 пс, а температурный коэффициент времени задержки не превышает 0,42 %/град. Причем, при увеличении подвижности носителей заряда время задержки уменьшается. Исследование зависимости времени задержки переключения от плотности ловушек захвата показал, что эта зависимость является практически линейной, и при увеличении плотности ло-

вушек захвата на порядок, время задержки изменяется также на порядок.

Получены аналитические зависимости подвижности носителей заряда, и времени задержки переключения от плотности потока нейтронов. Показано, что при изменении плотности потока нейтронов до  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup> подвижность носителей заряда медленно уменьшается от  $10^{-2}$  до  $0,99 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/В·с, а при дальнейшем увеличении дозы до  $10^{18}$  н/см<sup>2</sup> подвижность уменьшается в два раза и составляет  $0,5 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/В·с. Время задержки переключения с ростом дозы облучения от  $10^{10}$  до  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup> растет от 26,2 нс к 26,8 нс, а при дальнейшем увеличении плотности потока нейтронов время задержки быстро растет и составляет 57 нс при плотности потока нейтронов  $10^{18}$  н/см<sup>2</sup>. Приведенные результаты исследований свидетельствуют о том, что переключающие устройства на базе халькогенидных стеклообразных полупроводников характеризуются более высокой радиационной устойчивостью по сравнению с устройствами на базе монокристаллических биполярных полупроводниковых компонентов, усилительные свойства которых уже при плотности потока нейтронов до  $10^{12}$  н/см<sup>2</sup> уменьшаются более чем в два раза.

**Ключевые слова:** радиационная стойкость, аморфные полупроводники, время задержки, подвижность носителей заряда, пороговое напряжение.

**Кичак Василий Мартынович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: kychak@vntu.edu.ua ;

**Вовк Виктор Леонидович** — аспирант кафедры телекоммуникационных систем и телевидения.

**Барабан Инна Александровна** — магистр по метрологии и измерительной технике, e-mail: akakieva@gmail.com