

## Застосування халькогенідних сплавів системи $Ge_2Sb_2Te_5$ для побудови елементів цифрової пам'яті на основі фазових переходів

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Створення цифрової енергонезалежної пам'яті (PCM – Phase Change Memory), що працює на базі елементів із халькогенідного скла, яке використовує принцип зворотного фазового переходу «аморфний-кристалічний» стан, є пріоритетним у галузі мікротехнологій. В тонких нанорозмірних плівках ХСН за рахунок електричного імпульсу відбуваються локальні структурні трансформації.

**Ключові слова:** цифрова пам'ять, халькогенідний склоподібний напівпровідник (ХСН), хімічний склад.

### Abstract

Creating digital-based non-volatile memory (PCM - Phase Change Memory), based on elements of chalcogenide glass, which uses the principle of reverse phase transition "amorphous-crystalline" state, is a priority in the field of microtechnology. In the thin nanoscale films of the CGS, due to the electric pulse, local structural transformations take place.

**Keywords:** digital memory, chalcogenide glassy semiconductor (CGS), chemical composition.

### Вступ

На думку багатьох експертів традиційна flash-пам'ять на базі технологій CMOS може бути витіснена із ринку новими набагато швидшими і об'ємнішими носіями цифрової інформації, що не піддаються старінню, впливам електромагнітного і радіаційного випромінювання та не потребують регенерації час від часу. Саме такою і є пам'ять PCM.

Дослідження пам'яті PCM ведуть зразу декілька великих компаній, таких як Intel, IBM, Samsung, Philips, Elpida Memory, STMicroelectronics, Ovonyx. Більшість цих компаній мають можливість комерційного зростання після впровадження відносно нової технології енергонезалежної пам'яті. У 2012 році компанія Intel продемонструвала промисловий зразок пам'яті PCM об'ємом 4 Мб, який постачали, виключно для військових та аерокосмічних цілей. Пізніше в 2015 році ця ж фірма розробила самостійний модуль пам'яті розміром 128 Мб, який вже застосовувався в цифровій обчислювальній техніці для цивільних і побутових цілей. В 2017 році фірма Samsung продемонструвала зразок пам'яті розміром 1Гб, яка буде використовуватися в смартфонах даної фірми для запису операційної системи.

### Концепція фазової пам'яті

Прогнози мають під собою твердий фундамент цілого ряду переваг фазової пам'яті над флеш-технологією. В першу чергу - це більш висока надійність PCM. Це пов'язано із тим, що основою флеш-технології є «плаваючий заслін», який і забезпечує енергонезалежність такої пам'яті за рахунок власної ізоляції з одного боку від керуючого заслону, а з іншої – від каналу «витік-стік». Роль ізолятора виконує оксид кремнію ( $SiO_2$ ), що не є ідеальним ізолятором і тому відбувається відтік електронів. Для збереження заряду необхідно десь  $10^3$  електронів на «плаваючому» заслоні, а така низька концентрація легко досягається не пізніше за 10 років, тобто флеш-пам'ять необхідно хоч раз за цей термін «підзарядити». Це можна зробити простим підімкненням модуля пам'яті до пристрою читання/запису і за рахунок тунельного ефекту заслін отримає заряд. [1]

На відміну від вище описаного принципу фазова пам'ять зберігає інформацію не зарядом, а електричним опором тонкої плівки ХСН, який може змінюватися більш, ніж у  $10^5$  разів залежно від фазового стану. Причому зберігання інформації не вимагає ніяких додаткових заходів. Іншою суттєвою перевагою PCM є значно вища швидкодія. Час зміни фази тонкої плівки аморфного напівпровідника складає  $(5-20) \cdot 10^{-12}$  с при аморфно-кристалічному переході та  $(20-80) \cdot 10^{-12}$  с при кристалічно-аморфному. Такий час фізичної роботи КП співрозмірний із часом читання/запису інформації, причому він незалежить від самого процесу та виду обробки даних. Це досягається принциповою відмінністю двох технологій: перед тим як записати інформацію у комірку флеш-пам'яті, її необхідно очистити, а

от для РСМ це робити необов'язково, навіть, недоцільно. Отже, середній час роботи фазової пам'яті складає  $50\text{нс}$ , в той час коли максимальна швидкість обробки КП флеш-пам'яті складає  $150\text{нс}$ . [2]

Явище фазової пам'яті досить просте і полягає в наступному: якщо швидкість охолодження розплаву ХСН досить велика, то при деякій температурі в'язкість розплаву збільшиться настільки, що структура не зможе більше релаксувати відповідно до змін температури, і в цьому випадку спочатку утворюється переохолоджена рідина, а потім скло. Матеріал нагрівається електричним імпульсом і при досягненні температури склування (розм'якшення) аморфна матриця переходить у кристалічну фазу, тобто відбувається кристалізація. Якщо зовнішній імпульс струму буде досить потужний і одночасно короткий, то матеріал розплавляється після чого охолоджується зі швидкістю, достатньою для його аморфізації. На рисунку 1 представлені конструкції сучасних КП РСМ, які ілюструють дану концепцію. [3,4]

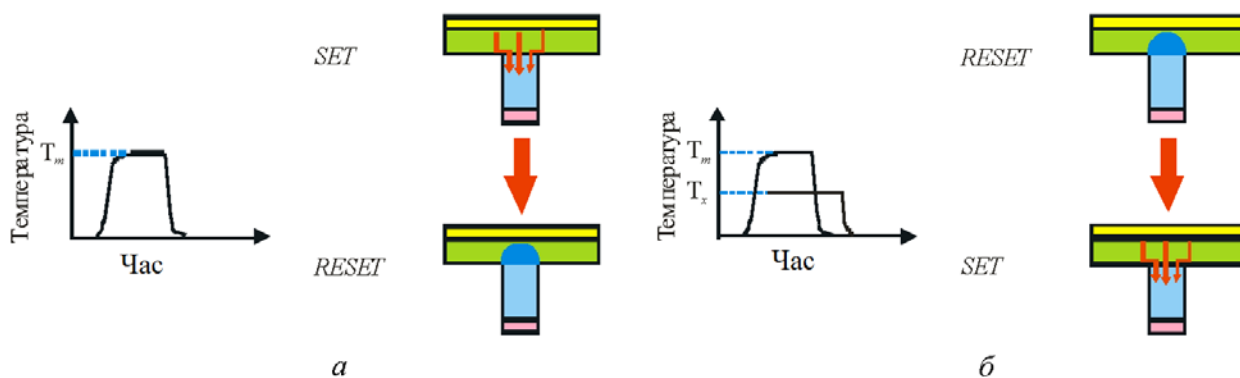


Рисунок 1 – Процес перемикання фазового стану КП РСМ, де а – перехід із кристалічної фази (SET) в аморфну (RESET); б – перехід із аморфної фази (RESET) в кристалічну (SET).

Як впливає з даних рисунків, процес роботи енергонезалежної КП РСМ у буде проходити наступним чином: високоомний аморфний напівпровідник (RESET стан) при досягненні порогової напруги перемикання переходить в низькоомний аморфний стан, а потім під дією наданої теплової енергії через прикладений електричний імпульс здійснюється перехід в кристалічний стан (SET стан). Різниця між значеннями провідності цих станів в робочому вікні складає від трьох – чотирьох до п'яти-семи порядків, що дозволяє говорити про два стабільних стійких стани системи GST225. Щоб перевести систему назад в стан RESET, необхідно прикласти електричний імпульс, щоб розплавити нанорозмірний кристалічний об'єм півки ХСН у КП РСМ, потім його охолодити без кристалізації, тобто охолодження має проходити повільніше, ніж при процесі кристалізації. Цей ефект досягається, якщо задній фронт імпульсу достатньо крутий. Зчитування інформації здійснюється електричним імпульсом, параметри якого такі, що не викликають в матеріалі фазових змін.

## Висновки

В даний час серед найбільш перспективних матеріалів для РСМ комірок можна виділити наступні групи халькогенідних сплавів: 1) GST композиції (GST124, GST147, GST225), в яких кристалізація визначається механізмом зародкоутворення в нанооб'ємі комірки пам'яті; 2) композиції Sb-Te, леговані різними металами, насамперед Ag і In:  $\text{In}_x(\text{Sb}_{70}\text{Te}_{30})_{1-x}$ ,  $\text{Ag}_x\text{In}_y(\text{Sb}_{70}\text{Te}_{30})_{1-x-y}$ ,  $\text{Ge}_x(\text{Sb}_{70}\text{Te}_{30})_{1-x} + \text{Sb}$ ; в даних сплавах кристалізація визначається рухом в обсязі кордону кристалізації; 3) композиції на основі  $\text{Sb}_x\text{Se}_{1-x}$ ,  $\text{In}_2\text{Se}_3$ ; по параметрам кристалізації дані з'єднання поступаються матеріалам з перших двох груп.

З даного опису впливає очевидний, на перший погляд, висновок про те, що будь матеріал, в принципі, можна застосувати для пристроїв фазової пам'яті. Але насправді дуже обмежене число матеріалів може бути використано для цих цілей. Насамперед, найбільш критичні такі параметри матеріалу, як швидкість фазового переходу і його стабільність. Потрібно відзначити, що, незважаючи на те, що механізм явища у нанометровому масштабі до кінця не з'ясований, це не заважає успішному комерційному використанню явища фазової пам'яті в перезаписуваних DVD дисках та цифровій електронній пам'яті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Paesler M.A., Baker D.A., Lucovsky G., Taylor P.C., Washington J.S. Bond constraint theory and EXAFS studies of local bonding structures of Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> and Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>7</sub>. //J. Optoelectronics and Advanced Materials. 2007. V.9, No.10. P.2996-3001.
2. Kolobov A.V., Fons P., Tominaga J., Uruga T., Haines J. Nanometer-scale mechanism of phase – change in Ge-Sb-Te alloys probed by XAFS. EPSCOS. 2005.
3. Слободян І.В. Пристрій для читання –запису інформації енергонезалежної комірки пам'яті на базі халькогенідного склоподібного напівпровідника / Іван.Слободян // Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». Хмельницький, 2015, №4, с. 153-157.
4. Слободян І.В. Пристрій для запису/читання інформації халькогенідного елемента цифрової пам'яті / Іван Слободян // Матеріали п'ятнадцятої міжнародної конференції «Проблеми інформатики та моделювання «ПІМ-2015», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». С.14.

**Іван Володимирович Слободян** – асистент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [slobodyan.i.v@vntu.edu.ua](mailto:slobodyan.i.v@vntu.edu.ua).

**Сергій Юрійович Боржемський** — студент групи ТКТ-15б, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [sergiibor@gmail.com](mailto:sergiibor@gmail.com);

**Ivan Slobodyan** – Assistant of Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [slobodyan.i.v@vntu.edu.ua](mailto:slobodyan.i.v@vntu.edu.ua).

**Sergiy Borzhiemskiy** – Department of Infocommunications, Radio electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [sergiibor@gmail.com](mailto:sergiibor@gmail.com).