

2. Петин В. А. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things. 2 изд. / В.А. Петин // БХВ-Петербург., 2019. – 425 Р.

3. Можчиль, Б. В. Использование микропроцессоров при создании автоматизированных систем управления / Б. В. Можчиль, С. Ю. Фетисенко, Л. П. Голубев // Технології та дизайн. – 2016. – №3. – С.1-10.

4. Maksimović M. Raspberry Pi as Internet of things hardware: performances and constraints / M. Maksimović, V. Vujović, N. Davidović, V. Milošević, B. Perišić // Design issues. – 2016. – Vol.3, №8. – P. 1-6.

**Науковий керівник:** д.ф.-м.н., професор Ляшенко Ю.О.

*Отян В. О., Троян В. С.*

*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького*

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ПЕРФОРОВАНИХ НАНОПЛІВОК МЕТОДАМИ МОНТЕ-КАРЛО

Нанотехнології – область фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності систем розміром порядку нанометрів. Сучасні технологічні процеси базуються на використанні нанорозмірних систем. Прикладом може слугувати звичайний смартфон. Так для виготовлення процесорів сучасних гаджетів у 2020 році було розпочато виробництво 5-нм технологічного процесу на заміну 7-нм. На думку деяких експертів, відповідно до закону Мура, взявши за точку відліку у 2020-му році появу 5-нм технологічного процесу, можна спрогнозувати, що 4-нм технологія з'явиться у 2022 році, 3-нм у 2024 році, 2-нм у 2026 році, 1-нм у 2028 році. Важливим аспектом використання нанотехнологій є надійність таких пристроїв, що пов'язане із стійкістю наносистем до зовнішніх впливів.

У даній роботі розглянуто питання стійкості плівок нанометричної товщини відносно утворення отворів – перфорації. Решітковими методами Монте-Карло комп'ютерного моделювання досліджено поведінку наноплівки якщо у ній по якимось причинам утворено отвір.

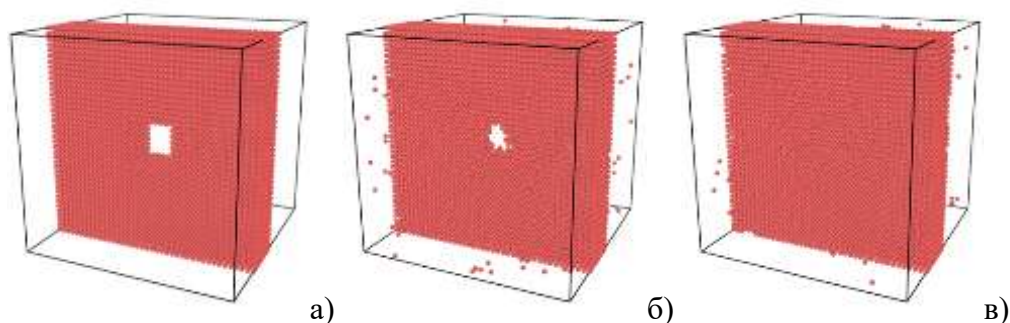


Рис. 1. Еволюція перфорованої наноплівки товщиною 10 атомних прошарків з отвором 8x8 атомних прошарків.

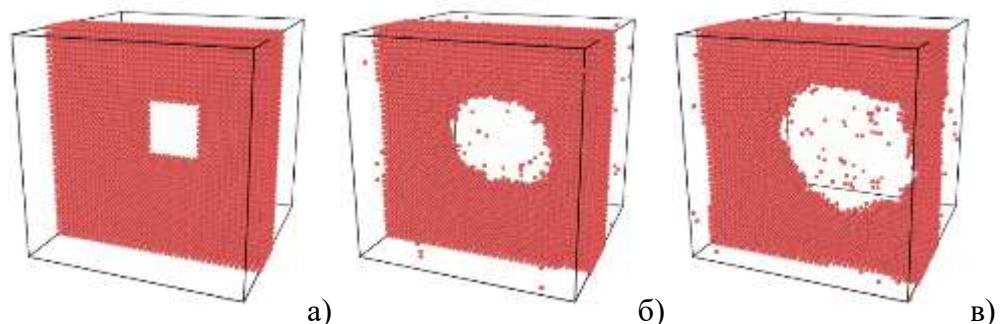


Рис. 2. Еволюція перфорованої наноплівки товщиною 10 атомних прошарків з отвором 12x12 атомних прошарків.

У результаті серії комп'ютерних експериментів підтверджено теоретичне передбачення щодо існування критичного розміру отвору. Якщо у плівці утворити отвір, то її стійкість залежить від власної товщини та розміру утвореного отвору, при чому, якщо характерний розмір отвору менший за товщину плівки, то плівка залишається цілою (рис. 1). Якщо ж розмір отвору більший, то навпаки – плівка руйнується (рис. 2).

**Науковий керівник:** к.ф.-м.н., доцент Пасічний М.О.

**Тітова А.В.**

*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького*

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕВОЛЮЦІЇ МОРФОЛОГІЇ ПЕРФОРОВАНИХ НАНОПЛІВОК СТОХАСТИЧНИМ КІНЕТИЧНИМ МЕТОДОМ СЕРЕДНЬОГО ПОЛЯ

Метод SKMF (Stochastic Kinetic Mean Field) був розроблений у 2016 році як модифікація відомого кінетичного середньо польового методу (Kinetic Mean Field – KMF) шляхом доповнення стохастичним ланжевенівським шумом частотних множників у рівнянні детального балансу. Розвиток SKMF виправляв основний недолік методу KMF – детермінованість. Якщо еволюція системи включає флуктуаційне подолання енергетичного бар'єру, метод KMF застосувати не вдається. SKMF дозволяє отримувати результати, що відповідають усередненню комп'ютерних експериментів реалізованих на основі кінетичних решіткових методів Монте-Карло (Kinetic Monte Carlo – KMC). Перевага методу SKMF – необхідність лише одного запуску моделі для отримання результату. Один комп'ютерний експеримент відповідатиме середньому значенню за кілька запусків методу KMC – кількість виконаних та усереднених запусків методом KMC обернено пропорційна квадрату амплітуди шуму у методі SKMF.

У роботі використано стохастичний кінетичний метод середнього поля SKMF для моделювання еволюції морфології перфорованих наноплівки.

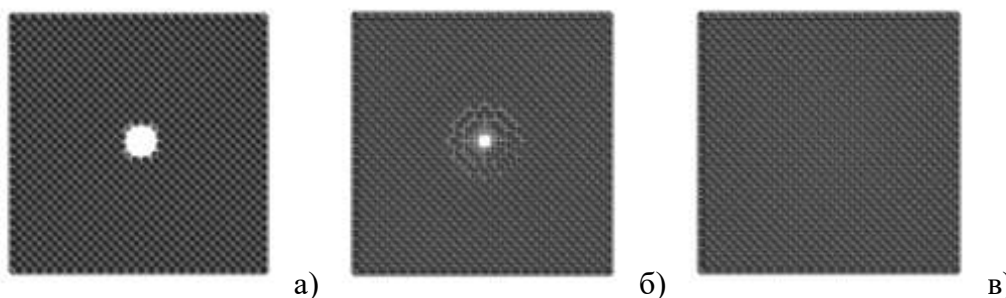


Рис. 1. Еволюція наноплівки товщиною 10 атомних прошарків з отвором діаметром 8 атомних прошарків.

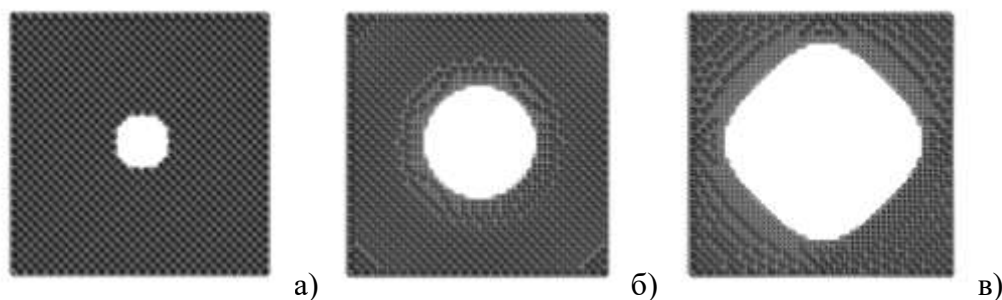


Рис. 2. Еволюція наноплівки товщиною 10 атомних прошарків з отвором 12 діаметром атомних прошарків.

Підтверджено, що для наноплівки існує критичний розмір отвору по порядку величини рівний товщині плівки, який визначає її стійкість. Плівка з отвором діаметр якого менший критичного залишається стійкою (рис. 1) і отвір стягується. Якщо ж діаметр перевищує критичний розмір, то відбувається подальше його збільшення (рис. 2), що відповідає нестійкості і подальшому руйнуванню плівки.

Представлені результати підтверджують валідність застосування методу SKMF до опису кінетики морфології нанорозмірних систем.

Науковий керівник: к.ф.-м.н., доцент Пасічний М. О.

*Храновський І. С., Прус В. О.*

*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького*

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЙНОЇ ДИФУЗІЇ В СИСТЕМІ МІДЬ-ОЛОВО

Основною вимогою до сучасних гаджетів та іншої мікропроцесорної техніки є їх надійність. Одна з причин виходу з строю пристроїв – це руйнування пайових контактів в мікросхемах при їх перегріві. Даний процес обумовлений утворенням пор у проміжній фазі  $\epsilon$ -Cu<sub>3</sub>Sn, яка утворюється після нагрівання [1]. Як було досліджено і представлено в наукових роботах, безпосереднє проходження електричного струму через пайовий контакт також викликає утворення пор на межі пари мідь-олово [2]. Тому дослідження вказаної системи при різних температурних режимах є актуальною задачею.

Як видно з діаграми стану Cu-Sn, при певних концентраційних співвідношеннях і температурі з'являються фази  $\epsilon$ -Cu<sub>3</sub>Sn та  $\eta$ -Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> (рис.1.)

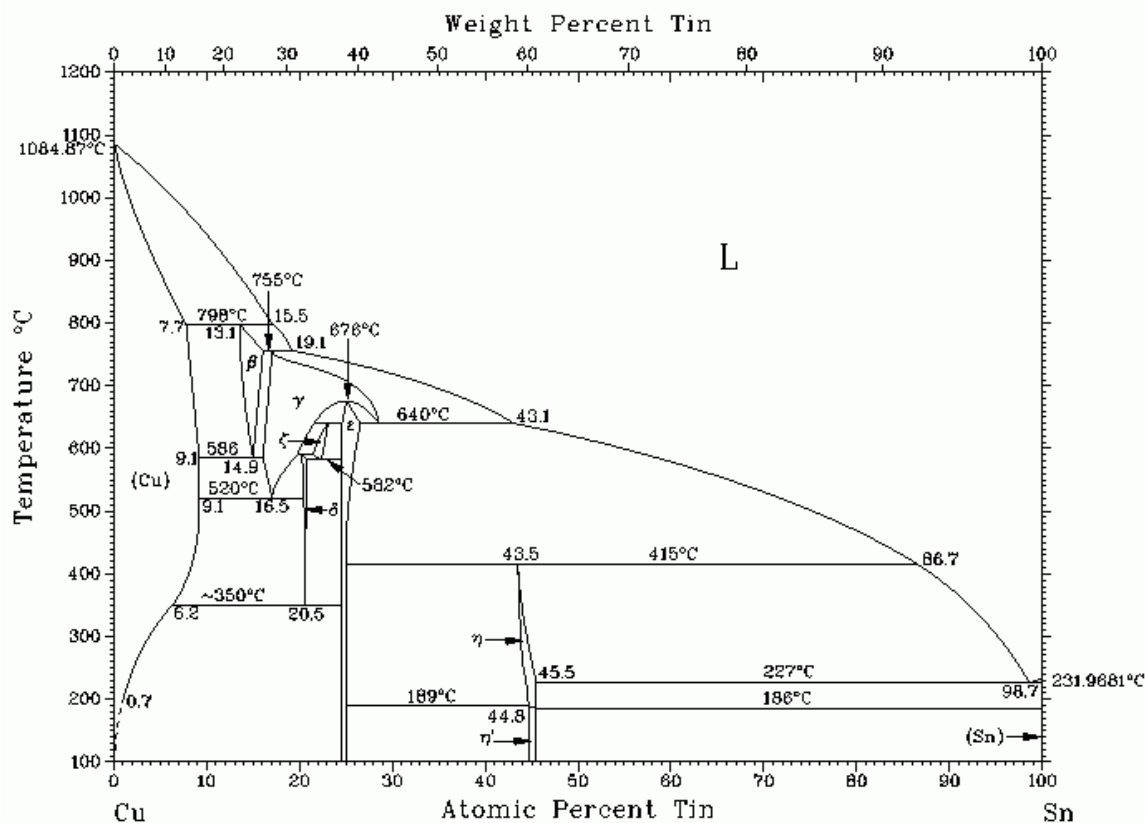


Рис. 1. Діаграма стану системи Cu-Sn.