

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ПО ПОВЕРХНІ ЕЛЕМЕНТІВ ПАМ'ЯТІ

**Анотація.** У статті розглянута розроблена авторами методика і наведені результати дослідження розподілу електричних полів по поверхні елементів пам'яті за допомогою двопробірного сканування методом атомно-силової мікроскопії. Дослідження проводилися на робочих модулях пам'яті DD2 SDRAM в процесі їх функціонування.

В результаті дослідження отримано залежність зменшення розподілу електричного заряду з часом, встановлені причини такого зменшення та надано рекомендації щодо підвищення надійності зберігання даних в напівпровідникових елементах пам'яті.

Встановлено, що через п'ять хвилин від початку подачі живлення відбувається незначне зменшення накопиченого заряду в комірці пам'яті. Тому, для запобігання збоїв і надійного зберігання даних в оперативній пам'яті, слід періодично (не рідше ніж раз на 60 хвилин) перезаписувати інформацію в усіх осередках пам'яті, включаючи навіть ті, які призначені для довгострокового зберігання інформації.

Показано, що за допомогою методу атомно-силової мікроскопії можливе відновлення пошкодженої ділянки осередку пам'яті за допомогою зонда, який працює в режимі колоїдного датчика, вістрям захоплюючого вільну молекулу з ділянки металізації і переносить її на пошкоджене місце ділянки. Таким чином підвищується надійність і час роботи осередків. Цей спосіб рекомендується авторами для відновлення структури в критичних елементах напівпровідникових запам'ятовуючих пристроїв.

**Ключові слова:** наноелектроніка, напівпровідники, програми керування АСМ, атомно-силовий мікроскоп.

**Вступ.** Сучасний розвиток мікро- та наноелектроніки, функціональної електроніки, а також впровадження в промисловість нових засобів, що містять напівпровідникові елементи пам'яті, висуває до таких елементів пам'яті вимоги щодо високої надійності, швидкодії та точності функціонування. Основним завданням при застосуванні таких елементів залишається збільшення їх швидкодії та зменшення габаритів, чим покращується їх оперативність та знижується енергоспоживання. Вирішення даного завдання неможливе без сучасних засобів і методів дослідження стану поверхні кристалу елемента пам'яті, а також фізичних та функціональних характеристик напівпровідникових запам'ятовуючих пристроїв.

Проте, на сьогодні є ряд невирішених питань, пов'язаних із забезпеченням високих та стабільних показників точності і надійності функціонування систем критичного застосування [1].

Як наслідок, це веде до підвищення інтенсивності відмов та виникнення збоїв, що викликає затримку у роботі та може призвести до непередбачуваних наслідків. Особливо критичною є відмова запам'ятовуючих пристроїв в системах керування стратегічними енергетичними об'єктами, аерокосмічними об'єктами, системах життєзабезпечення тощо.

Тому, актуальна задача дослідження елементів та прогнозування термінів їх працездатності пам'яті полягає у встановленні розподілу електричних полів по досліджуваній поверхні.

При цьому, для дослідження розподілу електричних властивостей перспективним є використання методу атомно-силової мікроскопії з використанням кремнієвих зондів, модифікованих тонким (до 2 нм) покриттям срібла [2].

Це дозволяє досліджувати поверхневі заряди на напівпровідниках та діелектриках шляхом генерації між зондом і зразком постійної напруги. Дослідження області розподілення поверхневих зарядів на поверхні можливе з використанням двопробірного сканування за методикою електросилової мікроскопії [3].

В такому режимі зонд здійснює два проходи відносно поверхні: перший прохід сканування здійснюється для отримання АСМ-зображення топографії; при другому проході система збільшує відстань між зондом і зразком і сканує ту саму ділянку поверхні повторно, переміщаючи зонд паралельно рельєфу на основі АСМ-даних, отриманих при першому проході (подібно режиму постійної сили), тільки за генерації між зондом і зразком постійної напруги. Різниця між двома проходами містить силу карту розподілу електричного заряду на поверхні

елементу пам'яті.

Таким чином, дослідження розподілу електричних полів по поверхні запам'ятовуючих пристроїв, визначення причин швидкого зменшення накопичених в комірках напівпровідникових елементів пам'яті електричних зарядів та шляхів підвищення надійності збереження даних в таких елементах є задачею актуальною, вирішення якої розглядається в даній статті.

Метою статті є розробка методики та проведення експериментальних досліджень розподілу електричних полів по поверхні напівпровідникових елементів пам'яті, що дозволяє встановити причини та визначити шляхи підвищення надійності збереження даних в таких елементах пам'яті.

**Методика проведення експериментальних досліджень.** В підготовці та проведенні методики використовувалися наступні прилади і матеріали: атомно-силовий мікроскоп (АСМ) “NT-206V” (виробник “Микротестмашины”, м.Гомель, Білорусь) пінцет, ексикатор, шафа пилозахисна ШЗА. Для візуалізації об'єкта при збільшенні до 100 разів використано оптичну камеру “Logitech” виробництва США, поле огляду якої дорівнює  $1 \times 0,75 \text{ мм}^2$ .

В якості досліджуваних зразків використовувалися елементи пам'яті типів DD2 SDRAM, що не знаходилися в експлуатації або знаходилися при оптимальних режимах експлуатації на протязі п'яти років, які були узяті у кількості 20 штук. Дані зразки попередньо препарувалися за методикою, описаною в [4], що дозволило очистити мікросхему пам'яті від захисного шару і зберегти її працездатність. Після цього зразок сканувався за допомогою АСМ двопрохідним скануванням [3, 5] для визначення рельєфу та карти розподілу електричних зарядів по поверхні зразка.

Підготовка до вимірювань мікрогеометрії поверхні функціональних шарів елементів пам'яті методом АСМ здійснювалася в наступній послідовності [6, 7]: підготовка зразків до дослідження; підготовка атомно-силового мікроскопу до роботи; отримання розподілу електричного заряду по поверхні методом АСМ; завершення роботи АСМ. Середній час підготовки до роботи та сканування одного зразка складав 15...18 хвилин.

Підготовка зразків до дослідження. Підготовка зразків до дослідження починається з виготовлення утримувача, який виконується наклеюванням на одну зі сторін металевої шайби діаметром 20 мм двосторонньої клейкої стрічки. Далі на вільну сторону клейкої стрічки кріпиться досліджуваний зразок.

Далі проводиться підготовка самої мікросхеми пам'яті. Особливістю такої підготовки є препарування мікросхеми, що залишає її в працездатному стані. Дрилем робиться невелике поглиблення в центрі мікросхеми та крапаємо туди концентрованою азотною або сірчаною кислотою (необхідно брати димлячу червону азотну кислоту або олеум) і нагрівається приблизно до  $100^\circ\text{C}$ .

Коли реакція закінчується – її залишки змиваються ацетоном, мікросхема сушиться і клапається наступна крапля кислоти. Усе це робиться під витягом в захисних окулярах/протигазі та рукавичках.

В результаті – кристал мікросхеми пам'яті стає відкритим і залишається працездатним, оскільки золотий дріт приварений до кристала, залишається неушкодженим. Збереження працездатності необхідне, оскільки нам необхідно досліджувати роботу мікросхеми (при цьому, якщо необхідно скинути біти у флеш/еeprom пам'яті, постійно або тимчасово – можна посвітити на певну ділянку кристалу ультрафіолетовим лазером).

Підготовка атомно-силового мікроскопу до роботи. Після з'єднання модулів АСМ між собою і їх підключення до ПК і до електричної мережі, прилад може бути включений, для чого виконуються такі дії: включається керуючий комп'ютер (у тому числі і монітор); включається блок електроніки керування за допомогою кнопки „POWER”; запускається програма управління АСМ „SurfaceScan”; активізується панель „Laser” в програмі управління, включається лазер і підсвічення предметного столика п'єзосканера.

Встановлення утримувача з досліджуваним зразком. Утримувач із елементом пам'яті, призначеним для дослідження на приладі (надалі – зразок), необхідно розмішувати на предметному столику АСМ. Розміри зразка повинні бути в межах діаметра 30 мм і висоти 8 мм. Для отримання високоякісного АСМ зображення, зразок повинен розташовуватися на одному рівні, плоскою стороною до зонду.

При установці зразка необхідно пам'ятати, що область на поверхні, яку планується сканувати, повинна знаходитися по можливості ближче до центру предметного столика. В цьому випадку спотворення на отриманому АСМ-зображенні, що спричиняється сферичним характером руху сканера, будуть мінімальними.

Отримання топограми ділянки поверхні методом АСМ. За даною методикою проводиться сканування плоскої поверхні (ділянка сканування 13×13 мкм) та одержання зображення її мікрорельєфу у статичному (контактному) та безконтактному режимах роботи АСМ.

Головною особливістю даного методу є здатність вимірювальної системи відслідковувати діапазон відхилень консолі від нейтрального положення по ширині у 35 мкм, довжині – 350 мкм та товщині – 70 мкм.

Підведення зразка до зонда. Процедура підведення безпосередньо передуює процесу вимірювання і повинна виконуватися в автоматичному режимі, оскільки система керування може достатньо точно зафіксувати момент контакту зонду з поверхнею і відключити підведення в необхідний момент.

У приладі передбачено вертикальне переміщення платформи (предметного столика) зі зразком при різних швидкостях у процесі підготовки до сканування (максимальна швидкість 0,128 м/с; мінімальна швидкість 0,016 м/с).

Швидкість обертання двигуна вертикального переміщення регулюється установкою затримки селектором „Drive delay” в панелі „Main”. При цьому слід враховувати, що більше значення затримки відповідає меншій швидкості підведення.

Оператор при цьому повинен візуально стежити за процесом підведення і по досягненні відстані між зразком і зондом близько 1 мм зупинити грубе підведення, натискаючи кнопку “STOP” в панелі „Main”.


Налаштування параметрів коливань консолі проводиться в панелі „Generator”, а також в додатковій панелі сканування частоти коливань програми управління АСМ.

Сканування. Для здійснення двопрохідного сканування дотримується наступна послідовність операцій:

1. Вмикається прилад і здійснюється налаштування системи детектування згідно.
2. Режим двопрохідного сканування активується обиранням режиму «Two-pass scanning» в панелі «Main» програми керування АСМ.
3. Встановлюється відстань, на яку піднімається зонд.
4. Для запуску процедури сканування натискається кнопка «START» в панелі «Main».
5. Отриманий після закінчення вимірювань набір даних містить зображення топографії (по першому проходу) і зображення контрасту (по другому проходу).

При виникненні критичної ситуації рекомендується зупинити процес сканування і відвести поверхню від зонда залишаючи їх в контакті (тобто показання індикатора Z повинні після такого відведення залишатися нижче за максимум).

Завершення роботи атомно-силового мікроскопу. АСМ повинен вимикатися в наступному порядку [6, 7]:

- відводиться утримувач з досліджуванним об'єктом від зонду шляхом натискання кнопки  (відведення в автоматичному режимі) в панелі „MAIN” програми управління АСМ „SurfaceScan”;
- в панелі „Laser” керуючої програми „SurfaceScan” вмикається лазер і підсвічення;
- зберігаються на жорсткий диск ПК результати вимірювань шляхом вибору команди „Save” в меню „File” управляючої програми „SurfaceScan”.

Процес сканування завершується автоматично, після чого на моніторі комп'ютера отримується зображення поверхні. Для обробки та аналізу даних з мікрорельєфу використовується програма Surface v.6.2, що надає такі види інформації: тривимірна візуалізація реального рельєфу поверхні; профілювання поверхні у необхідному перерізі; розподіл електричного заряду по поверхні, тощо.

**Обговорення результатів експерименту.** Проведені дослідження дозволили визначити та отримати зображення ділянки елементу пам'яті, на якій спостерігалися, як комірки пам'яті, так і зони металізації самої мікросхеми. Так, на рис.1 наведені результати експериментального дослідження фрагменту зразка елементу пам'яті SDRAM, а саме: рельєфу (рис. 1, а, б) та карти розподілу електричних зарядів по поверхні зразка (рис. 1, в, г)

На рис.1, а, б чітко виражені комірки пам'яті на аксонометричному зображенні фрагменту кристалу елементу пам'яті, що розташовані вздовж «гребеня» - електричного провідника. В той же час, на карті розподілення електричних зарядів в елементі пам'яті на цій же ділянці (рис.1, в, г) спостерігається чітка залежність інтенсивності накопичення електричних зарядів від окремих фрагментів елементів пам'яті.

Так, найбільша інтенсивність розподілу електричного заряду спостерігається саме в комірках пам'яті, тоді як зона металізації – електричного провідника, навпаки, має «провал» у

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

розподілі електричного заряду (по ньому електричний заряд повністю «стікає» на заземлюючий електрод).

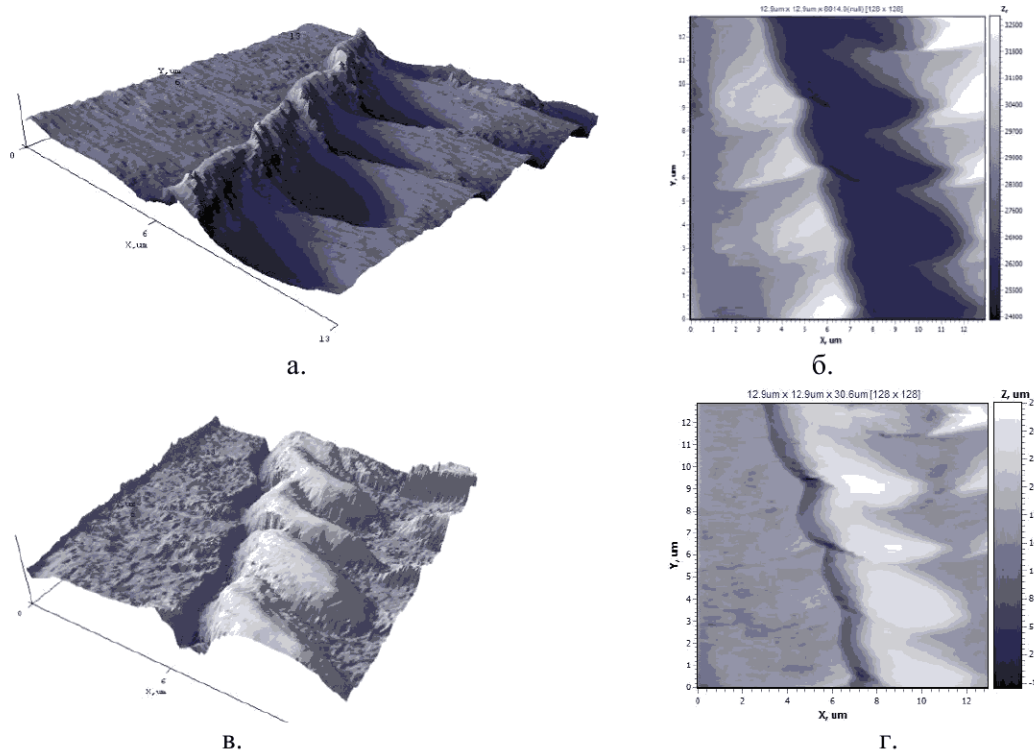


Рис. 1 – Аксонометрія (а, в) та топограма (б, г) рельєфу (а, б) та карти розподілу електричних зарядів (в, г) по поверхні кристалу елементу пам'яті

Отримано прогнозований граничний термін експлуатації та встановлено залежності між часом запису-зчитування та показниками надійності, а також приведені залежності впливу зовнішніх факторів на надійність запам'ятовуючих пристроїв [8]. Наведені результати витрат заряду в комірках пам'яті багаторазового запису (порядку 20 разів) від початку подання живлення, в момент подання живлення, через 5 хвилин та через 60 хвилин від початку роботи мікросхеми пам'яті. На рис.2 представлена профілограма розподілу заряду по поверхні елементу пам'яті запам'ятовуючого пристрою DDR2 SDRAM.

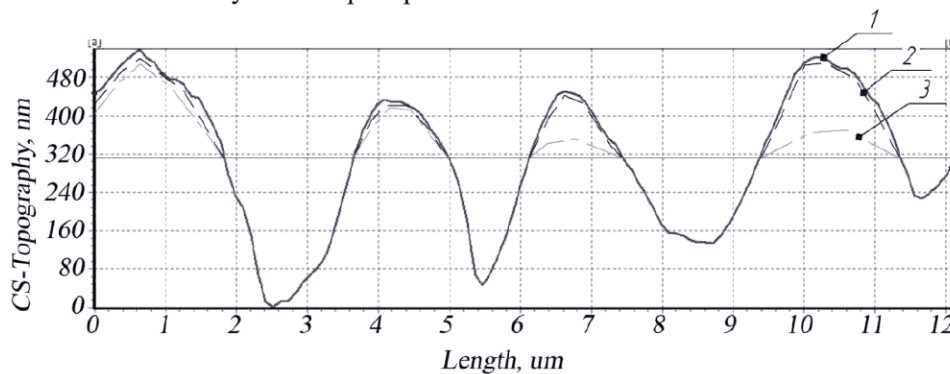


Рис. 2 – Профілограма розподілу заряду по поверхні елементу пам'яті: 1 – в початковий момент часу; 2 – через 5 хвилин; 3 – через 60 хвилин.

В результаті такого дослідження отримано залежність зменшення розподілу електричного заряду з часом (рис.2), яка дозволяє визначити рівень зменшення електричного заряду в комірках пам'яті з часом, встановити причини такого зменшення та надати рекомендації щодо підвищення надійності збереження даних в напівпровідникових елементах пам'яті.

Так, через п'ять хвилин від початку подання живлення відбувається незначне (на 1,5-2%) зменшення накопиченого заряду в комірці пам'яті, яке, на думку авторів, пов'язане з витратами електричного поля комірки під дією зовнішніх чинників (ультрафіолетового випромінювання, часткової поляризації мікрочастинок з оточуючого середовища – пилу, вологи тощо) та з методичними похибками самого методу дослідження з використанням АСМ.

В той же час, вже через 60 хвилин спостерігається суттєве (до 80%) зменшення



## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

накопиченого заряду в комірни́ пам'яті. Особливо це чітко спостерігається для крайніх до металізації комірок пам'яті. Це може відбуватися через витікання заряду через металізований шар на заземлювач, що, пов'язано зі зменшенням накопичувальної здатності кристалу (вплив зовнішнього середовища, часовою втомленістю матеріалу кристалу, його мікро- та макропошкодженнями).

З вищесказаного можна зробити висновок, що для уникнення збоїв, пов'язаних із накопиченням та збереженням інформації та, загалом, надійного збереження даних в оперативній пам'яті, слід періодично (але не рідше, ніж раз на 60 хвилин) перезаписувати інформацію в усіх комірках пам'яті, навіть в тих, що призначені для довготривалого зберігання оперативної інформації.

Разом з тим, авторами досліджувалися ділянки шини обміну даними елементу пам'яті пошкодженні внаслідок механічного впливу або електричного пробоя та проводилися заходи щодо відновлення таких пошкоджених ділянок [9].

Дослідження непрацездатної ділянки пам'яті методом АСМ показало, що в місці, де відбувається витікання заряду є механічне пошкодження ділянки шини обміну даними запам'ятовуючого пристрою (обрив шини обміну даними показано на рис.3).

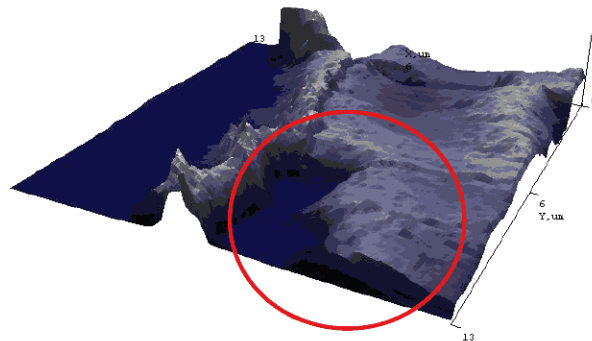


Рис. 3 – Тривимірне зображення елементу пам'яті з пошкодженою ділянкою шини обміну даними

Далі, проводили заходи щодо відновлення пошкодженої ділянки шини обміну даними з використанням такої унікальної функції методу АСМ, яка полягає у можливості використання його робочого інструменту – зонду в режимі колоїдного датчика, що дозволяє не тільки виявляти порушення структури комірок пам'яті запам'ятовуючого пристрою, але й відновлювати їх [10].

Це здійснюється шляхом захвату вільної молекули вістрям зонду з ділянки металізації та перенесення її у місце пошкодженої ділянки (рис.4).

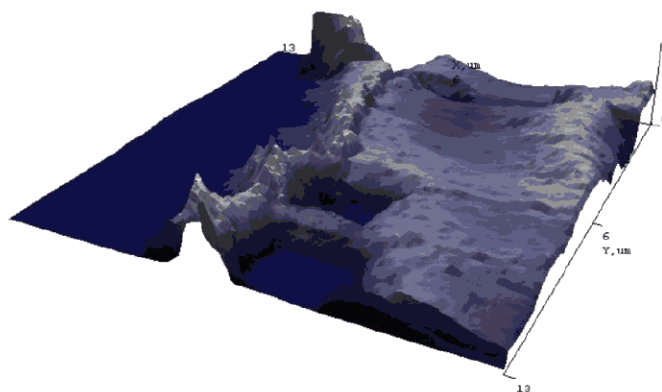


Рис. 4 – Тривимірне зображення відновленої структури елементу пам'яті за допомогою режиму колоїдного датчика атомно-силового мікроскопу

Проведені випробування відновленої за допомогою атомно-силового мікроскопу структури елементу пам'яті показали високу якість та надійність збереження даних (зменшення накопичувальної здатності відновлених у такий спосіб елементів пам'яті не перевищувало 1,5...2,3%) в таких напівпровідникових запам'ятовуючих пристроях.

Тому, не дивлячись на відносну складність при підготовці та проведенні експериментальних досліджень, даний спосіб відновлення пошкоджених ділянок елементів пам'яті може бути рекомендований авторами для відновлення структури в критичних елементах напівпровідникових запам'ятовуючих пристроїв.

**Висновки.** В статті наведені результати експериментальних досліджень розподілу електричних полів по поверхні напівпровідникових елементів пам'яті за розробленою авторами методикою. Це дозволило встановити причини та визначити шляхи підвищення надійності збереження даних в таких елементах пам'яті.

В результаті дослідження витрат електричного заряду в комірках пам'яті багаторазового запису в різні моменти їх роботи отримана залежність зменшення розподілу заряду з часом, яка дозволяє визначити рівень його зменшення, встановити причини такого зменшення та надати рекомендації щодо підвищення надійності збереження даних в напівпровідникових елементах пам'яті.

Встановлено, що через п'ять хвилин від початку подання живлення відбувається незначне (на 1,5-2%) зменшення накопиченого заряду в комірці пам'яті, тому для уникнення збоїв та надійного збереження даних в оперативній пам'яті, слід періодично (але не рідше, ніж раз на 60 хвилин) перезаписувати інформацію в усіх комірках пам'яті, навіть в тих, що призначені для довготривалого зберігання оперативної інформації.

Показано, що за допомогою методу атомно-силової мікроскопії можливе не лише виявлення пошкодженої ділянки елементу пам'яті, але й її відновлення за допомогою зонда, який працює в режимі колоїдного датчика. Це дозволяє підвищити надійність і час роботи елементів пам'яті. Така унікальна можливість методу дозволяє в перспективі розглядати АСМ, як основний інструмент для відновлення елементів мікро- та наноелектроніки, мікромеханіки, фотоніки тощо.

#### Інформаційні джерела

1. Ryabtsev V.G. A lot of the versions for diagnosing microcircuits memory devices of critical computer control systems / V.G. Ryabtsev, V.A. Andrienko, I.A. Kolpakov // East-West Design & Test Workshop: IEEE Symposium 2005, September 15-19, 2005, Proceeding of Symposium. – Odessa, 2005. – P. 115-118.
2. Методи та засоби мікроскопії [Текст]: монографія / В.С.Антонюк, Г.С.Тимчик, Ю.Ю.Бондаренко, П.В.Петльованій, С.О.Білокінь, М.О.Бондаренко // К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 336 с.
3. Білокінь С.О. Моделювання електростатичної взаємодії зонда атомно-силового мікроскопу з діелектричною поверхнею / С.О. Білокінь, В.О. Андрієнко [та ін.] // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2014. – Вип. 2 (41). – С. 233-237.
4. Ускова М.А. Методы препарирования интегральных микросхем для топологического анализа / М.А.Ускова, В.В.Лучинин // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», №1, 2009. – С. 13-20.
5. Антонюк В.С. Перспективи використання методу атомно-силової мікроскопії при комплексному контролі елементів приладів точного приладобудування / В.С. Антонюк, Ю.Ю. Бондаренко, М.О. Бондаренко, С.О. Білокінь, В.О. Андрієнко // Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 5. – С. 5-9.
6. Birdi K.S. Scanning Probe Microscopes. Application in Science and Technology. / K.S. Birdi // CRC Press LLC, Florida, 2003. – 328 p.
7. Мікроскопія в нанотехнологіях [Текст]: монографія / В.С.Антонюк, Г.С.Тимчик, О.В.Верцанова, Ю.Ю.Бондаренко, С.О.Білокінь, М.О.Бондаренко // К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 258 с.
8. Андрієнко В.О. Прогнозування терміну надійної експлуатації інтегральних мікросхем радіотехнічних пристроїв / В.О. Андрієнко, В.В.Іванченко, А.В. Гончаров, Є.В. Скорина, В.С. Антонюк // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Приладобудування. – 2014. – Вип. 48(2) – С. 125-130.
9. Бондаренко М.О. Корегування точності вимірювання методом атомно-силової мікроскопії нанорозмірних структур утворених на поверхнях функціональних матеріалів / М.О. Бондаренко, Ю.Ю. Бондаренко, В.О. Андрієнко // Приладобудування: стан і перспективи: XIII Міжнародна науково-технічна конференція, 23-24 квітня 2014 р., тези доповідей. – Київ, 2014. – С. 83-84.
10. Helfricht N. Extending the Limits of Direct Force Measurements: Colloidal Probes from Sub – Micron Particles / N.Helfricht, A.Marka, L.Dorwling-Carterb, T.Zambellib, G.Papastavrou // Nanoscale (2013), DOI: 10.1039/C7NR02226C. – 11 p.

<sup>1</sup>Андрієнко В.А., к.т.н., <sup>2</sup>Паткевич О.И., <sup>2</sup>Антонюк В.С., д.т.н., <sup>1</sup>Бондаренко М.А. к.т.н.

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет

# **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПАМЯТИ**

*В статье рассмотрена разработанная авторами методика и приведены результаты исследования распределения электрических полей по поверхности элементов памяти с помощью двухпроходного сканирования методом атомно-силовой микроскопии. Исследования производились на рабочих модулях памяти DD2 SDRAM в процессе их функционирования.*

*В результате исследования получена зависимость уменьшения распределения электрического заряда со временем, установлены причины такого уменьшения и даны рекомендации по повышению надежности хранения данных в полупроводниковых элементах памяти.*

*Установлено, что через пять минут от начала подачи питания происходит незначительное уменьшение накопленного заряда в ячейке памяти. Поэтому, для предотвращения сбоев и надежного хранения данных в оперативной памяти, следует периодически (не реже чем раз в 60 минут) перезаписывать информацию во всех ячейках памяти, включая даже те, которые предназначены для долгосрочного хранения информации.*

*Показано, что с помощью метода атомно-силовой микроскопии возможно восстановление поврежденного участка ячейки памяти с помощью зонда, работающего в режиме коллоидного датчика, острием захватывающего свободную молекулу с участка металлизации и переносящего ее на поврежденное место участка. Таким образом повышается надежность и время работы ячеек. Этот способ рекомендуется авторами для восстановления структуры в критичных элементах полупроводниковых запоминающих устройств.*

**Ключевые слова:** *нанoeлектроника, полупроводники, программы управления АСМ, атомно-силовой микроскоп.*

**V. Andrienko, O. Patkevych, V. Antonyuk, M. Bondarenko**

<sup>1</sup>Cherkassy State Technological University

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky"

# **STUDY OF THE ELECTRIC FIELDS DISTRIBUTION ON THE MEMORY ELEMENTS SURFACE**

*The article describes a technique developed by the authors and the study results of the electric fields distribution on the memory elements surface via atomic force microscopy two-pass scan. The studies were carried out on memory modules DD2 SDRAM in the process of their functioning.*

*As a result of the study, the dependence of the decrease with time in the electric charge distribution was obtained, the reasons for this decrease were established, and were given recommendations to improve the reliability of data storage in semiconductor memory elements.*

*It is found that after five minutes from the power supply start occurs a slight decrease in the accumulated charge in the memory cell. Therefore, in order to prevent malfunctions and reliable data storage in RAM, you should periodically (at least every 60 minutes) rewrite information in all memory cells, including even those intended for long-term information storage.*

*It is shown that by the method of atomic force microscopy is possible to restore damaged memory cells with a probe that operating in colloidal sensor mode, edgewise gripping with a free molecule from metallization area and transporting it to the place of damage. This increases reliability and the lifetime of cells. This method is recommended by the authors to restore critical structure elements in semiconductor memory devices.*

**Keywords:** *nanoelectronics, semiconductors, controller programs AFM, atomic-force microscope.*