

## Флеш-пам'ять, її будова, принципи функціонування і застосування

Швидкий розвиток індустрії апаратного забезпечення інформаційних технологій змушує, навіть тих вчителів, хто нещодавно отримав диплом, постійно бути готовими до запитань учнів про те, чого не навчали в педагогічному виші. Такі запитання можуть стосуватись тих пристроїв апаратного забезпечення, які стали поширеними протягом останніх трьох – п'яти років. До них, зокрема, належать сучасні пристрої енергонезалежної твердотільної пам'яті, найбільш поширеними з яких є пристрої флеш-пам'яті. Постачання цих пристроїв вже передбачено специфікацією НКК для закладів освіти. Окремо слід зазначити, що деякі виробники апаратного забезпечення вже відмовились від використання дискет (флопі-дисків), на материнських платах навіть не передбачають відповідних роз'ємів.

Флеш пам'ять – це тип перепрограмованої комп'ютерної пам'яті, вміст якої можна очистити або змінити електричним методом. На відміну від пристроїв пам'яті з довільним зверненням і електронним очищенням (англ.: EEPROM – Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory) дії над нею виконуються в блоках, що можуть бути фізично розділеними (у перших розробках флеш пам'яті її чіп міг очищуватись лише один раз). При значно меншій ціні флеш пам'яті в порівнянні з EEPROM, вона стала домінуючою технологією, що забезпечує довготривале, енергонезалежне і достатньо надійне збереження даних. Приклади її застосування найрізноманітніші, від цифрових аудіо плеєрів, відео камер до мобільних телефонів і КПК. Флеш пам'ять також використовується в USB Флеш дисках ("пальчикового типу" або "переносних дисках"), які зазвичай використовуються для збереження або просто перенесення даних між комп'ютерами. Деяку популярність вона отримала в геймерському світі, де часто використовували пам'ять типу EEPROM, або навіть залежну від живлення SDRAM для збереження інформації про прогрес гри.

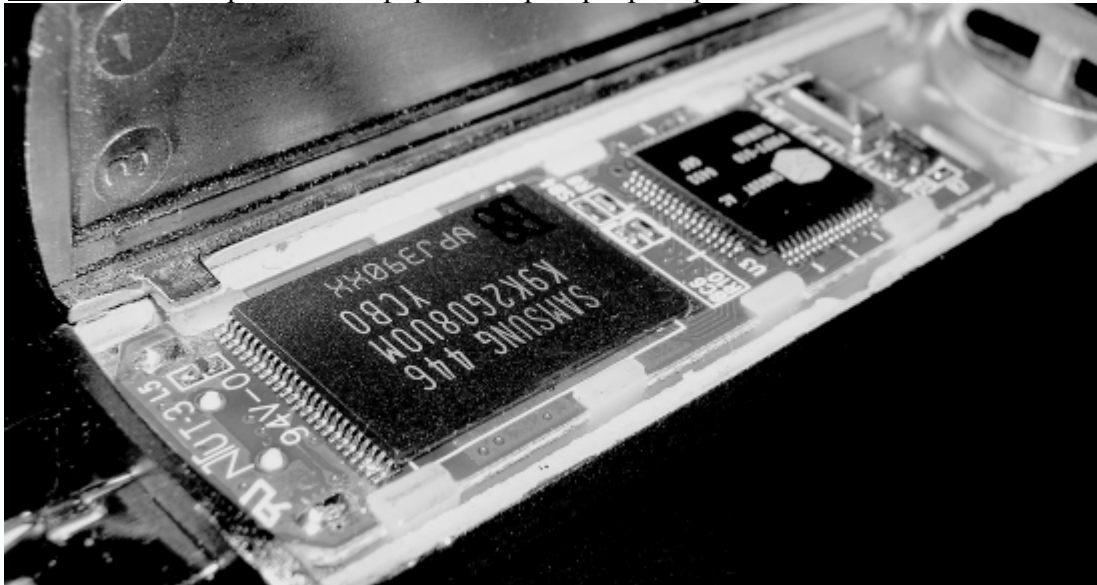


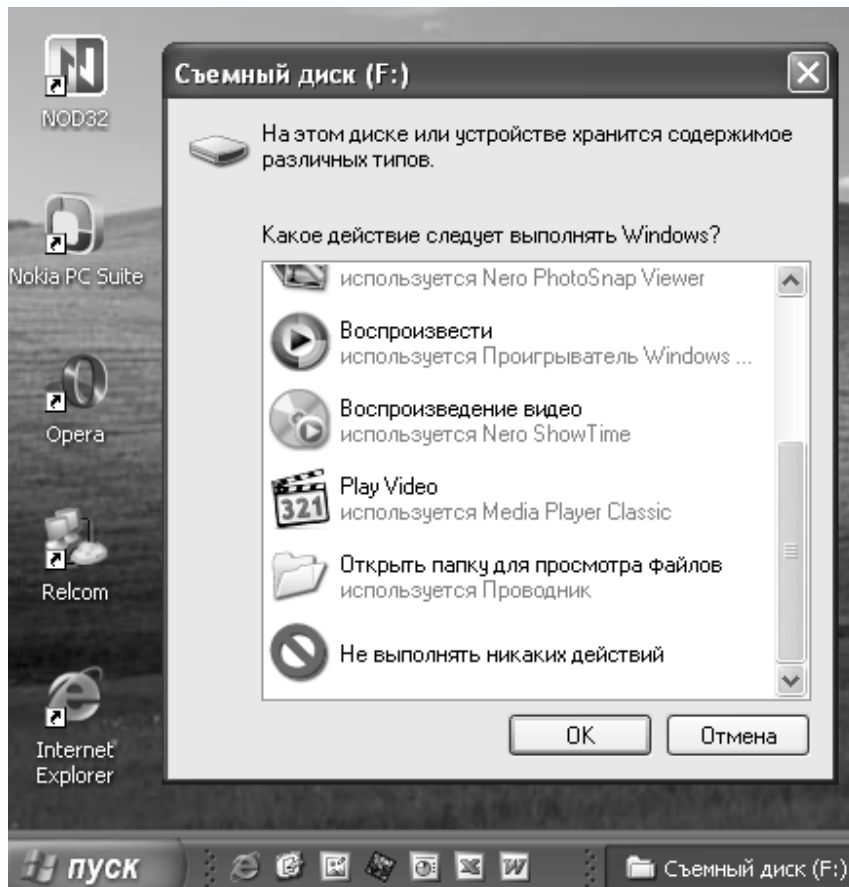
Рис. 1. Пристрій флеш пам'яті з розкритим корпусом (видно власне чіп пам'яті, чіп управління та пристрої вторинного живлення й узгодження з інтерфейсом USB)

Флеш пам'ять забезпечує досить велику швидкість доступу до даних (хоча вона не настільки велика, як у DRAM) і краще витримує механічні струси, ніж вінчестери. Ці характеристики пояснюють популярність флеш пам'яті для переносних приладів. Іншою перевагою флеш пам'яті є те, що коли вона виконана у спеціальному корпусі, стає майже неможливо зруйнувати її стандартними фізичними методами, що дає змогу витримувати високий тиск і кип'ячу воду [1].

Сьогодні обсяги одиничних пристроїв флеш пам'яті мають значення від одиниць до десятків і сотень гігабайтів. Швидкості звернення (запису/зчитування) до сучасних пристроїв флеш пам'яті знаходиться в діапазоні між 2Мб/с і 12 Мб/с, тобто суттєво повільніші, ніж SDRAM і DDR, але швидші за деякі пристрої DVD. Надто важливим, звичайно, є те, що запис на флеш пам'ять здійснюється як на звичайний жорсткий диск, без додаткового програмного забезпечення.

Звичайно, ця простота досягається за рахунок додаткового програмного забезпечення,

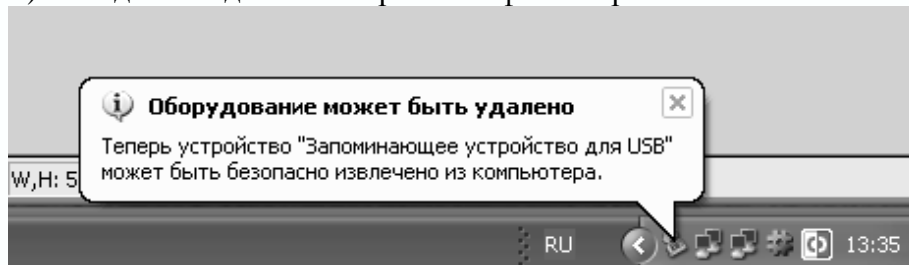
включеного до складу сучасних ОС (Millennium, Windows 2000, XP, Vista, останніх версій Linux тощо). Слід пам'ятати, що це програмне забезпечення відсутнє в ОС, розроблених до 2000 року, тому використання флеш пам'яті на комп'ютерах, що працюють під управлінням таких ОС, вимагає використання спеціальних драйверів, різних для кожного пристрою флеш пам'яті.



А) Завантаження файлової системи флеш картки (знімного пристрою з файловою структурою)



Б) Виведення відомостей про вміст флеш картки



В) Розмонтування пристрою зовнішньої пам'яті

Рис. 2. Обов'язкова послідовність виконання дій з флеш картою

Найбільшою поширеною причиною втрати даних картки флеш пам'яті є те, що її витягують із пристрою, коли дані ще знаходяться у кеш-пам'яті і реального запису не відбулось. Ситуація погіршується, якщо використовувати несумісні файлові системи (наприклад – NTFS на вінчестері і

FAT32 на флеш картці), тому що в цих випадках може бути втраченим не тільки файл, що безпосередньо записується (модифікується), а й зруйнована вся файлова система флеш-картки.

В деяких випадках можливо відновити інформацію з флеш пам'яті, але ця операція, як і звичайне форматування картки, вимагає спеціалізованого програмного забезпечення, тому слід завжди строго дотримуватись вказаного на рис.2 алгоритму роботи і сформуванати відповідні навички в учнів.

Різноманіття сучасних виконань флеш пам'яті включає виробу досить широкого цінового діапазону – від сорока до тисячі і більше гривень. Вартість визначається не тільки ємністю і швидкістю, але й деякими іншими, специфічними якостями, зокрема розмірами, масою, міцністю корпусу тощо. Деякі сучасні пристрої показано на рис.3



А) Флеш картки для фотоапаратів, телефонів тощо (механічна міцність мінімальна, розраховані на використання в складі пристрою).



Б) Бюджетний варіант – USB 2.0, читання – 10 MByte/s, запис – 3 MByte/s, маса 8 г.



В) Покращений захист: масивний алюмінієвий корпус, водонепроникний до 200 м глибини, стійкий до високих температур, швидкості: читання 34 MByte/s, запису – 28 MByte/s, програма шифрування TrueCrypt 4.3.



Г) Високий захист інформації: додатковий корпус, стійкий до високих температур, швидкості: читання 30 MByte/s, запису – 25 MByte/s, доступ за відбитком пальця, маса 11 г.



Д) Спеціалізована флеш картка, призначена для буферизації даних ОС Vista, у кутовому виконанні, встановлена як напівпостійний пристрій на переносний комп'ютер.

Рис. 3. Сучасні пристрої флеш пам'яті та їх деякі характеристики

### Принцип дії флеш пам'яті

Флеш пам'ять зберігає інформацію в масиві комірок, кожна з яких може бути бістабільним



пристроєм, тобто зберігати по одному біту даних. Кожна комірка - це польовий транзистор із плаваючим затвором. Найновіші пристрої (інколи їх ще називають багатозарядними пристроями) можуть містити в комірці більше ніж 1 біт, використовуючи два або більше рівнів електричних зарядів, розташованих у просторі плаваючого затвору комірки.

У флеш пам'яті типу NOR кожна комірка схожа на звичайний метал-оксидний напівпровідниковий польовий транзистор (англ.: MOSFET), але у ній є не один затвор, а два. Як і будь-який інший польовий транзистор, вони мають керуючий затвор (КЗ), а, окрім нього, ще й плаваючий затвор (ПЗ), замкнений всередині оксидного шару. ПЗ розташований між КЗ і підкладкою. Оскільки ПЗ відокремлений власним шаром оксиду, то будь-які електрони, що потрапляють на нього, одразу потрапляють в пастку, що дозволяє зберігати дані. Захоплені плаваючим затвором електрони змінюють (практично компенсують) електричне поле керуючого затвору, що змінює порогову напругу ( $V_p$ ) затвору. Коли з комірки "зчитують" дані, до КЗ прикладають певну напругу, в залежності від якої в каналі транзистора протікатиме або не протікатиме електричний струм. Ця напруга залежить від  $V_p$  комірки, яка в свою чергу визначається кількістю захоплених плаваючим затвором електронів. Величина порогової напруги зчитується і декодується в одиницю або нуль. Якщо плаваючий затвор може мати кілька зарядових станів, то зчитування відбувається за допомогою вимірювання сили струму в каналі транзистора.

Для запису інформації в комірку NOR необхідно зарядити плаваючий затвор. Цього досягають, пропускаючи через канал транзистора сильний струм, при якому виникають електрони, що мають достатню енергію для подолання оксидного шару.

Для очищення плаваючого затвору від електронів (стирання даних) до керуючого затвору прикладають значну напругу, яка створює сильне електричне поле. Захоплені плаваючим затвором електрони висмоктуються цим полем, тунелюючи через оксидний шар.

У приладах з однотипною напругою (теоретично всі чіпи, які доступні нам на сьогоднішній день) ця висока напруга створюється генератором підкачки заряду. Більшість сучасних компонентів NOR пам'яті розділені на сегменти, які часто називають блоками чи секторами. Всі комірки пам'яті в блоці повинні бути очищені одночасно.

NAND пам'ять використовує тунельну інжекцію для запису і тунельний випуск для вилучення. Більшість запам'ятовуючих приладів, які відомі як USB флешки, побудовані з використанням NAND технології.

### **Історія винайдення**

Флеш пам'ять (обидва типи – NOR та NAND) була винайдена доктором Фуджіо Масуока, коли він працював на компанію Toshiba у 1984 р. Якщо вірити фахівцям фірми Toshiba, назва "Флеш" прийшла на думку колезі доктора Масуока – містеру Шої Арізумі, оскільки процеси вилучення вмісту пам'яті нагадували йому спалах фотокамери (англ.: flash). Доктор Масуока репрезентував винахід у 1984 році на зустрічі "Міжнародні Електронні Прилади" (IEDM), яка відбулася в місті Сан Хосе, Каліфорнія. Фахівці фірми Intel побачили високий потенціал цього винаходу і фірма розпочала комерційний випуск флеш пам'яті типу NOR у 1998 році.

Пам'ять, що базується на NOR, має тривалі цикли запису-видалення даних, проте повноцінний адресний/інформаційний інтерфейс, який забезпечує можливість довільного звернення до будь-якої комірки, тобто реалізацію режиму RAM. Це робить її ідеальною для збереження програмного коду, який не потрібно часто оновлювати. Прикладом є зберігання BIOS комп'ютера або програмного забезпечення різноманітних приладів. Цей інтерфейс витримує від 10000 до 1000000 циклів вилучення даних. Даний тип пам'яті став базою найперших переносних медіа програвачів; *Compact Flash* з самого початку базувався на ньому, хоча потім перейшов на дешевший варіант – NAND пам'ять.

NAND флеш пам'ять, яку Toshiba представила на ISSCC у 1989 році, стала наступною. В ній швидше відбуваються цикли вилучення/запису, вона дешевша і в 10 раз міцніша за свого попередника. Проте її інтерфейс вводу/виводу надає лише послідовний доступ до даних, тобто вимагає створення файлової системи. Саме тому її можна використовувати для пристроїв запису масивів даних, таких, як PC карточки, різні карти пам'яті і, в дещо меншій мірі, для комп'ютерної пам'яті. Перша картка, що базувалась на форматі NAND була *SmartMedia*, після неї з'явилися: *MMC*, *Secure Digital*, *Memory Stick* та *xD-Picture* карти пам'яті. Нове покоління цих форматів використовують *RS-MMC*, *мікро* та *miniSD* варіанти *Secure Digital* і нова USB-карта-пам'яті *Intelligent Stick*. Карти мають значно менші розміри, зазвичай менше, ніж 4 см<sup>2</sup>.

## Пам'ять типу NOR

Режим читання NOR пам'яті подібний до читання зі звичайної пам'яті, доступ забезпечується через шини адреси та даних, тому пам'ять типу NOR може бути використана як пам'ять типу XIP (execute-in-place), а це означає що вона для операції читання подібна до ROM пам'яті, прив'язуючись до конкретних адрес. Сумістимість з архітектурою фон-Нейманівської машини робить її придатною, як вже було зазначено, для зберігання програм, які виконуються безпосередньо з неї. Флеш пам'ять NOR не має системи впорядкування внутрішніх дефектних блоків, тому тоді, коли флеш блок втрачає свою внутрішню структуру, тоді або програма, яка використовує його, повинна вчинити деякі дії, або пристрій зупиняє роботу. Спеціальні команди записуються на першу сторінку адресної пам'яті. Ці команди визначають Загальний Стандартний інтерфейс (CFI), заснований фірмою Intel.

Крім використання в ролі ROM, на NOR пристроях пам'яті можуть, звичайно, бути утворені пристрої з файловими структурами і тоді вона може використовуватись у будь-якому приладі. Проте файлові системи, створені на пристроях NOR, зазвичай дуже повільні в режимі запису, якщо порівнювати із файловими системами, які побудовані на NAND пристроях.

## Пам'ять типу NAND

Пристрої флеш пам'яті типу NAND також не можуть забезпечити принцип "миттєвий запис" (XIP) через інші конструкційні принципи. Доступ до цієї пам'яті може бути здійснений методом блокових пристроїв, таких як вінчестери та карти пам'яті. Розмір блоків зазвичай має 512 або 2048 байт. В кожному блоці зарезервовано деяку кількість байт (зазвичай від 12 до 16), які зберігають дані про помилки і контрольну суму блоку.

Прилади типу NAND зазвичай залежать від програмної обробки блоків. Це означає, що коли зчитують логічний блок, він прив'язується до фізичного блоку, і якщо прилад має деяку кількість блоків, встановлених за своїми межами, вони встановлюються зі зміщенням, компенсуючи втрату дефектних блоків і зберігають первинну і вторинну таблиці прив'язки.

Методи *виправлення помилок* та *визначення контрольної суми* зазвичай виявляють помилку, якщо один біт в блоці записано (відтворено) помилково. Коли це трапляється, блок позначається як поганий в таблиці логічного розміщення, і його вміст (ще непошкоджений) копіюється в новий блок, а таблиця логічного розміщення знову змінюється. Якщо у пам'яті пошкоджено більш, ніж 1 біт, тоді вміст блоку практично втрачений, тобто стає неможливо відновити оригінальний вміст. Деякі прилади можуть навіть постачатись в комплекті з вже запрограмованою таблицею поганих блоків від виробника, оскільки іноді просто неможливо виробити *безпомилкові* пам'яті типу NAND.

Перший, вільний від помилок фізичний блок (блок № 0) завжди гарантує свою читабельність і не може бути пошкодженим. З цього випливає, що всі життєво важливі вказівники для розподілення пам'яті і впорядкування поганих блоків приладу повинні бути розміщені всередині цього блоку (зазвичай вказівник на погані таблиці блоків, і т.д.). Якщо прилад використовується, щоб завантажувати ОС, цей блок повинен містити Таблицю завантаження (англ.: Master Boot Record).

Для запуску програмного забезпечення з пам'яті NAND використовується стратегія віртуальної пам'яті: вміст пам'яті спочатку нумерується, або просто копіюється в розподілену пам'ять RAM, і вже звідти виконується.

З цієї ж причини деякі системи будуть використовувати комбінації пам'ятей NOR та NAND, де менша NOR пам'ять використовуватиметься як програмний ROM, а більша NAND пам'ять має файлову структуру.

## Обмеження застосування флеш пам'яті

Якщо порівнювати з вінчестером, обмеженням є той факт, що флеш пам'ять має принципово скінченну кількість циклів запису-вилучення (більшість комерційно доступних флеш продуктів гарантують 1 мільйон програмних циклів), тому це потрібно мати на увазі при переміщенні програм, розрахованих на використання з вінчестера (наприклад операційні системи, програмні засоби, які здійснюють свопування або буферизацію) на флеш пристрої, або призначати для свопування, пейджингу область на вінчестері.

## Об'єми

Стандартні частини флеш пам'яті (індивідуальні внутрішні компоненти, або "чіпи") дуже сильно відрізняються за обсягом. Чіпи часто з'єднують в один, щоб досягнути більшої ємності для використання в таких приладах як iPod nano або SanDisk Sansa e200. Ємність флеш чіпів підкоряється закону Мура, оскільки вони розроблені за тими ж процесами, що використовуються й для вироблення інших мікросхем. Проте в даній технології були також і стрибки поза законом Мура

через різні інновації.

У 2005 році *Toshiba* та *SanDisk* розробили флеш чіп типу NAND, який міг містити 8 гігабітів інформації, використовуючи технологію MLC (багаторівневі комірки), яка зберігала 2 біти даних в одній комірці. У вересні 2005 року компанія *Samsung Electronics* анонсувала, що вона розробила перший у світі 16 гігабітний чіп.

У березні 2006 року *Samsung* анонсує флеш вінчестери з місткістю 32 гігабайти, по суті з таки самим розміром, як і в найменших вінчестерах ноутбуків. У вересні 2006 року, *Samsung* анонсувала виготовлення 32 гігабітних чипів, за технологією 40 нм.

### **Швидкість**

Флеш пам'ять доступна з кількома швидкостями запису і зчитування даних. Деякі визначають швидкість приблизно в 2Мб/с, 12 Мб/с, і т.д. Проте інші карточки просто мають рейтинг 100x, 130x, 200x, і т.д. Для таких карток за 1x беруть швидкість 150 Кб/с. Це була швидкість, якою могли передавати інформацію перші CD прилади, і її запозичили флеш картки пам'яті. Хоча коли порівнювати 100x карточку до карточки, яка передає зі швидкістю в 12 Мб/с використовують наступні перетворення:

$$\bullet \text{ 150КБ ? 100 = 15000 Кб/с}$$

Щоб перетворити Кб в Мб, ділимо на 1024:

$$\bullet \text{ 15000Кб ? 1024 = 14.65 Мб/с}$$

Насправді 100x картки на 2.65 Мб/с швидші, ніж картки, які вимірюються у швидкості в 12 Мб/с.

### **Виробники флеш пам'яті**

- Samsung
- Intel
- Atmel
- Qimonda
- STMicroelectronics
- Spansion
- Sharp Corporation
- Toshiba
- Sandisk
- Micron Technology
- SimpleTech
- Kingston Technology
- Hynix
- Winbond
- Excel Semiconductor
- SST
- Macronix
- Lexar
- Eon Silicon Solution Inc. (ESSI)
- AMIC Technology

### **Джерела інформації**

1. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/3939333.stm>
2. <http://uk.wikipedia.org/w/index.php/>
3. <http://icompas.ru/compas/falshmem>