

УДК 004.925

О.І.Редько

Луцький національний технічний університет

## КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАКОПИЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

**Редько О.І. Комп'ютерні технології накопичення інформації нового покоління.** Швидкодія і ємність твердотільних дисків скоро зростуть. Завдяки новим роз'йомам і тривимірним коміркам флеш-пам'ять SSD стане працювати набагато швидше, вміщати більше даних і подешевшас.

**Ключові слова:** твердотільний диск, HDD, SSD, роз'йоми, Гбайт, SATA, материнська плата, SATAe, форм-фактор, 3D-пам'ять.

**Редько О.И. Компьютерные технологии накопления информации нового поколения.** Быстродействие и емкость твердотельных дисков скоро вырастут. Благодаря новым роз'йомам и трехмерным ячейкам флэш-память SSD станет работать намного быстрее, вмещать больше данных и станет дешевле.

**Ключевые слова:** твердотельный диск, HDD, SSD, роз'йоми, Гбайт, SATA, материнская плата, SATAe, форм-фактор, 3D-память.

**Red'ko O. Computer, Information Storage new generation.** Performance and capacity of SSDs will soon grow. Thanks to the new rozyomam and three-dimensional cells of flash memory SSD will work much faster, hold more data and will be cheaper.

Keywords: solid-state drive, HDD, SSD, rozyomy, GB, SATA, motherboard, SATAe, form factor, 3D-memory.

**Постановка проблеми.** Сучасний комп'ютер не може обійтися без твердотільного диска. Завдяки накопичувачам даного типу операційна система, інші програми та ігри працюють помітно швидше, ніж якби вони були встановлені на класичний HDD. Останні все частіше застосовуються виключно в ролі запам'ятовуючого пристрою для довготривалого зберігання великих обсягів даних внаслідок низької ціни гігабайта дискового простору. При цьому сучасні SSD-носії з роз'йомом SATA обмежують можливості мікросхем флеш-пам'яті. Корпуси розміром 2,5 дюйми були розроблені для магнітних дисків, які можна було б використовувати в тонких ноутбуках. Розмір корпусів при цьому відповідає металевим пластинам, що обертаються, дані з яких читає зчитуюча головка. Зустрічається в сучасних комп'ютерах, також, інтерфейс SATA останнього покоління, що передбачає пропускну здатність до 600 Мбайт/с. А самі твердотільні накопичувачі складаються з невеликих горизонтально розташованих мікросхем пам'яті. Мікросхема управління (контролер) одночасно зчитує або записує кілька комірок одного твердотільного накопичувача, тому відбувається це набагато швидше, ніж коли дані пересилаються по SATA.

**Флеш-вінчестер все змінить.** Цього літа на материнських платах для ПК і ноутбуків з'явився новий роз'йом, який зможе дійсно розкрити потенціал технології флеш-пам'яті і дозволить зробити значний ривок у збільшенні пропускну здатності до декількох гігабайт за секунду. Стане можливим нарощування не тільки швидкості передачі даних, але і щільності запису. Через обвал цін на мікросхеми пам'яті SSD об'ємом 500 Гбайт стануть загальнодоступними. А завдяки новій структурі комірок флеш-пам'яті з'являться доступні терабайтні SSD.

**Виклад основного матеріалу. Технології забезпечення високої швидкості.** SSD нового покоління будуть працювати швидше всіх доступних сьогодні на ринку пристроїв. Вони стануть підключатись до материнської плати по шині SATA Express (SATAe) - новому інтерфейсу передачі даних, в якому будуть використовуватися як лінії PCI Express, так і старі лінії SATA для сумісності з накопичувачами попередніх поколінь. Пропускна здатність SATA не перевищує 600 Мбайт/с, старого роз'йому PCIe 2.0 – 500 Мбайт/с на кожен ліній, а для нового PCIe 3.0 цей показник становить 1 Гбайт/с на ліній. В порті, який служить для підключення SATAe SSD, задіяні як мінімум дві лінії зв'язку PCIe (табл. 1), тому швидкість передачі даних по ньому складає не менше 1 Гбайт/с. Однак SATAe – це не тільки новий роз'йом, а й оновлений програмний інтерфейс. З міркувань сумісності SATAe підтримує стандарт AHCI, який дебютував ще в 2004 році і переважно був орієнтований на роботу з відносно повільними накопичувачами на основі магнітних дисків. Новий стандарт NVMe (Non-volatile memory) Express створювався з нуля з урахуванням особливостей функціонування твердотільної пам'яті. У ньому істотно покращено

паралелізм, збільшено кількість черг та їх довжину, зменшена затримка контролера тощо. Все це дозволить повністю розкрити потенціал твердотільних накопичувачів.

**Новий форм-фактор для мобільних ПК.** SSD з інтерфейсом PCIe, швидкість обміну даними з якими досягає 4 Гбайт/с, вже застосовуються в серверах, однак через відсутність відповідних драйверів використовувати їх в ПК не є можливим. Виключенням є рішення начебто OCZ RevoDrive, які доводиться налаштовувати вручну. Для типового домашнього користувача перехід на твердотільні диски нового покоління почався з пристроїв в новому форм-факторі M.2 (рис. 1). Роз'ємом для їх підключення вже оснащуються деякі сучасні ноутбуки і материнські плати для настільних ПК. Накопичувач в новому форм-факторі являє собою друковану плату довжиною від 30 до 110 мм і шириною 22 мм з мікросхемами флеш-пам'яті і контролером. Залежно від того, який пристрій встановлено в роз'єм M.2, передача інформації може здійснюватись як по лініях SATA 6 Гбіт/с, так і по PCIe (до чотирьох). Plextor M6e і Samsung XP941 – це перші SSD з інтерфейсом M.2, що задіюють лінії PCIe.

Таблиця 1. Самі швидкі інтерфейси для SSD-накопичувачів

Швидкість передачі даних	0,6 Гбайт/с	2 Гбайт/с	3,2 Гбайт/с	4 Гбайт/с	8 Гбайт/с	17 Гбайт/с
З'єднання	SATA 6 Гбіт/с	SATAe M.2x2	PCIe 2.0x8	SATAe M.2x4	PCIe 3.0x8	DDR3
Програмний інтерфейс	AHCI	AHCI (NVMeHCI в планах)	AHCI	AHCI (NVMeHCI в планах)	проприет. (NVMeHCI в планах)	проприет.
Модель диска	Samsung 840 Pro	Plextor M6e	OCZ RevoDrive 350	Samsung XP941	LSI Nytro WarpDrive BFH8-3200	SanDisk ULLtra DIMM SSD
Застосування	ПК	ноутбуки, ПК	ПК	ноутбуки, ПК	сервери	сервери

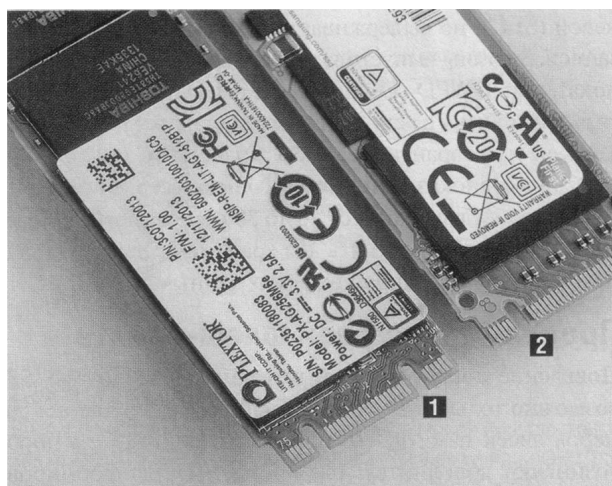


Рис. 1. SSD-накопичувачі форм-фактора M.2.

Ключі (вирізи) в роз'йомах M.2 показують, скільки ліній передачі даних можуть задіювати накопичувачі. Ключ з ідентифікатором «В» (1) у Plextor M6e свідчить про використання двох ліній, а ключ «М» (2) у Samsung XP941 – чотирьох

На жаль, на перших системних платах на базі чіпсетів Intel H97 і Z97 під роз'єм M.2 відводиться не більше двох ліній PCIe, що може уповільнити роботу деяких моделей SSD, наприклад, Samsung XP941. Для досягнення максимальної швидкості буде потрібно придбати або

SSD-адаптер для слота PCIe, або системну плату ASRock Z97 Extreme6, яка може задіяти всі чотири лінії PCIe для M.2. Диски в 2,5-дюймовому форм-факторі, що передають дані по лініях PCIe через роз'єм SATAe, стануть доступні пізніше.

**Гігантські SSD з 3D-пам'яттю.** Сьогодні ємність доступних жорстких дисків досягає кількох терабайт, а SSD – всього 250-500 Гбайт. Але вже наступного року ситуація може кардинально змінитись. Для цього потрібно змінити розміри і структуру комірок флеш-пам'яті. Популярні мікросхеми флеш-пам'яті типу NAND випускаються, як і транзистори ЦП, на напівпровідникових пластинах і функціонують аналогічним чином. Принципова відмінність полягає в тому, що комірки флеш-пам'яті можуть довго зберігати електричний заряд на плаваючому затворі. Комірки до 20 нм технічно можливі, проте з кожним етапом зменшення розміру комірок витрати на їх виробництво збільшуються, тому виробники планують перейти на інший тип комірок - 3D NAND. Сьогодні ємність твердотілого накопичувача - це питання ціни. Ємність дисків Optimus Max виробництва SanDisk становить 4 Тбайт (рис. 2), але купувати їх можуть тільки великі компанії, які в змозі платити сотні тисяч гривень за один носій. Samsung і Toshiba йдуть іншим шляхом: вони випускають накопичувачі, комірки яких можуть зберігати три біти інформації (TLC, Triple-Level Cells). Таким чином, комірки пам'яті здатні утримувати на плаваючому затворі вісім рівнів електричного заряду. Кожен рівень визначається комбінацією бітів від 000 до 111. Трирівнева структура дозволяє істотно збільшити щільність запису при одних і тих же розмірах і ціні в порівнянні з однорівневою (SLC), але витримує всього тисячу циклів перезапису. Samsung випустила серверний TLC-диск PM853T, показник DDPD (Diskful Writes per Day, кількість перезапису диска в день) якого становить 0,3-1,6 перезаписів при гарантованому життєвому циклі п'ять років. Даний показник для SLC-дисків серверного класу становить в середньому від 10 до 30 перезаписів, тому PM853T краще застосовувати для зберігання рідко оновлюваних і постійно запитуваних даних.



Рис. 2. Ємні SSD

На базі MCL-комірок можна створити SSD ємністю до 4 Тбайт, такий як SanDisk Optimus Max (1), але це буде коштувати великих грошей. Диски на базі TLC-комірок, як в Samsung PM853T (2) є дешевшими, але швидше зношуються

**Межі двовимірної флеш-пам'яті.** Поява доступних і довговічних терабайтних SSD можлива тільки в разі подальшого зменшення розмірів комірок пам'яті. Але при досягненні порогу в 20 нм (рис. 3) виникають додаткові проблеми. Для формування в пластині напівпровідника настільки маленьких елементів використовується лазер з довжиною хвилі 193 нм. Випалювати лінії, які менші за довжину хвилі, можливо тільки за допомогою масок і багаторазового опромінення. Крім того, при настільки тонких технологічних процесах, у 20 нм, товщина деяких структурних елементів комірок пам'яті становить всього декілька шарів атомів, і зменшити їх ще більше просто неможливо.

Ахіллесова п'ята знаходиться між керуючим і плаваючим затворами, і називається вона ізолюючим шаром (Interpoly Dielectric Layer, IPD). При запису інформації на керуючий затвор подається напруга, і між стоком і витокком транзистора виникає потік електронів. Деяким електронам вдається подолати шар ізолятора завдяки більшій енергії, і вони потрапляють в плаваючий затвор, де можуть знаходитися досить тривалий час, поки до управляючого затвору не буде докладена велика негативна напруга, а електрони перетечуть на джерело (процедура перезапису). Шар ізоляції необхідний для того, щоб плаваючий затвор зберігав заряд між

процесами запису і зчитування, тобто зберігав дані. Товщина ізолюючого шару повинна бути не меншою 10 нм; в іншому випадку електрони з плаваючого затвора будуть витікати через витік, і комірка втрапить здатність зберігати дані.

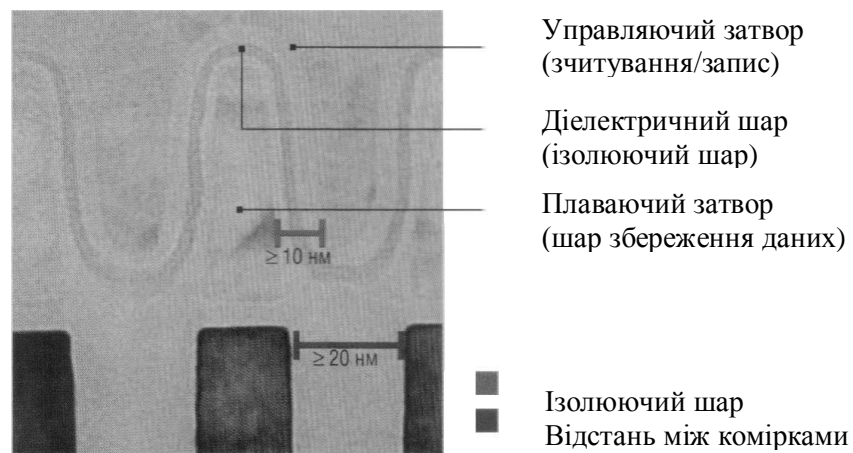


Рис. 3. Проблеми зі зменшенням 2D-комірок

Чим менші комірки флеш-пам'яті, тим менша відстань між ними. Якщо плаваючі затвори сусідніх комірок розташовані один до одного ближче 20 нм, товщину ізолюючого шару потрібно збільшити, щоб попередити витік електронів з однієї комірки в іншу. Навіть при вирішенні всіх проблем з виробництвом питання зменшення товщини ізолюючого шару і відстані між плаваючими затворами залишається відкритим, тому виграш в щільності запису даних при зміні технологічного процесу від 21 до 12 нм (залежно від матеріалів) буде несуттєвим.

**Перспективи подальших досліджень.** Тривимірні комірки підвищують ємність. Обмеження можливостей 2D NAND можна подолати іншим способом: не розташовувати комірки в одній площині, а упакувати їх в тривимірну структуру – чим більше шарів, тим вища щільність запису. Цього року Samsung представила свій концепт тривимірної пам'яті V-NAND, яка включає 24 шари комірок флеш-пам'яті. У великій багатошаровій структурі з вертикальним розташуванням комірок є свої переваги: V-NAND використовує невелику напругу і витримує 35000 циклів перезапису. Як заявляє Samsung, швидкість запису також збільшилась. Виробник планує до 2018 року збільшити щільність чіпів із 128 Гбіт до 1 Тбіт, що стане можливим при збільшенні кількості шарів. Чисто технічно V-NAND мало чим відрізняється від технології Bit-Cost Scalable Flash (BiCS) розробки Toshiba. BiCS утримує електричні заряди на записуваному шарі з нітриду кремнію, оточеного двома шарами окисної плівки. Комірку оточує керуючий затвор, що виводить електричний заряд із шару, на який проводиться запис. Принцип роботи V-NAND такий же, але матеріали шарів принципово інші: записуючий шар оточений не плівкою на основі окису кремнію, а алюмінієвим діелектриком, що виконаний за технологією high-k. Використання нітриду танталу в керуючому затворі, за заявою Samsung, дозволяє швидше витирати комірки. Нові матеріали забезпечують більшу відстань між рівнями заряду, що продовжує термін служби пам'яті.

**Висновки.** Галузеві джерела стверджують, що собівартість тривимірної 40-шарової пам'яті така ж, як двохмірної, а це означає, що SSD ємністю в кілька терабайт нарешті стануть доступними. Перші накопичувачі на базі мікросхем пам'яті з тривимірною структурою, наприклад, Samsung 850 Pro, очікуються на українському ринку вже восени 2014 року.

1. Акиншин Л. Шина PCI Express на модулях COM: отрасль встраиваемых систем принимает эстафету// Электронные компоненты, 2005. № 12.- с.30-35.
2. Как это работает. Твердотельные накопители // ComputerBild, 2010.-№ 1.- С. 36-38.
3. Андрей Воленко. Современные технологии хранения данных // UP Special, 2010. — № 9. — С. 36—39.
4. Переходим на SSD // Chip, 2010. -№ 10. - С. 66-69.
5. Флэш и SSD: факты и прогнозы. – [Электронный ресурс] .- режим доступа: [http://fcenter.ru/online/hardarticles/hdd/29719-Flesh\\_i\\_SSD\\_fakty\\_i\\_prognozy](http://fcenter.ru/online/hardarticles/hdd/29719-Flesh_i_SSD_fakty_i_prognozy)