

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ НАКОПИТЕЛИ iSLC ИНДУСТРИАЛЬНОГО КЛАССА

БЕНДЖАМИН ДЖОКЕЛА (BENJAMIN JOKELA)
ПЕРЕВОД: ВЛАДИМИР РЕНТЮК

iSLC — это разработанная Innodisk Corporation (далее — компания Innodisk) технология, построенная на MLC- или TLC-аппаратном обеспечении, но работающая на SLC-уровнях и одновременно обеспечивающая бюджетную стоимость оборудования. При выборе решения для хранения данных для систем с потребностью многократных циклов перезаписи следует соблюдать осторожность. При наличии iSLC можно не беспокоиться о том, что твердотельный накопитель (SSD) выйдет из строя, поскольку срок эксплуатации накопителей на основе iSLC по сравнению со стандартными MLC- и TLC-продуктами увеличен в семь раз.

ВВЕДЕНИЕ

iSLC — это NAND-флэш-технология, обеспечивающая баланс между ценой и производительностью. Технология прошивки построена на основе трехмерной трехуровневой ячейки (triple-level cell, TLC) NAND-флэш. Ячейки флэш-памяти 3D TLC NAND предназначены для хранения одного бита на ячейку вместо трех, эффективно имитируя флэш-память одноуровневой ячейки (single-level cell, SLC) NAND.

По своей сути технология iSLC представляет собой гибрид технологии 3D TLC и SLC, где производительность ближе к SLC, а надежность значительно выше, чем у 3D TLC. Что касается себестоимости, iSLC примерно находится между продуктами 3D TLC и SLC.

Предел циклов перезаписи (program/erase, P/E) для iSLC составляет около 30 тыс. циклов, для 3D TLC — всего 3 тыс. циклов, а для SLC — 60–100 тыс. циклов. Однако тесты записи показывают, что твердотельные накопители, выполненные на основе технологии флэш-памяти iSLC, намного превосходят без потери данных или сбоя данных заявленные пределы P/E.

Тем не менее сравнение тестов между iSLC и 3D TLC показало значительную разницу в количестве ошибок, требующих проверки и исправления (error checking and correction, ECC). У iSLC — 60, а у 3D TLC — 120. При этом тесты произво-

дительности записи демонстрируют, что iSLC относительно 3D TLC находится на одном уровне с технологией SLC.

Из сказанного следует, что системным интеграторам бывает нелегко выбрать оптимальное решение для хранения данных. Продукты 3D TLC не обеспечивают желаемой производительности и ожидаемой долговечности, а стоимость накопителей технологии SLC может намного превысить ее преимущества. Накопитель iSLC нацелен на сегмент между высокопроизводительным и критически важным рынком SLC и низким в ценовом отношении рынком 3D TLC.

Технология iSLC — это решение, которое увеличивает производительность, надежность и долговечность флэш-памяти 3D TLC NAND. Ячейки улучшаются за счет проверки и программирования прошивки SSD, что позволяет флэш-памяти 3D TLC NAND имитировать SLC.

Цель настоящей статьи — объяснить разницу между технологиями флэш-памяти типа NAND и рассказать о iSLC как о решении, способном вписаться в более широкие рамки встраиваемых систем и других высокотехнологичных отраслей.

КОРОТКО О СУТИ ПРОБЛЕМЫ

По мере развития технологий производителей необходимо хранить больше информации, и, следовательно, для достижения больших объемов

ее хранения в меньшем физическом размере требуется больше бит в каждой флэш-ячейке NAND. Уже существуют устройства, содержащие три бита на ячейку (tri-level-cells, TLC) и четыре бита на ячейку (quadlevel cells, QLC). Последний тип устройства пока еще в разработке.

Эта тенденция приведет к дальнейшему снижению стоимости и увеличению емкости, поскольку ячейки будут располагаться еще плотнее друг к другу. Однако у этой медали есть и обратная сторона — значительно меньшее количество циклов перезаписи (program/erase, P/E), то есть определенное количество раз, когда на накопитель, прежде чем произойдет сбой, можно записывать данные, а затем полностью их стирать [1].

Это связано с одной проблемой, от которой не может избавиться ни один SSD, — деградация ячеек. Когда данные в ячейке удаляются, в нее попадает относительно мощный электрический заряд для обеспечения стирания. Такой процесс постепенно разрушает подложку ячейки. В этом наноскопическом масштабе подобные крошечные нарушения будут накапливаться и в конечном итоге могут в один прекрасный момент привести к полному отказу устройства [2].

Другая серьезная проблема — битовые ошибки. Они происходят тогда, когда передаваемые данные сталкиваются с электрическими или магнитными помехами со стороны

окружающей среды и значение одного или нескольких битов меняется на противоположное (с 1 на 0 или наоборот). По мере увеличения количества битов на одну ячейку и размера самой ячейки риск битовых ошибок также увеличивается.

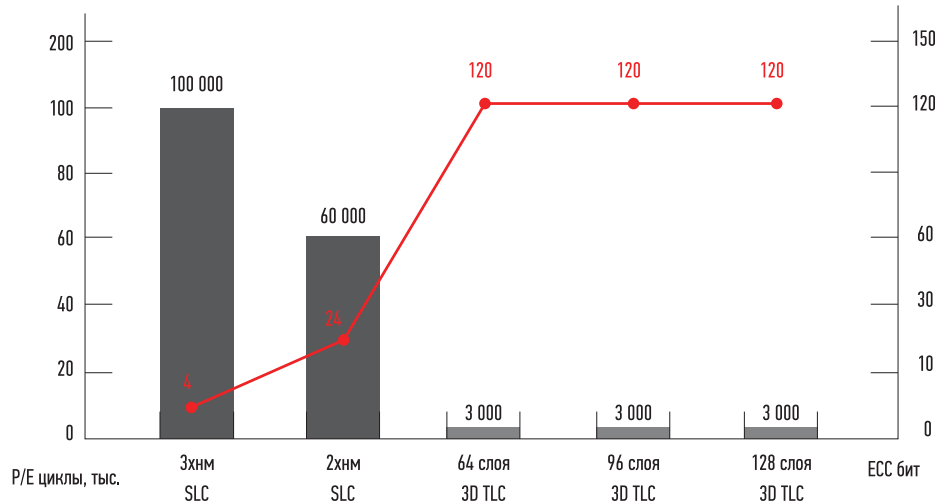
Несмотря на то, что эти биты ошибок будут исправлены с помощью кода исправления ошибок (error correcting code, ECC), они все равно влияют на производительность. Более низкий битрейт ошибок, естественно, означает более эффективные SSD-устройства.

Тем не менее для среднего потребителя хорошей новостью является то, что твердотельные накопители становятся все более доступными, а их долговечность более чем достаточна для повседневного использования. В то же время корпоративные и промышленные приложения имеют гораздо более высокие числа циклов перезаписи и более строгие требования к производительности, что, в свою очередь, может сделать 3D TLC и другие технологии с более высоким битрейтом на ячейку непригодными для применения.

SLC ПРОТИВ 3D TLC: БОРЬБА ЗА ОПТИМИЗАЦИЮ

Основное различие между SLC и 3D TLC — количество битов, хранящихся в каждой NAND-ячейке. SLC одну на ячейку NAND хранит 1 бит данных, а 3D TLC хранит 3 бита. Это позволяет SLC быть более отказоустойчивым, чем 3D TLC, соответственно, поддерживая большее количество циклов записи на ячейку. Таким образом флэш-память технологии SLC может обеспечить более длительный срок службы и становится оптимальным выбором для высокопроизводительных приложений. Другие ключевые различия между SLC и 3D TLC предполагают скорость чтения, записи, циклов P/E и обработку битовых ошибок (табл. 1).

Как указано в таблице 1, помимо лучшей с точки зрения скорости производительности, технология SLC имеет и более низкую частоту необработанных битовых ошибок (raw bit error rate, RBER). RBER определяется как количество ошибочно записанных битов. Например, если входная последовательность 01 01 01 01 записана как 01 11 11 01, возникли два бита ошибки. В терминах



RBER здесь имеется два бита ошибки в строке из восьми битов, что дает коэффициент 0,25, или 25%.

Флэш-память SLC NAND более надежна и долговечна, чем 3D TLC, и представляется оптимальным решением для промышленных и корпоративных приложений. Однако из-за своей широкой доступности (для основных потребителей крайне важен именно объем или емкость памяти, а есть спрос — растет и предложение) флэш-память 3D TLC по-прежнему остается очень функциональным выбором, хотя и уступает по производительности и сроку эксплуатации.

Популярность 3D TLC в основном обусловлена ценой по отношению к емкости. Это побудило производителей 3D TLC NAND создавать устройства большей емкости с лучшим соотношением затрат и эффективности. Однако за все нужно платить, и компромисс заключается в снижении надежности и долговечности, как это наглядно показано на рис. 1. Поскольку технология флэш-памяти NAND улучшается с 32 до 128 слоев, производителям для того, чтобы компенсировать снижение надежности и долговечности, требуются более высокие возможности ECC.

Многие приложения будут находиться между этими двумя типами флэш-памяти, где требования к про-

изводительности и долговечности исключают 3D TLC в качестве альтернативы. В таком случае системный интегратор вынужден выбирать более дорогостоящий вариант SLC.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ iSLC

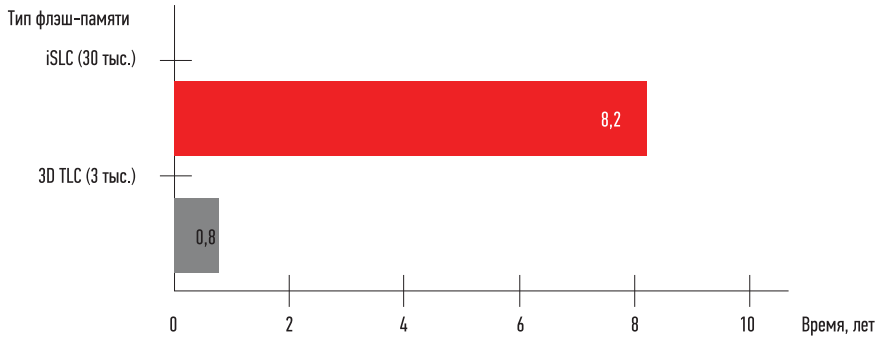
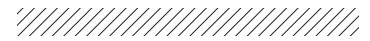
Было бы просто идеально, если бы производительность iSLC была такой же, как у флэш-памяти SLC, в то время как диапазон ее стоимости был близок к флэш-памяти 3D TLC. Пример увеличения срока службы можно увидеть на рис. 2. При записи десяти полных дисков данных в день в виде твердотельного накопителя емкостью 32 Гбайт срок службы iSLC-устройства составляет 8,2 года. Это в семь раз дольше, чем 3D TLC, который, прежде чем выйдет из строя, не проработает и года.

Для того чтобы заставить флэш-память 3D TLC работать как ячейка SLC, iSLC использует встроенное программное обеспечение, разработанное компанией Innodisk. Каждая ячейка SLC содержит 1 бит — 1 или 0, в то время как 3D TLC содержит 3 бита — 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. iSLC имитирует SLC, удерживая только 1 бит в каждой ячейке NAND (рис. 3). Эта настройка прошивки, по существу,

РИС. 1. ▲ Тенденции в NAND-флэш-памяти. График изменения числа битовых ошибок показан красным

ТАБЛИЦА 1. СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ФЛЭШ-ПАМЯТИ SLC И 3D TLC

| Технология | Страница программы | Стирание блока | Циклы P/E | Коррекция битовых ошибок посредством ECC |
|-------------|--------------------|----------------|-----------|--|
| SLC (24 нм) | 400 мкс | 4 мс | 60 тыс. | 24 бит/1024 бит |
| 3D TLC | 2300 мкс | 10 мс | 3 тыс. | 120 бит/1024 бит |



Примечание. Приведенная выше диаграмма основана на тестовой среде для 100% последовательной записи. Пример: запись 32 Гбайт × 10 раз/день = 320 Гбайт/день.

РИС. 2. ▲
iSLC и 3D TLC: сравнение по сроку эксплуатации

ТАБЛИЦА 2. СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ iSLC И 3D TLC ПО ЧИСЛУ ИСПРАВЛЕННЫХ ECC БИТОВЫХ ОШИБОК

| Тип флэш-памяти \ Вместимость | Емкость | Среднее число циклов P/E | Исправление битовых ошибок через ECC |
|-------------------------------|----------|--------------------------|--------------------------------------|
| iSLC | 64 Гбайт | 55 тыс. | 60 бит |
| 3D TLC | 64 Гбайт | 3,2 тыс. | 120 бит |

позволяет флэш-памяти работать так же, как и флэш-память SLC. Такая инженерная хитрость увеличивает срок службы и надежность хранения данных во флэш-памяти 3D TLC NAND.

ДАННЫЕ ТЕСТИРОВАНИЯ

Средний срок службы ячейки флэш-памяти технологии iSLC пре-

вышает 30 тыс. циклов P/E, что по сравнению с флэш-памятью технологии 3D TLC значительно увеличивает и срок службы твердотельного накопителя. В подтверждение сказанному тесты, проведенные компанией Innodisk, для iSLC и 3D TLC показывают и меньшее количество битов ошибок. При сравнении технологических

ТАБЛИЦА 3. СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗАПИСИ ДЛЯ SLC, iSLC И 3D TLC ЧЕРЕЗ КОНТРОЛЛЕР SATAIII

| Запись, макс. Мбайт/с | 1 канал | 2 канала | 4 канала |
|-----------------------|---------|----------|----------|
| SLC | —* | 100 | 230 |
| iSLC | —* | 190 | 380 |
| 3D TLC | 35 | 70 | 150 |

Примечание. *SLC и iSLC испытания начинались с двух каналов.

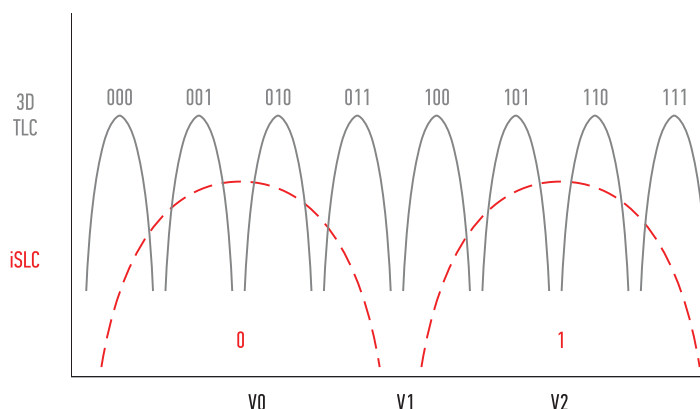


РИС. 3. ►
Особенность программного обеспечения iSLC

узлов iSLC и 3D TLC число циклов перезаписи для 64-слойной iSLC достигло 30 тыс. с числом битовых ошибок менее 60, в то время как 3D TLC прошла наработку с циклами P/E, равными 3 тыс. со 120 битами ошибок. В таблице 2 показано сравнение битовых ошибок, исправленных ECC, между технологиями iSLC и 3D TLC.

Скорость записи для флэш-памяти iSLC NAND примерно на 60% выше, чем для флэш-памяти SLC NAND, в то время как флэш-память 3D TLC NAND примерно на 50% медленнее, чем флэш-память SLC NAND. Это значительный скачок в производительности по сравнению с типичными решениями 3D TLC. В таблице 3 сравнивается производительность записи для SLC, iSLC и 3D TLC через контроллер SATAIII.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, преимущества iSLC можно суммировать следующим образом:

- увеличенный срок эксплуатации и надежность по сравнению с 3D TLC;
- производительность аналогична SLC;
- цена примерно вдвое ниже, чем у SLC.

Предлагаемая компанией Innodisk технология флэш-памяти iSLC обеспечивает хороший баланс между доступностью и производительностью. С показанным и доказанным для iSLC увеличением количества циклов перезаписи срок службы твердотельного накопителя на ее основе, по сравнению с аналогичными устройствами, выполненными по технологии 3D TLC, увеличивается в десять раз, а производительность достигает уровней флэш-памяти SLC. Все эти факторы являются ключевыми и позволяют считать iSLC флэш-память оптимальным вариантом для хранения данных на рынке высокопроизводительных промышленных и встроенных систем, где более привлекательными становятся недорогие альтернативы. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Chaim G. Toshiba's new quadruple-level 3D cells could be the next big thing in low-cost flash memory. www.theverge.com/2017/6/28/15887902/toshiba-quadruple-level-3d-nand-cells-flash-memory
2. Erickson Todd. How NAND flash degrades and what vendors do to increase SSD endurance. www.searchstorage.techtarget.com/podcast/How-NAND-flash-degrades-and-what-vendors-do-to-increase-SSD-endurance