

Дмитрий Кабачник

Технология 3D NAND и её влияние на рынок промышленных твердотельных накопителей

В статье приведён обзор технологии 3D NAND и раскрыты особенности производства трёхмерных чипов памяти различных производителей. Особый упор сделан на влияние технологии 3D NAND на рынок промышленных твердотельных накопителей.

ВВЕДЕНИЕ

С течением времени задача по созданию вместительных, надёжных, быстрых и компактных хранилищ данных становится всё более актуальной. Рост производства компактных ноутбуков, планшетов, смартфонов и другой техники постоянно подталкивает изготовителей твердотельных накопителей искать новые современные решения для своих клиентов. При этом производителям требуются всё меньшие по размеру микросхемы памяти со всё большей ёмкостью. Ярким примером такой

ситуации является современный форм-фактор M.2 – на этой небольшой плате действительно негде разместить много чипов памяти, а запросы клиентов диктуют увеличивать её ёмкость именно в компактных форм-факторах.

ПРЕДЫСТОРИЯ

До недавних пор увеличивать ёмкость микросхем памяти можно было двумя основными способами. Давайте рассмотрим вкратце их оба.

Первый способ представляет собой увеличение количества бит, хранящихся

в одной ячейке памяти. Так после SLC (Single-Level Cell – один бит на ячейку) появилась MLC (Multi-Level Cell), потом её активно стала вытеснять TLC (Triple Level Cell) – уже 3 бита на ячейку.

Вторым способом является уменьшение физического размера ячейки. Для этого должны использоваться всё более тонкие техпроцессы. На заре становления твердотельной памяти использовался 32-нанометровый техпроцесс, который потом сменился 24 нм, а затем и 19 нм. Конец 2015 и начало 2016 годов отметились активным переходом про-

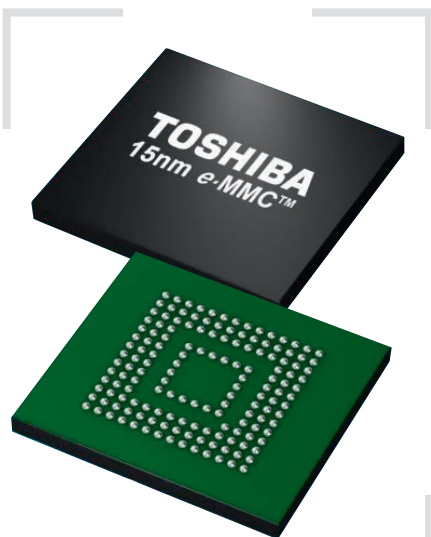


Рис. 1. Чипы eMMC от Toshiba на техпроцессе 15 нм

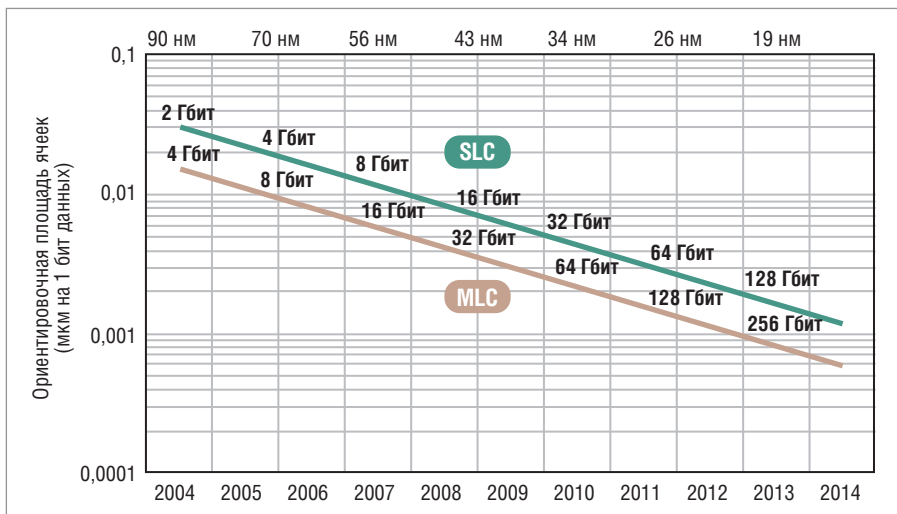


Рис. 2. Масштабирование техпроцесса изготовления флэш-памяти NAND в 2004–2013 годах с указанием максимально возможных объёмов данных для кристаллов, использующих однокбитовые (SLC) или двухбитовые (MLC) ячейки. Также указана приблизительная площадь ячейки на 1 бит данных

мышленных твердотельных накопителей от техпроцесса 19 нм к 15 нм (рис. 1), который и продолжает использоваться сейчас. Для увеличения ёмкости микросхем флэш-памяти применяются оба способа, но на данный момент в связи с достижением технологического предела физического уменьшения ячеек техпроцесс 15 нм является действительно последним, по которому возможно производство обычной и привычной NAND-памяти (рис. 2). При дальнейшем уменьшении техпроцесса заряд может начать перетекать из одной ячейки в другую, что приведёт к ошибкам в хранимых данных, и это недопустимо, особенно в областях, где применяются промышленные твердотельные накопители.

Сделаем небольшое отступление и рассмотрим более подробно технологии, которые использовались ранее. В однобитовых ячейках (SLC) различают только два уровня заряда на плавающем затворе транзистора. В многобитовых же ячейках уже различают больше уровней заряда, поэтому такие ячейки и называются многоуровневыми (MLC). Обычно под MLC понимают память с 4 уровнями заряда (2 бита) на каждую ячейку. Чипы флэш-памяти, основанные на технологии MLC, являются существенно более дешёвыми и гораздо более ёмкими, нежели SLC-чипы памяти, однако они имеют более высокое время доступа и при этом максимальное количество циклов перезаписи у них на порядок ниже, чем у SLC. Существует также и ещё более дешёвое решение – память с 8 уровнями заряда на 3 бита. Такая память получила название TLC (Triple Level Cell), или 3bit-MLC (MLC-3). Надо отметить, что для промышленных и ответственных применений используются только чипы SLC или MLC, так как чипы на основании технологии TLC считаются ненадёжными для применения в этих областях из-за слишком низкой для них надёжности хранения памяти.

Для повышения надёжности SSD и увеличения количества доступных циклов перезаписи производители промышленных твердотельных накопителей, такие как Aрасег Technology, используют различные технологии, например Wear Leveling – выравнивание количества циклов записи во все ячейки NAND-памяти, из которых состоит твердотельный накопитель. Также существуют технологии, позволяющие проверять и исправлять ошибки в накопителе. Такая функция получила название

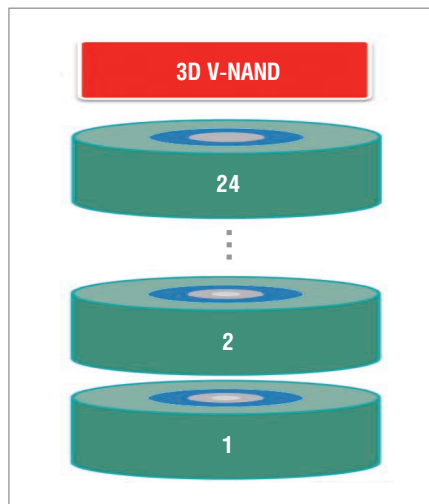


Рис. 3. Цилиндр из ячеек в технологии 3D V-NAND

ECC – Error Checking and Correction. Подобная функция играет очень важную роль в выявлении и исправлении ошибок во время чтения или записи данных в NAND-память. Здесь стоит отметить и функцию контроля собственного состояния твердотельного диска, которая получила название S.M.A.R.T. – Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology. Данная технология самодиагностики и мониторинга флэш-носителя информации определяет вероятность его выхода из строя на основе наблюдения за накопителем и анализа информации о его производительности и различных калибровочных параметрах. Более подробно о технологиях, используемых производителем Aрасег Technology, можно прочитать в статье [1].

Выход из положения – 3D NAND

Если подытожить всё изложенное, то можно сделать вывод, что индустрия флэш-памяти, в том числе и промышленной, оказалась в ситуации, когда возможности всем известной планарной флэш-памяти, по сути, исчерпаны. Следствием этой ситуации и стала идея размещать ячейки не только в планарной плоскости, но и наращивать количество ячеек вверх, то есть размещать их слоями. Благодаря такому подходу чип имеет фактически трёхмерную структуру и получил возможность вмещать в себя значительно больше информации на единицу площади, нежели обычные чипы, построенные по планарной технологии. За счёт своей трёхмерной структуры технология получила название 3D NAND.

Компания Samsung, ставшая родоначальником технологии V-NAND

(V – Vertical, вертикальный), наладила производство чипов по технологии 3D NAND ещё в далёком 2013 году. Именно тогда она объявила о выпуске первых 3D-чипов типа MLC, насчитывающих 24 слоя. В 2014 году количество слоёв увеличилось до 32, а основой стала флэш-память на основе TLC. Позднее технология была представлена и продукцией компаний Toshiba и Micron. Их чипы памяти производились уже с 64 слоями. Надо отметить, что каждая компания имеет свой подход к построению архитектуры микросхем флэш-памяти и по своему располагает их на кристалле.

Ячейка кристалла в данном случае имеет форму цилиндра, у которого внешний слой представляет собой управляющий затвор, а внутренний является изолятором (рис. 3). Плавающий затвор обладает способностью удерживать заряд в течение длительного времени. Между ними и находится слой, хранящий биты информации. Подобные цилиндры размещаются друг над другом, образуя стек. Внутри этого стека проходит общий для всех ячеек цилиндрический канал из поликристаллического кремния. Количество ячеек в стеке равно количеству слоёв флэш-памяти. Дополнительным преимуществом такого метода построения ячеек памяти является и возможность перейти на устаревшие техпроцессы, снизив тем самым влияние соседних ячеек друг на друга.

Особенности чипов от различных производителей

Как указывалось ранее, в планарной флэш-памяти существует проблема с перетеканием заряда между соседними ячейками. Компания Samsung для решения этой проблемы в 3D-памяти использует специализированную технологию 3D Charge Trap Flash, что в буквальном переводе означает «ловушка для заряда». В транзисторах, изготовленных по технологии Charge Trap Flash (CTF), область хранения заряда выполнена из нитрида кремния Si_3N_4 . Данный материал является диэлектриком, при этом он способен хранить заряд, что и делает возможным использование его в качестве ячейки для хранения информации. Диэлектрическая проницаемость у нитрида кремния существенно выше, чем у диоксида кремния SiO_2 , который обычно используется в качестве диэлектрика в классическом транзисторе с плавающим зарядом, что позволяет обеспечить более надёжное хранение заряда.

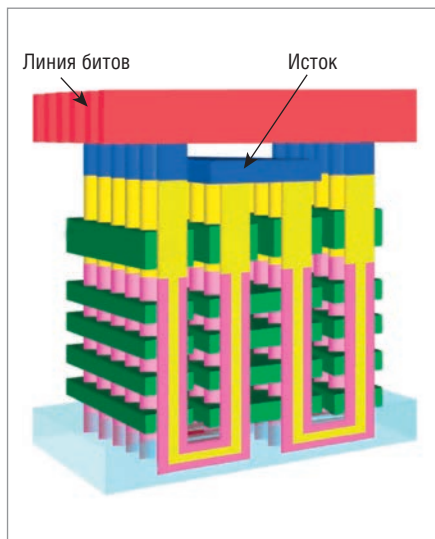


Рис. 4. U-образное группирование ячеек в технологии BiCS 3D NAND

Данная технология обладает, по заявлениям компании Samsung [2], несколькими ключевыми достоинствами: благодаря ей увеличивается надёжность и упрощается хранение нескольких битов в одной ячейке и упрощается производство за счёт уменьшения необходимых технологических операций. Также сама ячейка с применением данной технологии имеет меньший размер.

Компании SanDisk и Toshiba совместно работают над выпуском трёхмерной флэш-памяти Bit Cost Scalable 3D NAND (сокращённо BiCS). Работы в этом направлении компании в альянсе ведут ещё с 2009 года, когда были продемонстрированы первые образцы чипов, разработанных по данной технологии. В основе BiCS также лежит технология STF, которая используется вместо классических транзисторов с плавающим затвором. Общий принцип действия технологии BiCS остаётся тем же самым: информация помещается в изолированную область, а не в плавающий затвор транзистора, как раньше.

Основным отличием BiCS от V-NAND является использование U-образных линий (рис. 4). Это означает, что ячейки группируются не в ряд, а в последовательность, имеющую вид буквы U. По мнению специалистов компании Toshiba [3], такой вариант построения ячеек позволяет добиться максимальных параметров надёжности и скорости работы за счёт того, что при использовании U-образного построения ячеек переключающий транзистор и линия истока располагаются в верхней части последовательности ячеек, что дополнительно позволяет избежать высокотемпературных воздействий и, соответ-

ственно, снизить количество возможных ошибок при чтении и записи данных. U-образная конструкция также не требует использования фотолитографии в глубоком ультрафиолете, что позволяет существенно сэкономить на закупке новых производственных линий и ограничиться использованием уже имеющихся. Внимания заслуживает и тот факт, что в производстве BiCS компания Toshiba впервые будет применять технологию тонкоплёночных транзисторов (Thin-Film Transistor – TFT), которые применяются и как элементы управления активными матрицами в ЖК- и OLED-дисплеях. Физически чипы BiCS представляют собой кристаллы памяти TLC из 48 слоёв с плотностью в 256 Гбит на кристалл 32 Гбайт (рис. 5), изготовленные с использованием отлаженного техпроцесса 40 нм.

Компания Micron также не отстаёт от своих конкурентов и уже запустила в производство линейку чипов на 3D NAND (рис. 6). Для этого она объединила усилия с Intel и уже представила информацию о своих наработках [4]. Одним из наиболее важных аспектов технологии, используемой Micron и Intel, является ключевое решение использовать ячейку с плавающим затвором, что, по мнению специалистов, ответственных за этот проект, позволяет увеличить производительность и повысить качество и надёжность. Альянс представил 32-слойные чипы памяти разных типов – 256 Гбит на MLC и 384 Гбит на TLC. Ожидается, что такие накопители будут пользоваться особым спросом для применения в центрах обработки данных [5]. Продукция на чипах от Micron и Intel должна будет обладать более низкой стоимостью в пересчёте на 1 Гбайт, большей ёмкостью, экономичностью и высокой скоростью чтения и записи данных по сравнению с чипами предыдущих поколений. Также в производстве 3D NAND от Intel и Micron используется технология “CMOS Under the Array”, согласно которой управляющая логика размещается не рядом с массивом памяти, как в планарной памяти, а под ним, что позволяет освободить порядка 20% площади чипа для размещения дополнительных ячеек памяти.

В завершение раздела стоит рассказать и о 3D NAND от компании SK hynix, которая идёт в ногу с конкурентами и уже с 2014 года совершенствует свою технологию производства 3D NAND-памяти (рис. 7). В разработках чипов компания SK hynix успешно ис-



Рис. 5. Чипы BiCS 3D Memory от Toshiba

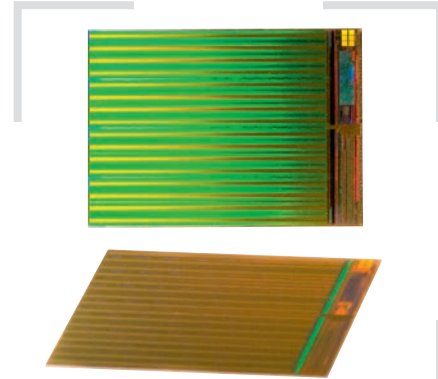


Рис. 6. Чипы памяти 3D NAND от Intel и Micron

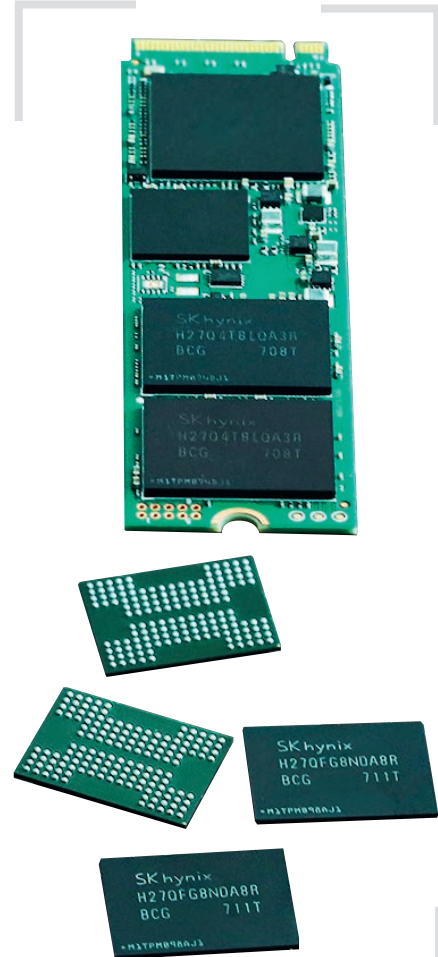


Рис. 7. Чипы памяти 3D NAND от SK hynix

пользует технологию ловушки заряда СТФ. В апреле 2016 года SK hynix запустила 36-слойный 3D NAND-чип 128 Гбит, а уже в ноябре того же года увидел свет 48-слойный чип 256 Гбит. Спустя всего 5 месяцев компания объявила о запуске в массовое производство чипа с 72 слоями и плотностью 256 Гбит. Все три вида чипов основаны, естественно, на технологии TLC. SK hynix планирует применять свою продукцию в самых популярных направлениях: в мобильном сегменте, сегменте предприятий и пользовательском.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Если сравнивать новую технологию с планарным методом построения, то 3D NAND обладает и более высокой скоростью работы. Достигается такое преимущество в скорости за счёт упрощения алгоритма записи информации в ячейку — вместо трёх операций выполняется только одна. В случае с классической планарной памятью требуется дополнительный анализ перед записью, так как возможны помехи между расположенными рядом ячейками. При использовании 3D NAND такая проблема отсутствует и запись выполняется за один шаг. Упрощение цикла стало возможным благодаря меньшей интерференции между ячейками памяти.

Учитывая то, что алгоритмы работы контроллера в современных твердотельных накопителях стремятся равномерно распределить нагрузку по всем ячейкам, тот факт, что количество слоёв в чипе памяти увеличено, никак не повлияет на его тепловыделение. Вся нагрузка будет распределяться по поверхности и не должна превышать легко рассеиваемые 5–10 Вт. То есть мы можем сказать, что переход на технологии 3D-флэш не должен вызвать никаких проблем с дополнительным тепловыделением чипов памяти на твердотельных накопителях.

Помимо скорости при переходе к 3D-памяти увеличивается и надёжность хранения данных. Она гораздо меньше подвержена износу благодаря тому, что для записи информации в ячейку не требуется высокого напряжения. В планарной памяти требовалось довольно высокое напряжение для записи данных в ячейку — значение этого напряжения составляло порядка 20 В, а для трёхмерной памяти показатель напряжения оказался ниже. Как уже упоминалось, производство 3D-флэш-памяти не требует тонких технологических

норм. Например, у 3D V-NAND компании Samsung с 48 слоями используется техпроцесс 40 нм, в котором вероятность перехода заряда из одной ячейки в соседнюю минимален.

В начале становления технологии 3D-флэш ожидалась определённые проблемы с травлением отверстий в многослойных чипах памяти. Сами чипы представляют собой ориентированные перпендикулярно линии слов и битов (word line и bit line соответственно). Для формирования линии битов как раз и требуется травление большого количества отверстий на единицу площади. Так, на участке размером с кончик пальца должно помещаться около 2,5 млрд таких отверстий. В 2014–2015 годах считалось, что количество слоёв будет ограничено 60–70, но в дальнейшем были разработаны технологии, которые помогли обойти и эту проблему. Одним из вариантов является технология, в которой многослойные чипы памяти устанавливаются друг на друга и в дальнейшем соединяются таким образом, чтобы этот стек распознавался как единая микросхема. Таким образом, используя 2 чипа по 32 слоя в каждом, можно получить уже чипы в 64 слоя, а используя 3 слоя — 96 слоёв и так далее. Таким образом, мы можем утверждать, что технология 3D-флэш имеет впереди существенный запас по увеличению ёмкости накопителей и 72 слоя от Toshiba и Micron — ещё не предел этой технологии.

Для накопителей небольшого объёма, использующих в своём составе чипы с новой технологией, возможна трудность с параллельными операциями чтения/записи. Ярким примером этой проблемы можно назвать накопитель 600p от компании Intel [6]. Накопитель, выполненный в форм-факторе M.2 2280, обладает интерфейсом PCI Express 3.0 x4 — NVMe и доступен в ёмкостях 128, 256, 512 и 1024 Гбайт. В нём используются микросхемы памяти по 384 Гбит TLC 3D NAND от Intel. То есть для накопителя на 128 Гбайт требуются только 3 такие микросхемы, на 256 Гбайт, соответственно, 6. В количестве микросхем и кроется проблема, ведь большинство контроллеров, применяемых для создания производительных накопителей, используют 4 или 8 каналов для доступа к данным. Получается, что при использовании 3 или 6 чипов памяти можно задействовать не все доступные каналы контроллера, что отрицательно сказывается на общей производительности.

ВЛИЯНИЕ НА РЫНОК ПРОМЫШЛЕННОЙ ФЛЭШ-ПАМЯТИ

Если говорить о влиянии изменений рынка флэш-памяти на его промышленную часть, то пока они в основном носят негативный характер. Производители промышленных твердотельных накопителей вынуждены подстраивать свои производства под возможности поставщиков чипов NAND-памяти, которые, в свою очередь, массово переводят свои производственные линии на изготовление 3D-флэш-чипов. Рынок промышленной памяти всегда был гораздо менее гибким, нежели рынок пользовательской памяти, поэтому подобные переходы тяжело воспринимаются конечными потребителями. В конце 2016 — начале 2017 годов на рынке начал наблюдаться настоящий дефицит чипов на техпроцессах 19 и 15 нм, что привело к изменению всего тренда изменения цен — вместо постепенного падения наступил постепенный рост цен на конечную продукцию. При этом из-за дефицита чипов памяти на рынке многие производители вынуждены были увеличивать сроки производства и поставок своих изделий, что особенно было заметно в период с 1-го по 3-й квартал 2017 года. На текущий момент ситуация начала стабилизироваться, так как многие производители промышленной памяти начали использовать в своей продукции память на основе 3D-флэш. Например, производитель Apacer Technology уже в 3-м квартале 2017 года представил накопители сегмента Enterprise (серия SC, доступная в форм-факторе 2,5" и M.2, рис. 8), выполненные на основе 3D-чипов. Данные накопители используют



Рис. 8. Накопители серии SC от Apacer в форм-факторах 2,5" и M.2

как MLC-, так и TLC-технологии, в зависимости от их ёмкости.

Ещё более осязаемым стал рост цен на продукцию DRAM, который коснулся всех производителей оперативной памяти, в том числе и на промышленном секторе рынка. Рост цен на эту продукцию оказался существенно выше, чем на твердотельные накопители, а сроки поставок увеличивались в 2, а иногда и в 3–4 раза. На момент написания статьи тренд к росту цен на оперативную память сохраняется и положительных прогнозов никто из крупных игроков рынка пока не даёт.

Производители промышленных SSD и оперативной памяти предлагают своим клиентам сообщать заранее о планах по закупке своей продукции, но в текущих реалиях рынка РФ такое раннее информирование не всегда является возможным, особенно в рамках работы различных предприятий с государственным участием, где для процедуры закупки необходимо провести множество официальных процедур. Тем не менее, для значительной части рынка такие прогнозы закупок у производителя сделали возможными своевременные поставки комплектующих под проекты, в которых сроки были особо критичными.

Многие клиенты настороженно воспринимают новость о возможном переходе от обычных MLC-чипов на 3D MLC или даже 3D TLC, так как опасаются снижения надёжности в новых технологиях в угоду снижению стоимости. Крупные игроки рынка промышленных твердотельных накопителей прекрасно осведомлены о беспокойстве своих клиентов, поэтому обещают в дальнейшем дорабатывать прошивку контроллера накопителей для того, чтобы сохранить надёжность решений на прежнем уровне.

Вывод

В качестве вывода можно однозначно сказать, что технологии 3D-флэш станут новым вектором развития рынка твердотельных накопителей. В данном случае рынку промышленных SSD ничего не остаётся, кроме как следовать за своим пользовательским «коллегой» с определёнными оговорками на тему сохранения надёжности накопителей. В данный момент уже началось постепенное вытеснение планарной памяти с массовых рынков, где стоимость решений играет одну из важнейших ролей. На фоне таких изменений SSD продолжают теснить жёсткие диски в их традиционных

областях – ЦОД и серверах, а увеличение ёмкости SSD благодаря новым технологиям лишь обостряет эту борьбу. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабачник Д. Особенности продуктовой линейки промышленных накопителей Araser // Современные технологии автоматизации. – 2015. – № 3.
2. SSD 960 PRO. Experience Next-Gen Performance [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://www.samsung.com/semiconductor/minisite/ssd/product/consumer/960pro/>.
3. 3D Flash Memory: Scalable, High Density Storage for Large Capacity Applications [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://www.toshiba.com/taec/adinfo/technologymoves/3d-flash.jsp>.

4. Micron and Intel Unveil New 3D NAND Flash Memory [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://investors.micron.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=903522>.
5. Краус П. Трансформация центра обработки данных с помощью технологии 3D NAND [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/technology-provider/products-and-solutions/storage/why-3d-nand.html>.
6. Гавриченко И. Обзор SSD-накопителя Intel SSD 600p: понять и простить [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://3dnews.ru/941477>.

**Автор – сотрудник
фирмы ПРОСОФТ
Телефон: (495) 234-0636
E-mail: info@prosoft.ru**

НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

Награждение ПРОСОФТ на ADLINK Partner meeting-2018

18–19 января в Гейдельберге компания ADLINK провела ежегодную встречу ключевых европейских партнёров Partner meeting-2018, на которой компания ПРОСОФТ была награждена в двух номинациях.

Традиционно осеннее мероприятие в этот раз было перенесено на начало года и прошло в новом двухдневном формате, в рамках которого можно было представить более подробную оценку прошедшего года, наметить новые цели и познакомить участников с перспективной продукцией.

Помимо этого в программу конференции были включены доклады стратегических партнёров ADLINK, таких как Microsoft и Intel, а компании-интеграторы поделились опытом успешного внедрения оборудования.

На встрече присутствовали европейские дистрибьюторы ADLINK из России (в том числе ПРОСОФТ), Германии, Франции, Италии, Норвегии, Швеции, Израиля, Польши и Турции. Первые лица ADLINK и директора основных продуктовых направлений выступили с отчётами, планами производ-

ства, детальным обзором новинок и примерами применений.

Впервые компания ADLINK провела награждение своих партнёров за особые достижения. Компания ПРОСОФТ была отмечена сразу в двух номинациях: “Best Design Win-2017” за лучший дизайн-проект и “Over Performer” как лучший представитель среди европейских дистрибьюторов.

Европейское представительство ADLINK подвело итоги года и наметило отправные точки на будущее. В 2017 году продажи оборудования ADLINK в России отличались динамичным ростом в 52,3%, что выше показателей остальных стран. Стоит отметить, что доля ПРОСОФТ в общей сумме дохода составляет большую часть – 74,15%, и рост продаж составил 150%. По абсолютным объёмам ПРОСОФТ сейчас на втором месте среди европейских дистрибьюторов, обогнав итальянскую компанию GOMA. В текущем году ПРОСОФТ планирует реализовать для ADLINK заказы в ещё большем объёме, а общий прогноз по суммам закупок оборудования по России предполагает рост 12%. ●



Getac

Windows 10
Getac рекомендует Windows 10



Getac S410

ПОЛУЗАЩИЩЁННЫЙ. ПОЛНОСТЬЮ НАДЁЖНЫЙ.

- Процессоры Intel® Core™ i3/i5/i7 7-го и 8-го поколения
- Основная батарея повышенной ёмкости с функцией «горячей» замены
- Опциональный сверхъяркий дисплей 800 кд/м² с сенсорной панелью multitouch
- Улучшенные функции аутентификации: сканер отпечатка пальцев и считыватель карт
- Широчайший набор портов ввода-вывода

PROSOFT®
WWW.PROSOFT.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

МОСКВА
(495) 234-0636
info@prosoft.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
(812) 448-0444
info@spb.prosoft.ru

ЕКАТЕРИНБУРГ
(343) 376-2820
info@prosoftsystems.ru

