



Pamięć flash i dyski SSD

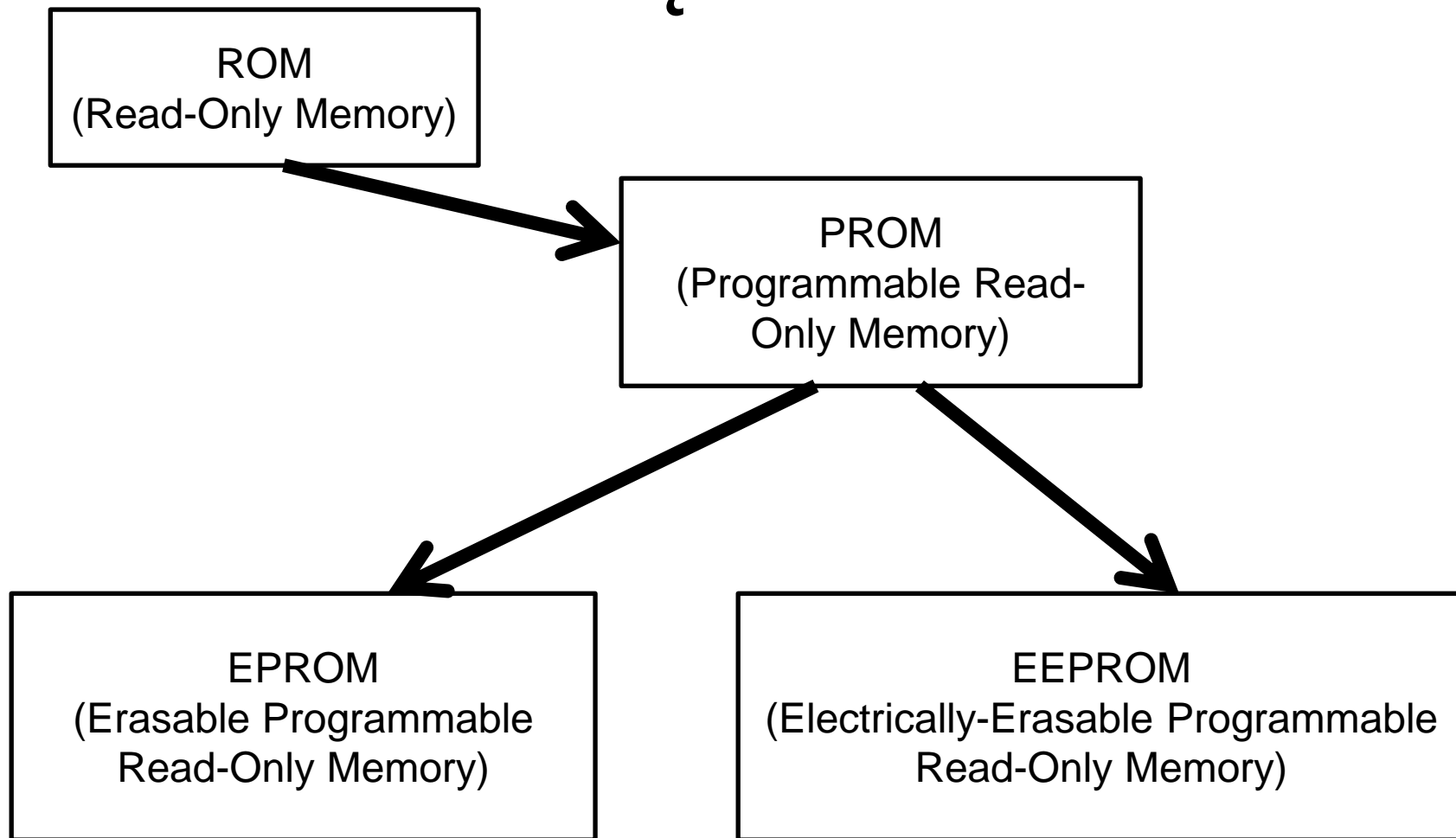
m@v€K ?ud3£k0

Urządzenia Techniki
Komputerowej

Spis treści

- Budowa i zasada działania pamięci FLASH
- Pamięć NOR i NAND
- Stany napięć w komórce
 - SLC,
 - MLC, TLC, QLC,
 - SuperMLC,
 - PLC
- Rozwiązania pamięci FLASH
 - Wydajność pamięci FLASH
 - Równoważenie obciążenia
 - Funkcja TRIM
 - NVMe
 - Key Value
- Karty pamięci
 - Secure Digital
- Pendrive
- Dysk SSD
 - Parametry
 - Porównanie z dyskiem HDD
- Dysk HDD
- Złącza dysków SSD
 - SATA 2 i 3
 - M.2
 - U.2
 - SATA-Express
 - PCI-Express
 - BGA
 - XFMEXPRESS
 - DOM (ATA i SATA)
- Współpraca z komputerem PC
 - IRST
 - System plików dla SSD

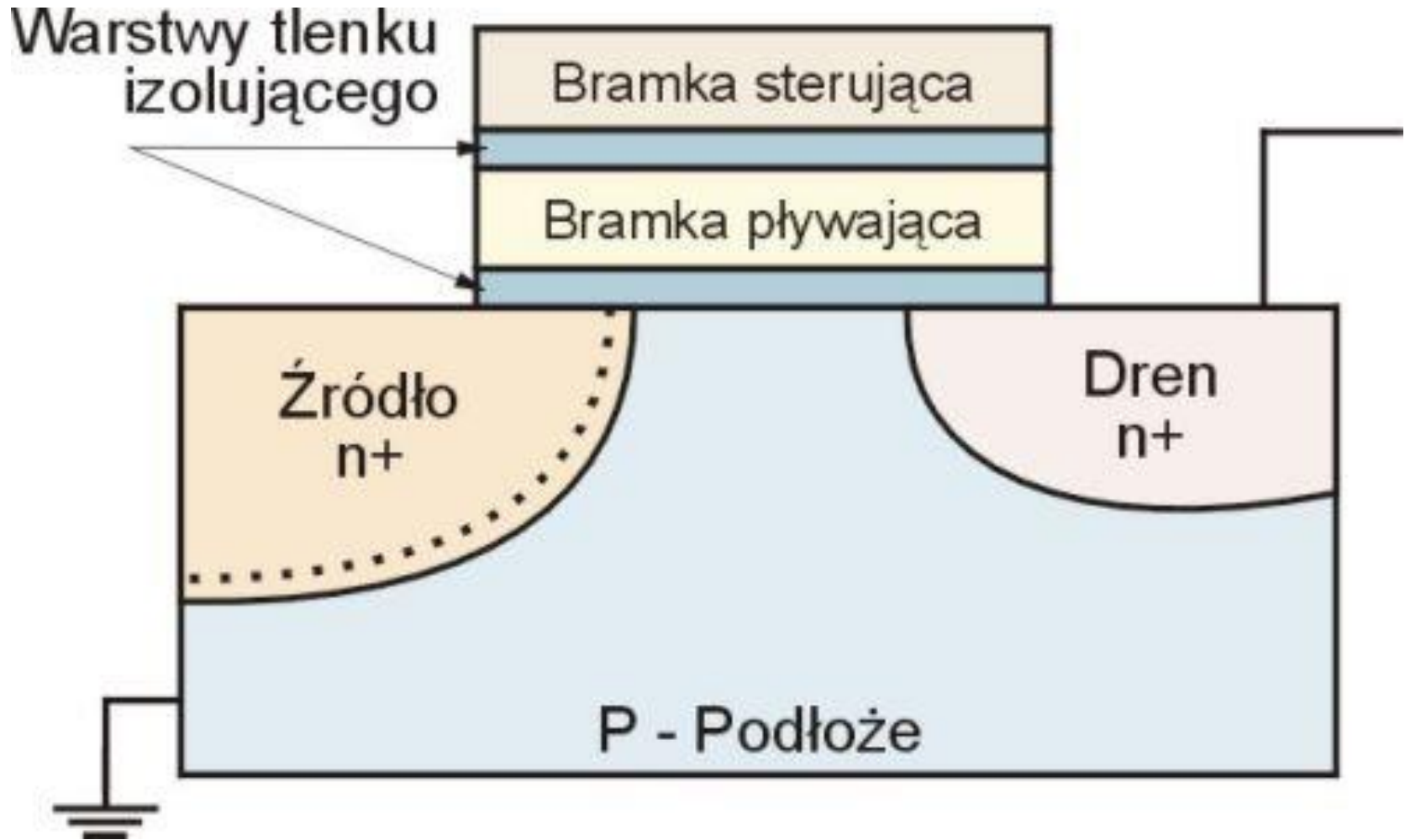
Pamięci ROM



- Programowalna pamięć trwała kasowalna światłem ultrafioletowym

- Programowalna pamięć trwała kasowalna sygnałem elektrycznym

Budowa komórki pamięci FLASH



Zasada działania pamięci FLASH

- Komórka pamięci Flash składa się z tranzystora, który pomiędzy podłożem, a bramką sterującą (Control Gate - CG) posiada odizolowaną bramkę pływającą (Floating Gate - FG).
 - Zasada działania opiera się na przechowywaniu informacji w tranzystorach polowych MOSFET.
- Zwykły tranzystor składa się ze źródła i drenu - półprzewodnika typu N⁺ (P⁺) oddzielonego półprzewodnikiem typu P (N) nad którym umieszczona jest elektroda - bramka.
 - Jeśli napięcie bramki jest równe napięciu podłoża - nie występuje pole elektryczne w półprzewodniku typu P (N) i nie będzie płynął prąd od rdzenia do drenu - **tranzystor jest wyłączony**.
 - Przyłożenie napięcia do bramki wywołuje pole elektryczne w półprzewodniku typu P (N) i wytworzenie w nim obszaru o tym samym typie co źródło i dren. **Tranzystor jest włączony**.
- Tranzystor tego typu pobiera prąd tylko w momencie przełączania stanu.
 - Raz umieszczone elektrony na FG mogą pozostać tam przez wiele lat, pamiętając zaprogramowany stan.

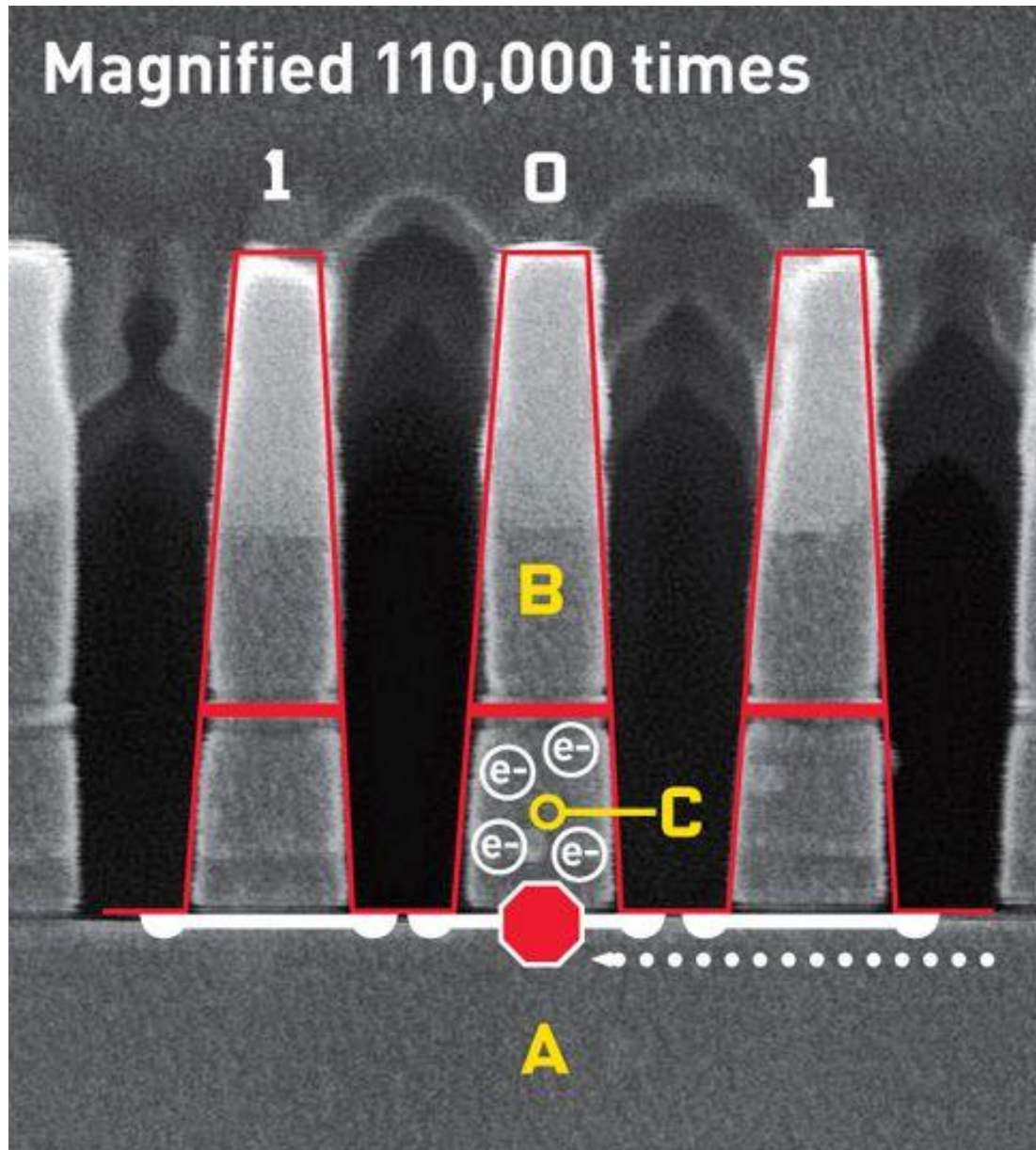
Odczyt/zapis komórki FLASH

- Zmiana jedynki na zero
 - Czysta komórka pamięci Flash posiada nienaładowaną FG, co odpowiada binarnej **jedynce**.
 - Przykładając wysokie napięcie (12 V) elektrony "wskoczą" na FG i zostanie zaprogramowane binarne **zero**.
- W celu poprawy szybkości zapisu przykładają się krótkie impulsy, a następnie sprawdza czy wartość została poprawnie zapisana.
 - Udało się dzięki temu skrócić czas zapisu komórki do kilkudziesięciu nanosekund, czas ten nie jest jednak deterministyczny.
- Odczyt
 - Odczyt polega na przyłożeniu napięcia do bramki sterującej CG i w zależności od stanu naładowania FG tranzystor będzie przewodził lub nie.
- Czyszczenie pamięci
 - Przyłożenie wysokiego napięcia o odwrotnej polaryzacji powoduje wyczyszczenie zawartości komórki,
 - Impuls prądu o natężeniu blisko 200 A przypomina ten przepływający przez lampę błyskową i stąd nazwa pamięci.
 - Kasowanie jest możliwe tylko blokami po kilka tysięcy bitów.
- Cykl programowania-zapisywanie (Program/Erase - P/E) może zostać powtórzony maksymalnie od 10 000 do 1 000 000 razy. Po tym czasie zużyta pamięć ulega uszkodzeniu.

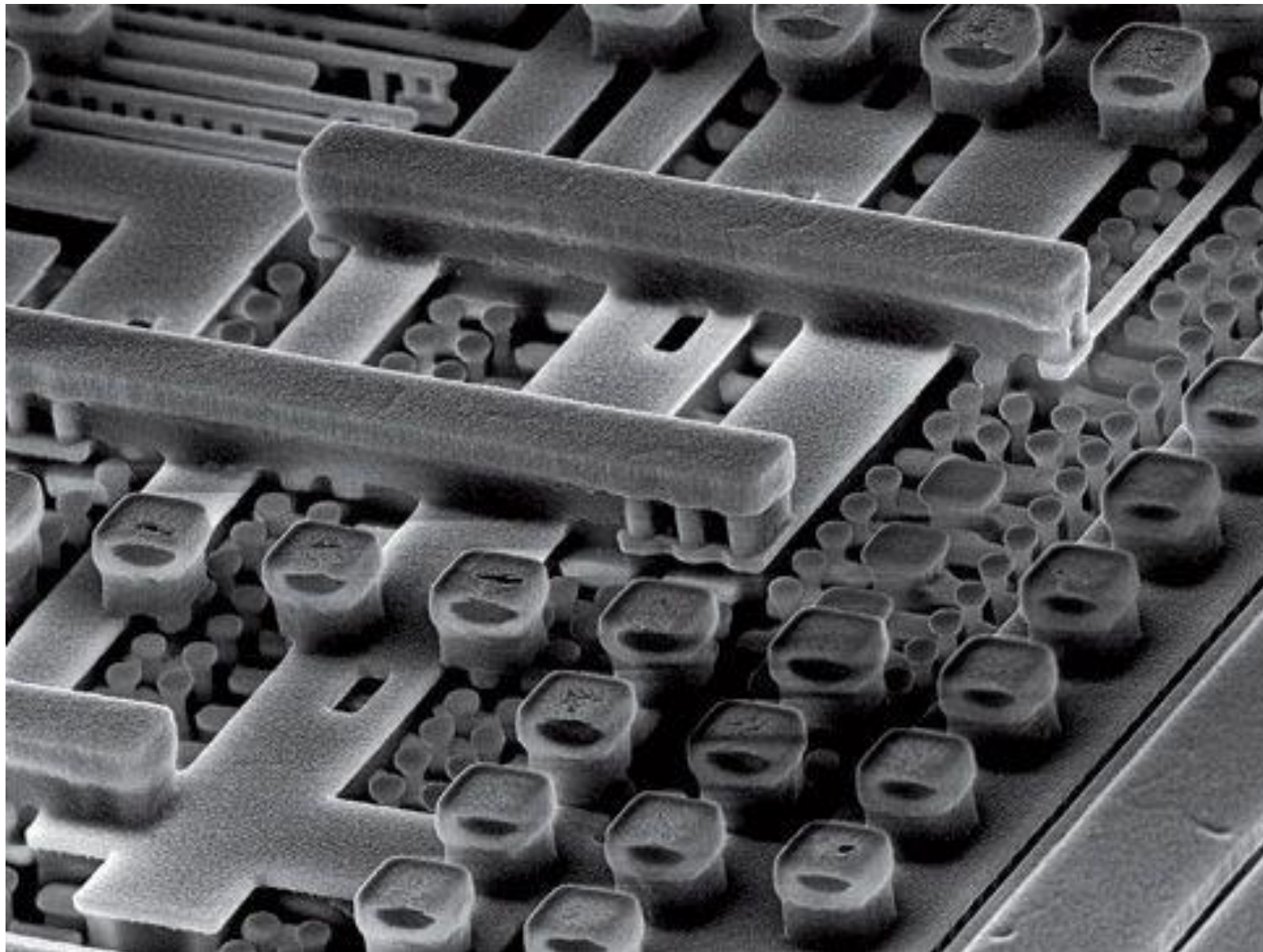
Pamięć FLASH

- Bramka sterująca reguluje ilość przesyłanego prądu ze źródła do drenu.
 - Jeśli do niej wprowadzimy ładunek elektryczny, to będzie on wpływał na prace tranzystora polowego.
- W ten sposób w bramce pływającej mogą być przechowywane dane.
 - Odczyt danych polega na sprawdzeniu prądu dren – podłoże.
- Wadą jest konieczność kasowania danych przed dalszym zapisem.
 - Komórki mogą znieść ograniczoną ilość operacji kasowań, co wpływa ujemnie na ich żywotność.

Pamięć FLASH pod mikroskopem



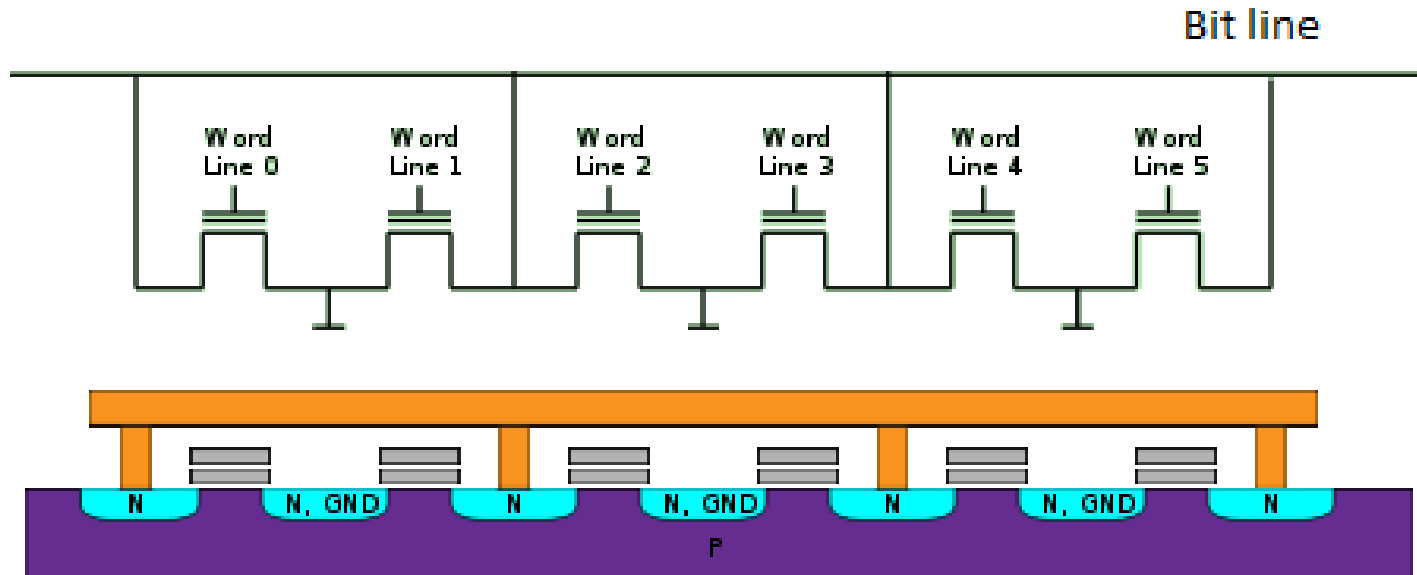
Pamięć FLASH pod mikroskopem



PAMIĘĆ NOR I NAND

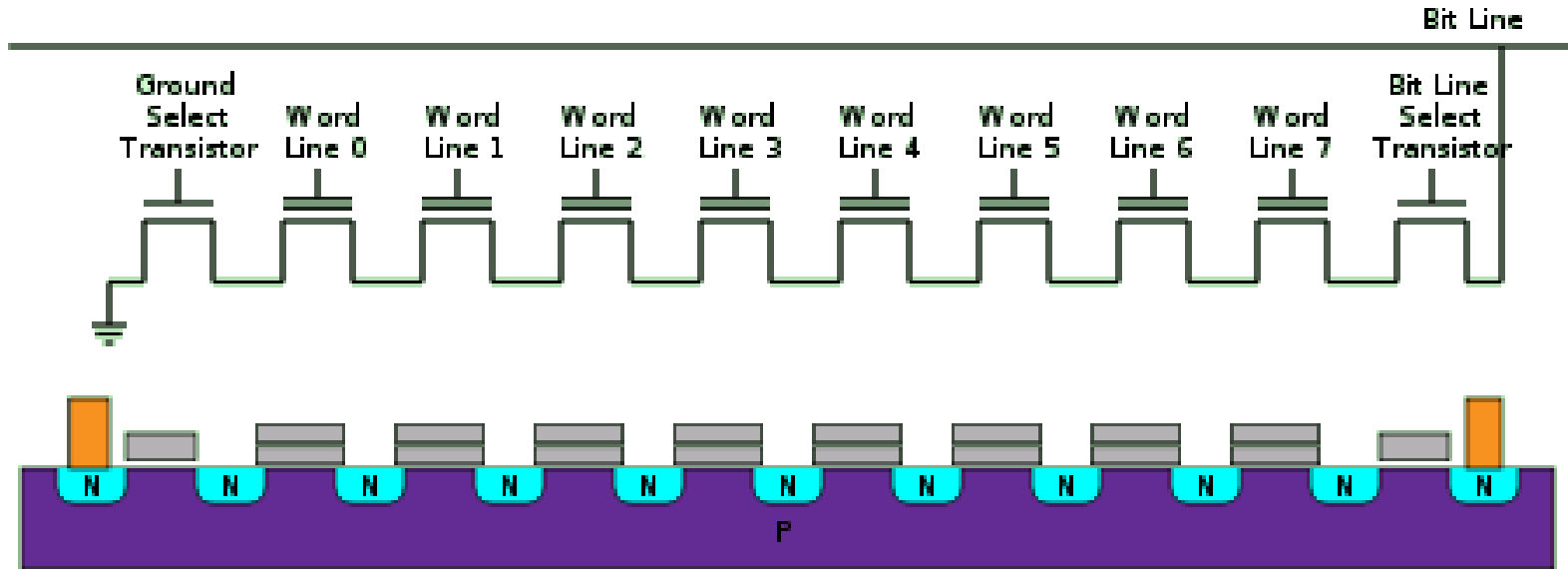
Pamięć NOR i NAND

NOR



- Komórki pamięci typu NOR są połączone równolegle (*bit line* – linia bitu, linia pionowa). Dzięki temu możliwy jest dostęp do pojedynczej komórki.
- Wadą jest złożona struktura układu pamięci oraz zajmowanie dużego miejsca. Jest też kosztowna.

NAND



- Komórki pamięci typu NAND są połączone szeregowo (*Word Line* - Linia słowa lub linia pozioma). Dzięki temu możliwy jest tylko dostęp do całego bloku danych.

Pamięć FLASH EEPROM

Właściwości	Pamięć na bramkach NOR	Pamięć na bramkach NAND
Dostęp do pamięci	Bezpośredni	Sekwencyjny
Czas zapisu	Długi	Krótszy
Czas kasowania	Długi	Krótszy
Trwałość	10 000 – 100 000 cykli zapisu/odczytu	100 000 – 1 000 000 cykli zapisu/odczytu
Stosunek ceny do wielkości	Gorszy	Korzystniejszy
Zastosowanie	Firmware różnych urządzeń	Pamięć masowa

Organizacja bloków

- Oprócz pamięci na dane współczesne układy posiadają oddzielne kilka bajtów na każdy blok do przechowywania sum kontrolnych (Error Correction Code - ECC). Typowe rozmiary stron i bloków współczesnych pamięci NAND wynoszą:
 - 32 strony x 512 B + 16 B na ECC = blok 16 kB
 - 64 strony x 2048 B + 64 B na ECC = blok 128 kB
 - 64 strony x 4096 B + 128 B na ECC = blok 256 kB
 - 128 stron x 4096 B + 128 B na ECC = blok 512 kB

STANY NAPIĘĆ W KOMÓRCIE

Stany napięć w komórce

Pamięć FLASH

SLC
Single-Level Cell
(1 bit – 2 stany)

MLC
Multi-Level Cell

MLC
(2 bity – 4 stany)

TLC
(3 bity – 8 stanów)

QLC
(4 bity – 16 stanów)

PLC
(5 bitów – 32stany)

SuperMLC
(1 bity – 2 stany)

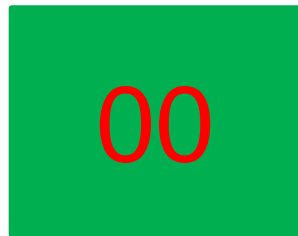
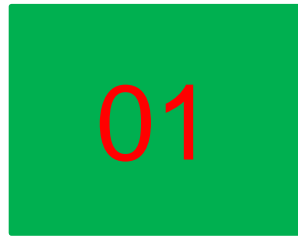
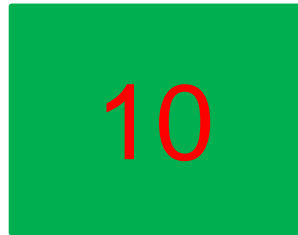
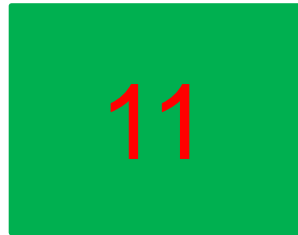
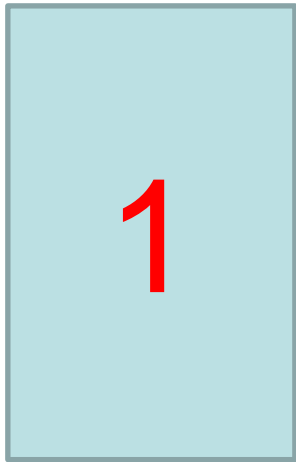
SLC a MLC

- **SLC**
- *Single-Level Cell* (pojedynczy bit w kilku komórkach)
- SLC zapewnia wysoką niezawodność i odporność na błędy.
- Ma niższą gęstość zapisu, szybszy czas odczytu i dłuższą żywotność. Jest też odporny na szerszy zakres temperatur.
- Trwałość około 100 000 cykli zapisów i odczytów
- **MLC**
- *Multi-Level Cell* (wiele bitów w jednej komórce)
- MLC wykorzystuje naładowanie bramki pływającej FG do poziomów pośrednich.
 - 4 poziomy - 0, 1/3, 2/3 i 1 umożliwiają zapisanie 2 bitów w jednej komórce.
 - 8 poziomów - 0, 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 i 1 umożliwiają zapisanie 3 bitów w jednej komórce.
- Pamięci MLC mają 2-3 krotnie wyższą gęstość zapisu, wolniejszy czas odczytu o kilkadziesiąt procent i 10-krotnie mniejszą żywotność w porównaniu do SLC. MLC są też podatne na błędy i gubienie informacji przy zmianach temperatur.
- Trwałość około 10 000 cykli zapisów i odczytów

Odmiany MLC

- MLC (Multi Level Cell) – 2 bity i $2^2 = 4$ stany
 - Trwałość to 10 000 cykli zapisów i odczytów
- TLC (Triple Level Cell) – 3 bity i $2^3 = 8$ stanów.
 - Trwałość to 3 000 cykli zapisów i odczytów
- QLC (Quad Level Cell) – 4 bity i $2^4 = 16$ stanów.
 - Pamięć najwolniejsza, najmniej trwała i jednocześnie najtańsza
 - Trwałość wynosi tylko 1 000 cykli zapisów i odczytów

SLC, MLC, TLC, QLC



SLC

1 bit na komórce

MLC

2 bity na komórce

TLC

3 bity na komórce

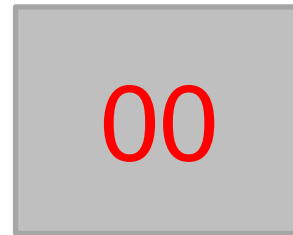
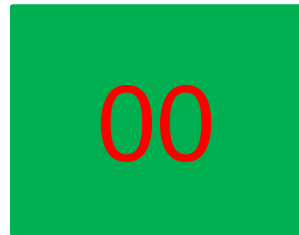
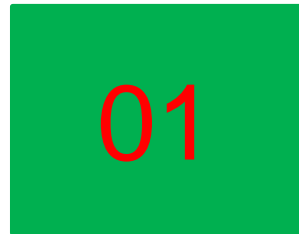
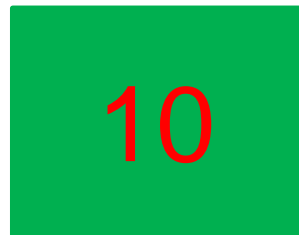
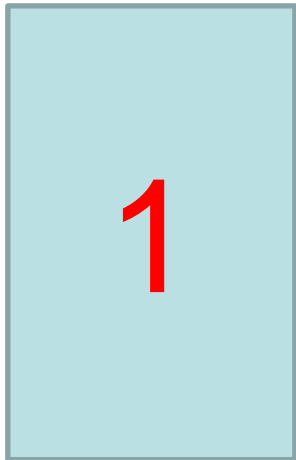
QLC

4 bity na komórce

SuperMLC

- SuperMLC (Super Multi Level Cell) modyfikuje działanie komórki MLC.
- Kontroler traktuje komórki jakby zawierały jeden, a nie dwa bity.
 - Zmniejsza to pojemność pamięci o połowę.
- Zwiększa żywotność pamięci
 - Trwałość wynosi około 30 000 cykli zapisów i odczytów
 - Zwiększa prędkość zapisu do pamięci.
 - Prędkość odczytu jest porównywalna z MLC.
- SuperMLC przeprogramowuje dwa bity, które zachowują się jak jeden bity.
 - Bity 11 odpowiadają 1
 - Bity 00 odpowiadają 0

SLC, MLC, superMLC



SLC

1 bit na komórkę

MLC

2 bity na komórkę

superMLC

1 bity na komórkę

PLC

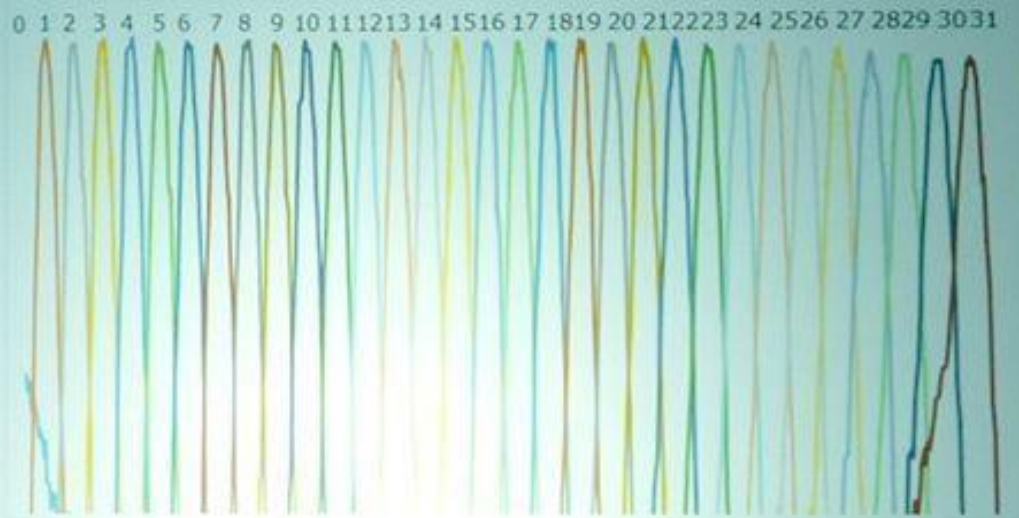
- PLC (Penta Level Cell) to umieszczenie w komórce pamięci 5 bitów co daje $2^5 = 32$ stany.
- Te komórki są przeznaczone do nośników o bardzo dużych pojemnościach (serwery, bazy danych)
- Prototyp został stworzony przez Toshiba i WD.
- Komórki wymagają większej precyzji zapisu i odczytu.
 - Większa podatność na błędy.
- Proces przechowywania danych jest bardziej złożony
- Komórki wytrzymują mniej cykli zapisu.
- Pamięci PLC będą również oferować gorsze transfery zapisu danych
 - Problem można zniwelować poprzez zastosowanie bufora szybszej pamięci SLC NAND
 - Lepsza współpraca z PCI-Express 4.0 i 5.0

PLC

Challenge for More Density per Die: Beyond QLC

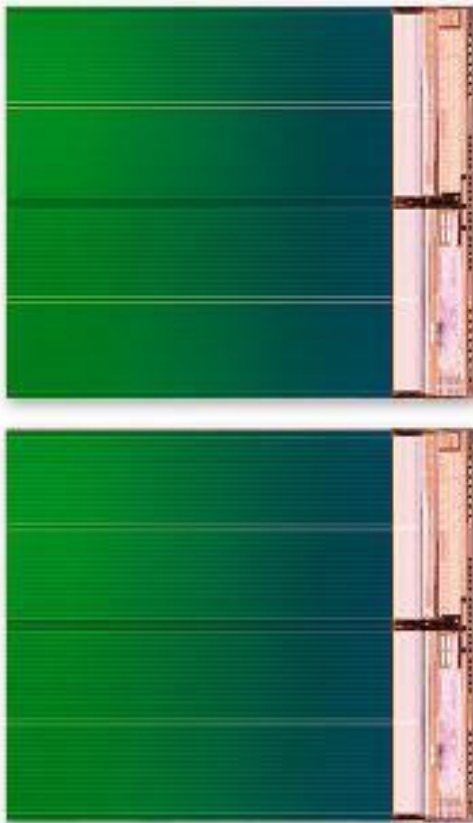
Realized 5-bit-per-cell with BiCS FLASH™ and new channel process...
Contribute to enhance TLC/QLC performance in future generations too

PLC (5-bit-per-cell, 32-level cell)

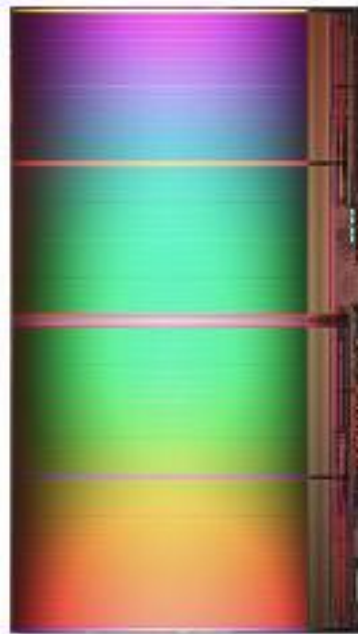


Skala miniaturyzacji pamięci Flash

34nm



25nm



20nm



Problemy

- Komórka do zapisu danych musi być pusta – nie może zawierać żadnych danych.
- Trzeba skasować jej zawartość
 - Skasować można tylko cały blok komórek.
 - Kasowanie trwa dłużej niż zapis/odczyt
- Zapis trzeba skoordynować z kasowaniem.
 - Plik aktualizowany i nadpisywany trzeba zaznaczyć jako usunięty, a nowy umieścić w innym miejscu.
 - Niekiedy konieczna defragmentacja wewnętrzna, by mieć odpowiednio duży blok do zapisu.
 - Ograniczona ilość skasowań komórki.

Rozwiązania

- Kontroler rozdziela równomiernie operacje zapisu na całą przestrzeń nośnika.
 - Równoważenie zużycia (*wear levelling*)
 - Nie ma sensu defragmentowanie nośnika Flash.
- Nośnik dysponuje obszernym buforem, gdzie dane są układane w odpowiednie struktury przed zapisem.
- Niektóre kontrolery umożliwiają zapis danych skompresowanych – zajmują mniej miejsca
- Nośniki Flash mają nadmiarowe układy pamięci (przeciętnie 4%)
 - $240 \text{ GB} = 256\text{GB} - 16\text{GB}$

Wydajność pamięci Flash

- Na nośnikach Flash dane są zapisywane równoległe – jednocześnie w wielu komórkach pamięci.
- Im więcej kanałów zapisu tym większa prędkość zapisu.
 - Im większy dysk SSD tym jest szybszy.
- Prędkość zapisu nie może być większa niż szybkość interfejsu (SATA 2 czy SATA 3).

Równoważenie obciążenia

- Równoważenie zużycia (*wear levelling*) polega na równomiernym rozłożeniu operacji zapisu na całą przestrzeń nośnika.
- Celem jest wyrównanie poziomu zużycia poszczególnych komórek pamięci FLASH.

Dynamiczne i statyczne równoważenie

- Dynamiczne równoważenie dotyczy tylko danych, które są często aktualizowane.
 - Polega na zapisywaniu nowych informacji, do tych niezapisanych bloków pamięci, które były dotychczas najrzadziej używane.
 - Jeśli na pamięci FLASH są dane statyczne (rzadko aktualizowane) nie są uwzględniane przez dynamic wear levelling.
- Statyczne równoważenie obejmuje wszystkie dane zapisywane w pamięci FLASH.
 - Najpierw są wyszukiwane najmniej zużyte bloki pamięci. Jeśli są one puste, to do nich zapisuje się nowe informacje.
 - Jeżeli w tych blokach przechowywane są dane statyczne, kopiuje się je do innych, bardziej zużytych miejsc w pamięci. Na ich miejsce wpisuje się dane aktualnie zmieniane.
- Metoda statyczna jest pod względem wydłużenia żywotności rozwiązaniem efektywniejszym niż *dynamiczny wear leveling*.
- Wymaga przenoszenia danych statycznych i jest bardziej skomplikowana. W większym stopniu obciąża kontroler, co skutkuje większym poborem prądu i wydłużeniem czasu zapisu.

Równoważenie obciążenia

Komórki, które osiągnęły kres żywotności. Grożą utrata danych.

Maksymalna ilość kasowań

Komórki z nieoptymalizowanym zapisem danych

Krytyczny

Wysoki

Średni

Niski

Maksymalna ilość kasowań

Komórki ze zrównoważonym zapisem danych

Równoważenie obciążenia



Krytyczny

Wysoki

Średni

Niski

Przykład

- Zagadnienie to zilustrować można następującym przykładem. Załóżmy, że dysponujemy nośnikiem **Flash** składającym się z 4096 bloków pamięci. Jest on używany do zapisu trzech plików o rozmiarze 50 bloków pamięci, które są aktualizowane z częstotliwością 1 pliku co 10 minut (6 plików na godzinę).
- Jeżeli dane te będą wciąż zapisywane do tych samych 200 bloków pamięci nośnika, przy założeniu, że producent zagwarantował żywotność pamięci rzędu 10 tys. cykli programowanie/ kasowanie, nośnik zużyje się w czasie krótszym niż rok: $(10000 \times 200) / (50 \times 6 \times 24) = 278$ dni. Jednocześnie pamięć w okresie użytkowania w ponad 95% pozostanie niewykorzystana. W przypadku gdyby wszystkie bloki pamięci były używane do zapisu tych danych z taką samą częstotliwością, pamięć byłaby użyteczna znacznie dłużej: $(10000 \times 4096) / (50 \times 6 \times 24) = 5689$ dni.

Funkcja Trim

- Funkcja **Trim** umożliwia usuwanie niepotrzebnych danych w tle.
 - Nie trzeba wtedy kasować danych tuż przed zapisem
- Funkcja realizowana jest w tle, by nie zakłócała pracy systemu.
- Dzięki temu komórki pamięci są opróżniane przed ewentualnym zapisem.
 - Rozwiązanie jest wprowadzone od MS Windows 7.
 - W Linuksie występuje od wersji jądra 3.8.
 - W MacOS od wersji X.

Protokół NVMe

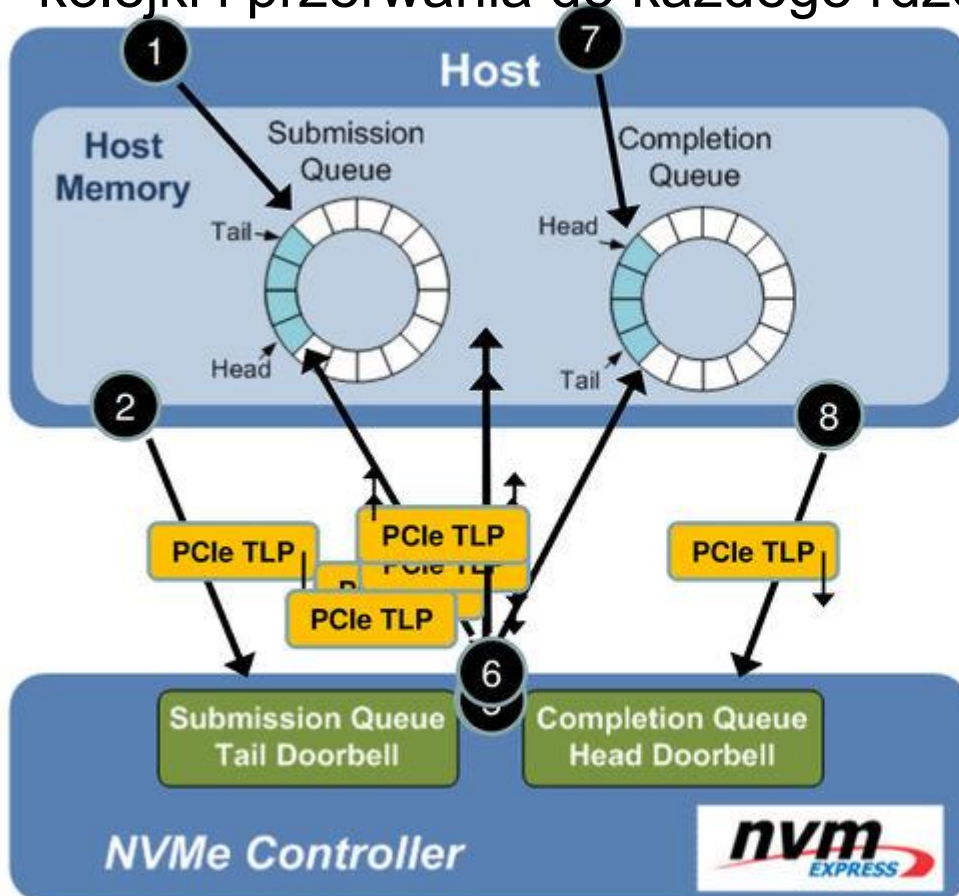
- Protokół NVMe (Non-Volatile Memory Express) został zaprojektowany głównie z myślą o dostępie do pamięci trwałych poprzez złącze PCI Express.
 - Dotyczy głównie szybkich nośników SSD.
- Wykorzystuje zalety pamięci FLASH:
 - niskie opóźnienia
 - wewnętrzną równoległą budowę pamięci

Cechy protokołu NVMe

- Nowy protokół korzysta z prostych, nieskomplikowanych poleceń.
 - Zawiera 10 poleceń administracyjnych i 3 polecenia I/O, które są klasyfikowane jako "obowiązkowe".
 - Jest mało wymagający pod względem liczby transferów do pamięci operacyjnej, charakteryzuje się też bardzo małymi opóźnieniami.
- Pozwala sprzętom wchodzić w stan niskoenergetyczny, bez interwencji oprogramowania.
- Jego kolejną unikatową cechą, to możliwość korzystania z kilku kanałów komunikacji w tym samym czasie.
 - Sprawdzi się w przyszłości, gdy dyski SSD będą na tyle szybkie, że do przesyłania danych będą potrzebować wielu kanałów komunikacji.
- NVMe zmniejsza obciążenie I/O i przynosi wiele usprawnień wydajności w porównaniu do poprzednich logicznych interfejsów urządzeń, takich jak wykorzystanie wielu długich kolejek poleceń i ograniczenie latencji.

Kolejki zadań

- W przypadku NVMe wyróżnia się tzw. kolejki składania (submission) i realizacji (completion). W kolejkach składania przekazywane są wiadomości od hosta do kontrolera, w kolejkach realizacji - odwrotnie. Kolejki te są bardzo skuteczne w przypadku architektur wieloprocessorowych, w których można przydzielać kolejki i przerwania do każdego rdzenia.



- 1) Queue Command(s)
- 2) Ring Doorbell (*New Tail*)
- 3) Fetch Command(s)
- 4) Process Command (s)
- 5) Queue Completion(s)
- 6) Generate Interrupt
- 7) Process Completion (s)
- 8) Ring Doorbell (*New Head*)

Porównanie NVMe i AHCI

	NVMe	AHCI
Opóźnienie	2,7 μ s (9100 cykli zegara)	6 μ s (19 500 cykli zegara)
Maksymalna długość kolejki	65 536 kolejek, każda z 65 536 poleceniami Kolejki mogą dostać priorytety	1 kolejka z 32 poleceniami
Wykorzystanie wielordzeniowości	bez synchronizacji, wysyła polecenie w dowolnym momencie	wymaga synchronizacji, aby wysłać polecenie
Efektywność operacji 4K	wszystkie parametry w jednym 64-bajtowym pobraniu	dwa następujące po sobie pobrania (nie mogą być wykonane równoległe)
Dostęp do nieulotnego rejestru (2000 cykli)	dwa na polecenie	sześć na polecenie niedwoiste; Dziewięć na polecenie w kolejce
Równoległość i wiele wątków	Bez blokowania	Wymaga blokady synchronizacji do wydania polecenia
Wydajność dla poleceń o rozmiarze 4KB	Pobiera parametry polecenia w jednym 64 bajtowym pobieraniu	parametry polecenia wymagają dwóch serializowanych pobrań DRAM hosta

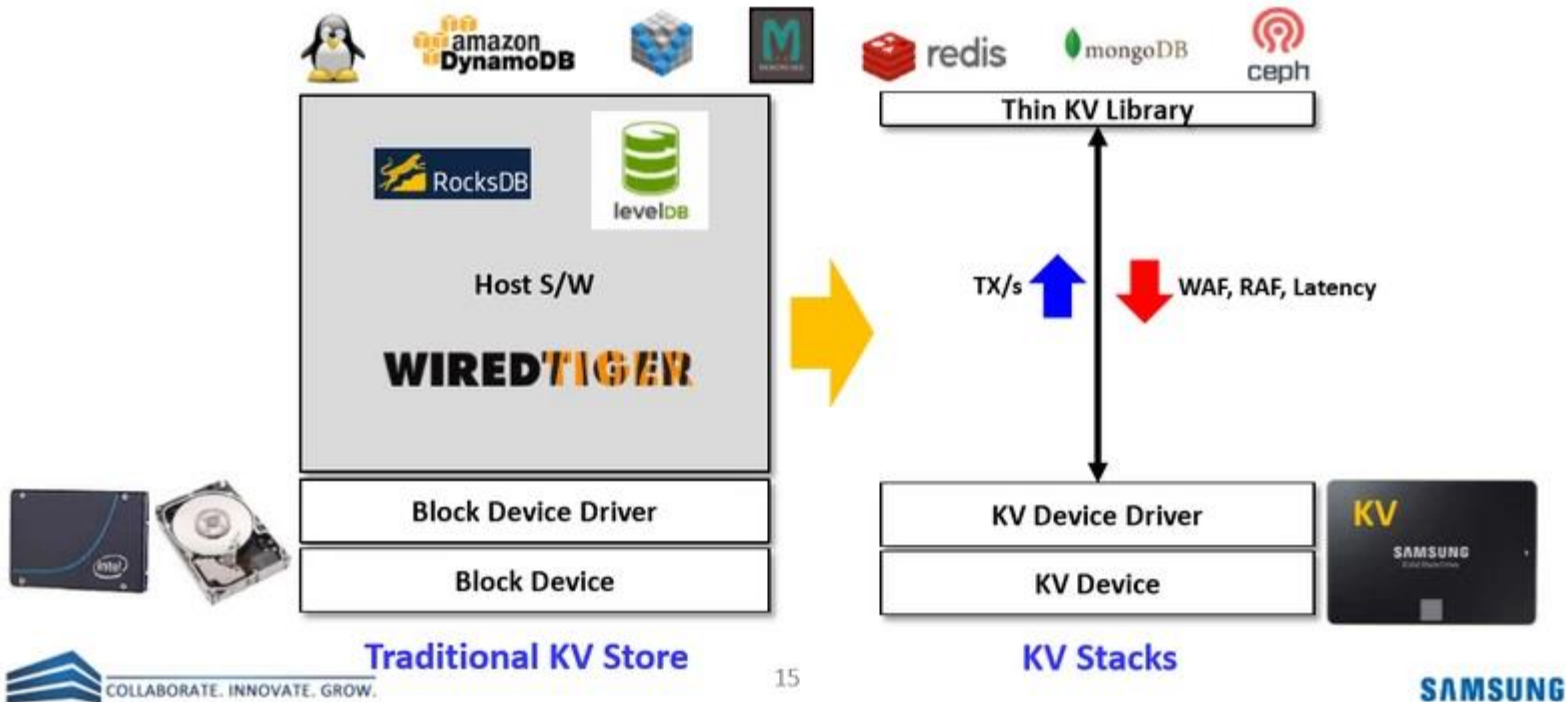
Key Value

- Technologia Key Value przetwarza dane bez konwertowania ich do bloków.
 - Nie dokonuje podziału danych na bloki 512B - 4 kB.
- KV przypisuje klucz lub określoną lokalizację do każdej wartości, niezależnie od jego rozmiaru.
 - Na dysku SSD będą dane o różnych rozmiarach (W jednej całości)
- Technologia pozwala na efektywne skalowanie systemu magazynowania danych.
- Technologia Key Value umożliwia skalowanie systemów magazynowania SSD pod względem wydajności kontrolerów i liczby klastrów.
- Podczas zapisu lub odczytu dysk SSD Key Value może ograniczyć liczbę zbędnych kroków pośrednich
 - Prowadzi do szybszego zapisu i odczytu danych
 - Zwiększa żywotność dysku i zużycie energii.
- Operacjami odczytu i zapisu będzie sterował kontroler dysku.
- Ten udostępni już przetworzone informacje. Powoduje odciążenie jednostki centralnej komputera CPU i wzrost wydajności całości maszyny. Zapewnia też znacznie lepszą skalowalność. Dodatkowym skutkiem jest redukcja WAF (write amplification) i mniejsze zużycie samych SSD – co przekłada się na ich większą wytrzymałość.

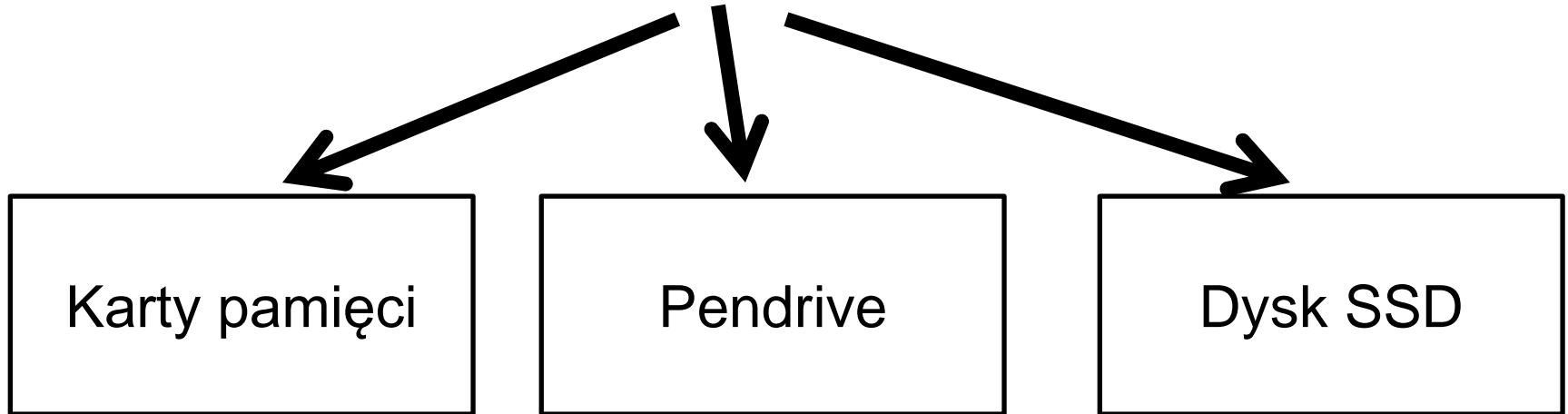
Idea systemu Key Value

Key Idea

Key Value Store is everywhere!



Rodzaje pamięci FLASH

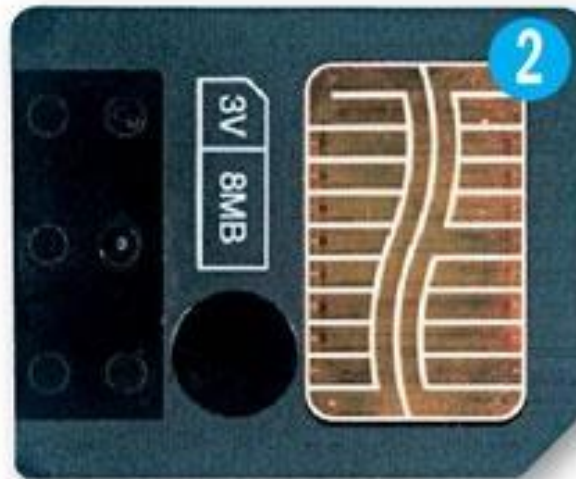


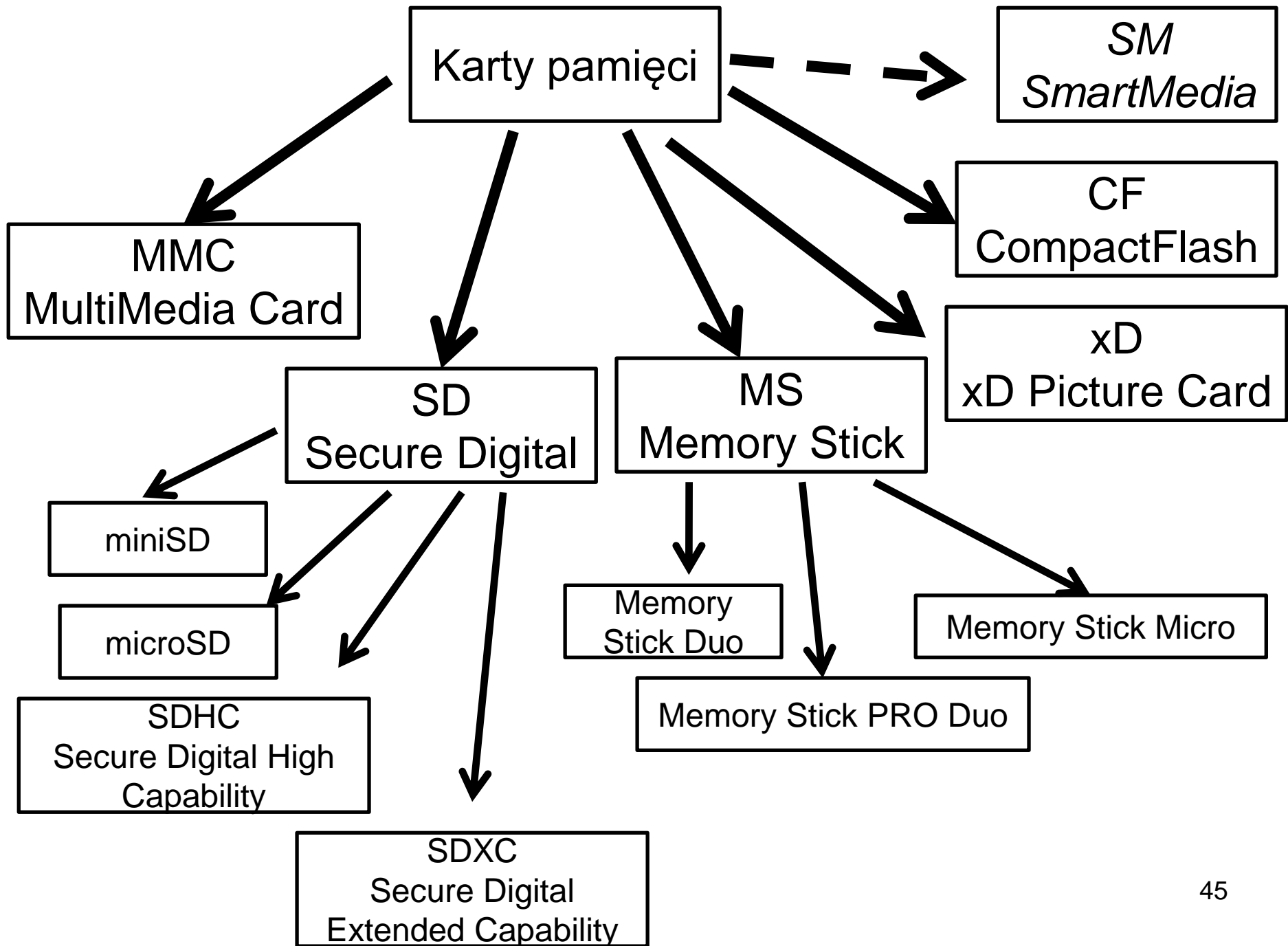
KARTY PAMIĘCI

Karta pamięci

- Karta pamięci FLASH ma postać niewielkiej karty zawierającej do kilkuset GB pamięci.
- Stosowana w aparatach fotograficznych, telefonach komórkowych, smartfonach, tabletach i innych urządzeniach audiowizualnych.

Przykładowe karty





Pierwsze egzemplarze

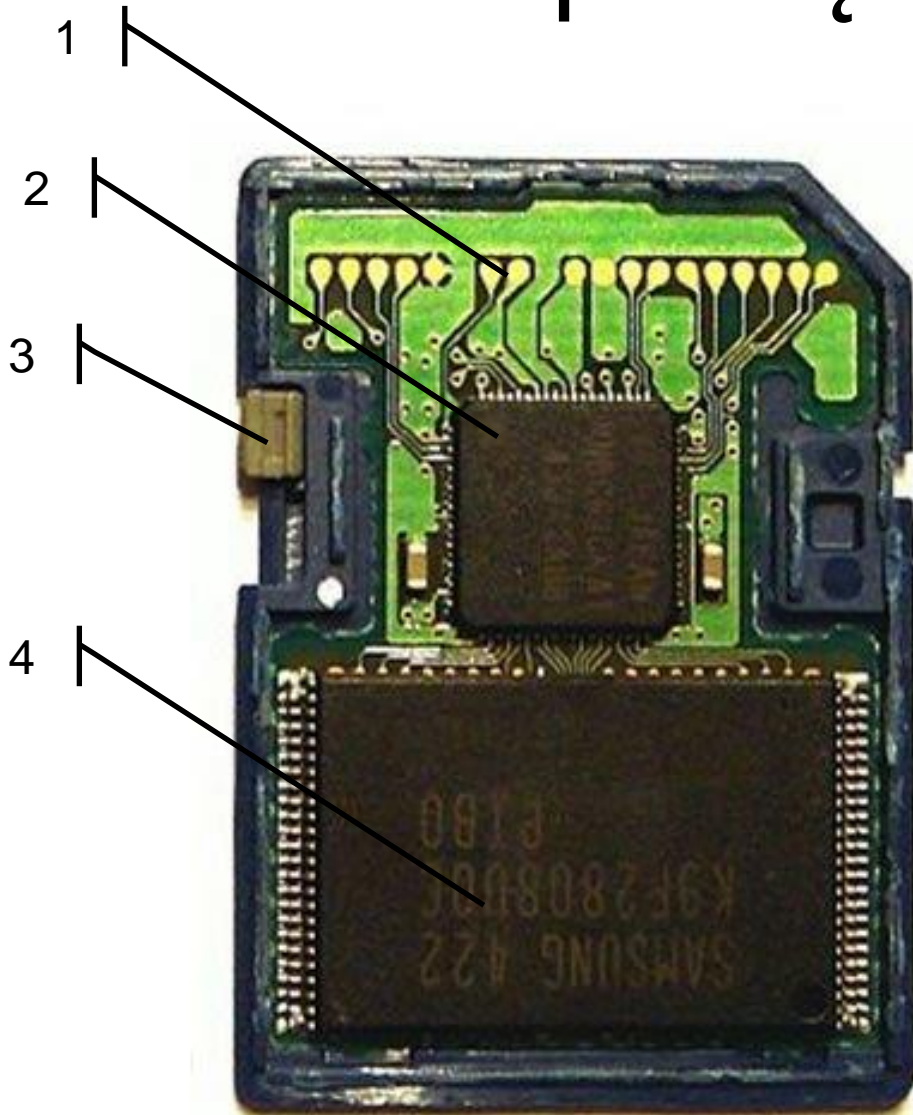
- Pierwsza karta pamięci typu Flash
- 2 MB Compact Flash firmy SanDisk.
- Rok 1994



Secure Digital

- Najpopularniejszy typ kart pamięci.
- Wprowadzony w 1999 roku.
- Pojawiły się wersje o mniejszych rozmiarach: miniSD oraz microSD.
- Kolejnymi rozwiązaniami były nowsze generacje kart SD: SDHC, SDXC, SDUC.

Karta pamięci wewnątrz



1	Złącze karty
2	Kontroler pamięci
3	Zabezpieczenie przed zapisem
4	Układ pamięci Flash

Szybkość kart SD

- Starsze modele miały podaną prędkość podobnie jak na płytach CD.
- Poziom odniesienia (150 KB/s) x mnożnik



Klasy prędkości kart SD

Minimalna szybkość zapisu	Klasa szybkości	Klasa szybkości UHS	Klasa szybkości wideo	Zastosowanie
2 MB/s	Klasa C2			Filmy
4 MB/s	Klasa C4			Filmy HD
6 MB/s	Klasa C6		Klasa V6	
10 MB/s	Klasa C10	Klasa U1	Klasa V10	Filmy Full HD
30 MB/s		Klasa U3	Klasa V30	Filmy 4K
60 MB/s			Klasa V60	Filmy 8K
90 MB/s			Klasa V90	



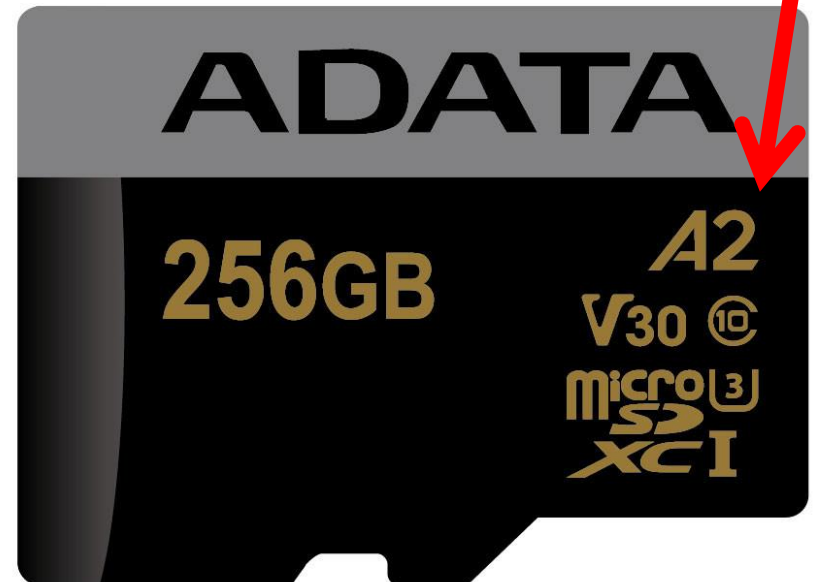
Prędkość interfejsu SD

Interfejs złącza	Rodzaj interfejsu karty	Generacja interfejsu	Prędkość interfejsu	wersja
DS (Default Speed)	SD, SDHC, SDXC		12,5 MB/s	1.01
HS (High Speed)			25 MB/s	2.0
UHS-I	SDHC, SDXC	I	50 MB/s	3.01
			104 MB/s	
UHS-II		II	156 MB/s	4.0
			312 MB/s	4.10
UHS-III	SDXC, SDUC	III	624 MB/s	6.0







Klasa wydajności aplikacji

Klasa wydajności aplikacji	Minimalna wymagana prędkość transferu danych	Minimalna liczba losowych odczytów	Minimalna liczba losowych zapisów
Klasa A1	10 MB/s	1500 IO/s	500 IO/s
Klasa A2		4000 IO/s	2000 IO/s



Klasa prędkości SD Express 9.1

SD Express Speed Classes	SD Express Speed Class Pictographs	Minimum Read/Write Performance
SD Express Speed Class 150		150 Mbytes/Sec
SD Express Speed Class 300		300 Mbytes/Sec
SD Express Speed Class 450		450 Mbytes/Sec
SD Express Speed Class 600		600 Mbytes/Sec

- Wykorzystanie PCI Express 4.0 i protokołu MVMme

Rodzaje kart



Parametry	SD Secure Digital	SDHC Secure Digital High Capacity	SDXC Secure Digital eXtended Capacity	SDUC Secure Digital Ultra Capacity
Pojemność	2 GB	2GB – 32GB	32 GB- 2 TB	2 TB – 128 TB
System plików	FAT16	FAT32	FAT32/ exFAT	exFAT
Prędkość	12,5 MB/s	25 MB/s	50 MB/s – 312 MB/s	985 MB/s

Odczyt prędkości z karty pamięci



Klasa prędkości

Klasa prędkości
UHS

Prędkość
interfejsu SD

Odczyt prędkości z karty pamięci



Klasa prędkości
wideo

Prędkość
interfejsu SD

Klasa wydajności
aplikacji

Klasa prędkości
UHS



Compact Flash

- Karty Compact Flash były popularne w pierwszej dekadzie XXI wieku.
- Nowa generacja Cfast, Cfast 2.0 (przepustowość 600 MB/s), CFexpress
- Zalety:
 - Wielkość
 - Sztywność
 - Wytrzymałość
 - Długowieczność
 - Szybkość
 - Duże pojemności
- Wady
 - Kosztowne – droższe niż SD



CFexpress

- Karty CFexpress to najnowocześniejszy typ kart Flash.
- Formaty kart CFexpress
 - Typ B - ma identyczne wymiary jak karty XQD
 - Typ A - nowszy, bardziej kompaktowy. Realny konkurent nośników SD na rynku profesjonalnych aparatów i kamer.
- Idealne do zapisów plików wideo
- Zastosowanie technologii NVMe
- Format RAW do zapisu danych
- Zalety:
 - Wielkość
 - Sztywność
 - Długowieczność
 - Szybkość (do 4 GB/s)
 - Minimalna szybkość na poziomie 1 GB/s
 - Duże pojemności (2TB – 4 TB)
- Wady
 - Kosztowne – droższe niż SD (karty od 750 zł za najtańsze modele)



Maksymalna szybkość odczytu kart CF

- Maksymalna prędkość odczytu karty podawana jest w formie klasy interfejsu Ultra DMA.
- Aktualnie wyróżnia się siedem klas UDMA.
- W praktyce trudno znaleźć karty o klasie niższej niż UDMA 7.

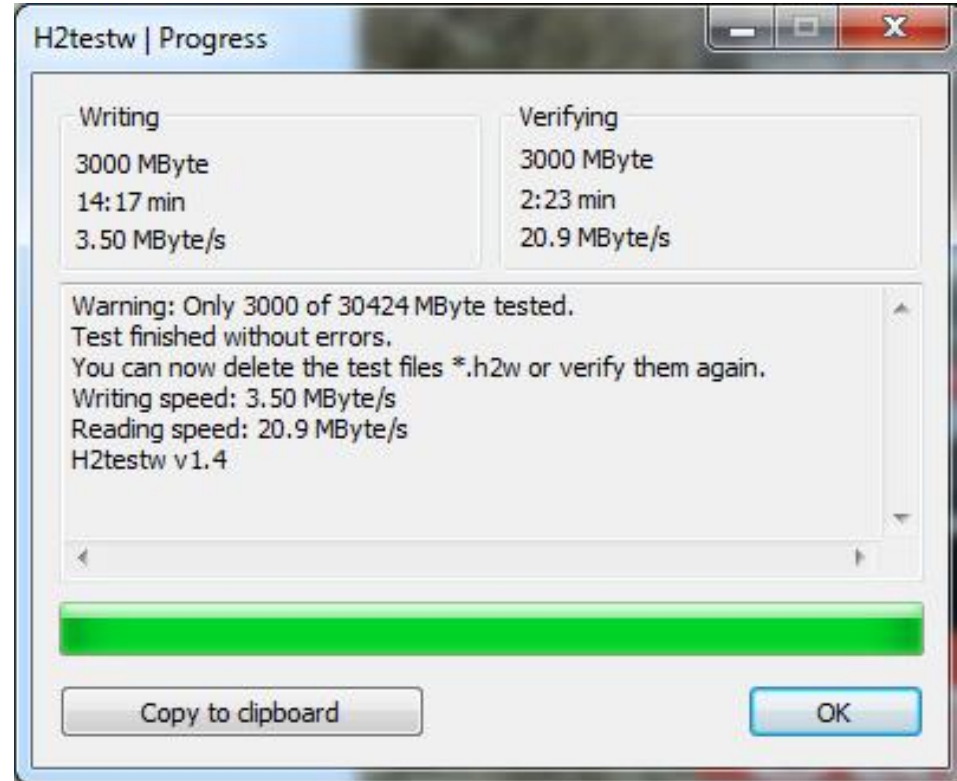
Klasa	Szybkość
UDMA 1	25 MB/s
UDMA 2	33,3 MB/s
UDMA 3	44,4 MB/s
UDMA 4	66,7 MB/s
UDMA 5	100 MB/s
UDMA 6	133 MB/s
UDMA 7	167 MB/s

XQD

- Próba połączenia zalet kart SD i CF.
- Zalety
 - Rozmiary mniejsze od CF
 - Duża pojemność kart (do 1000 MB/s)
 - Prędkość transferu większe dwukrotnie od CF
- Wady
 - Wysoka cena
 - Niewielka kompatybilność (karty używane są raptem przez kilka modeli aparatów Nikon i kamery Sony)
 - Nośnik wypierany przez karty SDXC oraz CFExpress.



H2testw 1.4 – program do testowania kart pamięci



PENDRIVE

Pendrive

- Nośnik pamięci umożliwiający podłączenie do złącza USB.
- Stanowią najczęściej zewnętrzny, przenośny nośnik danych.

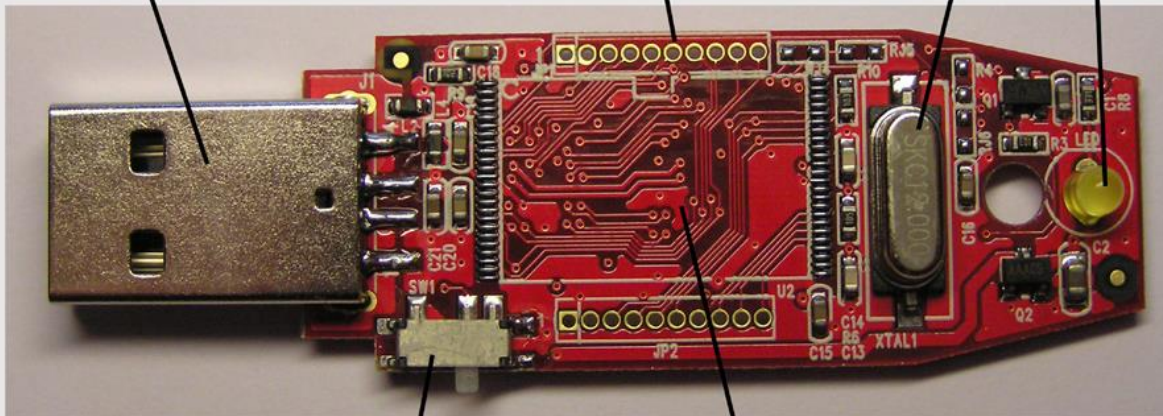
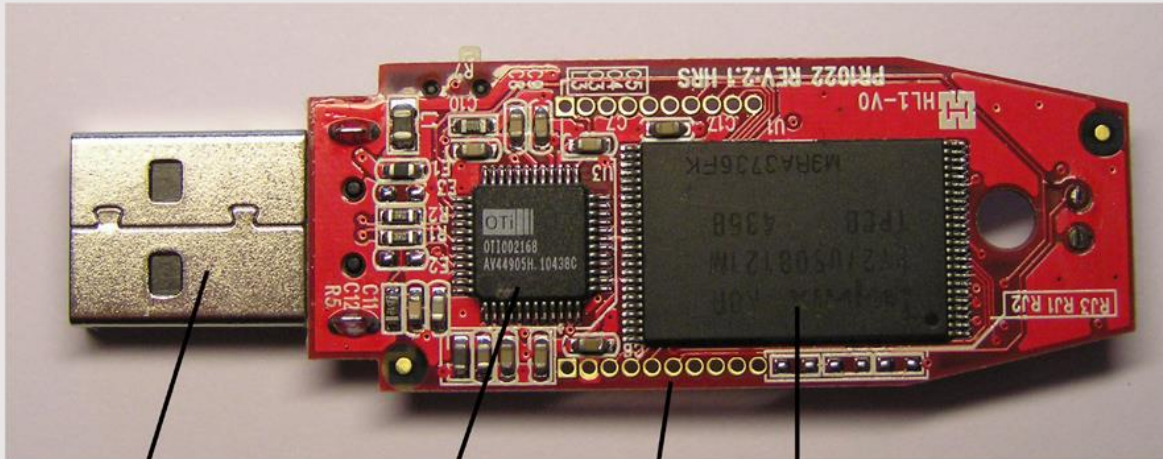
Przykładowe pendrive'y



Szybkość interfejsu USB

Nazwa USB	Rodzaj USB	Maksymalna szybkość	
<i>Low Speed</i>	USB 1.0/1.1	1,5 Mb/s	0,1875MB/s
<i>Full Speed</i>		12 Mb/s	1,5 MB/s
<i>High Speed</i>	USB 2.0	480 Mb/s	60 MB/s
<i>SuperSpeed</i>	USB 3.0 (<i>USB 3.1 Gen 1</i>)	5 Gb/s	640 MB/s
<i>SuperSpeed+</i>	USB 3.1 (<i>USB 3.1 Gen 2</i>)	10 Gb/s	1280 MB/s
<i>SuperSpeed++</i>	USB 3.2 (<i>USB 3.1 Gen 3</i>)	20Gb/s	2500 MB/s
<i>Certified USB4</i>	USB 4.0	40 Gb/s	4800 MB/s

Budowa pendrive'a



1	Złącze USB
2	Kontroler pamięci
3	Punkty pomiarowe
4	Układ pamięci Flash
5	Rezonator kwarcowy 12 MHz
6	Dioda sygnalizacyjna
7	Zabezpieczenie przed zapisem (opcjonalnie)
8	Miejsce na dodatkowy układ pamięci

DYSK SSD

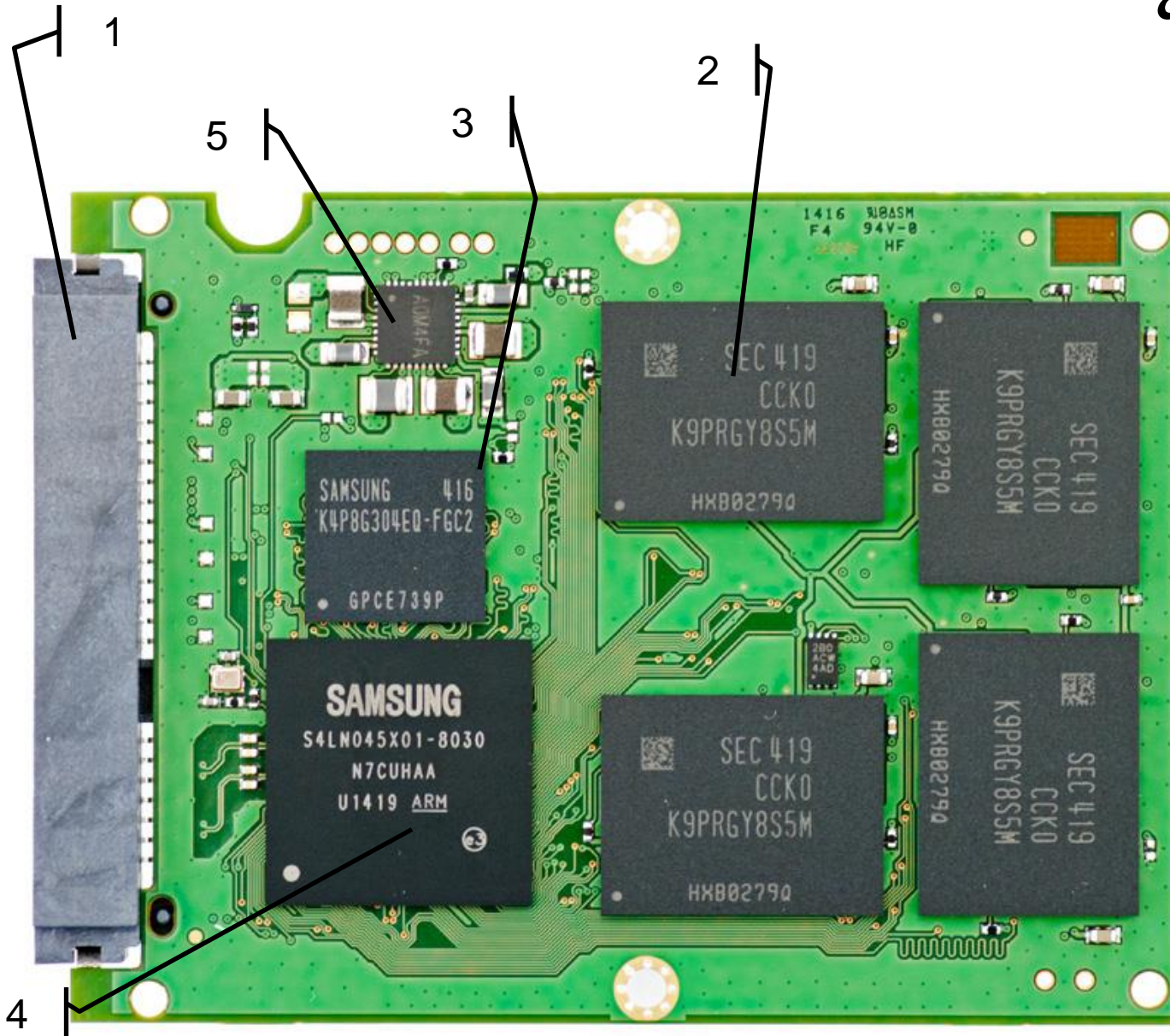
Dyski SSD



Budowa dysku SSD



Nośnik SSD wewnątrz



1	Złącze dysku SSD
2	Układy pamięci Flash
3	Pamięć cache
4	Kontroler dysku SSD
5	Kontroler zasilania dysku SSD

Dysk SSD

- Dysk SSD to twardy dysk wykorzystujący pamięć typu FLASH do zapisu danych.
- Fizycznie wygląda i zachowuje się jak twardy dysk, ale wewnątrz jest pełen komórek EEPROM.

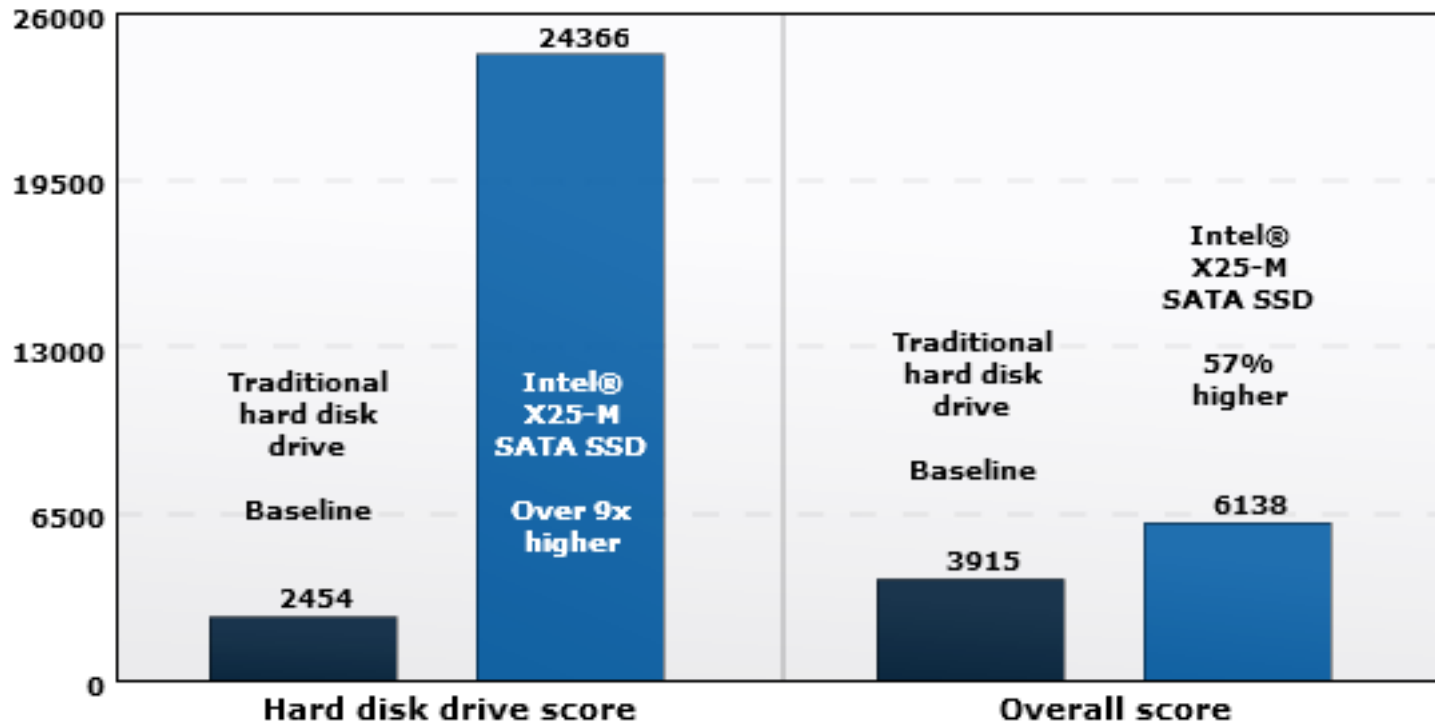
Porównanie SSD i HDD

- Dyski SSD są całkowicie pozbawione ruchomych części
 - Jako nośnik wykorzystują układy pamięci flash.
 - Są odporne na uszkodzenia mechaniczne.
 - Działają bezszelestnie
 - Oferują krótki czas dostępu, rzędu kilku ms a nie kilkunastu jak to ma miejsce w dyskach konwencjonalnych.
 - Stała prędkość odczytu.

Testy HDD i SSD

PCMark Vantage

Hard disk drive score
Higher is better



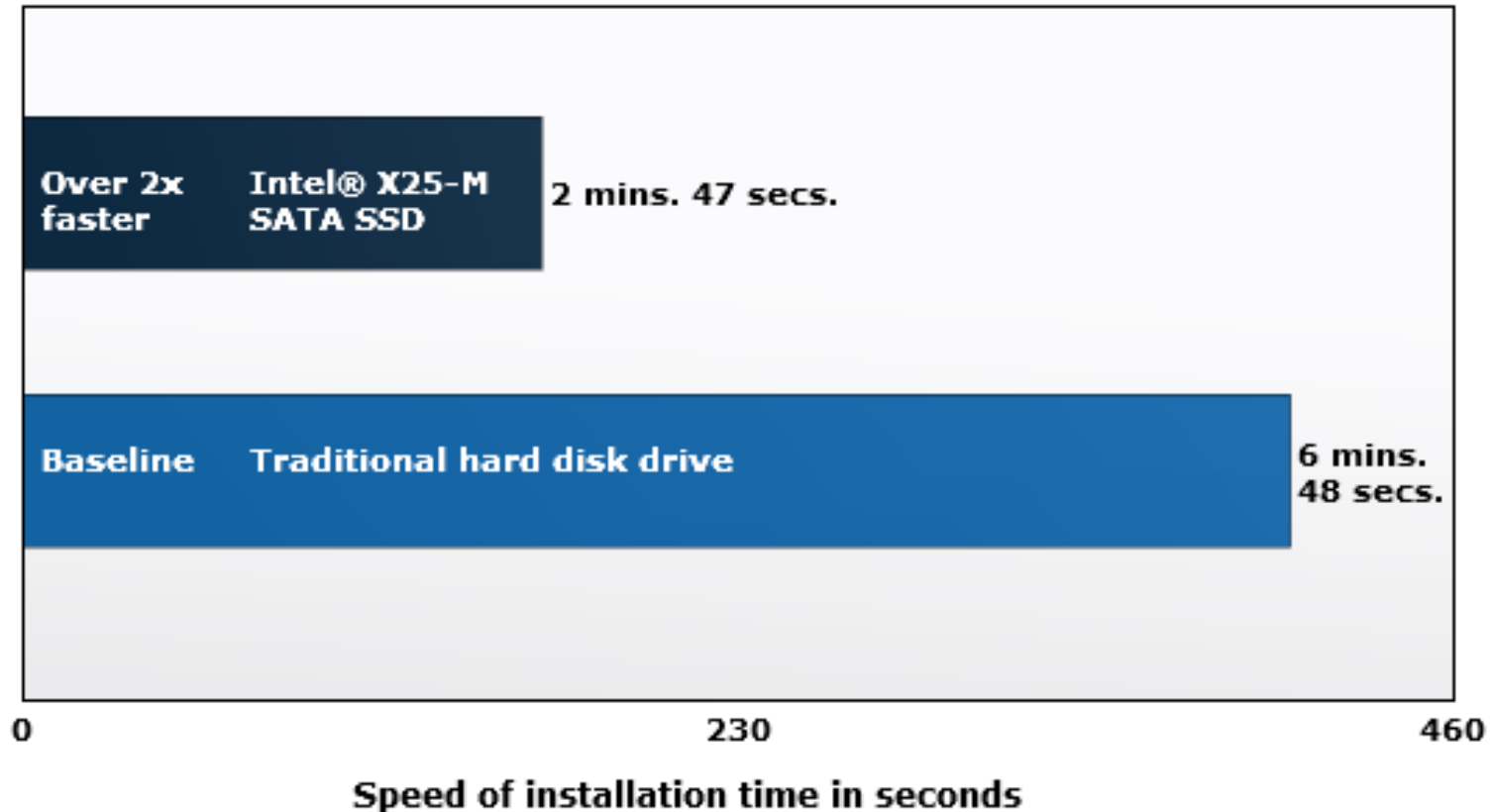
■ Intel® Core™2 Duo T9600 with Toshiba 120GB 5400rpm SATA Mobile Hard Disk Drive

■ Intel® Core™2 Duo T9600 with 80GB Intel® Mainstream SATA Solid-State Drive

Testy HDD i SSD

Blizzard World of Warcraft and Microsoft Windows Defender

Lower is better



- Intel® Core™2 Duo T9600 with an 80GB Intel® Mainstream SATA Solid-State Drive
- Intel® Core™2 Duo T9600 with Toshiba* 120GB 5400rpm SATA Mobile Hard Disk Drive

Kontroler dysku SSD



Zalety i wady dysków SSD

- **Niska pojemność przy relatywnie dużym koszcie gigabajta.**
- Rzadko wykorzystywane do archiwizowania danych.
- Pamięci zewnętrzne wykorzystujące nośnik SSD.
 - Szybki interfejs USB 3.0 (650 MB/s).
- Główny nośnik z systemem i kilkoma najważniejszymi aplikacjami.
 - Drugi dysk tradycyjny na dane
 - Płyta główna z interfejsem SATA II lub nowszym
- **Laptopy**
- Największa różnica w prędkości pracy przy zmianie dysku HDD na SSD.
 - Dyski HDD laptopów są bardzo wolne (5400 obr./min i transfer 60-80 MB/s).
 - Przeciętny dysk SSD jest dwa lub więcej razy szybszy.
 - Odporność na uszkodzenia powstałe w trakcie ruchu
 - Szeroki zakres temperatur pracy
- **Desktpy**
 - W desktopach dysk wymaga szybkiej i nowoczesnej płyty głównej. Szósta generacja płyt do procesorów Sandy Bridge obsługuje SATA III standardowo, przez mostek południowy.
 - Płyty główne z chipsetem Intela piątej generacji obsługiwały SATA III tylko przez dodatkowy układ Marvella i niezbyt dobrze współpracowały z kontrolerem SSD tej samej firmy.

Parametry nośników SSD

Pojemność	Kilkadziesiąt GB do kilku TB
Pamięć podręczna	Kilkaset MB
Format dysku	2,5", m.2 (22mm x 80mm)
Interfejs wewnętrzny	SATA III, SATA Express, mSATA, M.2, U.2, PCI Express
Interfejs zewnętrzny	eSATA, USB 3.0, 3.1, Thunderbolt, Express Card
Szybkość zapisu	kilkaset MB/s
Szybkość odczytu	kilkaset - kilka tysięcy MB/s
Ilość odczytów/zapisów	IOps (operacje wejścia / wyjścia)
Szyfrowanie danych	
TRIM	Kasowanie w tle
NCQ	Optymalizacja pracy nośnika
S.M.A.R.T.	
Kontroler nośnika SSD	
Korekcja błędów	ECC, LDPC,
MTBF	Średni czas bezawaryjnej pracy
TBW	Limit danych jaki da się zapisać na nośniku
Ilość cykli kasowania	Kilka tysięcy – kilkaset tysięcy

Jaki jest największy obecnie
nośnik SSD?

Popularność nośników SSD

- W 2019 roku na świecie sprzedano około 275 mln dysków SSD i blisko 320 mln dysków HDD.
- W 2020 według analiz firmy TrendForce na rynek trafiło ponad 333 miliony dysków SSD co oznacza wzrost o niemal 21%, a sprzedaż dysków SSD spadła o 18% do wartości niespełna 260 mln.
- Sumaryczna pojemność dysków SSD wyniosła 207 eksabajtów, podczas gdy dysków HDD już 1018 eksabajtów.
 - Dyski twarde mają kilka razy większą pojemność od SSD.

Dysk SSD Samsung PM1643

30.72TB 2.5" SAS 12Gb/s

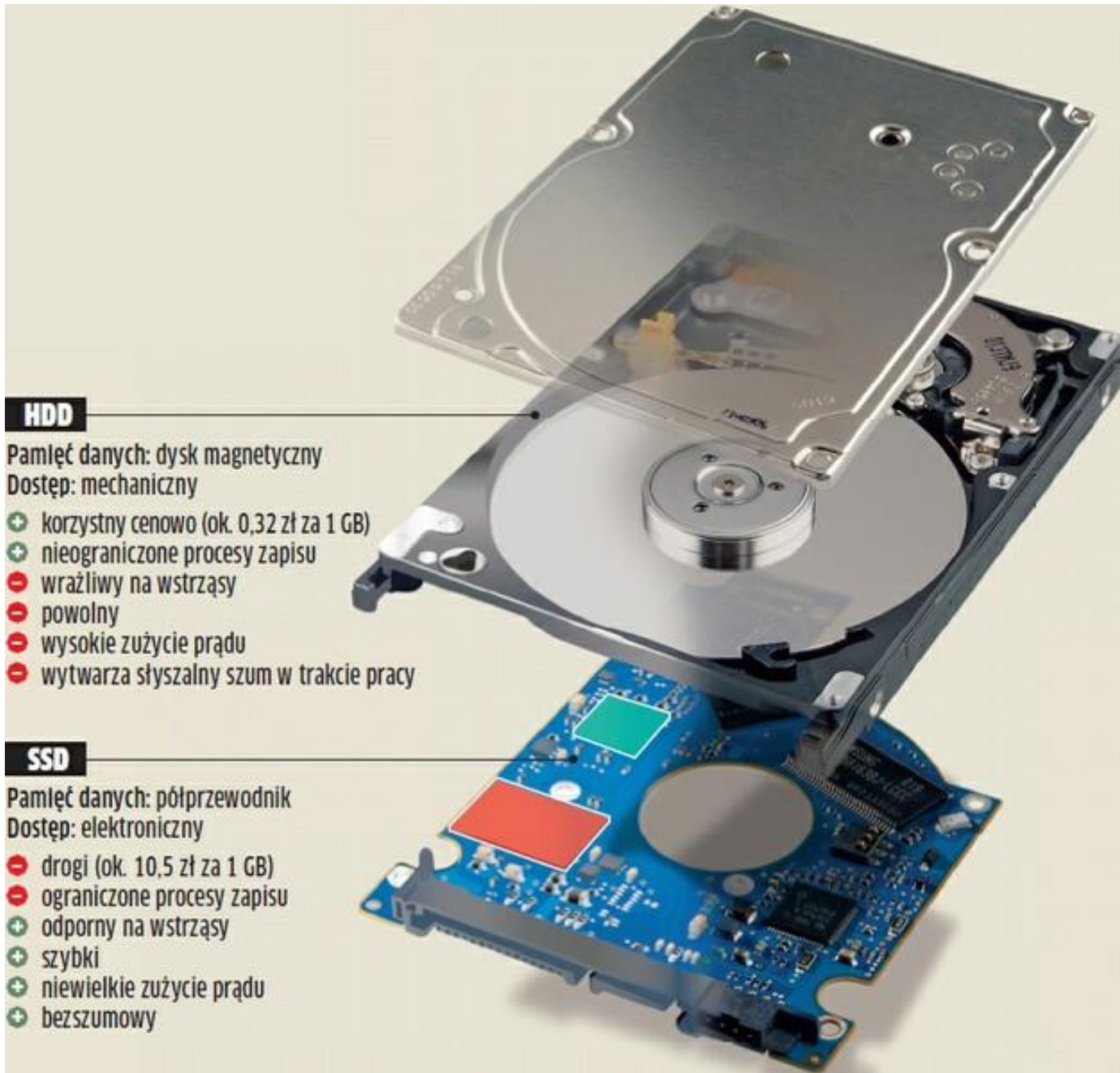


Cena
dostępna na telefon

DYSK HHD

Dyski hybrydowe

- HDD (*Hybrid Hard Disk*) lub SSHS (*Solid State Hard Disk*)
- Dysk hybrydowy to połączenie w jednej obudowie dysku SSD i tradycyjnego HDD.
- Dane często odczytywane i rzadko zapisywane (np. pliki wykonywalne, biblioteki) są umieszczone na SSD a dokumenty i pliki często edytowalne są lokowane na HDD.
- HDD posiada system samouczący się, który analizuje wykorzystanie plików i odpowiednie sam kopiuje do SSD.
 - MS Windows startuje z dysku. Pliki systemowe kopiowane są na SSD i przy powtórnym użyciu ich są dużo szybciej wysyłane.
- Dyski hybrydowe mają odczyt szybszy o 30% od tradycyjnego
 - Szybkość zapisu jest taka sama.



HDD

Pamięć danych: dysk magnetyczny
Dostęp: mechaniczny

- + korzystny cenowo (ok. 0,32 zł za 1 GB)
- + nieograniczone procesy zapisu
- wrażliwy na wstrząsy
- powolny
- wysokie zużycie prądu
- wytwarza słyszalny szum w trakcie pracy

SSD

Pamięć danych: półprzewodnik
Dostęp: elektroniczny

- drogi (ok. 10,5 zł za 1 GB)
- ograniczone procesy zapisu
- + odporny na wstrząsy
- + szybki
- + niewielkie zużycie prądu
- + bezszumowy

Dyski HHD



Tryby pracy nośnika HDD

- Tryb automatyczny
- Wszystkie operacje związane z określeniem danych, które będą przechowywane w pamięci flash, realizuje sterownik dysku.
- Tryb zoptymalizowany
- Za wybór danych odpowiada system operacyjny hosta, sterownik urządzenia lub oba te czynniki jednocześnie.
 - Natywne wsparcie dla tego rozwiązania oferuje np. system Microsoft Windows od wersji 8.1.
- Zalety rozwiązania
 - Po pewnym czasie dysk robi się tak szybki jak SSD
 - Ma dużą pojemność (większą niż SSD)

Współpraca dysków HDD i SSD

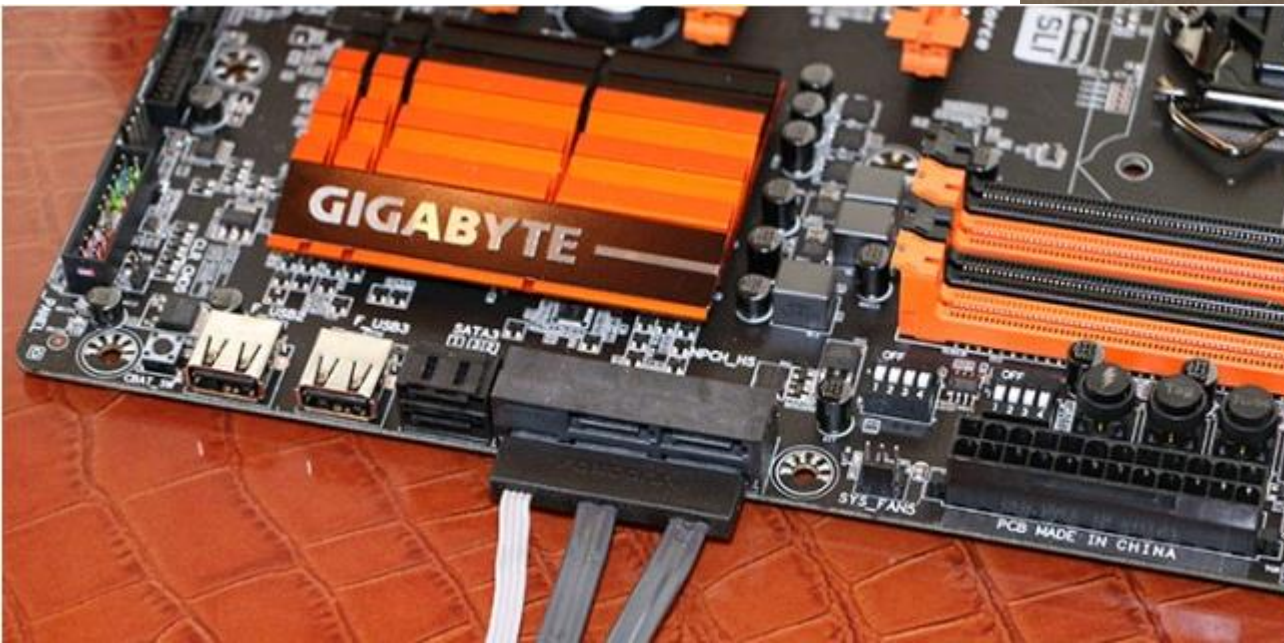
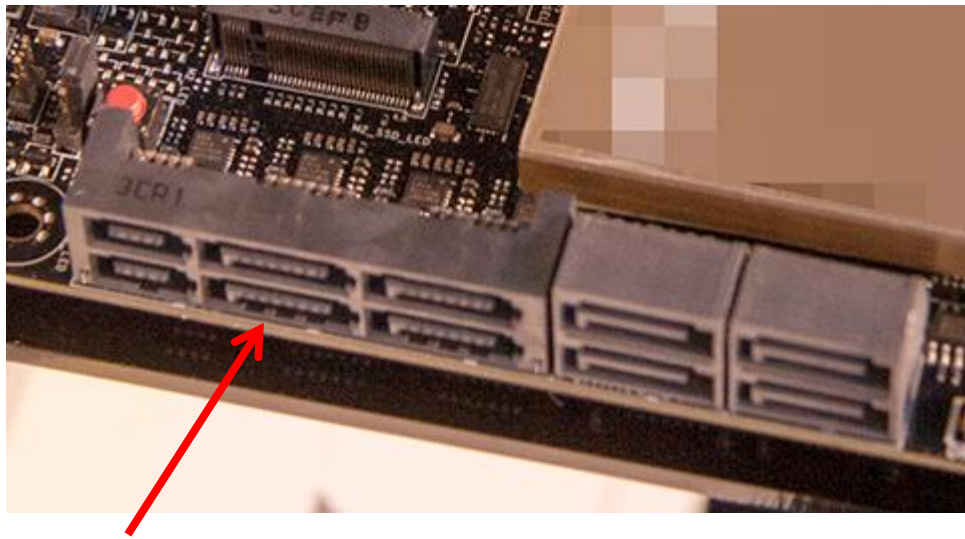
- Najlepszą opcją jest posiadanie 2 dysków: po jednym z każdego typu.
- Na dysku SSD najlepiej zainstalować system operacyjny i najważniejsze aplikacje
 - SSD umożliwi szybki rozruch i dostęp do danych
- Na dysku HDD trzymać duże zbiory danych (filmy, zdjęcia) i rzadziej używane aplikacje.

ZŁĄCZA NOŚNIKÓW SSD

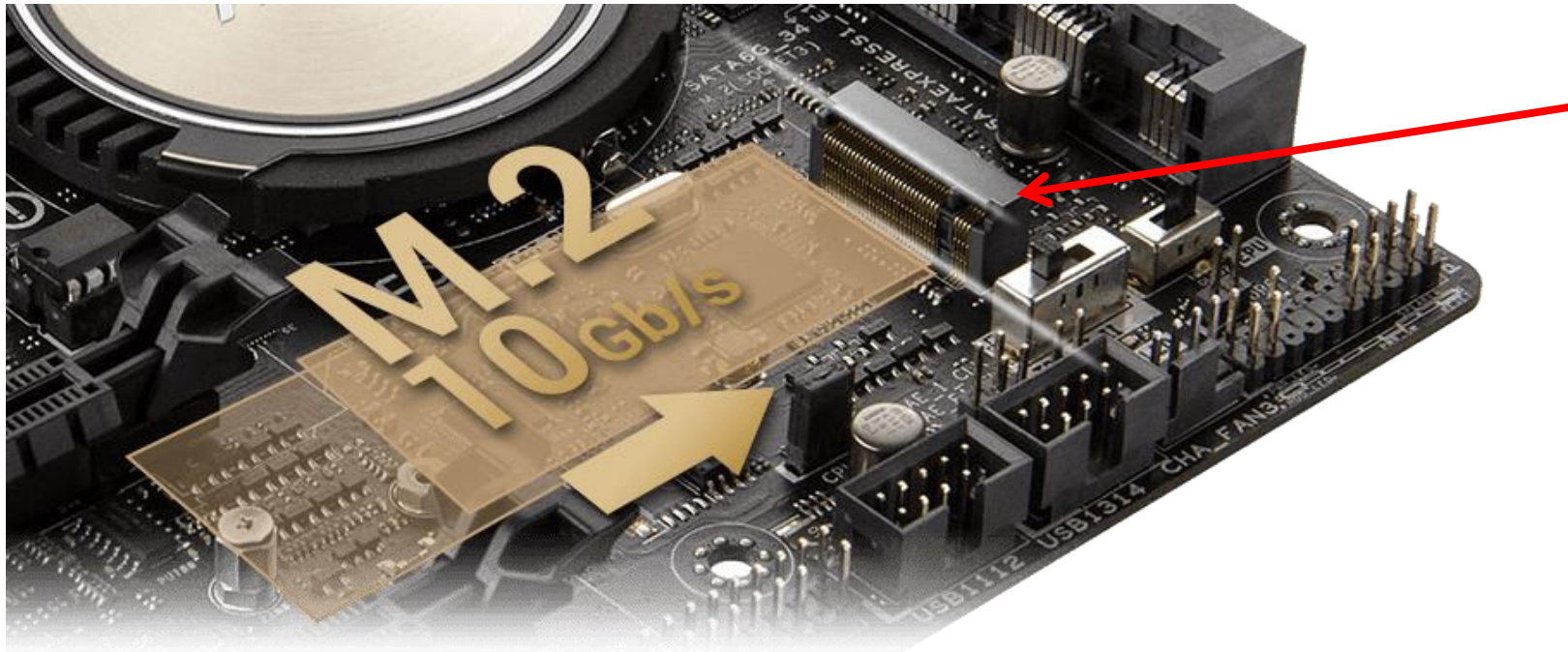
Złącza nośników SSD

- SATA 2 i 3
- M.2
- U.2
- SATA-Express
- PCI-Express
- BGA
- XFMEXPRESS
- DOM
 - ATA DOM
 - SATA DOM

SATA Express

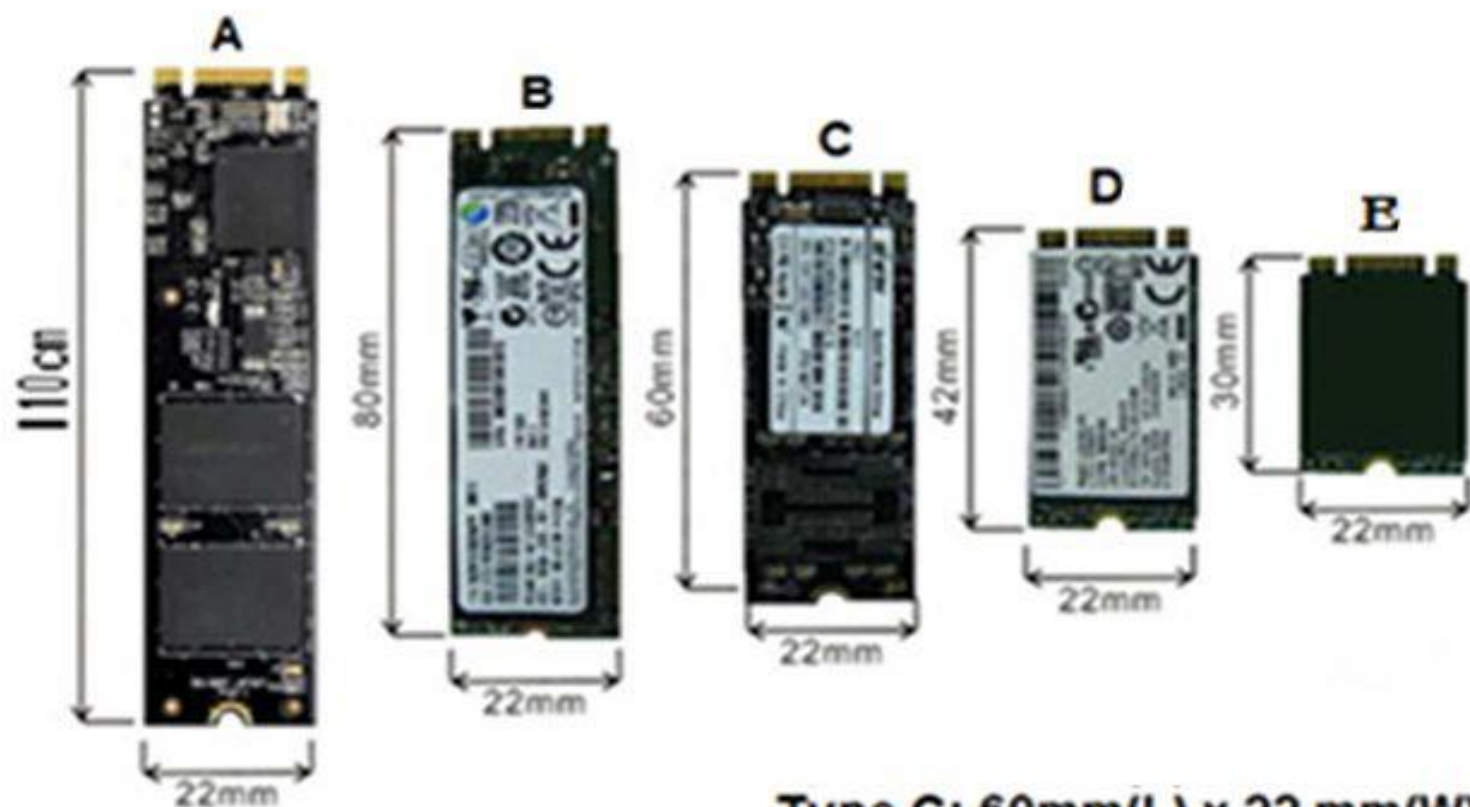


Złącze M.2



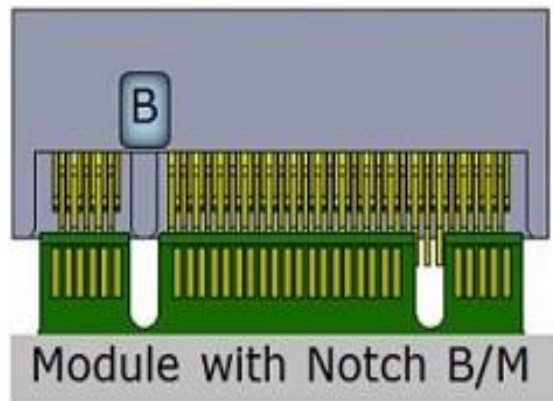
M.2 X4





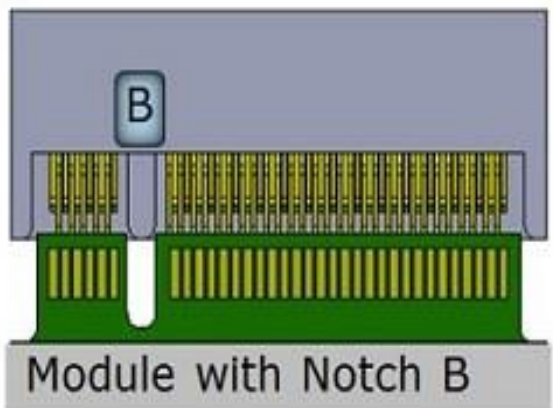
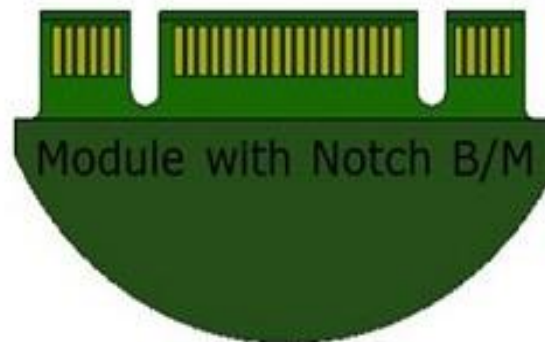
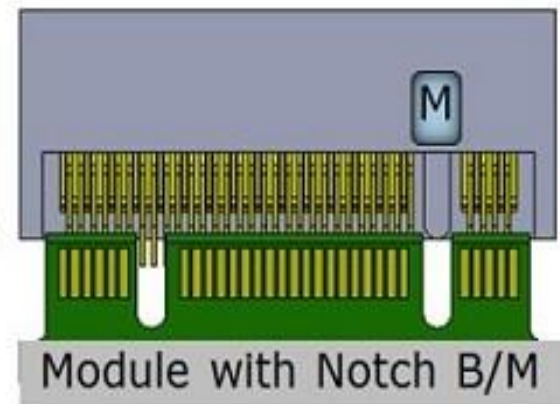
Type A: 110mm(L) x 22 mm(W)
Type B: 80mm(L) x 22 mm(W)

Type C: 60mm(L) x 22 mm(W)
Type D: 42mm(L) x 22 mm(W)
Type E: 30mm(L) x 22 mm(W)



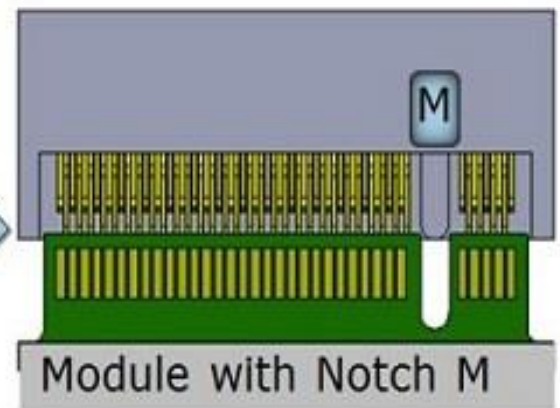
Dual Notch allows either Connector

Two light blue arrows point from a central blue box towards the top-left and top-right diagrams, indicating that a dual notch design is compatible with both notch types.



Notch Prevents Interchange

Two light blue arrows point from a central blue box towards the bottom-left and bottom-right diagrams. A large red 'X' is superimposed over the arrows, indicating that a notch design with a single notch prevents interchangeability between different notch types.



A close-up photograph of two M.2 connectors on a green printed circuit board (PCB). The top connector is a Key B connector, which is wider and has more pins. The bottom connector is a Key E connector, which is narrower and has fewer pins. Both connectors are black plastic with gold-plated pins. The PCB is populated with various electronic components, including capacitors and integrated circuits. The background is slightly blurred, showing a dark surface with vertical light streaks.

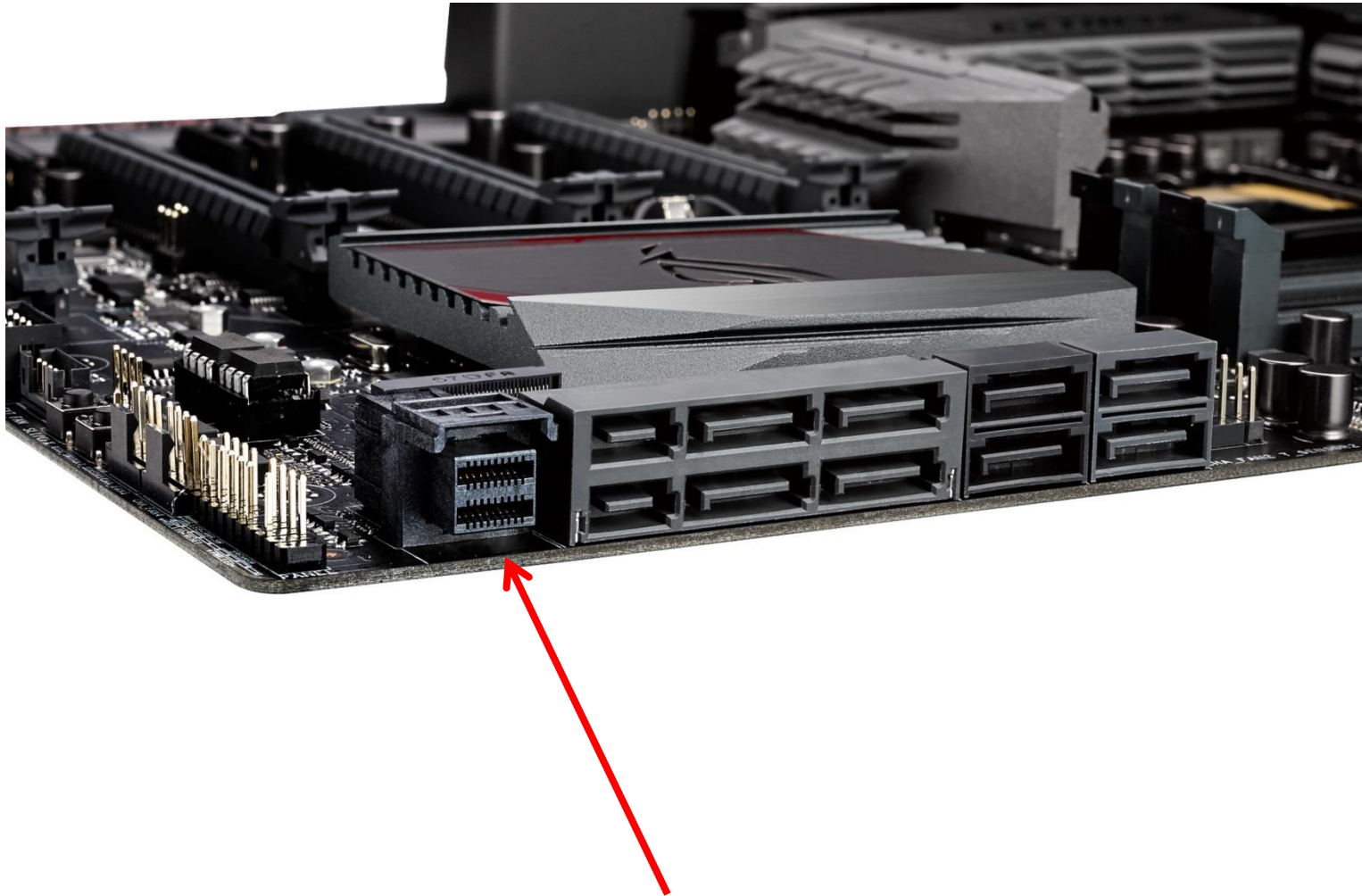
M.2 Key B
(2280)

M.2 Key E
(2230)

Karta rozszerzeń na 4 dyski M.2 ASRock



Złącze U.2



Dysk na PCI Express



Interfejs PCI-Express

- Interfejs umożliwia osiągnięcie dużych prędkości przesyłu danych (do kilku GB/s).
- Stosowany dla dysków SSD.
- Dyski są produkowane jako karta rozszerzeń.

Karta HHL

- Dysk SSD na Pci Express to zazwyczaj karty HHL (Half-Height Half-Length).
- Oznacza to że jest to karta o normalnej długości i (6,9" czyli 17,5 cm). Jej wysokość to połowa typowego rozmiaru czyli 4,2" (10,7cm).
- Dyski SSD są więc niższe niż typowe „duże” karty rozszerzeń. Pozwala to zamontować je w komputerach o mniejszych gabarytach.

Apex Storage X21

- Apex Storage X21 to karta rozszerzeń zawierająca 21 slotów na dyski SSD typu M.2 2280.
 - Korzysta ze złącza PCIe Gen 4 x16.
 - Obsługuje protokoły NVMe 1.4 i VMe 2.0.
- Tworzy olbrzymią pamięć bardzo szybkich dysków SSD - aż 21 sztuk.
 - $21 \times 8 \text{ TB} = ?$
 - $21 \times 16 \text{ TB} = ?$

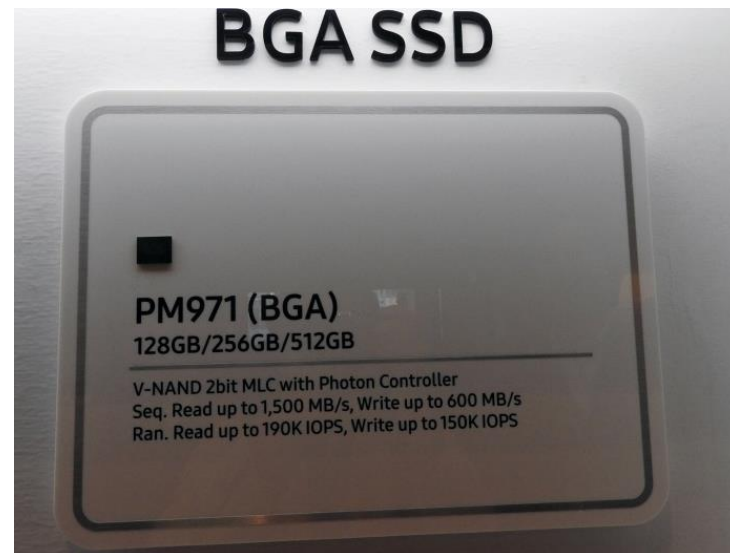


Apex Storage X21



Dysk BGA

- Dysk BGA (ball grid array) jest przylutowany na stałe do płyty głównej.
 - Ma wymiary 11,5 x 13 mm.
- Komunikuje się z płytą główną przez interfejs PCI-Express 3.0 x2 z NVMe 1.3
- Dyski mają osiągać prędkość odczytu około 1195 MB/s i 940 MB/s przy zapisie.
- Wyniki mierzone w IOPS mają sięgać 140 000 IOPS (odczyt) i 114 000 IOPS (zapis).
- Dyski SSD będą przydatne w: laptopach, tabletach, mini PC.



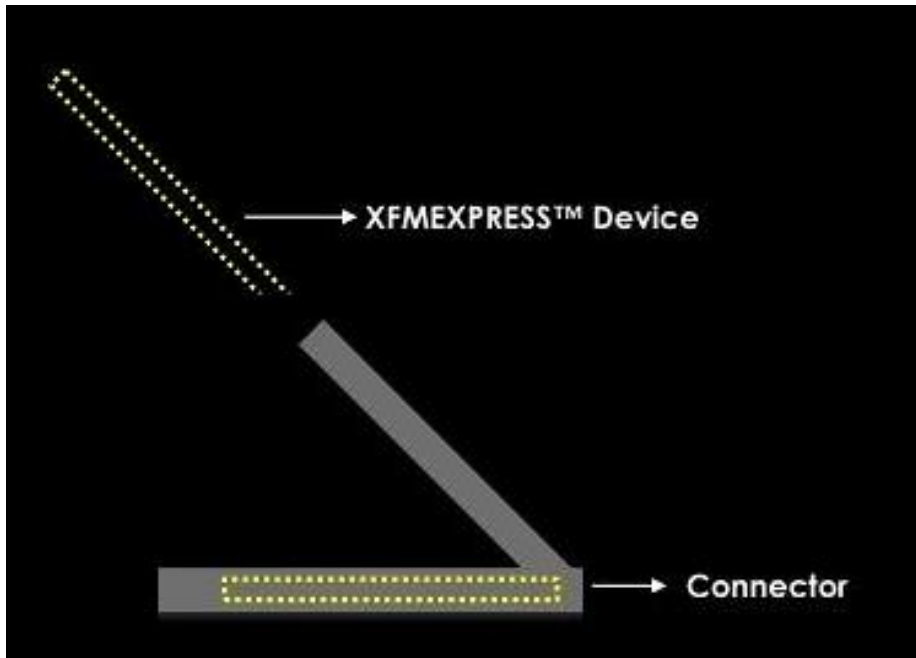
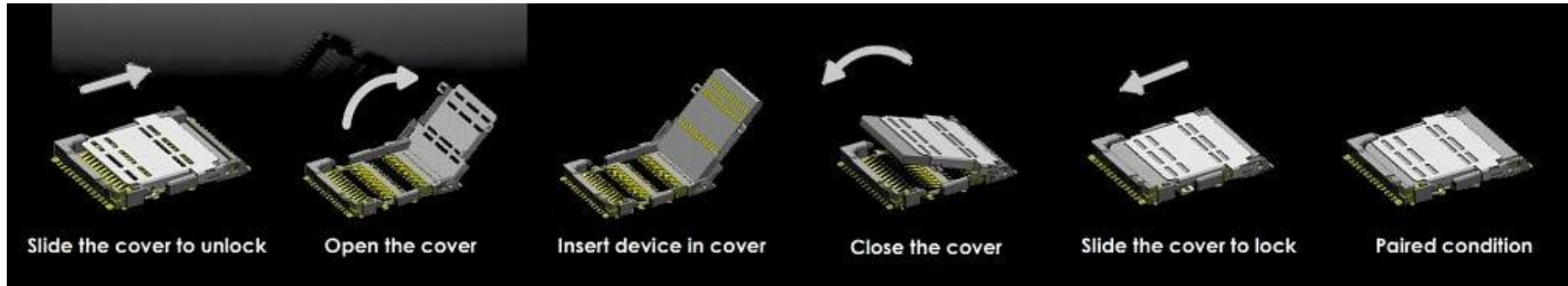
XFMEXPRESS



XFMEXPRESS

- XFMEXPRESS to SSD NVMe, ale wielkości typowej karty pamięci.
 - Pracuje w oparciu o PCI-Express 3.0/4.0 x2/x4
 - Przepustowość 4 GB/s lub 8 GB/s
 - Wykorzystuje NVMe.
 - Rozmiary nośnika 18 x 14 x 2,2 milimetra
- Teoretycznie ma osiągi najwydajniejszych dysków SSD M.2 PCIe NVMe.
- Rozwiązanie przydatne w laptopach i urządzeniach mobilnych

Montaž XFMEXPRESS



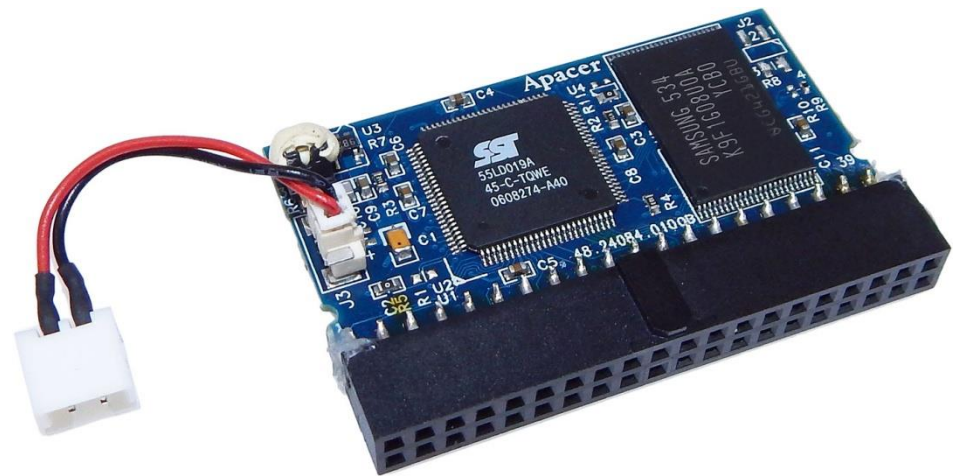
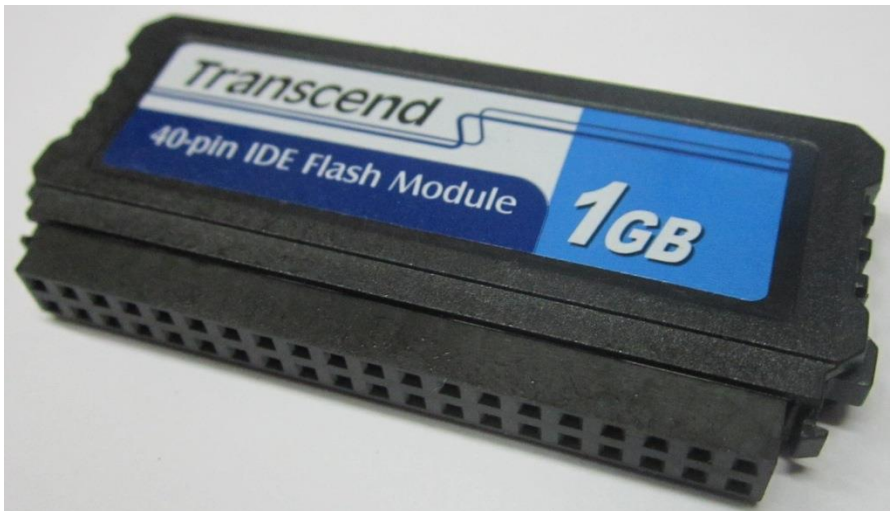
Disk on Module

- Disk On Module (z ang., skrót DOM) – pamięć typu flash, która po podłączeniu jest widziana przez BIOS jako zwykły dysk twardy i jest używana bez jakichkolwiek dodatkowych sterowników.
- Stosowane jest złącze 40/44-pinowe IDE, ATA, SATA lub USB.
- Zasilanie odbywa się przez interfejs, nie ma dodatkowego kabla zasilającego.
- Urządzenia typu DOM mają mały pobór mocy

- Dyski DOM mają niewielkie pojemności (4-128GB).
- Zastosowanie
 - Urządzenia terminalowe
 - Systemy wbudowane o niewielkich rozmiarach
 - Trudne warunki fizyczne (wstrząsy, uderzenia)
 - Urządzenia o niewielkim poborze mocy, zasilane bateryjnie
 - Serwery stelażowe o wysokości 1 U (1,75” czyli 4,45cm)

ATA DOM

- ATA DOM
- Standard podłączania SSD poprzez interfejs ATA (IDE).
- Interfejs ATA jest uzależniony od rozmiarów złącza ATA na płycie głównej (40 pin + osobne zasilanie FDD jak w HDD 3,5" lub 44 piny jak w HDD 2,5").
- Standard obecnie rzadki ze względu na popularność SATA, M2, U2. Stosowany w urządzeniach przemysłowych.



SATADOM

- SATADOM® (Disk on Module)
- Przy wykorzystaniu zwykłego gniazdka SATA potrzebny jest dodatkowy kabel zasilający.
- Opcjonalnie można wykorzystać odmianę gniazdka SATA, gdzie pin nr 7 będzie zasilany 5V (Innodisk Technology).



X10 Generation Boards



X9 Generation Boards

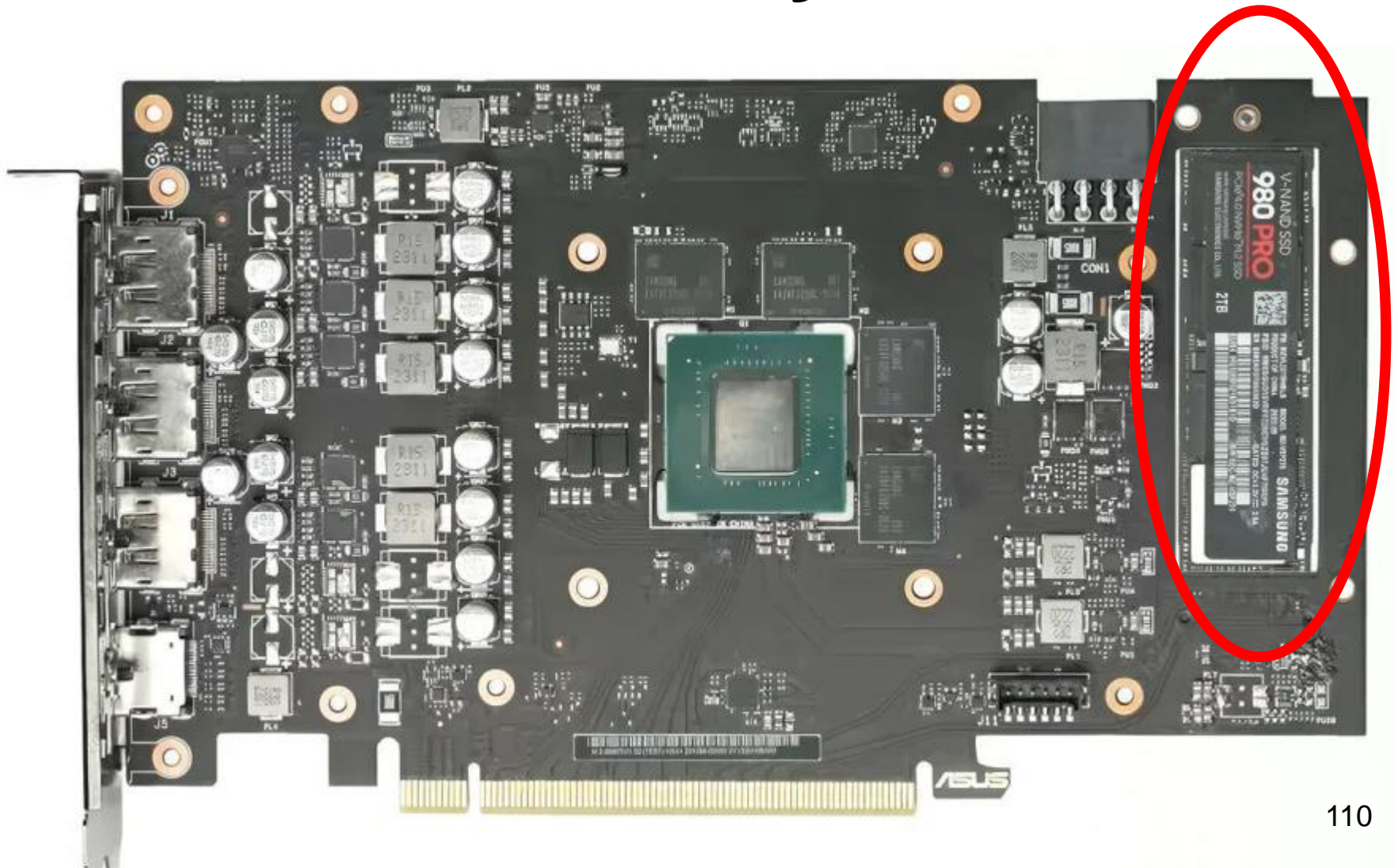


Direct connection to Yellow SATA connector



Backward compatible w/ 5V cable

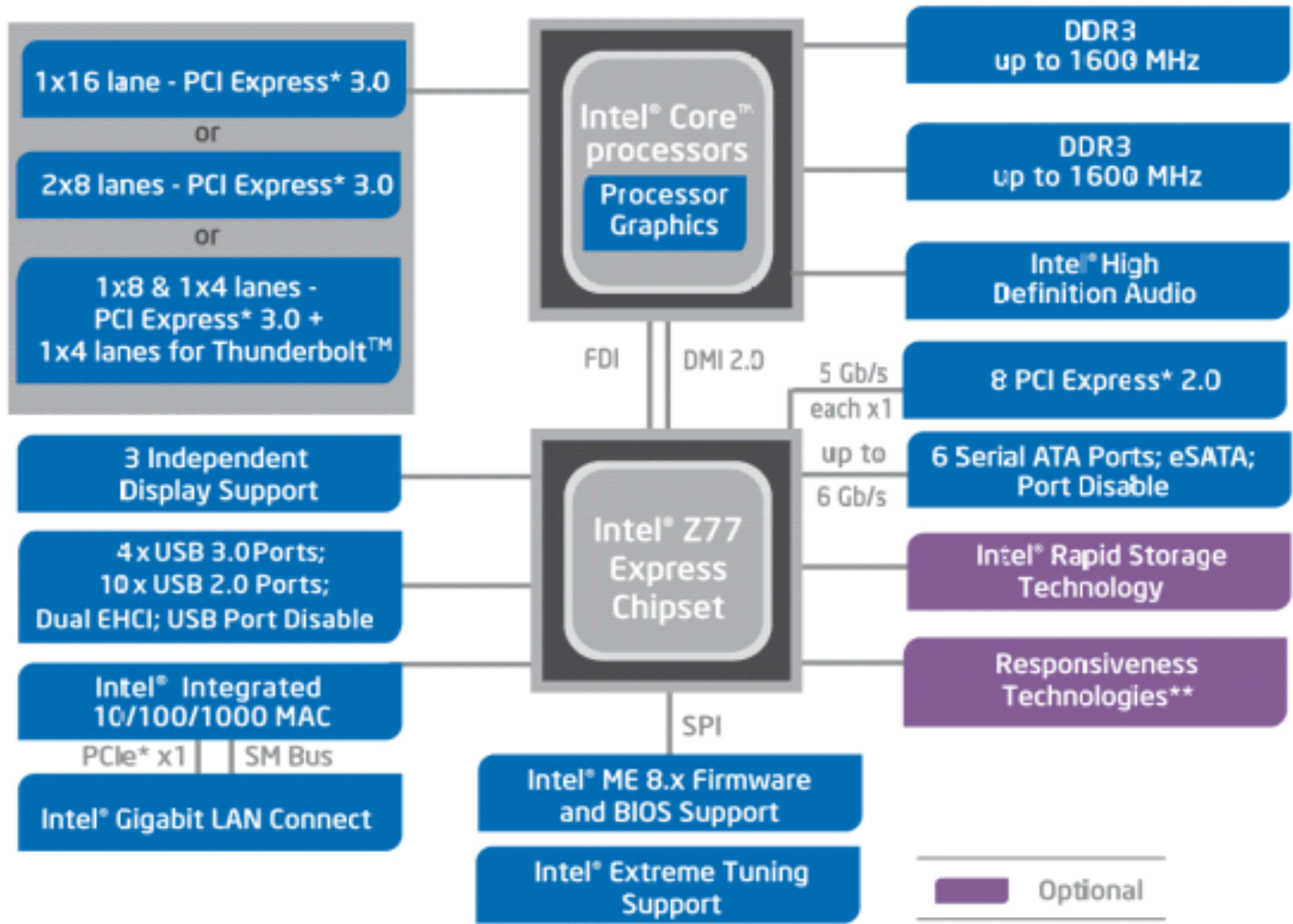
RTX 4060 Ti z wbudowanym slotem na dysk M.2



RTX 4060 Ti z wbudowanym slotem na dysk M.2



WSPÓŁPRACA Z KOMPUTEREM PC



Intel® Smart Response Technology

Enabling SSD-like performance with HDD capacity



+



- Intelligent, real-time cache improves HDD performance
- Scales across all HDD capacities from all vendors
- Easy UI for enable/disable embedded in Intel® Rapid Storage driver
 - Easy plug-and-play SSD implementation
 - Uses off-the-shelf SSDs: No special connectors or firmware required

ISRT

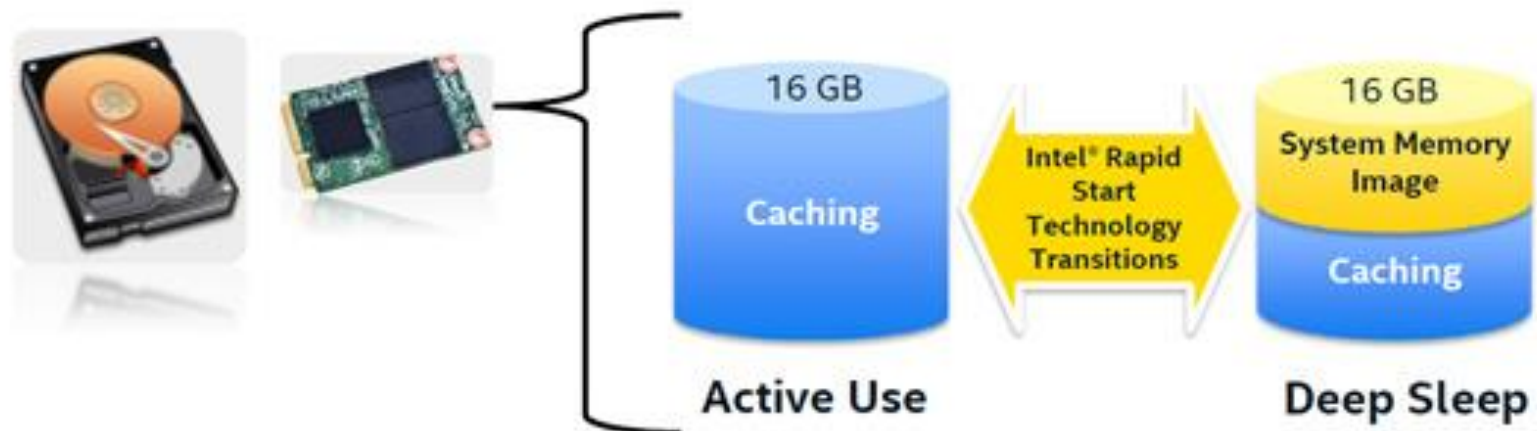


16 GB Support and Dynamic SSD Cache Sharing with Intel® Rapid Start Technology

Benefits:

- **Lower BOM cost** by requiring a single 16 GB SSD to support both Intel® Rapid Start Technology and Intel® Smart Response Technology

SSD Cache Usage By System State



New with Intel® Rapid Storage Technology 13:

- Intel® Rapid Start Technology support for a single 16 GB SSD to enable dynamic cache sharing with Intel® Smart Response Technology
 - When Intel® Rapid Start Technology places the system into a deep sleep, the Intel® Rapid Storage Technology driver writes the system memory (DRAM) image into the SSD cache
 - Upon resume to active use, the memory image is read back to DRAM, and the SSD cache is fully reallocated to caching

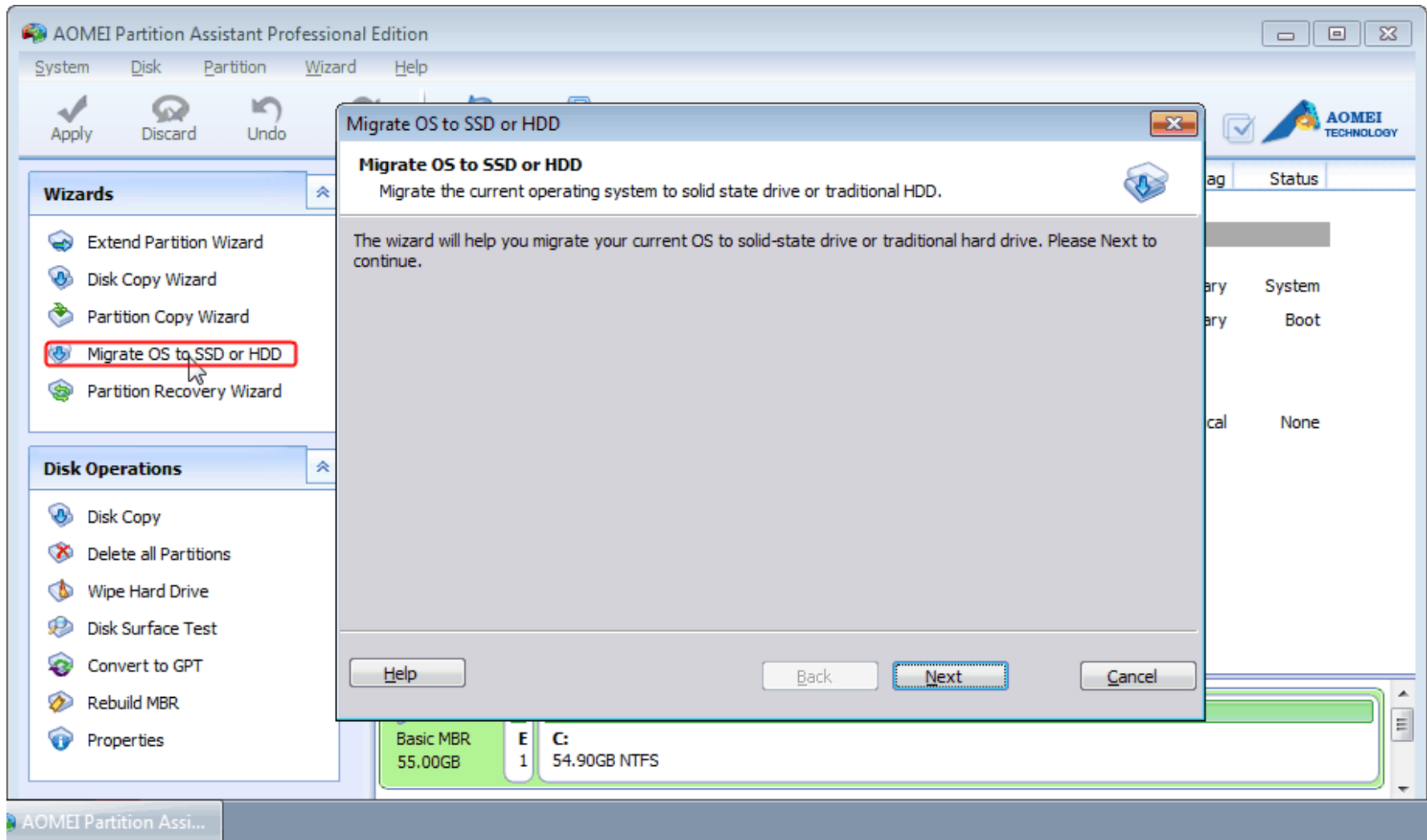
Konfiguracja MS Windows i Linuksa

- Optymalna wielkość klastra 4 kB
- Unikamy defragmentacji nośnika SSD
- Gdy system operacyjny jest zainstalowany na nośniku SSD należy wyłączyć opcję Readyboost.
 - Lokuje plik wymiany na zewnętrznym nośniku Flash
- Uaktywnienie funkcji TRIM
- Windows 7 i nowsze automatycznie dostosowuje stawienia do SSD
 - starsze potrzebują ręcznej konfiguracji parametrów

System plików

- Tradycyjne systemy plików, takie jak FAT, ext2 czy NTFS, były projektowane z myślą o dyskach magnetycznych i jako takie wielokrotnie wykonują operacje nadpisywania swoich struktur danych (takich jak np. katalogi) w to samo miejsce pamięci.
- Niektóre systemy plików wykonują ponadto wiele dodatkowych operacji dyskowych jak np. rejestrowanie czasów ostatniego dostępu do plików, pogarszając jeszcze bardziej to niekorzystne zjawisko.
- Równoważenie obciążenia może zostać również zaimplementowane na poziomie oprogramowania, tak jak ma to miejsce w przypadku specjalizowanych systemów plików, takich jak JFFS2 czy YAFFS na nośnikach typu flash lub UDF na nośnikach optycznych. Wszystkie trzy są systemami plików o strukturze dziennika, co oznacza, że traktują one nośnik jako dziennik, do którego zapisują dane w cyklicznych przebiegach.

Przeniesienie systemu na nośnik SSD



Rozwiązania przyszłościowe

KEY VALUE

Key Value

- Key Value to nowy typ bazy danych (różny od relacyjnej SQL)
 - Tradycyjne dyski wykorzystują adresowanie LBA (48 lub 64 bity) i sektory (512B do 4KB).
- Technika Key Value polega na użyciu słownika składającego się z par klucz – wartość.
 - Korzystamy tylko z jednego parametru wyszukiwania (klucza). Każdy klucz pojawia się tylko jeden raz.
 - Ta prosta struktura nadaje się do przechowywania dużej ilości danych
 - Operacje na niej są bardzo szybkie (krótki czas znalezienia odpowiednich danych)
- Pozwala na zastosowanie klucza o zmiennej długości (od 4 do 255 bajtów).
- Odpowiednia wartość może mieć zmienną wielkość (do 2 MB).

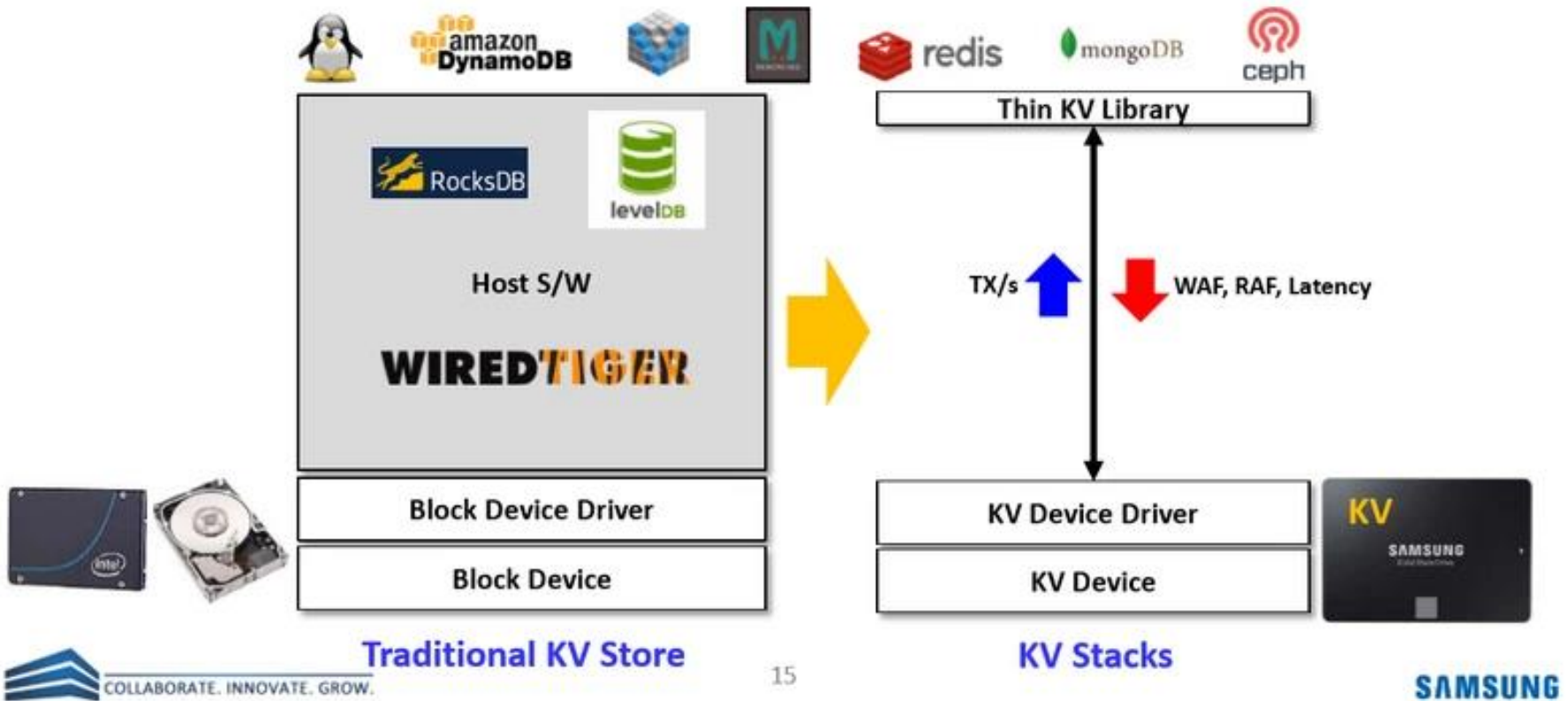
Nośnik KV SSD

- Pierwszy prototyp stworzył Samsung w 2019 roku.
- We wrześniu 2019 Stowarzyszenie SNIA (*Storage Networking Industry Association*) ogłosiło **Key Value Storage API v1**.
- Istotną zaletą techniki Key Value jest przeniesienie zadań bezpośrednio do wnętrza SSD.
- Nośniki SSD z Key Value posiadają własny sterownik oraz oprogramowanie pozwalające na przeprowadzanie operacji bezpośrednio przez SSD.
- Pozwoli to na zwiększenie wydajności całego komputera.
- Odciążą procesor, który nie będzie musiał nadzorować wszystkich operacji odczytu i zapisu.
- Pozwoli też wykorzystać w pełni szybkość SSD.

Nośnik KV SSD

Key Idea

Key Value Store is everywhere!



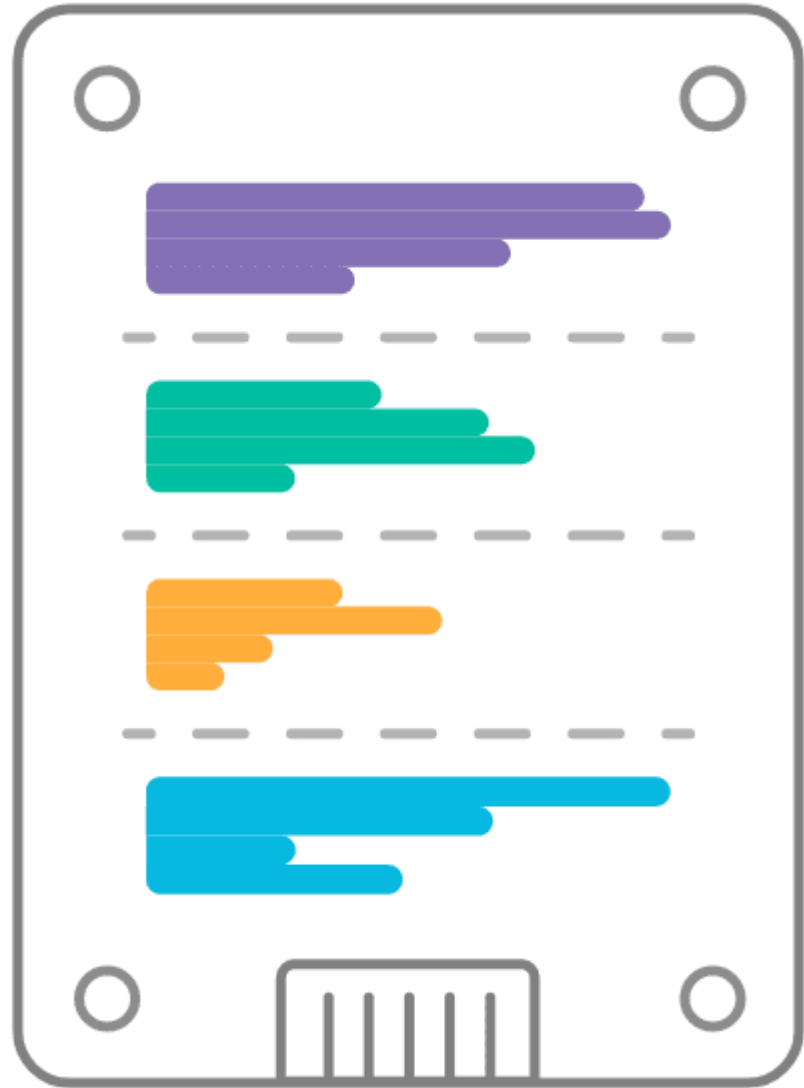
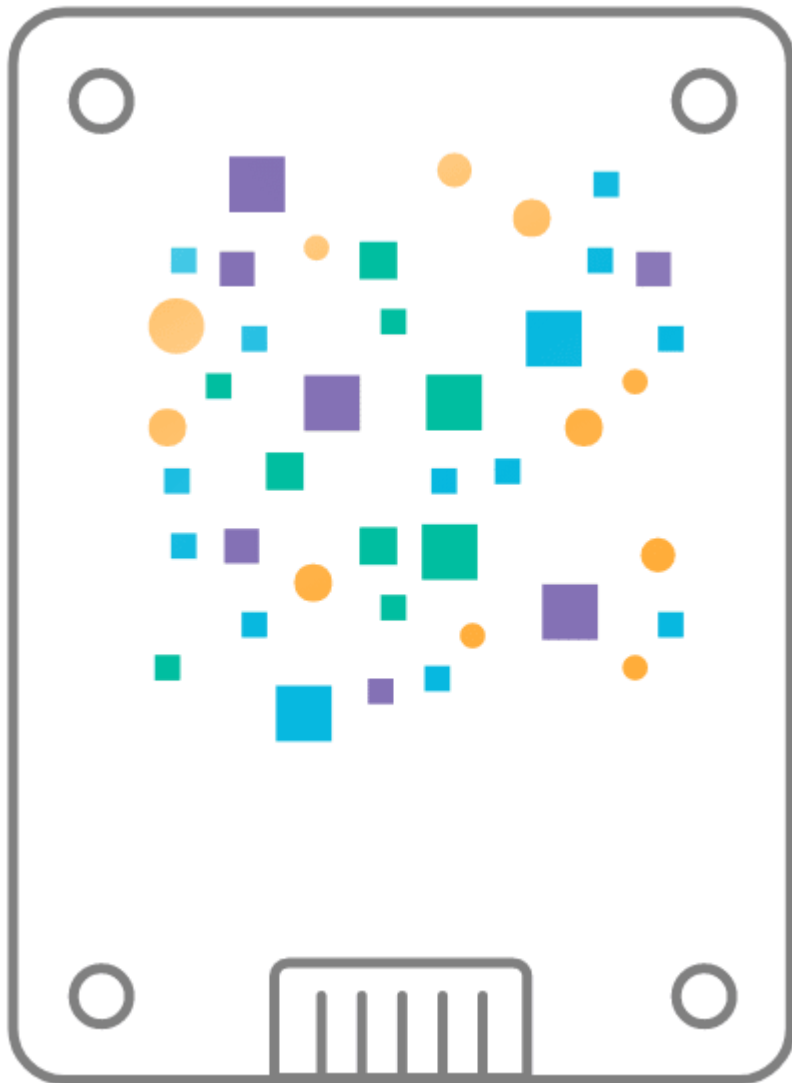
Prototyp KV SSD



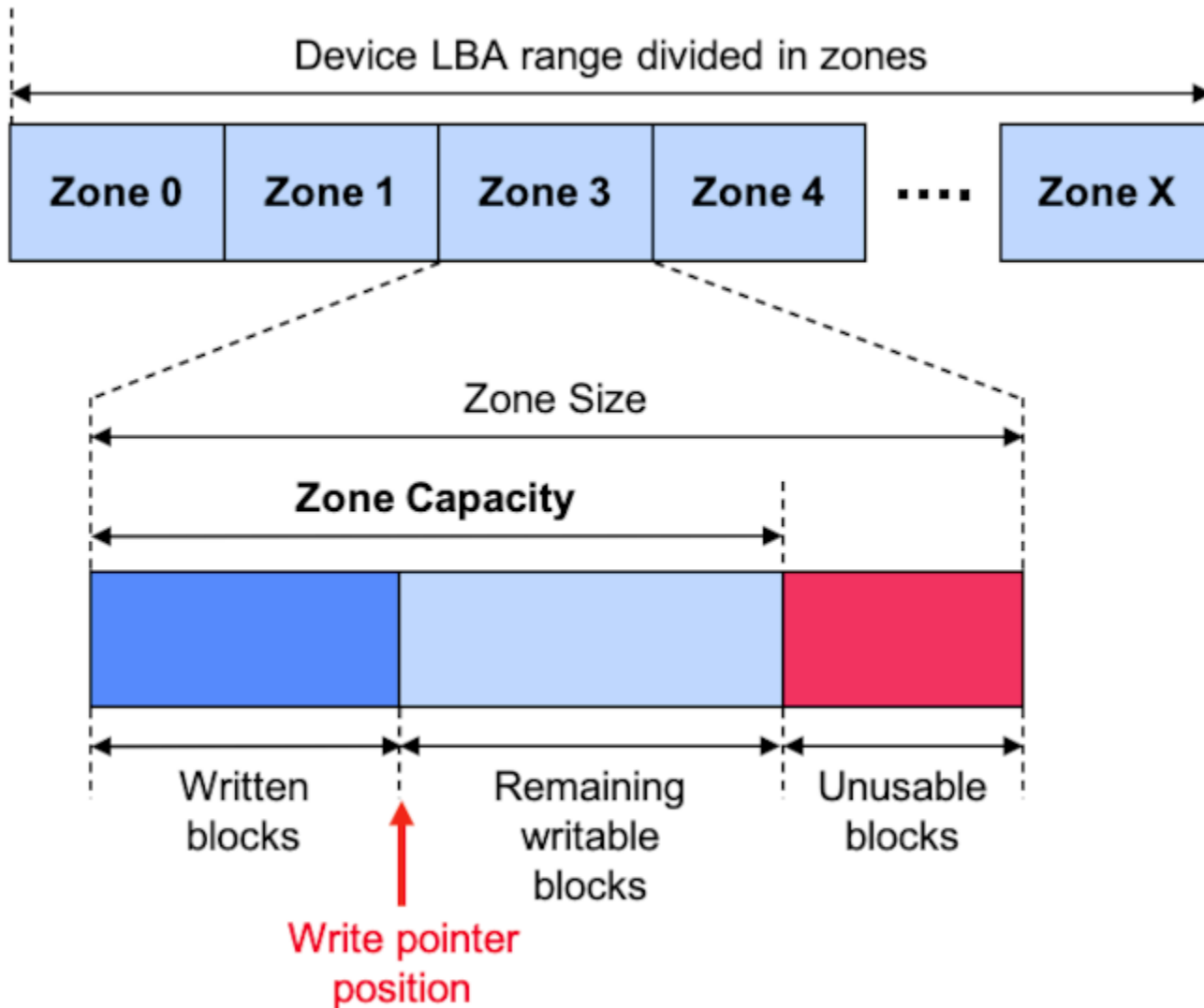
ZNS (Zoned Namespaces Storage)

- Metoda przechowywania danych na nośnikach SSD
- Dane umieszczane są sekwencyjnie w wydzielonych strefach
 - ZNS usprawnia ich zapis oraz ilość wymaganego miejsca
 - Nie trzeba ich przenosić, gdy brakuje miejsca
- ZNS operuje dużymi strefami,
 - W porównaniu ze zwykłymi dyskami SSD redukuje ilość "śmieci" pozostających po wykonywanych operacjach.
 - Ma mniejsze zapotrzebowanie na cache DRAM.

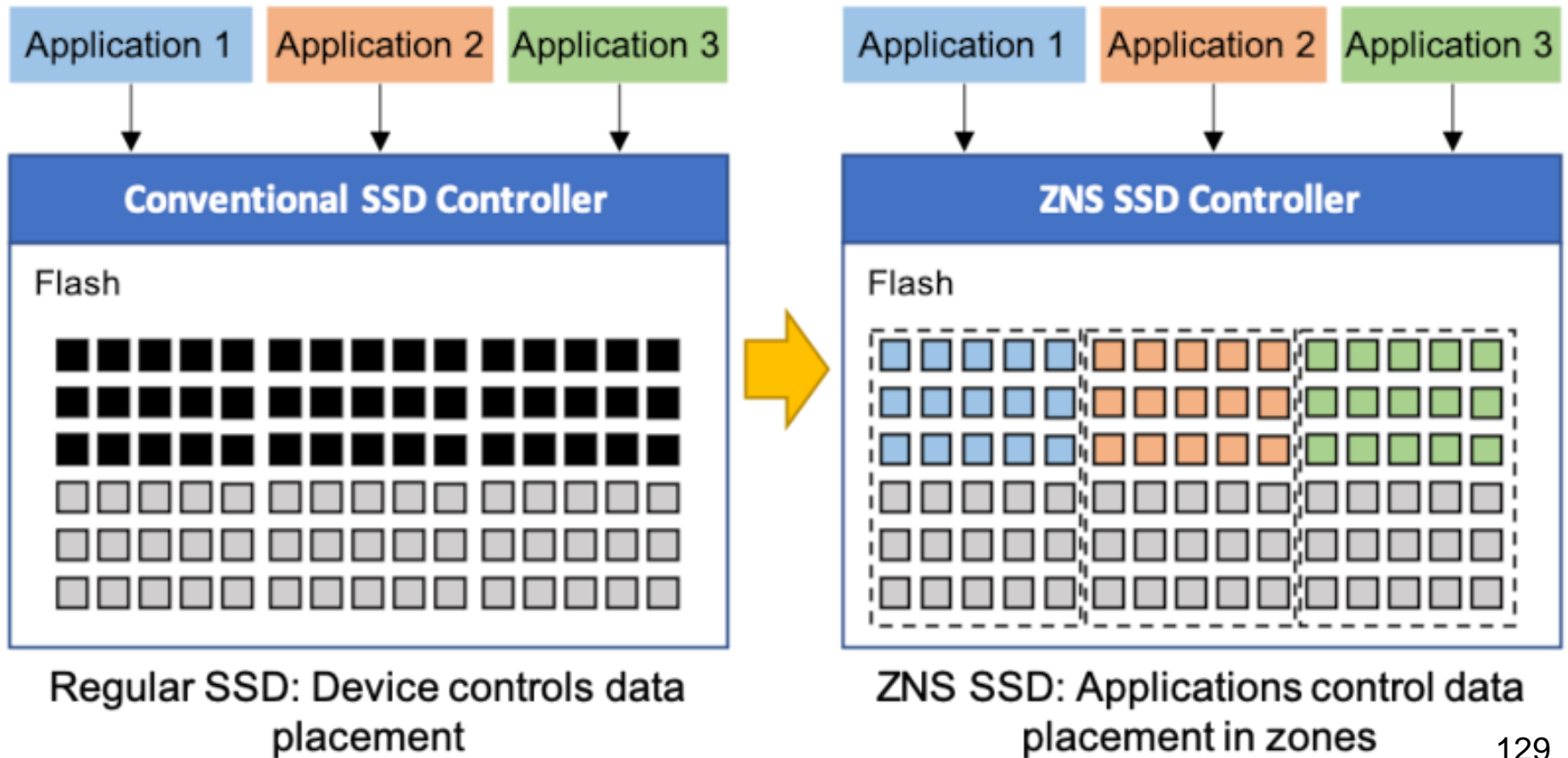
ZNS (Zoned Namespaces Storage)



Idea tehnologii

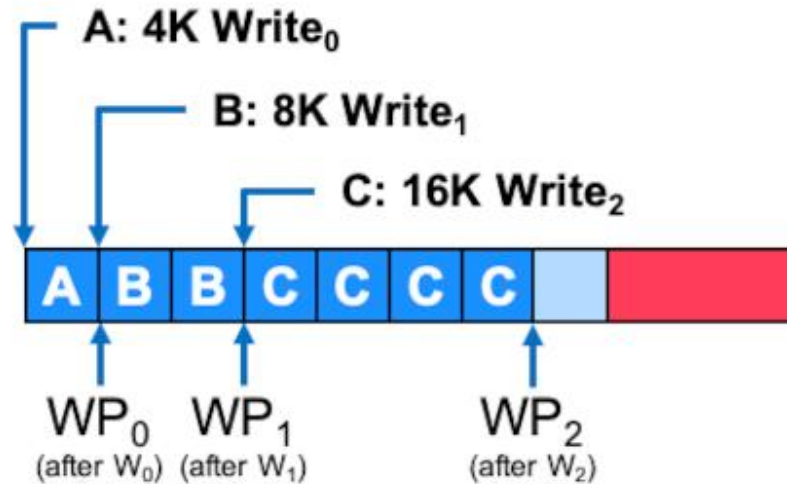


Współpraca z NVMe

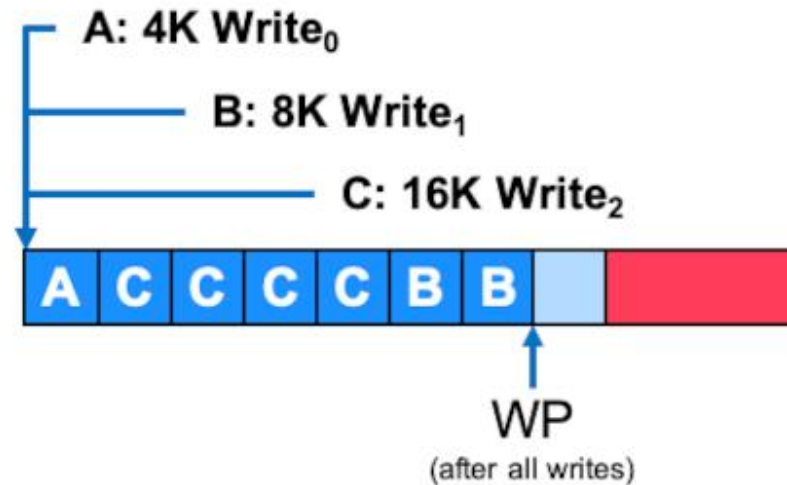


Większa głębokość kolejki zapisu

Regular Write
Queue Depth = 1



Zone Append
Queue Depth = 3



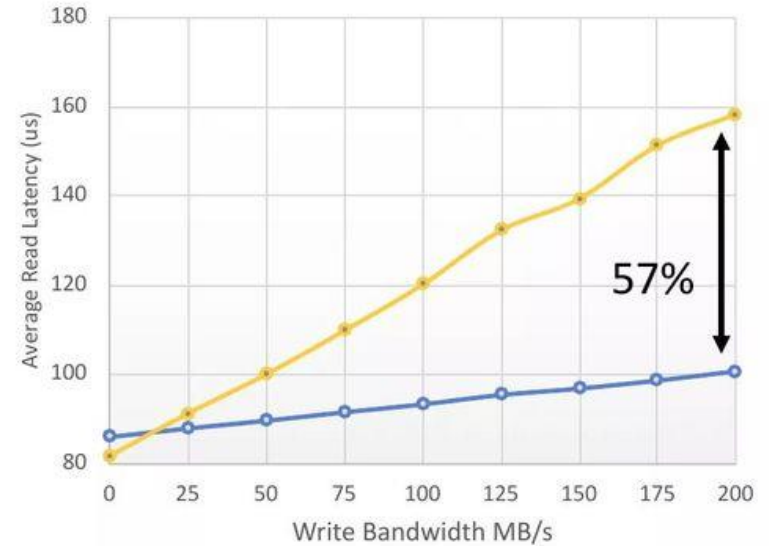
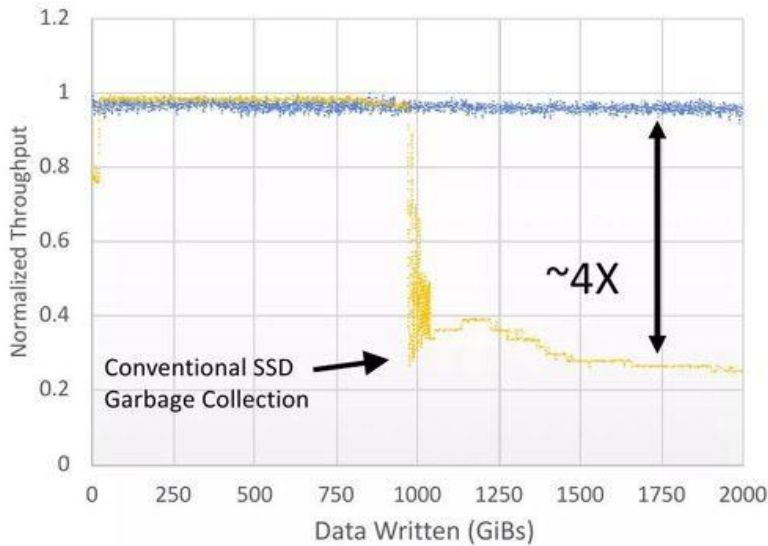
ZNS (Zoned Namespaces Storage)

- Każda strefa może być zapisywana i odczytywana niezależnie od pozostałych
- Dane są zapisywane sekwencyjnie w danej strefie, nie w miejscach rozrzuconych po całym nośniku.
- Dane nie są ciągle przepisywane
 - Większa wytrzymałość nośnika
- Ewentualne zmiany są ograniczone do danych w określonej strefie

Zaity ZNS

ZNS SSDs Deliver Superior Throughput & QoS

Up to 4x higher throughput and up to 57% latency improvement



— ZNS SSD
— Conventional SSD

Higher, Consistent Throughput Compared to Conventional SSDs
(higher is better)

Better Read QoS under Increasing Write Workloads Compared to Conventional SSDs
(lower is better)

Western Digital's Ultrastar DC ZN540



- Pierwszy dyskiem SSD ZNS.
- Pojemność do 8TB
- Dysk typu U.2, przeznaczony dla serwerów
- Używa 96-warstwowej pamięci 3D QLC NAND oraz własnego złącza NVMe z kontrolerem 1.3c.
- Może zastąpić pojemnościowo cztery zwykłe dyski SSD
- Ma 2,5 razy mniejszymi opóźnieniami, a także większą o 57% wydajnością.
- W chwili obecnej model ten dostępny jest wyłącznie dla wybranych klientów WD.
- Sugerowana cena około 250\$

Pytania powtórkowe

1. Co to jest pamięć EEPROM?
2. Jak jest zbudowana komórka pamięci FLASH?
3. Jak wygląda zapis i odczyt danych z komórki pamięci FLASH?
4. Co skraca żywotność komórek pamięci FLASH?
5. Skąd się bierze nazwa FLASH?
6. Czym się różnią pamięci zbudowane na komórkach NOR i NAND?
7. Jak dzielimy pamięci pod względem stanów napięć w komórce
8. Scharakteryzuj komórki
 1. SLC
 2. MLC
 3. TLC
 4. QLC
 5. SuperMLC
9. Na czym polega równoważenie zużycia pamięci Flash?
10. Opisz równoważenie
 1. dynamiczne
 2. statyczne

Pytania powtórkowe

11. Co to jest funkcja TRIM?
12. Opisz protokół NVMe.
13. Jaka jest idea systemu Key Value?
14. Opisz budowę i zasadę działania kart pamięci SD.
15. Opisz budowę i zasadę działania pendrive'ów.
16. Opisz budowę i zasadę działania dysków SSD.
17. Jakie są zalety i wady dysków SSD przy porównaniu ich z HDD?
18. Jakimi złączami możemy podpiąć dysk SSD do komputera?
19. Co to jest pamięć *Disk On Module*?
20. Co to jest IRST?
21. Czym musi się charakteryzować system plików dla nośników SSD?