

## NAND SSD 与 3DXPoint 产品与 DRAM 的性能比较

性能\产品	Intel SSD D3-S4510 Series(TLC)	Intel SSD DC P4510 Series(TLC)	Intel Optane SSD DC P4800X Series	Intel Optane DC Persistent Memory Module	DRAM:32GB Micron DDR4 2666 MHz
容量	240GB	2TB	375GB	128GB	32GB
上市时间	Q3'18	Q3'17	Q1'17	Q2'19	
顺序读	560MB/s	3200MB/s or 26.6GB/s	2400MB/s	66GB/s or 38.9GB/s	105.9GB/s
顺序写	280MB/s	2000MB/s	2000MB/s	15.96GB/s or 11.5GB/s	52.3GB/s
随机读	90,000 IOPS	637000 IOPS or 5,263,647 IOPS	0.55 million IOPS	13.2 million IOPS or 10.3GB/s	70.4GB/s
随机写	16000 IOPS	81500 IOPS	0.50 million IOPS	0.98 million IOPS	未给出
读延迟	36μs	77μs or 191.4μs	10μs	12.1μs or 305ns	81ns
写延迟	37μs	18μs	10μs	60μs or 94ns	86ns
电源-活动	2.4W	12W	18W	20W (peak)	
电源-闲置	1.0W	5W	5W	未给出 idle 时的瓦数, 只给出了 15W (average)	
耐用等级 (终身写入)	0.9 PBW	2.61 PBW	20.5 PBW		
Warranty Period	5 yrs	5 yrs	5 yrs	5 yrs	
Form Factor	2.5"7mm	2.5"15mm	HHHL(CEM3.0)	Persistent Memory Module (PMM)	
Interface	SATA 3.0 6Gb/s	PCI NVMe 3.0 x4	PCIe NVMe 3.0 x4	DDR-T(与 DDR4 共用一个机电接口)	DDR4

#### 备注：

1. 上表中黑色字体数据来源于 Intel 官网的产品比较  
<https://www.intel.com/content/www/us/en/products/compare-products.html/memory-storage?productIds=97162,190348,134910,122580> ；
2. 上表中红色字体数据来源于"Basic Performance Measurements of the Intel Optane DC Persistent Memory Module" <https://arxiv.org/pdf/1903.05714.pdf> ；  
其实验配置如下：

# Sockets	2
Microarch	Intel Cascade Lake-SP (engineering sample)
CPU Spec.	24 Cores at 2.2 GHz (Turbo Boost at 3.7 GHz)
L1 Cache	32 KB i-Cache & 32 KB d-Cache (per-core)
L2 Cache	1 MB (per-core)
L3 Cache	33 MB (shared)
DRAM Spec.	32 GB Micron DDR4 2666 MHz (36ASF4G72PZ)
Total DRAM	384 GB [2 (socket) × 6 (channel) × 32 GB]
NVMM Spec.	256 GB Intel Optane DC 2666 MHz QS (NMA1XXD256GQS)
Total NVMM	3 TB [2 (socket) × 6 (channel) × 256 GB]
Storage (NVMe)	Intel Optane SSD DC P4800X 375 GB
Storage (SATA)	Intel SSD DC S3610 1.6 TB (MLC)
GNU/Linux Distro	Fedora 27
Linux Kernel	4.13.0
CPUFreq Governor	Performance
Hyper-Threading	Disabled
NVDIMM Firmware	01.01.00.5253
Avg. Power Budget	15 W
Peak Power Budget	20 W
Transparent Huge Page (THP)	Enabled
Kernel ASLR	Disabled
KPTI & Security Mitigations	Not Applied

3. 上表中蓝色字体数据来源于" Supermicro SuperServer with Intel Optane DC Persistent Memory First Look Review"  
[https://www.storagereview.com/supermicro\\_superserver\\_with\\_intel\\_optane\\_dc\\_persistent\\_memory\\_first\\_look\\_review](https://www.storagereview.com/supermicro_superserver_with_intel_optane_dc_persistent_memory_first_look_review);  
其实验配置如下：

### Supermicro SuperServer 1029U-TN10RT Specifications

- Chassis - Ultra 1U SYS-1029U-TN10RT
- CPU - 2 x Intel Xeon Scalable 8268 (2.9GHz, 24C)
- Storage - 10 x Intel DC P4510 2TB NVMe SSD, 1DWPD
- DRAM - 12 x 32GB DDR4-2933
- Persistent Memory - 12 x 128GB DDR4-2666 Intel Optane DC PMMs
- Network - 2 x 10GBaseT

4. **PBW（生命周期内总写入容量）= SSD 容量 × DWPD × 天数。** DWPD, (Diskful Writes Per Day), 每日整盘写入次数, 指在预期寿命内可每日完整写入 SSD 固态硬盘所有容量的次数。
5. 上表中有些性能项的数据有较大差异, 可能是与实验平台配置有关, 但我们给与各色字体的可信度排序: 黑色 > 红色 > 蓝色。

另外，找到一个简单的性能比较表格，但是性能数据和上面的表格有差异。  
表格来源：“内存模型系列（下） - 内存持久性模型（Memory Persistency）”，  
<https://blog.csdn.net/maokelong95/article/details/81199226#fn3>

存储器	读取延迟	写入延迟	字节可寻址	非易失性
DRAM <sup>2</sup>	50ns	50ns	是	否
NAND FLASH <sup>3</sup>	10μs	10μs	否	是
3D XPoint <sup>3</sup>	100ns	500ns	是	是

表中数据来源引用：  
2. Mittal S, Vetter J S. A survey of software techniques for using non-volatile memories for storage and main memory systems[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TODS'16), 2016, 27(5): 1537-1550.  
3. Raghu Kulkarni. Persisent Memory and NVDIMMs [C]. Flash Memory Summit 2018. SNIA. 2018.

另外，找到一个表格，表格中的 PCM 读/写操作时间与前两个表格中 3DXPoint 产品的读/写操作时间也有差异，但从读/写操作时间的数量级和单位(ns)上来看，3DXPoint 与 PCM 相似。

表 1 存储技术参数(典型值)对比												
参数	现有芯片容量级别	理论工艺制程级别	特征尺寸 <sup>[1]</sup>	读操作时间	写操作时间	寿命(耐久性)	数据保持力	写操作功耗 <sup>[2]</sup>	空闲功耗	非易失性质	读过程破坏性	当前主要技术瓶颈
DRAM	~16 Gb	~20 nm	6~10 F <sup>2</sup>	<10 ns	<10 ns	>10 <sup>15</sup>	刷新	~0.1 nJ/b	高	易失	破坏性	需刷新,易失,作为内存工艺制程有限
NAND	~1 Tb	~16 nm	4~11 F <sup>2</sup>	10~50 μs	0.1~1 ms	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup>	10 年	0.1~1 nJ/b	低	非易失	非破坏	寿命/性能有限,存储密度较低
STT-RAM	~64 Mb	~32 nm	16~60 F <sup>2</sup>	2~20 ns	5~35 ns	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>15</sup>	>10 年	1.6~5 nJ/b	低	非易失	非破坏	容量小,写功耗较大,稳定性差
RRAM	~1 TB	~11 nm	4~14 F <sup>2</sup>	10~50 ns	10~50 ns	10 <sup>8</sup> ~10 <sup>10</sup>	10 年	~0.1 nJ/b	低	非易失	非破坏	材料级存储机理尚不明确
FeRAM	~64 MB	~65 nm	15~34 F <sup>2</sup>	20~80 ns	5~10 ns	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 年	<1nJ/b	低	非易失	破坏性	容量小,具有读破坏性,存储密度低
PCM	~8 Gb	~5 nm	4~8 F <sup>2</sup>	10~100 ns	20~120 ns	10 <sup>8</sup> ~10 <sup>12</sup>	>10 年	<1nJ/b	低	非易失	非破坏	容量较小,材料可操作温度范围狭窄

表格来源：  
冒伟, 刘景宁, 童薇, 等. 基于相变存储器的存储技术研究综述[J]. 计算机学报, 2015, 38(5): 944-960.