

Nama = Muhammad Bayu Kurniawan

NIM = L200150032

Kelas = A

Pengertian Mikroprosesor

Sebuah mikroprosesor (sering dituliskan: μ P atau uP) adalah sebuah central processing unit (CPU) elektronik komputer yang terbuat dari transistor mini dan sirkuit lainnya di atas sebuah sirkuit terintegrasi semikonduktor.

Sebelum berkembangnya mikroprosesor, CPU elektronik terbuat dari sirkuit terintegrasi TTL terpisah; sebelumnya, transistor individual; sebelumnya lagi, dari tabung vakum. Bahkan telah ada desain untuk mesin komputer sederhana atas dasar bagian mekanik seperti gear, shaft, lever, Tinkertoy, dll.

Evolusi dari mikroprosesor telah diketahui mengikuti Hukum Moore yang merupakan peningkatan performa dari tahun ke tahun. Teori ini merumuskan bahwa daya penghitungan akan berlipat ganda setiap 18 bulan, sebuah proses yang benar terjadi sejak awal 1970-an; sebuah kejutan bagi orang-orang yang berhubungan. Dari awal sebagai driver dalam kalkulator, perkembangan kekuatan telah menuju ke dominasi mikroprosesor di berbagai jenis komputer; setiap sistem dari mainframe terbesar sampai ke komputer pegang terkecil sekarang menggunakan mikroprosesor sebagai pusatnya.

Perkembangan Microprocessor sejak tahun 2014 hingga 2016

A.pada tahun 2014

1. Intel Core i5 Generasi ke 4, yaitu :

- ❖ Intel® Core™ i5-4460 Processor (6M Cache, up to 3.40 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4460S Processor (6M Cache, up to 3.40 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4460T Processor (6M Cache, up to 2.70 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4590T Processor (6M Cache, up to 3.00 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4590S Processor (6M Cache, up to 3.70 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4590 Processor (6M Cache, up to 3.70 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4690T Processor (6M Cache, up to 3.50 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4690S Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4690K Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-4690 Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)

2. Intel Core i7 Generasi ke 4, yaitu :

- ❖ Intel® Core™ i7-4790T Processor (8M Cache, up to 3.90 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i7-4790S Processor (8M Cache, up to 4.00 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i7-4790K Processor (8M Cache, up to 4.40 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i7-4790 Processor (8M Cache, up to 4.00 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i7-4785T Processor (8M Cache, up to 3.20 GHz)

B.Pada tahun 2015

1. Intel core i5 processor generasi ke 6, yaitu :

- ❖ Intel® Core™ i5-6400T Processor (6M Cache, up to 2.80 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-6400 Processor (6M Cache, up to 3.30 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-6402P Processor (6M Cache, up to 3.40 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-6500T Processor (6M Cache, up to 3.10 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-6500 Processor (6M Cache, up to 3.60 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-6600T Processor (6M Cache, up to 3.50 GHz)

- ❖ Intel® Core™ i5-6600K Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-6600 Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)

2. Intel Core i7 Processor generasi ke 6, yaitu :

- ❖ Intel® Core™ i7-6700 Processor (8M Cache, up to 4.00 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i7-6700T Processor (8M Cache, up to 3.60 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i7-6700K Processor (8M Cache, up to 4.20 GHz)

C.Pada tahun 2016

1. Intel Core i7 Generasi ke 6, yaitu :

- ❖ Intel® Core™ i7-6785R Processor (8M Cache, up to 3.90 GHz)
- ❖ Intel® Core™ i5-6585R Processor (6M Cache, up to 3.60 GHz)

2. Intel Core i5 Generasi ke 6, yaitu :

- ❖ Intel® Core™ i5-6685R Processor (6M Cache, up to 3.80 GHz)

Tahun 2014

Nama Produk	Intel® Core™ i5-4460 Processor (6M Cache, up to 3.40 GHz)	Intel® Core™ i5-4460S Processor (6M Cache, up to 3.40 GHz)	Intel® Core™ i5-4460T Processor (6M Cache, up to 2.70 GHz)	Intel® Core™ i5-4590T Processor (6M Cache, up to 3.00 GHz)	Intel® Core™ i5-4590S Processor (6M Cache, up to 3.70 GHz)	Intel® Core™ i5-4590 Processor (6M Cache, up to 3.70 GHz)	Intel® Core™ i5-4690T Processor (6M Cache, up to 3.50 GHz)	Intel® Core™ i5-4690S Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)	Intel® Core™ i5-4690K Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)	Intel® Core™ i5-4690 Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)	Intel® Core™ i7-4790T Processor (8M Cache, up to 3.90 GHz)	Intel® Core™ i7-4790S Processor (8M Cache, up to 4.00 GHz)	Intel® Core™ i7-4790K Processor (8M Cache, up to 4.40 GHz)	Intel® Core™ i7-4790 Processor (8M Cache, up to 4.00 GHz)	Intel® Core™ i7-4785T Processor (8M Cache, up to 3.20 GHz)
Nama Kode	Haswell	Haswell	Haswell	Haswell	Haswell	Haswell	Haswell	Haswell	Devil's Canyon	Haswell	Haswell	Haswell	Devil's Canyon	Haswell	Haswell

-

Nomor Prosesor	i5-4460	i5-4460S	i5-4460T	i5-4590T	i5-4590S	i5-4590	i5-4690T	i5-4690S	i5-4690K	i5-4690	i7-4790T	i7-4790S	i7-4790K	i7-4790	i7-4785T
Status	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched
Tanggal Peluncuran	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14	Q2'14
Litografi	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm	22 nm
Rekomendasi Harga Pelanggan	\$182.00 - \$187.00	\$182.00	\$182.00	\$192.00	\$192.00 - \$202.00	\$192.00 - \$202.00	\$213.00	\$213.00 - \$224.00	\$242.00 - \$243.00	\$213.00 - \$224.00	\$303.00	\$303.00 - \$312.00	\$339.00 - \$350.00	\$303.00 - \$312.00	\$303.00

-

Jumlah Inti	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Jumlah	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8

Untaian															
Frekuensi Dasar Prosesor	3.20 GHz	2.90 GHz	1.90 GHz	2.00 GHz	3.00 GHz	3.30 GHz	2.50 GHz	3.20 GHz	3.50 GHz	3.50 GHz	2.70 GHz	3.20 GHz	4.00 GHz	3.60 GHz	2.20 GHz
Frekuensi Turbo Maks	3.40 GHz	3.40 GHz	2.70 GHz	3.00 GHz	3.70 GHz	3.70 GHz	3.50 GHz	3.90 GHz	3.90 GHz	3.90 GHz	3.90 GHz	4.00 GHz	4.40 GHz	4.00 GHz	3.20 GHz
Cache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	6 MB SmartCache	8 MB SmartCache	8 MB SmartCache	8 MB SmartCache	8 MB SmartCache	8 MB SmartCache
Kecepatan Bus	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2	5 GT/s DMI2
TDP	84 W	65 W	35 W	35 W	65 W	84 W	45 W	65 W	88 W	84 W	45 W	65 W	88 W	84 W	35 W

[illegible][illegible]

[illegible]

Intel® Quick Sync Video	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Intel® InTru™ 3D Technology	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Intel® Wireless Display	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Intel® Flexible Display Interface (Intel® FDI)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Intel® Clear Video HD Technology	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Jumlah Layar yang Didukung [†]	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ID Perangkat	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412	0x412
Unit Eksekusi									20				20		

-

Kemudahan untuk Diskalkan	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only	1S Only
Revisi PCI Express	Up to 3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	Up to 3.0	3.0	Up to 3.0	Up to 3.0
Konfigurasi PCI Express ‡	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4
Jumlah Maksimal Jalur PCI Express	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

-

Soket yang Didukung	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150	FCLGA1150
Konfigurasi CPU Maks	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Spesifikasi Solusi Termal	PCG 2013D	PCG 2013C	PCG 2013A	PCG 2013A	PCG 2013C	PCG 2013D	PCG 2013B	PCG 2013C	PCG 2013D	PCG 2013D	PCG 2013B	PCG 2013C	PCG 2013D	PCG 2013D	PCG 2013A

Guard															
Trusted Executi on Technol ogy [‡]	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
Execute Disable Bit [‡]	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Anti-Theft Technol ogy	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya									

Tahun 2015

Nama Produk	Intel® Core™ i7-6700 Processor (8M Cache, up to 4.00 GHz)	Intel® Core™ i7-6700T Processor (8M Cache, up to 3.60 GHz)	Intel® Core™ i7-6700K Processor (8M Cache, up to 4.20 GHz)	Intel® Core™ i5-6400T Processor (6M Cache, up to 2.80 GHz)	Intel® Core™ i5-6400 Processor (6M Cache, up to 3.30 GHz)	Intel® Core™ i5-6402P Processor (6M Cache, up to 3.40 GHz)	Intel® Core™ i5-6500T Processor (6M Cache, up to 3.10 GHz)	Intel® Core™ i5-6500 Processor (6M Cache, up to 3.60 GHz)	Intel® Core™ i5-6600T Processor (6M Cache, up to 3.50 GHz)	Intel® Core™ i5-6600K Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)	Intel® Core™ i5-6600 Processor (6M Cache, up to 3.90 GHz)
Nama Kode	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake	Skylake

-

Nomor Prosesor	i7-6700	i7-6700T	i7-6700K	i5-6400T	i5-6400	i5-6402P	i5-6500T	i5-6500	i5-6600T	i5-6600K	i5-6600
Status	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched	Launched
Tanggal Peluncuran	Q3'15	Q3'15	Q3'15	Q3'15	Q3'15	Q4'15	Q3'15	Q3'15	Q3'15	Q3'15	Q3'15

[illegible]

[illegible]

Technology ‡											
Intel® Stable Image Platform Program (SIPP)	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
Keunggulan Intel® untuk Usaha Kecil	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

-

Pentunjuk Baru Intel® AES	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Kode Keamanan	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Intel® Software Guard Extensions (Intel®SGX)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Intel® Memory Protection Extensions (Intel®MPX)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

-

OS Guard	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Trusted Execution	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya

Technology [‡]											
Execute Disable Bit [‡]	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Tahun 2016

Nama Produk	Intel® Core™ i7-6785R Processor (8M Cache, up to 3.90 GHz)	Intel® Core™ i5-6585R Processor (6M Cache, up to 3.60 GHz)	Intel® Core™ i5-6685R Processor (6M Cache, up to 3.80 GHz)
Nama Kode	Skylake	Skylake	Skylake

-

Nomor Prosesor	i7-6785R	i5-6585R	i5-6685R
Status	Launched	Launched	Launched
Tanggal Peluncuran	Q2'16	Q2'16	Q2'16
Litografi	14 nm	14 nm	14 nm
Rekomendasi Harga Pelanggan	N/A	N/A	N/A

-

Jumlah Inti	4	4	4
Jumlah Untaian	8	4	4
Frekuensi Dasar Prosesor	3.30 GHz	2.80 GHz	3.20 GHz
Frekuensi Turbo Maks	3.90 GHz	3.60 GHz	3.80 GHz

Cache	8 MB	6 MB	6 MB
Kecepatan Bus	8 GT/s DMI3	8 GT/s DMI3	8 GT/s DMI3
TDP	65 W	65 W	65 W
-			
Tersedia Opsi Terpasang	Tidak	Tidak	Tidak
Bebas Konflik	Ya	Ya	Ya
Lembar Data	Link	Link	Link
-			
Ukuran Memori Maks (bergantung jenis memori)	64 GB	64 GB	64 GB
Jenis Memori	DDR4-1866/2133, DDR3L-1333/1600 @ 1.35V	DDR4-1866/2133, DDR3L-1333/1600 @ 1.35V	DDR4-1866/2133, DDR3L-1333/1600 @ 1.35V
Jumlah Maksimum Saluran Memori	2	2	2
Bandwidth Memori Maks	34,1 GB/s	34,1 GB/s	34,1 GB/s
Mendukung Memori ECC ‡	Tidak	Tidak	Tidak
-			
Grafis Prosesor ‡	Intel® Iris™ Pro Graphics 580	Intel® Iris™ Pro Graphics 580	Intel® Iris™ Pro Graphics 580
Frekuensi Dasar Grafik	350.00 MHz	350.00 MHz	350.00 MHz
Frekuensi Dinamis Maks Grafik	1.15 GHz	1.10 GHz	1.15 GHz

Memori Maks Video Grafik	64 GB	64 GB	64 GB
eDRAM	128 MB	128 MB	128 MB
Output Grafis	eDP/DP/HDMI/DVI	eDP/DP/HDMI/DVI	eDP/DP/HDMI/DVI
Dukungan 4K	Yes, at 60Hz	Yes, at 60Hz	Yes, at 60Hz
Resolusi Maksimum (Intel® WiDi)‡	1080p	1080p	1080p
Resolusi Maksimum (HDMI 1.4)‡	4096x2304@24Hz	4096x2304@24Hz	4096x2304@24Hz
Resolusi Maksimum (DP)‡	4096x2304@60Hz	4096x2304@60Hz	4096x2304@60Hz
Resolusi Maksimum (eDP - Panel Datar Terintegrasi)‡	4096x2304@60Hz	4096x2304@60Hz	4096x2304@60Hz
Resolusi Maksimum (VGA)‡	N/A	N/A	N/A
Dukungan DirectX*	12	12	12
Dukungan OpenGL*	4.4	4.4	4.4
Intel® Quick Sync Video	Ya	Ya	Ya
Intel® InTru™ 3D Technology	Ya	Ya	Ya
Intel® Wireless Display	Ya	Ya	Ya
Intel® Clear Video HD Technology	Ya	Ya	Ya
Intel® Clear Video Technology	Ya	Ya	Ya
Jumlah Layar yang Didukung ‡	3	3	3
ID Perangkat	0x193B	0x193B	0x193B

-

Kemudahan untuk Diskalakan	1S Only	1S Only	1S Only
Revisi PCI Express	3.0	3.0	3.0
Konfigurasi PCI Express ‡	1x16,2x8,1x8+2x4	1x16,2x8,1x8+2x4	1x16,2x8,1x8+2x4
Jumlah Maksimal Jalur PCI Express	16	16	16

-

Konfigurasi CPU Maks	1	1	1
Spesifikasi Solusi Termal	PCG 2015C (65W)	PCG 2015C (65W)	PCG 2015C (65W)
T _{CASE}	71°C	71°C	71°C
Ukuran Paket	42mm x 28mm	42mm x 28mm	42mm x 28mm
Opsi Halogen Rendah Tersedia	Lihat MDDS	Lihat MDDS	Lihat MDDS

-

Intel® Turbo Boost Technology‡	2.0	2.0	2.0
Intel® vPro™ Technology ‡	Tidak	Tidak	Tidak
Intel® Hyper-Threading Technology ‡	Ya	Tidak	Tidak
Intel® Virtualization Technology (VT-x) ‡	Ya	Ya	Ya
Intel® Virtualization Technology for Directed I/O (VT-d)‡	Ya	Ya	Ya
Intel® VT-x dengan Extended	Ya	Ya	Ya

Page Tables (EPT) ‡			
Intel® TSX-NI	Ya	Ya	Ya
Intel® 64 ‡	Ya	Ya	Ya
Set Instruksi	64-bit	64-bit	64-bit
Ekstensi Set Instruksi	SSE4.1/4.2, AVX 2.0	SSE4.1/4.2, AVX 2.0	SSE4.1/4.2, AVX 2.0
Keadaan Diam	Ya	Ya	Ya
Enhanced Intel SpeedStep® Technology	Ya	Ya	Ya
Teknologi Pemantauan Panas	Ya	Ya	Ya
Intel® Identity Protection Technology ‡	Ya	Ya	Ya
Intel® Stable Image Platform Program (SIPP)	Tidak	Tidak	Tidak
Keunggulan Intel® untuk Usaha Kecil	Ya	Ya	Ya

-

Pentunjuk Baru Intel® AES	Ya	Ya	Ya
Kode Keamanan	Ya	Ya	Ya
Intel® Software Guard Extensions (Intel®SGX)	Ya	Ya	Ya
Intel® Memory Protection Extensions (Intel® MPX)	Ya	Ya	Ya

-

OS Guard	Ya	Ya	Ya
Trusted Execution Technology [‡]	Ya	Ya	Ya
Execute Disable Bit [‡]	Ya	Ya	Ya

Flash Memory

Flash memori adalah elektronik (solid-state) non-volatile penyimpanan komputer media yang dapat dihapus secara elektrik dan memprogram.

Toshiba dikembangkan memori flash dari EEPROM (elektrik bisa dihapus programmable read-only memory) pada awal tahun 1980 dan diperkenalkan ke pasar pada tahun 1984. Dua jenis utama dari memori flash yang dinamai NAND dan NOR gerbang logika . Sel-sel memori flash individual menunjukkan karakteristik internal mirip dengan gerbang yang sesuai.

Sedangkan EPROMs harus benar-benar terhapus sebelum ditulis ulang, NAND-jenis memori flash dapat ditulis dan dibaca di blok (atau halaman) yang umumnya jauh lebih kecil dari seluruh perangkat. NOR-tipe flash memungkinkan satu kata mesin (byte) yang akan written ke terhapus lokasi-atau membaca secara mandiri.

Jenis NAND beroperasi terutama di kartu memori , USB flash drive , solid-state drive (yang diproduksi pada tahun 2009 atau lambat), dan produk sejenis, untuk penyimpanan umum dan transfer data. NAND atau NOR memori flash juga sering digunakan untuk menyimpan data konfigurasi dalam berbagai produk digital, tugas yang sebelumnya dimungkinkan oleh EEPROM atau bertenaga baterai RAM statis . Salah satu kelemahan utama dari memori flash adalah bahwa ia hanya dapat bertahan jumlah yang relatif kecil dari siklus tulis di blok tertentu. [1]

Contoh aplikasi dari kedua jenis memori flash termasuk komputer pribadi, PDA , pemutar audio digital, kamera digital , ponsel, synthesizer, video game, instrumentasi ilmiah , robotika industri , dan elektronik medis . Selain menjadi non-volatile, flash memory menawarkan cepat dibaca waktu akses , meskipun tidak secepat RAM statis atau ROM. [2] resistensi shock mekanik Its membantu menjelaskan popularitasnya lebih hard disk di perangkat portabel, seperti halnya daya tahan yang tinggi, kemampuan untuk menahan tekanan tinggi, suhu dan perendaman dalam air, dll [3]

Meskipun memori flash secara teknis jenis EEPROM, istilah "EEPROM" umumnya digunakan untuk merujuk secara khusus untuk EEPROM non-Flash yang bisa dihapus di blok kecil, biasanya byte. Karena menghapus siklus lambat, ukuran blok besar digunakan dalam memori flash menghapus memberikan keuntungan kecepatan yang signifikan atas non-Flash EEPROM saat menulis data dalam jumlah besar. Pada 2013 , [kebutuhan update?] Biaya memori flash jauh lebih sedikit dari EEPROM byte-programmable dan telah menjadi jenis memori yang dominan di mana pun sistem diperlukan sejumlah besar non-volatile penyimpanan solid-state .

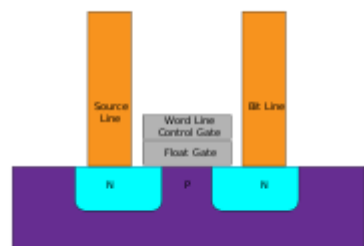
Flash memory (baik NOR dan NAND jenis) diciptakan oleh Fujio Masuoka saat bekerja untuk Toshiba sekitar tahun 1980.^{[4] [5]} Menurut Toshiba, nama "flash" disarankan oleh rekan Masuoka, Shōji Ariizumi, karena proses penghapusan isi memori mengingatkannya pada lampu kilat kamera.^[6] Masuoka dan rekan disajikan penemuan di *IEEE 1984 International Electron Devices Meeting* (IEDM) yang diselenggarakan di San Francisco.^[7]

Intel Corporation melihat potensi besar dari penemuan ini dan memperkenalkan komersial jenis NOR flash chip pertama pada tahun 1988.^[8] berbasis flash-NOR memiliki menghapus panjang dan menulis kali, tetapi menyediakan alamat dan data lengkap bus, yang memungkinkan akses acak ke lokasi memori. Hal ini membuat pengganti yang cocok untuk tua memori read-only (ROM) chip, yang digunakan untuk menyimpan kode program yang jarang perlu diperbarui, seperti komputer BIOS atau firmware dari kotak set-top. Daya tahan mungkin dari sesedikit 100 siklus menghapus untuk memori flash on-chip,^[9] ke 10.000 atau 100.000 siklus menghapus lebih khas, hingga 1.000.000 menghapus siklus.^[10] berbasis flash NOR adalah dasar awal Flash berbasis removable media; CompactFlash pada awalnya didasarkan pada itu, meskipun kartu kemudian pindah ke yang lebih murah NAND flash.

NAND flash telah berkurang menghapus dan menulis kali, dan membutuhkan lebih sedikit area chip per sel, sehingga memungkinkan kepadatan penyimpanan yang lebih besar dan biaya yang lebih rendah per bit dari NOR Flash; juga memiliki hingga 10 kali daya tahan flash NOR. Namun, I / O interface flash NAND tidak menyediakan akses-acak bus alamat eksternal. Sebaliknya, data harus dibaca secara blok-bijaksana, dengan ukuran blok khas ratusan hingga ribuan bit. Hal ini membuat flash NAND tidak cocok sebagai pengganti drop-in untuk program ROM, karena kebanyakan mikroprosesor dan mikrokontroler membutuhkan akses random byte-tingkat. Dalam hal ini, NAND flash mirip dengan sekunder lainnya perangkat penyimpanan data, seperti hard disk dan media optik, dan dengan demikian, sangat cocok untuk digunakan di perangkat penyimpanan massal, seperti kartu memori. Format removable media berbasis NAND pertama SmartMedia pada tahun 1995, dan banyak lainnya telah mengikuti, termasuk:

- MultiMediaCard
- Secure Digital
- Memory Stick, dan Kartu xD-Picture.

Sebuah generasi baru dari format kartu memori, termasuk RS-MMC, miniSD dan microSD, fitur faktor bentuk yang sangat kecil. Misalnya, kartu microSD memiliki luas lebih dari 1,5 cm², dengan ketebalan kurang dari 1 mm. kapasitas microSD berkisar dari 64 MB sampai 256 GB, pada Mei 2016.^[11]



Sebuah sel memori flash.

Prinsip-prinsip operasi

Flash memory menyimpan informasi dalam array sel memori yang terbuat dari floating-gerbang transistor . Dalam single-level cellperangkat (SLC), masing-masing toko sel hanya satu bit informasi. Dalam multi-level cell (MLC) perangkat, termasuk sel triple-tingkat(TLC) perangkat, dapat menyimpan lebih dari satu bit per sel.

Gerbang mengambang mungkin konduktif (biasanya polysilicon di sebagian besar jenis memori flash) atau non-konduktif (seperti dalamSONOS flash memory).^[12]

Floating-gate transistor

Artikel utama: Floating-gate MOSFET

Dalam memori flash, setiap sel memori menyerupai standar MOSFET , kecuali bahwa transistor memiliki dua gerbang, bukan satu. Di atas adalah gerbang kontrol (CG), seperti pada transistor lainnya MOS, tetapi di bawah ini ada mengambang gerbang (FG) terisolasi di sekitar dengan lapisan oksida. FG adalah sela antara CG dan saluran MOSFET.Karena FG yang elektrik terisolasi oleh lapisan isolasi yang, elektron diletakkan di situ terjebak sampai mereka dihapus oleh aplikasi lain dari medan listrik (misalnya tegangan Terapan atau UV seperti dalam EPROM). Counter-intuitif, menempatkan elektron dari FG menetapkan transistor ke logika "0" negara. Setelah FG terisi, elektron di dalamnyalayar (sebagian membatalkan) yang medan listrik dari CG, dengan demikian, meningkatkan ambang tegangan (V_{T1}) dari sel. Ini berarti bahwa sekarang tegangan tinggi (V_{T2})harus diterapkan pada CG untuk membuat saluran konduktif. Dalam rangka untuk membaca nilai dari transistor, tegangan menengah antara tegangan threshold (V_{T1} & V_{T2})diterapkan pada CG. Jika saluran melakukan pada tegangan menengah ini, FG harus bermuatan (jika didakwa, kita tidak akan mendapatkan konduksi karena tegangan menengah kurang dari V_{T2}), dan karenanya, logis "1" disimpan di pintu gerbang. Jika saluran tidak melakukan pada tegangan menengah, ini menunjukkan bahwa FG terisi, dan karenanya, logis "0" disimpan di pintu gerbang. Kehadiran logis "0" atau "1" dirasakan dengan menentukan apakah ada arus yang mengalir melalui transistor ketika tegangan menengah ditegaskan pada CG. Dalam perangkat multi-level cell, yang menyimpan lebih dari satu bit per sel, jumlah aliran arus merasakan (bukan hanya kehadirannya atau tidak adanya), untuk menentukan lebih tepatnya tingkat muatan pada FG.

Biaya internal pompa

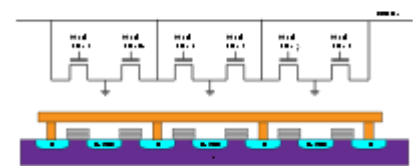
Meskipun kebutuhan untuk pemrograman tinggi dan menghapus tegangan, hampir semua flash chip saat ini membutuhkan hanya tegangan catu daya tunggal, dan menghasilkan tegangan tinggi menggunakan on-chip biaya pompa .

Lebih dari setengah energi yang digunakan oleh chip flash 1,8 V NAND hilang di pompa biaya sendiri. Sejak konverter meningkatkan secara inheren lebih efisien daripada pompa muatan, peneliti mengembangkan daya rendah SSD telah mengusulkan kembali ke ganda pasokan tegangan V_{cc} / V_{pp} digunakan pada semua flash chip awal, mengemudi tegangan V_{pp} tinggi untuk semua chip flash dalam SSD dengan tunggal bersama eksternal boost converter.^{[13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20]}

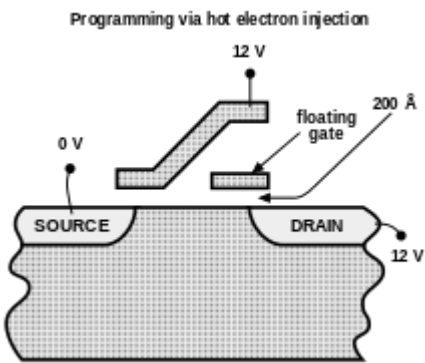
Di pesawat ruang angkasa dan lingkungan radiasi tinggi lainnya, on-chip biaya pompa adalah bagian pertama dari flash chip untuk gagal, meskipun flash kenangan akan terus bekerja-dalam read-only mode di banyak tingkat radiasi yang lebih tinggi.^[21]

NOR Flash

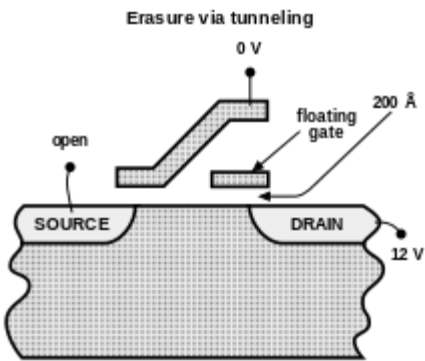
Dalam NOR flash, setiap sel memiliki satu ujung terhubung langsung ke tanah, dan ujung lainnya terhubung langsung ke saluran bit. Susunan ini disebut "NOR flash" karena bertindak seperti gerbang NOR: ketika salah satu baris kata (terhubung ke sel CG) dibawa tinggi, transistor penyimpanan yang sesuai bertindak untuk menarik output bit garis rendah. NOR Flash terus menjadi teknologi pilihan untuk aplikasi embedded yang membutuhkan perangkat memori non-volatile diskrit. Membaca rendah latency karakteristik NOR perangkat memungkinkan untuk kedua langsung eksekusi kode dan data storage dalam produk memori tunggal. [22]



NOR kabel memori flash dan struktur pada silikon



Pemrograman NOR sel memori (pengaturan ke logis 0), melalui injeksi hot-elektron.



Menghapus NOR sel memori (pengaturan ke logika 1), melalui terowongan kuantum.

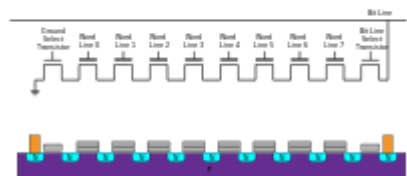
Pemrograman

Sebuah single-level NOR sel flash dalam keadaan default adalah logis setara dengan nilai biner "1", karena arus akan mengalir melalui saluran bawah penerapan tegangan sesuai dengan gerbang kontrol, sehingga tegangan bitline ditarik ke bawah. Sebuah NOR sel flash dapat diprogram, atau diatur ke nilai biner "0", dengan prosedur sebagai berikut:

- sebuah ditinggikan di-tegangan (biasanya $> 5\text{ V}$) yang diterapkan pada CG
- saluran sekarang diaktifkan, sehingga elektron dapat mengalir dari sumber ke drain (dengan asumsi transistor NMOS)
- sumber-drain saat ini cukup tinggi untuk menyebabkan beberapa elektron energi tinggi untuk melompat melalui lapisan isolasi ke FG, melalui proses yang disebut injeksi hot-elektron .

Menghapus

Untuk menghapus NOR Flash sel (ulang ke "1" negara), tegangan *besar polaritas berlawanan* diterapkan antara CG dan terminal sumber, menarik elektron dari FG melalui terowongan kuantum . chip memori modern NOR flash dibagi menjadi segmen menghapus (sering disebut blok atau sektor). Operasi menghapus dapat dilakukan hanya atas dasar blok-bijaksana; semua sel dalam segmen menghapus harus dihapus bersama-sama. Pemrograman sel NOR, bagaimanapun, umumnya dapat dilakukan satu byte atau kata pada suatu waktu.



NAND kabel memori flash dan struktur pada silikon

Flash NAND

NAND Flash juga menggunakan floating-gerbang transistor , tetapi mereka terhubung dengan cara yang menyerupai gerbang NAND : beberapa transistor yang terhubung dalam seri, dan garis bit ditarik rendah hanya jika semua baris kata yang ditarik tinggi (di atas transistor ' V_{T}). Kelompok-kelompok ini kemudian terhubung melalui beberapa transistor tambahan untuk NOR-gaya array sedikit garis dengan cara yang sama yang satu transistor terhubung dalam NOR flash.

Dibandingkan dengan NOR flash, menggantikan satu transistor dengan kelompok serial-linked menambah tingkat ekstra menangani. Sedangkan NOR Flash mungkin mengatasi memori dengan halaman maka kata, flash NAND mungkin mengatasi dengan halaman, kata dan bit. Bit alamat tingkat setelan aplikasi bit-serial (seperti emulasi hard disk), yang mengakses hanya satu bit pada satu waktu. Mengeksekusi-di-tempat aplikasi, di sisi lain, memerlukan setiap bit dalam satu kata untuk diakses secara bersamaan. Ini membutuhkan kata-level pengalamatan. Dalam kasus apapun, kedua mode bit dan kata pengalamatan yang mungkin dengan baik NOR atau NAND flash.

Untuk membaca data, pertama kelompok yang diinginkan dipilih (dalam cara yang sama bahwa transistor tunggal dipilih dari array NOR). Selanjutnya, sebagian besar jalur kata yang menarik di atas V_T dari sedikit diprogram, sementara salah satu dari mereka ditarik ke lebih dari V_T dari bit terhapus. Kelompok seri akan melakukan (dan tarik sedikit garis rendah) jika bit yang dipilih belum diprogram.

Meskipun transistor tambahan, pengurangan kabel ground dan garis sedikit memungkinkan tata letak yang lebih padat dan kapasitas penyimpanan yang lebih besar per chip. (The kabel ground dan garis bit sebenarnya jauh lebih luas daripada garis di diagram.) Selain itu, flash NAND biasanya diizinkan mengandung sejumlah kesalahan (NOR flash, seperti yang digunakan untuk BIOS ROM, diharapkan akan kesalahan-gratis). Produsen mencoba untuk memaksimalkan jumlah penyimpanan yang dapat digunakan oleh menyusut ukuran transistor.

Menulis dan menghapus

Flash NAND menggunakan terowongan injeksi untuk menulis dan terowongan rilis untuk menghapus. NAND flash memory merupakan inti dari removable USB perangkat penyimpanan dikenal sebagai USB flash drive, serta sebagian besar kartu memori format dan solid-state drive yang tersedia saat ini.

Vertikal NAND

Vertikal NAND (V-NAND) memori tumpukan sel-sel memori secara vertikal dan menggunakan lampu kilat biaya perangkat arsitektur. Lapisan vertikal memungkinkan kerapatan sedikit areal yang lebih besar tanpa memerlukan sel-sel individual yang lebih kecil. ^[23]

Struktur

V-NAND menggunakan biaya perangkat Flash geometri (dirintis pada tahun 2002 oleh AMD) ^[*rujukan?*] Yang menyimpan muatan tertanam silikon nitrida Film. Film tersebut adalah lebih kuat terhadap cacat titik dan dapat dibuat lebih tebal untuk menahan sejumlah besar elektron. V-NAND membungkus sel perangkat biaya planar menjadi bentuk silinder. ^[23]

Sel memori individual terdiri dari satu planar lapisan polysilicon mengandung lubang diisi oleh beberapa silinder vertikal konsentris. Permukaan polysilicon lubang ini bertindak sebagai gerbang elektroda. Terluar silinder silikon dioksida bertindak sebagai gerbang dielektrik, melampirkan silikon nitrida silinder yang menyimpan muatan, pada gilirannya melampirkan silinder silikon dioksida sebagai dielektrik terowongan yang mengelilingi batang tengah melakukan polysilicon yang bertindak sebagai saluran melakukan. ^[23]

sel memori di lapisan vertikal yang berbeda tidak saling mengganggu, karena biaya tidak dapat bergerak secara vertikal melalui media penyimpanan silikon nitrida, dan medan listrik yang terkait dengan gerbang erat dibatasi dalam setiap lapisan. Koleksi vertikal elektrik identik dengan kelompok serial-linked di mana memori flash NAND konvensional dikonfigurasi. ^[23]

Konstruksi

Pertumbuhan sekelompok sel V-NAND dimulai dengan tumpukan bolak melakukan (doped) lapisan polysilicon dan isolasi lapisan silikon dioksida. ^[23]

Langkah berikutnya adalah untuk membentuk lubang silinder melalui lapisan ini. Dalam prakteknya, 128 Gibit V-NAND chip dengan 24 lapisan sel memori membutuhkan sekitar 2,9 miliar lubang tersebut. Berikutnya permukaan bagian lubang ini menerima beberapa pelapis, silikon dioksida pertama, kemudian silikon nitrida, maka lapisan kedua dari silikon dioksida. Akhirnya, lubang diisi dengan melakukan (doped) polysilicon.^[23]

Kinerja

Pada 2013, V-flash NAND arsitektur memungkinkan membaca dan menulis operasi dua kali lebih cepat NAND konvensional dan dapat bertahan hingga 10 kali lebih lama, sementara mengkonsumsi daya 50 persen lebih sedikit. Mereka menawarkan kepadatan bit fisik yang sebanding menggunakan litografi 10-nm, tetapi mungkin dapat meningkatkan kepadatan bit hingga dua kali lipat.

Keterbatasan

Blok penghapusan

Salah satu keterbatasan memori flash adalah bahwa, meskipun dapat membaca atau diprogram byte atau kata pada suatu waktu dalam mode akses acak, dapat terhapus hanya satu blok pada suatu waktu. Ini umumnya menetapkan semua bit di blok 1. Dimulai dengan blok baru terhapus, setiap lokasi dalam blok yang dapat diprogram. Namun, setelah sedikit telah diatur ke 0, hanya dengan menghapus seluruh blok itu dapat diubah kembali ke 1. Dengan kata lain, memori flash (khusus NOR flash) menawarkan random-access membaca dan operasi pemrograman, tetapi tidak menawarkan sewenang-wenang random-access rewrite atau operasi menghapus. Lokasi bisa, bagaimanapun, harus ditulis ulang selama nilai baru 0 bit adalah superset dari nilai-nilai di atas ditulis. Misalnya, menggigit nilai dapat terhapus ke 1111, maka ditulis sebagai 1110. menulis berturut-turut untuk menggigit yang bisa mengubahnya ke 1010, kemudian 0010, dan akhirnya 0000. Pada dasarnya, penghapusan set semua bit ke 1, dan pemrograman dapat bit hanya jelas 0. file sistem yang dirancang untuk perangkat flash dapat memanfaatkan kemampuan ini, misalnya, untuk mewakili metadata sektor.

Meskipun struktur data dalam memori flash tidak dapat diperbarui dalam cara yang sangat umum, ini memungkinkan anggota untuk "dihapus" dengan menandai mereka sebagai tidak valid. Teknik ini mungkin perlu dimodifikasi untuk multi-level cell perangkat, di mana satu sel memori memegang lebih dari satu bit.

Perangkat flash umum seperti USB flash drive dan kartu memori hanya menyediakan antarmuka blok-tingkat, atau lapisan terjemahan kilat (FTL), yang menulis ke sel yang berbeda setiap kali memakai tingkat perangkat. Hal ini untuk mencegah menulis tambahan dalam blok; Namun, itu tidak membantu perangkat dari yang prematur dikenakan oleh pola menulis intensif.

Memori memakai

Keterbatasan lain adalah bahwa memori flash memiliki jumlah terbatas siklus program menghapus (biasanya ditulis sebagai siklus P / E). Sebagian besar produk flash yang tersedia secara komersial dijamin untuk menahan sekitar 100.000 siklus P / E sebelum memakai mulai memburuk integritas penyimpanan. Micron Technology dan Sun Microsystems mengumumkan SLC NAND chip memori Flash dinilai untuk siklus 1.000.000 P / E pada 17 Desember 2008.

Menghitung siklus dijamin mungkin hanya berlaku untuk memblokir nol (seperti halnya dengan TSOP perangkat NAND), atau untuk semua blok (seperti dalam NOR). Efek ini diatasi dalam beberapa driver firmware keping atau sistem file dengan menghitung menulis dan dinamis remapping blok untuk menyebarkan Operasi

tulis antara sektor; Teknik ini disebut keawetan . Pendekatan lain adalah untuk melakukan verifikasi menulis dan pemetaan ulang untuk cadangan sektor dalam hal menulis kegagalan, teknik yang disebut blok buruk manajemen (BBM). Untuk perangkat konsumen portabel, teknik manajemen wearout ini biasanya memperpanjang umur memori flash melampaui kehidupan dari perangkat itu sendiri, dan beberapa kehilangan data dapat diterima dalam aplikasi ini. Untuk penyimpanan data keandalan yang tinggi, bagaimanapun, tidak dianjurkan untuk menggunakan memori flash yang akan harus melalui sejumlah besar siklus pemrograman. Keterbatasan ini berarti untuk 'read-only' aplikasi seperti thin client dan router , yang diprogram hanya sekali atau paling beberapa kali selama hidup mereka.

Pada bulan Desember 2012, insinyur Taiwan dari Macronix mengungkapkan niat mereka untuk mengumumkan di International Electron Devices Meeting 2012 IEEE yang telah menemukan cara untuk meningkatkan flash NAND penyimpanan baca siklus / write dari 10.000 sampai 100 juta siklus menggunakan "self-healing" proses yang menggunakan flash chip dengan "pemanas onboard yang bisa anil kelompok-kelompok kecil dari sel memori." ^[26] anil termal built-in menggantikan menghapus siklus biasa dengan proses suhu tinggi lokal yang tidak hanya menghapus muatan yang tersimpan, tetapi juga perbaikan stres elektron diinduksi dalam chip, memberikan siklus tulis minimal 100 juta. ^[27] hasilnya adalah sebuah chip yang bisa dihapus dan ditulis ulang berulang, bahkan ketika itu secara teoritis memecah. Sebagai menjanjikan sebagai terobosan Macronix ini bisa untuk industri mobile, namun, tidak ada rencana untuk produk komersial yang akan dirilis setiap saat dalam waktu dekat. ^[28]

Baca mengganggu

Metode yang digunakan untuk membaca memori flash NAND dapat menyebabkan sel-sel di dekatnya di blok memori yang sama untuk berubah seiring waktu (menjadi diprogram). Hal ini dikenal sebagai baca mengganggu. Jumlah ambang berbunyi umumnya dalam ratusan ribu berbunyi antara intervensi operasi menghapus. Jika membaca terus dari satu sel, sel yang tidak akan gagal melainkan salah satu sel di sekitarnya pada membaca berikutnya. Untuk menghindari masalah membaca mengganggu flash kontroler biasanya akan menghitung jumlah total membaca untuk blok sejak terakhir menghapus. Ketika hitungan melebihi batas target, blok terpengaruh disalin ke blok baru, terhapus, kemudian dilepaskan ke blok kolam renang. Blok asli adalah seperti baru setelah menghapus itu. Jika flash controller tidak campur tangan dalam waktu, namun, kesalahan **mengganggu membaca** akan terjadi dengan kemungkinan kehilangan data jika kesalahan terlalu banyak untuk memperbaiki dengan kode error-correcting . ^[29] ^[30]

Efek X-ray

Kebanyakan IC Flash datang dalam ball grid array paket (BGA), dan bahkan orang-orang yang tidak sering dipasang pada PCB sebelah paket BGA lainnya. Setelah PCB Majelis, papan dengan paket BGA sering dirontgen untuk melihat apakah bola yang membuat koneksi yang tepat untuk pad yang tepat, atau jika kebutuhan BGA ulang . Sinar-X ini dapat menghapus bit diprogram dalam flash chip (mengkonversi diprogram "0" bit menjadi terhapus "1" bit). Bit terhapus ("1" bit) tidak terpengaruh oleh sinar-X. ^[31] ^[32]

Beberapa produsen sekarang membuat X-ray bukti SD ^[33] dan USB ^[34] perangkat memori.

Akses tingkat rendah

Antarmuka tingkat rendah ke flash chip memori berbeda dari orang-orang dari jenis memori lainnya seperti DRAM , ROM , dan EEPROM , yang mendukung bit-alterability (baik nol ke satu dan satu ke nol) dan akses acak melalui eksternal dapat diakses bus alamat .

NOR memori memiliki bus alamat eksternal untuk membaca dan pemrograman. Untuk NOR memori, membaca dan pemrograman yang random-access, dan unlocking dan Menghapus adalah blok-bijaksana. Untuk memori NAND, membaca dan pemrograman halaman-bijaksana, dan unlocking dan Menghapus adalah blok-bijaksana.

NOR kenangan

Membaca dari NOR flash mirip dengan membaca dari random-access memory, memberikan alamat dan data bus dipetakan dengan benar. Karena itu, sebagian besar mikroprosesor dapat menggunakan memori flash NOR sebagai mengeksekusi di tempat (XIP) memori, yang berarti bahwa program yang tersimpan di NOR flash dapat dieksekusi langsung dari NOR flash tanpa perlu disalin ke RAM pertama. NOR Flash dapat diprogram secara random-akses yang mirip dengan membaca. Pemrograman perubahan bit dari satu logis untuk nol. Bit yang sudah nol yang tersisa tidak berubah. Penghapusan harus terjadi blok pada satu waktu, dan me-reset semua bit di blok terhapus kembali ke satu. Ukuran blok khas adalah 64, 128, atau 256 KiB .

manajemen blok buruk adalah fitur yang relatif baru di NOR chip. Dalam NOR perangkat yang lebih tua tidak mendukung manajemen blok buruk, perangkat lunak atau driver perangkat mengendalikan chip memori harus mengoreksi blok yang aus, atau perangkat akan berhenti bekerja andal.

perintah khusus yang digunakan untuk mengunci, membuka, program, atau menghapus NOR kenangan berbeda untuk masing-masing produsen. Untuk menghindari perlu software driver yang unik untuk setiap perangkat yang dibuat, khusus umum Flash Memory Antarmuka (CFI) perintah memungkinkan perangkat untuk mengidentifikasi sendiri dan parameter operasi kritis.

Selain dimanfaatkan sebagai random-access ROM, NOR Flash juga dapat digunakan sebagai perangkat penyimpanan, dengan mengambil keuntungan dari pemrograman random-access. Beberapa perangkat menawarkan fungsionalitas baca-sementara-menulis sehingga kode yang terus mengeksekusi bahkan ketika sebuah program atau menghapus operasi terjadi di latar belakang. Untuk data sekuensial menulis, NOR flash chip biasanya memiliki kecepatan menulis lambat, dibandingkan dengan NAND flash.

Khas NOR Flash tidak memerlukan kode mengoreksi kesalahan .^[35]

NAND kenangan

Flash arsitektur NAND diperkenalkan oleh Toshiba pada tahun 1989.^[36] kenangan ini diakses seperti perangkat blok , seperti hard disk. Setiap blok terdiri dari sejumlah halaman. Halaman biasanya 512^[37] atau 2.048 atau 4.096 byte dalam ukuran. Terkait dengan setiap halaman adalah beberapa byte (biasanya 1/32 dari ukuran data) yang dapat digunakan untuk penyimpanan dari kode mengoreksi kesalahan (ECC) checksum .

ukuran blok khas meliputi:

- 32 halaman dari 512 + 16 byte masing-masing untuk ukuran blok 16 kB
- 64 halaman 2048 + 64 byte masing-masing untuk ukuran blok 128 kB^[38]
- 64 halaman 4.096 + 128 byte masing-masing untuk ukuran blok 256 kB^[39]
- 128 halaman 4.096 + 128 byte masing-masing untuk ukuran blok 512 kB.

Sementara membaca dan pemrograman dilakukan secara halaman, penghapusan hanya dapat dilakukan atas dasar blok. ^[40]

Perangkat NAND juga memerlukan manajemen blok buruk dengan software driver perangkat, atau terpisah kontroler Chip. Kartu SD, misalnya, termasuk pengontrol sirkuit untuk melakukan pengelolaan blok buruk dan mengenakan leveling . Ketika sebuah blok logis diakses oleh perangkat lunak tingkat tinggi, itu dipetakan ke blok fisik oleh driver perangkat atau controller. Sejumlah blok pada chip flash mungkin disisihkan untuk menyimpan tabel pemetaan untuk menangani blok buruk, atau sistem mungkin hanya memeriksa setiap blok di power-up untuk membuat peta blok buruk di RAM. Kapasitas memori secara keseluruhan secara bertahap menyusut karena lebih banyak blok ditandai sebagai buruk.

NAND bergantung pada ECC untuk mengkompensasi bit yang mungkin secara spontan gagal selama operasi perangkat normal. Sebuah ECC khas akan memperbaiki kesalahan satu-bit di setiap 2048 bit (256 byte) menggunakan 22 bit ECC, atau kesalahan satu-bit di setiap 4096 bit (512 byte) menggunakan 24 bit ECC. ^[41] Jika ECC tidak dapat memperbaiki kesalahan selama membaca, mungkin masih mendeteksi kesalahan. Ketika melakukan menghapus atau program operasi, perangkat dapat mendeteksi blok yang gagal untuk program atau menghapus dan menandai mereka buruk. Data tersebut kemudian ditulis ke yang berbeda, blok yang baik, dan peta blok buruk diperbarui.

Hamming kode yang ECC yang paling umum digunakan untuk SLC NAND flash. Kode Reed-Solomon kode dan Bose-Chaudhuri-Hocquenghem biasanya digunakan ECC untuk MLC NAND flash. Beberapa flash chip MLC NAND internal menghasilkan BCH kode koreksi kesalahan yang tepat. ^[35]

Kebanyakan perangkat NAND dikapalkan dari pabrik dengan beberapa blok buruk. Ini biasanya ditandai sesuai dengan menandai strategi ditentukan blok buruk. Dengan membiarkan beberapa blok buruk, produsen mencapai hasil yang jauh lebih tinggi daripada yang mungkin jika semua blok harus diverifikasi baik. Hal ini secara signifikan mengurangi biaya NAND flash dan hanya sedikit mengurangi kapasitas penyimpanan bagian.

Ketika menjalankan perangkat lunak dari kenangan NAND, memori virtual strategi yang sering digunakan: isi memori pertama harus paged atau disalin ke RAM memori-dipetakan dan dieksekusi di sana (yang mengarah ke kombinasi umum NAND + RAM). Sebuah unit manajemen memori (MMU) dalam sistem membantu, tetapi ini juga dapat dicapai dengan overlay . Untuk alasan ini, beberapa sistem akan menggunakan kombinasi NOR dan kenangan NAND, di mana lebih kecil NOR memori digunakan sebagai software ROM dan memori NAND yang lebih besar dipartisi dengan file system untuk digunakan sebagai tempat penyimpanan data non-volatile.

NAND mengorbankan random-access dan melaksanakan-di-tempat keuntungan dari NOR. NAND paling cocok untuk sistem yang membutuhkan penyimpanan data berkapasitas tinggi. Ia menawarkan kepadatan tinggi, kapasitas yang lebih besar, dan biaya yang lebih rendah. Memiliki menghapus lebih cepat, menulis sekuensial, dan dibaca berurutan.

Standardisasi

Sebuah kelompok yang disebut NAND flash Kelompok Kerja Antarmuka Terbuka (ONFI) telah mengembangkan antarmuka tingkat rendah standar untuk chip NAND flash. Hal ini memungkinkan interoperabilitas antara sesuai perangkat NAND dari vendor yang berbeda. The ONFI spesifikasi versi 1.0 ^[42] dirilis pada 28 Desember 2006. Ini menentukan:

- antarmuka standar fisik (pinout) untuk NAND flash dalam TSOP -48, WSOP-48, LGA -52, dan BGA -63 paket

- perintah set standar untuk membaca, menulis, dan menghapus NAND flash chip
- mekanisme untuk identifikasi diri (sebanding dengan deteksi kehadiran seri fitur modul memori SDRAM)

Kelompok ONFI didukung oleh produsen utama NAND flash, termasuk Hynix , Intel , Micron Technology , dan Numonyx , serta oleh produsen utama perangkat menggabungkan chip NAND flash. ^[43]

Dua utama produsen perangkat flash, Toshiba dan Samsung , telah memilih untuk menggunakan antarmuka desain mereka sendiri dikenal sebagai Beralih Mode (dan sekarang Beralih V2.0). Interface ini tidak pin-to-pin yang kompatibel dengan spesifikasi ONFI. Hasilnya adalah produk yang dirancang untuk perangkat satu vendor mungkin tidak dapat menggunakan perangkat vendor lain. ^[44]

Sekelompok vendor, termasuk Intel , Dell , dan Microsoft , membentuk Memory host Non-Volatile Controller Interface (NVMHCI) Kelompok Kerja. ^[45] Tujuan dari kelompok ini adalah untuk menyediakan perangkat lunak standar dan antarmuka pemrograman hardware untuk subsistem memori nonvolatile, termasuk "Flash cache" perangkat yang terhubung ke PCI Express bus.

Perbedaan antara NOR dan NAND Flash

NOR dan NAND Flash berbeda dalam dua cara penting:

- koneksi dari sel-sel memori individu berbeda
- antarmuka yang disediakan untuk membaca dan menulis memori berbeda (NOR memungkinkan acak-akses untuk membaca, NAND memungkinkan akses hanya halaman)

Kedua dihubungkan dengan pilihan desain yang dibuat dalam pengembangan NAND flash. Tujuan pembangunan flash NAND adalah untuk mengurangi area chip yang dibutuhkan untuk melaksanakan kapasitas tertentu memori flash, dan dengan demikian mengurangi biaya per bit dan meningkatkan kapasitas maksimum Chip sehingga memori flash bisa bersaing dengan perangkat penyimpanan magnetik seperti hard disk. ^[Kutipan diperlukan]

NOR dan NAND Flash mendapatkan nama mereka dari struktur interkoneksi antara sel-sel memori. ^[46] Dalam NOR flash, sel-sel yang terhubung secara paralel dengan garis bit, yang memungkinkan sel untuk dibaca dan diprogram secara individual. Koneksi paralel sel menyerupai sambungan paralel transistor dalam CMOS gerbang NOR. Dalam NAND flash, sel dihubungkan secara seri, menyerupai sebuah gerbang NAND. Koneksi seri mengkonsumsi lebih sedikit ruang dari yang paralel, mengurangi biaya NAND flash. Ini tidak, dengan sendirinya, mencegah sel-sel NAND dari yang dibaca dan diprogram secara individual.

Setiap NOR sel flash lebih besar dari sel NAND flash - $10 F^2$ vs $4 F^2$ - bahkan ketika menggunakan persis sama pembuatan perangkat semikonduktor dan sehingga setiap transistor, kontak, dll adalah persis sama ukuran-karena NOR Flash sel memerlukan kontak terpisah logam untuk setiap sel. ^[47]

Ketika NOR Flash dikembangkan, itu dibayangkan sebagai ROM lebih ekonomis dan nyaman ditulis ulang dari kontemporer EPROM dan EEPROM kenangan. Jadi sirkuit random-access membaca diperlukan. Namun, diharapkan bahwa NOR Flash ROM akan dibaca lebih sering daripada ditulis, sehingga menulis sirkuit termasuk

cukup lambat dan bisa menghapus hanya dalam mode blok-bijaksana. Di sisi lain, aplikasi yang menggunakan flash sebagai pengganti untuk disk drive tidak memerlukan alamat kata-tingkat menulis, yang hanya akan menambah kompleksitas dan biaya yang tidak perlu. ^[Rujukan?]

Karena sambungan seri dan penghapusan kontak wordline, kotak besar sel memori flash NAND akan menempati mungkin hanya 60% dari luas wilayah setara NOR sel ^[48](dengan asumsi yang sama CMOS resolusi proses, misalnya, 130 nm , 90 nm, atau 65 nm). Desainer flash NAND realisasi bahwa daerah chip NAND, dan dengan demikian biaya, bisa lebih dikurangi dengan menghapus eksternal alamat dan data bus sirkuit. Sebaliknya, perangkat eksternal bisa berkomunikasi dengan flash NAND melalui sequential-diakses perintah dan data register, yang secara internal akan mengambil dan output data yang diperlukan. Pilihan desain ini dibuat random-access memory flash NAND tidak mungkin, tetapi tujuan dari flash NAND adalah untuk menggantikan mekanik hard disk , bukan untuk menggantikan ROM.

Atribut	NAND	MAUPUN
Aplikasi utama	penyimpanan file	eksekusi kode
Kapasitas penyimpanan	Tinggi	Rendah
Biaya per bit	Lebih baik	
Daya aktif	Lebih baik	
Daya siaga		Lebih baik
write Kecepatan	Baik	
Baca Kecepatan		Baik

Ketahanan menulis

Daya tahan menulis dari SLC floating-gerbang NOR flash biasanya sama dengan atau lebih besar dari NAND flash, sedangkan MLC NOR dan NAND Flash memiliki kemampuan daya tahan yang sama. Contoh penilaian siklus daya tahan yang tercantum dalam lembar data untuk NAND dan NOR Flash disediakan. ^[Rujukan?]

Jenis memori flash	Peringkat daya tahan (Menghapus per blok)	Contoh (s) dari memori flash
SLC NAND	100.000	Samsung OneNAND KFW4G16Q2M
MLC NAND	5.000 hingga 10.000 untuk aplikasi menengah kapasitas;	Samsung K9G8G08U0M (Contoh untuk aplikasi menengah kapasitas)

	1.000 sampai 3.000 untuk aplikasi berkapasitas tinggi	
TLC NAND	1.000	Samsung 840
SLC (floating-gate) NOR	100.000 sampai 1.000.000	Numonyx M58BW (Ketahanan wisatawan dari 100.000 menghapus per blok); Spansion S29CD016J (Peringkat Daya tahan dari 1.000.000 menghapus per blok)
MLC (floating-gate) NOR	100.000	Numonyx J3 Flash

Namun, dengan menerapkan algoritma tertentu dan paradigma desain seperti keawetan dan memori over-provisioning , daya tahan sistem penyimpanan dapat disetel untuk melayani kebutuhan spesifik. ^[2] ^[49]

Perhitungan daya tahan NAND flash memory adalah subjek menantang yang tergantung pada memori SLC / MLC / TLC jenis serta pola penggunaan. Untuk menghitung umur panjang flash NAND, satu harus memperhitungkan ukuran chip memori, jenis memori (misalnya SLC / MLC / TLC), dan menggunakan pola.

Sistem file flash

Artikel utama: sistem file flash

Karena karakteristik tertentu dari memori flash, yang terbaik adalah digunakan dengan baik controller untuk melakukan keawetan dan koreksi kesalahan atau dirancang khusus sistem file flash, yang tersebar menulis di atas media dan berurusan dengan waktu menghapus panjang NOR blok flash. ^[50] konsep dasar di balik sistem file flash adalah sebagai berikut: ketika toko nyala dapat diperbarui, sistem file akan menulis salinan baru dari data yang diubah ke blok segar, remap pointer file, kemudian menghapus blok tua nanti saat ada waktu.

Dalam prakteknya, sistem file flash yang digunakan hanya untuk perangkat teknologi memori (MTDs), yang tertanam flash kenangan yang tidak memiliki controller. Removable flash memory card dan USB flash drive memiliki built-in controller untuk melakukan keawetan dan koreksi kesalahan sehingga penggunaan sistem file flash tertentu tidak menambahkan manfaat apapun.

Kapasitas

Beberapa chip sering yang merespon untuk mencapai kapasitas yang lebih tinggi ^[51] untuk digunakan dalam perangkat elektronik konsumen seperti pemutar multimedia atauGPSs . Kapasitas flash chip umumnya mengikuti Hukum Moore karena mereka diproduksi dengan banyak sama sirkuit terpadu teknik dan peralatan.

Perangkat konsumen penyimpanan flash biasanya diiklankan dengan ukuran yang dapat digunakan dinyatakan sebagai kekuatan bilangan bulat kecil dua (2, 4, 8, dll) dan penunjukan megabyte (MB) atau gigabyte (GB); misalnya, 512 MB, 8 GB. Ini termasuk SSD dipasarkan sebagai pengganti hard drive, sesuai dengan

tradisional hard drive , yang menggunakan awalan desimal .^[52] Dengan demikian, SSD ditandai sebagai "64 GB " setidaknya 64×1.000^3 byte (64 GB). Sebagian besar pengguna akan memiliki kapasitas yang sedikit kurang dari ini tersedia untuk file mereka, karena ruang yang diambil oleh metadata file system.

Chip memori flash di dalamnya yang berukuran dalam kelipatan biner yang ketat, tetapi total kapasitas sebenarnya dari chip tidak bisa digunakan pada antarmuka drive. Hal ini jauh lebih besar dari kapasitas diiklankan untuk memungkinkan untuk distribusi menulis (memakai leveling), untuk hemat, untuk kode koreksi kesalahan , dan untuk lainnya metadata yang dibutuhkan oleh firmware internal perangkat.

Pada tahun 2005, Toshiba dan SanDisk mengembangkan NAND chip flash mampu menyimpan 1 GB data menggunakan multi-level cell (MLC) teknologi, mampu menyimpan dua bit data per sel. Pada bulan September 2005, Samsung Electronics mengumumkan bahwa mereka telah mengembangkan pertama Chip 2 GB di dunia.^[53]

Pada bulan Maret 2006, Samsung mengumumkan flashdisk hard drive dengan kapasitas 4 GB, pada dasarnya urutan yang sama besarnya sebagai hard drive laptop yang lebih kecil, dan pada bulan September 2006, Samsung mengumumkan chip 8 GB diproduksi menggunakan proses manufaktur 40 nm.^[54] pada bulan Januari 2008, SanDisk mengumumkan ketersediaan mereka GB MicroSDHC 16 dan 32 GB kartu SDHC Plus.^{[55] [56]}

Lebih baru flash drive (per 2012) memiliki kapasitas yang jauh lebih besar, memegang 64, 128, dan 256 GB.^[57]

Sebuah pembangunan bersama di Intel dan Micron akan memungkinkan produksi 32 lapisan 3,5 terabyte (TB) flash NAND tongkat dan 10 TB berukuran standar SSD. Perangkat ini meliputi 5 paket dari 16 x 48 GB TLC meninggal, menggunakan desain gerbang sel mengambang.^[58]

flash chip terus diproduksi dengan kapasitas di bawah atau sekitar 1 MB, misalnya, untuk BIOS-ROM dan aplikasi embedded.

Kecepatan transfer

Perangkat memori flash biasanya jauh lebih cepat dalam membaca daripada menulis.^[59] Kinerja juga tergantung pada kualitas pengontrol penyimpanan yang menjadi lebih kritis ketika perangkat sebagian penuh.^[59] Bahkan ketika perubahan hanya untuk manufaktur adalah mati-menyusut, tidak adanya kontrol yang tepat dapat mengakibatkan kecepatan terdegradasi.^[60]

Aplikasi

Serial Flash

Serial Flash adalah, rendah daya memori flash kecil yang menggunakan interface serial, biasanya Serial Peripheral Interface Bus (SPI), untuk akses data berurutan. Ketika dimasukkan ke dalam sistem embedded , flash serial memerlukan lebih sedikit kabel pada PCB dari flash kenangan paralel, karena mentransmisikan dan menerima data satu bit pada satu waktu. Ini dapat mengizinkan pengurangan ruang dewan, konsumsi daya, dan biaya total sistem.

Ada beberapa alasan mengapa perangkat serial, dengan pin yang lebih sedikit eksternal dari perangkat paralel, secara signifikan dapat mengurangi biaya keseluruhan:

- Banyak Asics adalah pad-terbatas, yang berarti bahwa ukuran die dibatasi oleh jumlah ikatan kawat bantalan, daripada kompleksitas dan jumlah gerbang yang digunakan untuk logika perangkat. Menghilangkan bantalan obligasi sehingga memungkinkan sirkuit terpadu yang lebih kompak, pada die yang lebih kecil; ini meningkatkan jumlah mati yang dapat dibuat pada wafer, dan dengan demikian mengurangi biaya per mati.
- Mengurangi jumlah pin eksternal juga mengurangi perakitan dan kemasan biaya. Sebuah perangkat serial dapat dikemas dalam paket yang lebih kecil dan lebih sederhana daripada perangkat paralel.
- paket pin-hitung lebih kecil dan lebih rendah menempati lebih sedikit area PCB.
- Perangkat pin-count rendah menyederhanakan PCB routing yang.

Ada dua SPI jenis flash utama. Jenis pertama ditandai dengan halaman kecil dan satu atau lebih buffer halaman SRAM internal yang memungkinkan halaman lengkap untuk dibaca ke buffer, sebagian dimodifikasi, dan kemudian ditulis kembali (misalnya, Atmel AT45 *DataFlash* atau Micron Technology Halaman Erase NOR Flash). Jenis yang kedua sektor yang lebih besar. Sektor terkecil biasanya ditemukan di flash SPI adalah 4 kB, tetapi mereka dapat sebagai besar sebagai 64 kB. Sejak flash SPI tidak memiliki buffer SRAM internal, halaman lengkap harus dibaca dan dimodifikasi sebelum ditulis kembali, sehingga lambat untuk mengelola. *SPI Flash* lebih murah daripada *DataFlash* dan karena itu adalah pilihan yang baik saat aplikasi adalah kode membayangi.

Dua jenis yang tidak mudah ditukar, karena mereka tidak memiliki pinout yang sama, dan perintah set tidak kompatibel.

Penyimpanan firmware

Dengan peningkatan kecepatan CPU modern, perangkat flash paralel sering jauh lebih lambat dibandingkan dengan bus memori komputer mereka terhubung ke. Sebaliknya, modern SRAM menawarkan waktu akses di bawah 10 ns, sedangkan DDR2 SDRAM menawarkan waktu akses di bawah 20 ns. Karena ini, sering diinginkan untuk bayangankode yang tersimpan dalam flash ke RAM; yaitu, kode disalin dari flash ke RAM sebelum eksekusi, sehingga CPU dapat mengaksesnya dengan kecepatan penuh. Perangkatfirmware dapat disimpan dalam perangkat flash serial, dan kemudian disalin ke SDRAM atau SRAM bila perangkat bertenaga-up.^[61] Menggunakan perangkat flash serial eksternal daripada on-chip Flash menghilangkan kebutuhan untuk proses kompromi signifikan (a proses yang baik untuk logika kecepatan tinggi umumnya tidak baik untuk flash dan sebaliknya). Setelah itu memutuskan untuk membaca firmware sebagai satu blok besar itu adalah umum untuk menambahkan kompresi untuk memungkinkan flash chip yang lebih kecil untuk digunakan. Aplikasi yang umum untuk flash serial termasuk menyimpan firmware untuk hard drive, Ethernet controller, modem DSL, perangkat jaringan nirkabel, dll

Memori flash sebagai pengganti hard drive

Artikel utama: Drive Solid-state

Salah satu aplikasi yang lebih baru untuk memori flash sebagai pengganti hard disk. Memori flash tidak memiliki keterbatasan mekanik dan latency dari hard drive, sehinggasolid-state drive (SSD) menarik ketika mempertimbangkan kecepatan, kebisingan, konsumsi daya, dan kehandalan. Flash drive yang mendapatkan traksi sebagai perangkat penyimpanan sekunder perangkat mobile; mereka juga digunakan sebagai pengganti hard drive di komputer desktop berkinerja tinggi dan beberapa server dengan RAID danSAN arsitektur.

Masih ada beberapa aspek SSD berbasis flash yang membuat mereka tidak menarik. Biaya per gigabyte memori flash tetap secara signifikan lebih tinggi dari hard disk.^[62] Juga memori flash memiliki jumlah terbatas siklus P / E, tapi ini tampaknya menjadi saat di bawah kendali karena jaminan pada SSD berbasis flash mendekati mereka . hard drive saat ini^[63] Selain itu, dihapus file pada SSD dapat tetap untuk waktu yang tidak terbatas sebelum ditimpa oleh data baru; penghapusan atau rusak teknik atau perangkat lunak yang bekerja dengan baik pada hard disk drive magnetik tidak berpengaruh pada SSD, mengorbankan keamanan dan pemeriksaan forensik.

Untuk database relasional atau sistem lain yang memerlukan ACID transaksi, bahkan jumlah yang sederhana penyimpanan flash dapat menawarkan pemercepat luas lebih dari array disk drive.^{[64] [65]}

Pada bulan Juni 2006, Samsung Electronics merilis PC pertama memori flash berbasis, Q1-SSD dan Q30-SSD, yang keduanya digunakan 32 GB SSD, dan paling tidak pada awalnya hanya tersedia di Korea Selatan .^[66]

Sebuah solid-state drive ditawarkan sebagai pilihan dengan yang pertama Macbook Air diperkenalkan pada tahun 2008, dan dari 2010 dan seterusnya, semua laptop Macbook Air dikirimkan dengan SSD. Mulai pada akhir 2011, sebagai bagian dari Intel 's Ultrabook inisiatif, peningkatan jumlah laptop ultra tipis sedang dikirim dengan standar SSD.

Ada juga teknik hybrid seperti hybrid drive dan ReadyBoost yang mencoba untuk menggabungkan keunggulan dari kedua teknologi, menggunakan lampu kilat sebagai kecepatan tinggi non-volatile Cache untuk file pada disk yang sering dirujuk, tapi jarang dimodifikasi, seperti aplikasi dan sistem operasi executable file.

Flash memori RAM

Pada 2012, ada upaya untuk menggunakan memori flash sebagai memori komputer utama, DRAM .^[67]

Arsip atau jangka panjang penyimpanan

Tidak jelas berapa lama memori flash akan bertahan di bawah kondisi-yaitu arsip, suhu jinak dan kelembaban akses jarang dengan atau tanpa menulis ulang profilaksis. Bukti anekdotal^[menentukan] menunjukkan bahwa teknologi ini cukup kuat pada skala tahun.^[Rujukan?] Datasheets berbasis flash "Atmel ATmega " mikrokontroler biasanya menjanjikan waktu retensi dari 20 tahun pada 85 ° C dan 100 tahun pada 25 ° C .^[68]

Sebuah artikel dari CMU pada tahun 2015 menulis bahwa "perangkat flash hari ini, yang tidak memerlukan lampu kilat refresh, memiliki usia retensi khas 1 tahun pada suhu kamar." Dan suhu yang dapat menurunkan waktu retensi secara eksponensial. Fenomena ini dapat dimodelkan oleh hukum Arrhenius .^[69]