

Memórias baseadas em campo elétrico

Desenvolvimentos recentes visam:

- Não volatilidade
- Menores tempos de escrita/apagamento
- Maior número de ciclos escrita/apagamento
- Redução de dimensões
- Redução de tensões e potência
- Redução de custos

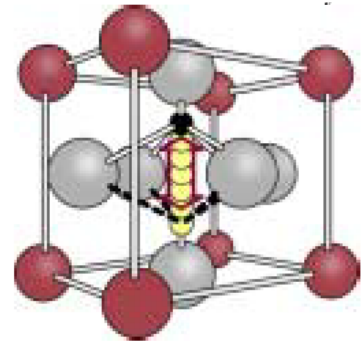
Memórias baseadas em campo elétrico

Principais tipos:

- FeRAM: *Ferroelectric RAM*
- MRAM: *Magnetic RAM*
- PRAM: *Phase Change RAM*
- SONOS: *Semiconductor-Oxide-Nitride-Oxide-Semiconductor*
- NRAM: *Nano RAM*
- Memristor: *Memory Resistor*

FeRAM

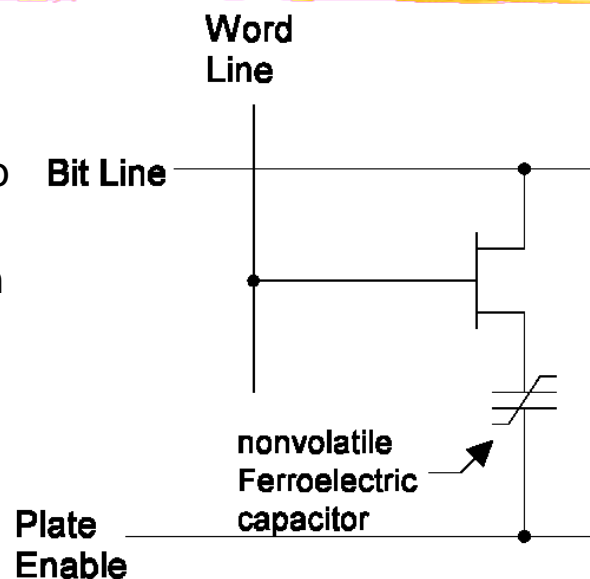
- Tipo de memória RAM não volátil que usa um material ferroelétrico para reter cargas
- Átomo central pode mover-se na molécula através de campo elétrico
- Na ausência de campo elétrico átomo permanece estável na molécula
- Efeito eletricamente semelhante a uma bateria
- retenção da posição do átomo na molécula por anos



Molécula de Perovskita

FeRAM

- Estrutura da célula básica
 - Semelhante à DRAM
 - O capacitor possui dielétrico de Perovskita
 - gravação: tensão aplicada na BL et WL ativa
 - Leitura: verificação do estado do átomo
 - aplicação de rampa de tensão
 - Verificação de spike na transição



FeRAM

- Vantagens:
 - Tempos de acesso da DRAM com não volatilidade
 - Não necessário refresh
 - 10^{14} ciclos de escrita/apagamento
- Desvantagens
 - Processo de leitura do bit relativamente complexo
 - Tecnologia relativamente complexa: CMOS + cristal de Perovskita => maior custo, menor densidade
- Fabricantes: TI & Ramtron, Fujitsu
 - Chip de maior capacidade: 4 Mbit, 55ns, 130 nm

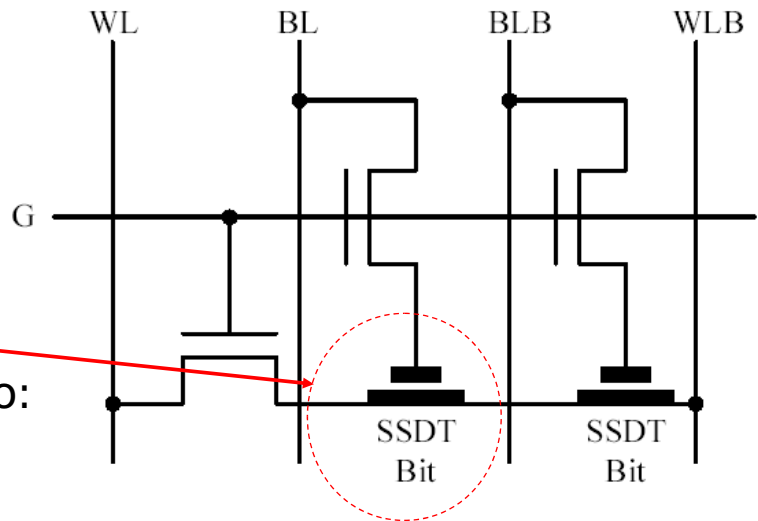
MRAM

- Tipo de memória RAM não volátil que usa um material ferromagnético (ímã) para reter estado magnético
- Conversão magnético-elétrico: magnetoresistor
- Conversão elétrico-magnético: campo magnético gerado pela corrente
- Retenção dos dados por anos

MRAM

■ Estrutura

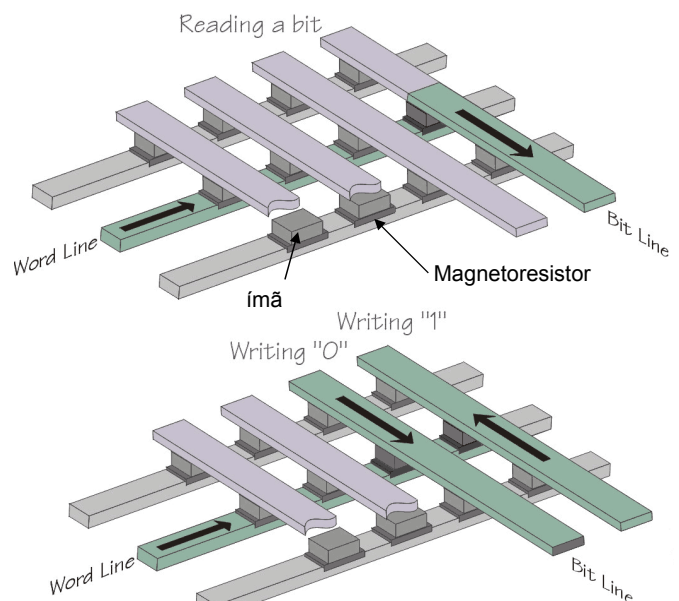
- Diferencial: 2T/2MR
- Acesso linha/coluna: NMOS
- Célula de armazenamento: ímã+MR



MRAM

■ Acesso

- Leitura: medida da resistência do magnetoresistor (baixa corrente)
- Escrita: corrente aplicada gera campo que muda estado magnético (alta corrente)

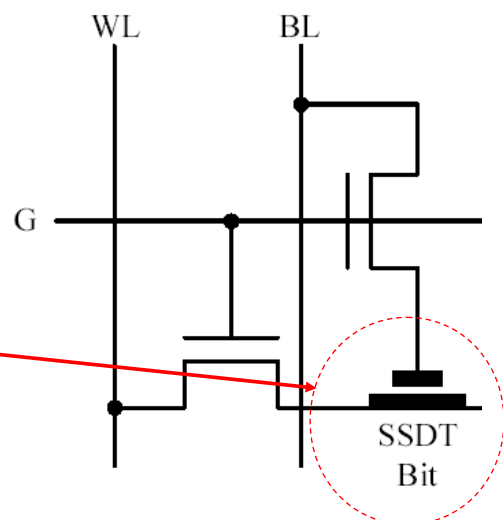


PRAM

- Tipo de memória RAM não volátil que usa um material (Chalcogenide - GeSbTe) que altera sua resistência pela mudança de fase: cristalina: baixa R; amorfa: alta R
- Mudança de fase por aquecimento (Joule)
- Retenção dos dados por anos
- Também chamada de: *Ovonic Unified Memory*
- Desenvolvida inicialmente por: Ovonyx
- Material semelhante ao usado em CD's

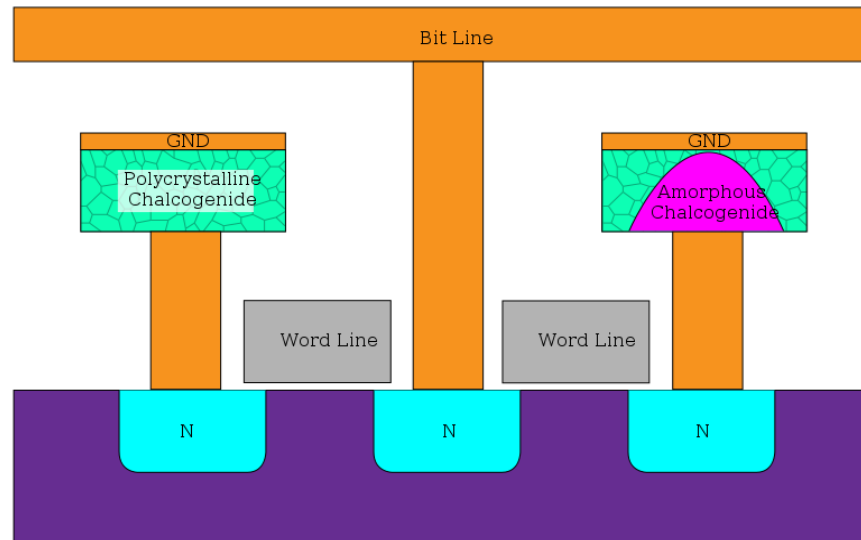
PRAM

- Estrutura
 - Célula: 1T/1PCR
 - Acesso linha/coluna: NMOS
 - Célula de armazenamento: PCR



PRAM

Estrutura



PRAM

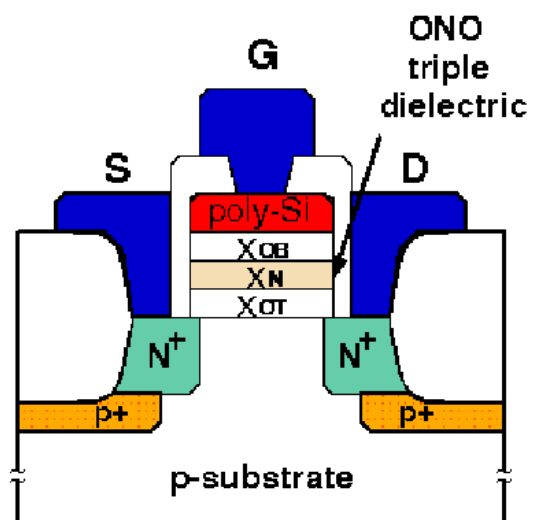
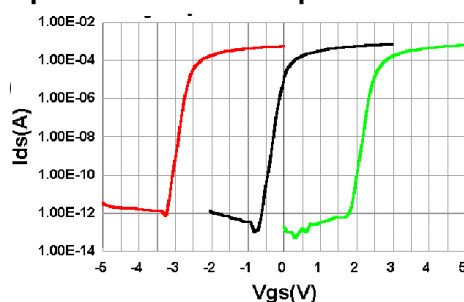
- Vantagens:
 - Alta escalabilidade (fácil redução de dimensões)
 - Alta imunidade a radiações
 - Não necessário refresh (menor consumo)
 - 10^7 ciclos de escrita/apagamento
- Desvantagens
 - Altas correntes para mudança de fase
 - Relativamente lenta para escrita/apagamento (μs)
- Pesquisa: Samsung, IBM, Intel, ST, Hynix
 - Protótipo: 512 Mbit, 130 nm (mercado: 2009)

SONOS

- Tipo de memória não volátil semelhante à EEPROM
- Cargas são armazenadas em dielétrico ao invés de porta flutuante
- Retenção dos dados por anos
- Mais robusta do que a EEPROM
- Maior escalabilidade

SONOS

- Estrutura
 - Cargas são armazenadas nas interfaces $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$
 - Injeção de cargas por "portadores quentes" :



SONOS

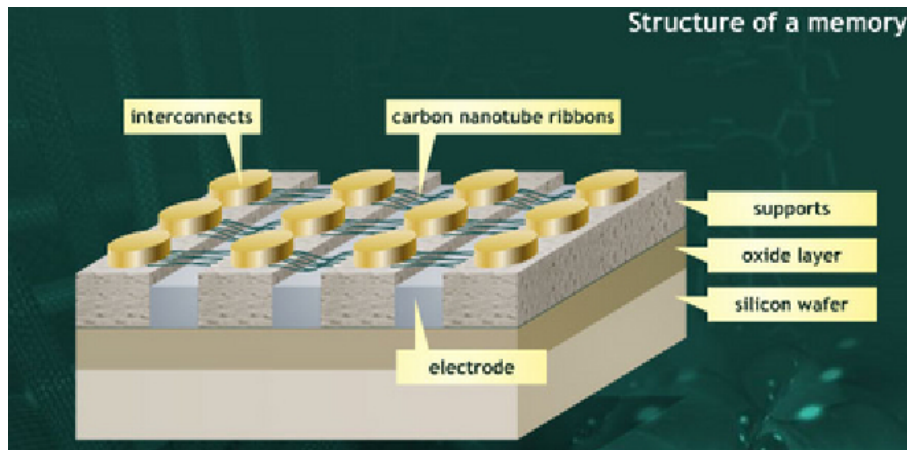
- Vantagens:
 - Alta escalabilidade (redução de dimensões)
 - Menores tensões para escrita/apagamento
 - 10^8 ciclos de escrita/apagamento
 - Imunidade à radiação
- Desvantagens
 - Cargas armazenadas em "traps" profundos na interface não podem ser removidas
- Pesquisa: Philips, Samsung, Hitachi

NRAM

- Baseada em contatos entre nano fios de carbono sobre superfície plana
- Forças de Van der Waal's mantém os nanotubos unidos (baixa resistência)
- Campo elétrico é usado para separá-los (alta resistência)

NRAM

■ Estrutura



NRAM

■ Vantagens:

- Alta densidade (semelhante às DRAM atuais)
- Menor consumo
- Não tem limite de ciclos de escrita/apagamento

■ Desvantagens

- Tecnologia em desenvolvimento

■ Pesquisa: Nantero

- Estado atual: célula de 22 nm, tempos ~3 ns
- Futuro: até 5 nm

Memristor

- Baseada na propriedade de certas estruturas condutoras em variar sua resistência após a passagem de uma corrente elétrica
- Descoberto em 1967 por Simmons e Verderber
- Introduzido por Leon Chua em 1971 como novo elemento fundamental de circuito com 2 terminais
- Demonstrado aplicação com matriz nanométrica em 2008 pelos laboratórios da HP

Memristor

- Elemento de 2 terminais onde o fluxo magnético entre os terminais é função da quantidade de carga elétrica que passa pelo dispositivo

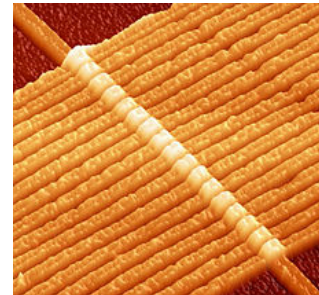
$$M(q) = \frac{d\Phi_m}{dq}$$

$$M(q(t)) = \frac{d\Phi_m/dt}{dq/dt} = \frac{V(t)}{I(t)} \quad V(t) = M(q(t))I(t)$$



Memristor

- Estrutura da HP: matrix de 17x1 memristores de TiO_2 dopado com O_2
- Corrente elétrica DC move íons de O_2 que altera a resistência do dispositivo
- Corrente AC de baixa amplitude é usada para ler a resistência
- Densidades de 100 Gbits/cm².
- Movimento iônico "lento" se comparado com elétrons num semicondutor: velocidades < 1/10 das obtidas com memórias semicondutoras



Memristor

Outros tipos:

- **Magnetoresistores Spin torque (STT-RAM):** resistores cuja resistência pode ser alterada pela corrente através do movimento de paredes de domínio induzido pelo torque provocado pelo spin dos elétrons
- **Memristor polimérico:** variação da resistência de polímeros isolantes pela dopagem com íons através de aplicação de campo elétrico
- **Memristor de Manganita:** variação da resistência pela aplicação de pulsos de tensão. Resposta a pulsos de ns, possibilidade de multiníveis

STT-RAM

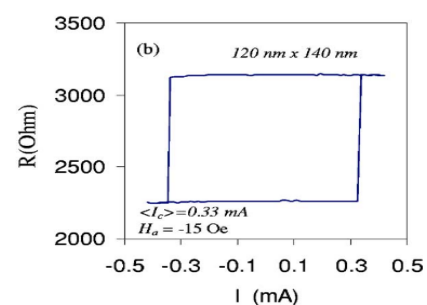
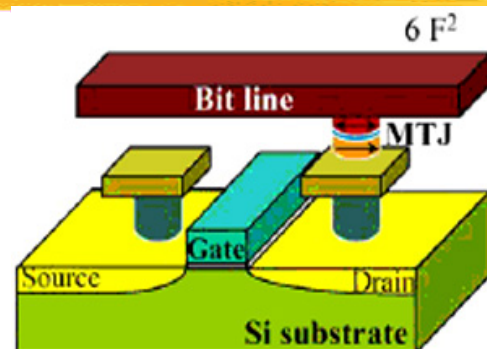
Spin Torque Transfer RAM:

- MRAM onde o processo de gravação é feito pela corrente elétrica polarizada em spin
- Usa junções tunel magnéticas como elementos de armazenamento de dado
- Processo de Escrita: elétrons polarizados em spin induzem torque que movimenta as paredes de domínio na junção (alta corrente)
- Processo de leitura: medida da resistência do magnetoresistor (baixa corrente)

STT-RAM

Estrutura:

- Bit-line é feita de material magnético (Fe, Co)
- Escrita:
 - Corrente pela Bit-line é polarizada em spin (\uparrow ou \downarrow)
 - Altera estado magnético e resistência da MTJ
- Leitura:
 - Baixa corrente aplicada para ler resistência da MTJ
 - Não altera o estado da MTJ



STT-RAM

Spin Torque Transfer RAM:

- Forte candidato para substituir DRAM e Flash
- Escalabilidade abaixo de 40 nm
- Lançamento comercial final de 2009
- Samsung & Hynix, IBM & TDK, Crocus, EverSpin, Grandis

Z-RAM

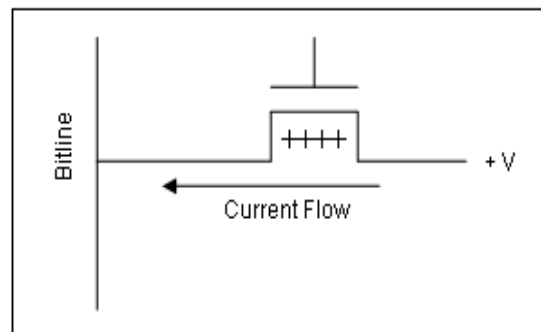
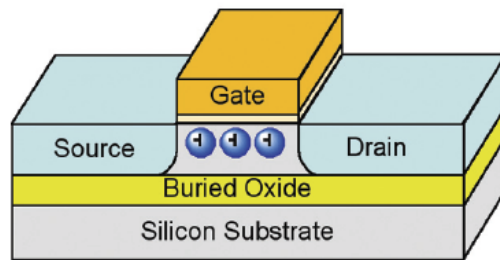
Zero capacitor RAM:

- DRAM onde o capacitor de armazenamento de cargas situa-se abaixo do dielétrico de porta
- Utiliza a tecnologia SOI (Silicon on Insulator)
- Não necessita de capacitor na célula
- Processo de leitura não destrói as cargas
- Tempos de refresh superiores às DRAM's
- Tempos de escrita/leitura comparáveis às DRAMS

Z-RAM

Estrutura:

- Substrato isolado do transistor por camada de SiO_2
- Escrita:
- Acúmulo de cargas no SiO_2
- Altera o V_t do MOSFET
- Leitura:
- Corrente I_d será proporcional ao V_t
- Não altera as cargas no SiO_2



Z-RAM

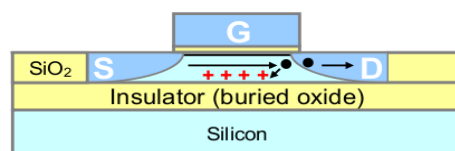
Escrita "1":

- Tensão positiva no Dreno
- Impact ionization: elétrons de alta energia se chocam com o Dreno e ionizam átomos do SiO_2
- Acúmulo de lacunas no SiO_2
- Redução do V_t

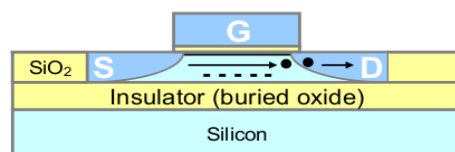
Escrita "0":

- Tensão negativa no Dreno
- Remoção das lacunas no SiO_2
- Aumento do V_t

Logic "1"



Logic "0"



Z-RAM

- Vantagens:
 - Tempos de acesso equivalentes aos da DRAM
 - Tempos maiores para *refresh* (menor consumo)
 - Não há limite de ciclos de escrita/apagamento
 - Escalabilidade com os transistores para dimensões inferiores a 40 nm
- Desvantagens
 - volatilidade
- Pesquisas: Innovative Silicon, AMD, Hynix

Z-RAM

Z-RAM – DRAM Comparison

<u>Parameter</u>	Z-RAM	DRAM
Cell Size	Smaller Cell	Larger Cell
Device	Single Transistor	Capacitor Structure
Mfg Process	Minor Changes to SOI Process	Capacitor Structure
Performance	Faster, More Options	Slower, Fewer Options
Power	Equivalent (Depends on Speed-Performance Tuning)	Equivalent