

(19)
(12)

(KR)
(A)

(51) 。 Int. Cl.⁷
G11C 11/22
G11C 11/00

(11)
(43)

10-2004-0104413
2004 12 10

(21) 10-2004-0039925
(22) 2004 06 02

(30)	10/453,137	2003 06 03	(US)
------	------------	------------	------

(71) 1076 1

(72)

95148	3569
-------	------

(74)

• •

(54)

3 . 가 , ,
1 , 1 .
0T - FeRAM

3

1 2020

2 FeRAM

3	4	B-B	3-D 0T-FeRAM	가
---	---	-----	--------------	---

4 3 A-A 3 3-D 0T-FeRAM 가 .

5 3 4 .

6 3-D 0T-FeRAM 1 .

7 3-D 0T-FeRAM 2

8 2 3-D 0T-FeRAM 가 .

< >

300 : 3 (3-D) 0T-FeRAM

301 :

302a, 302b :

303 :

304a, 304b :

305 :

306 :

307 :

308, 315 :

309 :

310 :

311a, 311b :

312a, 312b :

313a 313d :

316 :

317 :

500 :

501 :

502 :

(solid-state memory) ,
3 (3-D) .

1 2020 , 1 2002 'DEV' , 'RES'
가 , 1 , 3 (3-D) .
3.5 (HDD) . 300
mm HDD HDD가 DRAM 30% FLASH 10 가 DRAM F
LASH 100 3-D 1
60% 가 가
4가 HDD가 2가 3-D
HDD 4가 2가 PROBE M
ATRIX HDD (OUM : Ovonic Uni
versal Memory) - (0T - FeRAM : zero - Tra nsistor Ferroelectric Memory)
HDD , HDD 가 HDD 2
가 , DRAM()

1 :

SRAM

(SRAM : Static Random Access Memory) 6 MOSFET ,
MOSFET -
2002 IEEE IEDM Tech. Digest
707 J. Wang 'Does Source-to-Drain Tunneling Limit the Ultimate Scaling of MO
SFETs?' 가
2 nm , -k(k가) (high-k dielectric insulation)
가 , 가 5 6 nm
130 nm - (half-pitch)가 가 65 nm가
2020 11 nm http://pu
blic.itrs.net . 11 nm - 가 . 11
13 nm (EUV; Extreme-UV) F = k₁ /NA
(phase shift mask) 0.25 ,
(EUV) 0.55 (Nu
merical Aperture) , D. M. Williamson 'High Numerical Aperture Ring F
ield Optical Reduction System' 5,815,310 가
5 nm - 가 , 가
가 6 nm , k₁ = NA = 0.4가 , 11 nm .

SRAM 50F² , F = 11 nm 0.1 Tb/in² 가 .
SRAM 가 가

DRAM

(DRAM) MOSFET . DRAM .
 0.1 2002 IBM journal of Research and Development, vol.46 187 J. A. Mandelma
 'Challenges and Future Directions for the Scaling of Dynamic Random-Access Memory(D
 RAM)' , DRAM 가
 (radiation) 가
 가 30 fF 1989
 IEEE vol.77 374 A. F. Tasch 'Memory Cell and Technology Issues for
 64 and 256-Mbit One-Transistor Cell MOS DRAMs'
 DRAM , 가
 30 fF 가
 가 50:1
 가
 (BST) -k 가
 가 , -k
 , -k 가
 , DRAM 30 nm 가

HDD

, HDD 가 DRAM FLASH
 10 가 ,
 (field gradient) (head fly-height)
 , HDD $k_B T$ 가 (magnetic anisotropy ener
 gy) $K_u V$ 가 가
 (superparamagnetic limit)
 (330 K), 8 nm
 3 nm (coercivity)
 가
 10 20
 2002 IEEE Transactions of Magnetism, vol.38 1711 R. Wood
 'Recording Technologies for Terabit per Square Inch Systems'
 E Transactions of Magnetism, vol.38 1719 M. Mallary , 2002 IEE
 'One Terabit per Square I
 nch Perpendicular Recording Conceptual Design'
 가 1 Tb/in² 가
 가 (thermally-assisted recording)
 $k_B T$ 가 (Zeeman energy) $2H_A M$
 H_A
 4 nm
 (nanometer-scale heat spot)
 2 가
 1 Tb/in²
 (magnetic islands) (stamp) (e-b
 eam master)가 1 Tb/i
 n² 가 2 Micr
 oelectronic Engineering, vol.61-62 745 S. Yasin , 2002
 'Comparison of MIBK/IPA and
 Water/IPA as PMMA Developers for Electron Beam Nanolithography' 1

HDD 가 1 Tb/in² 가 , 2010

FLASH

FLASH 가 , FLASH , NAND , AND FLASH HDD가 ,
 50 FLASH 가 1/2 , FLASH 2 (two-bits-per-cell technology) ,
 가 , / FLASH
 , FLASH (granularity)
 , FLASH 가 10 , 2002 8 nm 가 Intel Technolo
 gy Journal, vol.6 23 A. Fazio 'ETOX Flash Memory Technology: Scaling and Inte
 gration Challenges' SRAM 4
 , FLASH 8
 NOR FLASH (drain-induce
 d barrier lowering) 65 nm ,
 A. Fazio , NAND FLASH
 40 nm
 , 2002 IEEE Electron Device Letters, vol.23 264 J. D. Lee
 'Effects of Floating Gate Interference on NAND Flash Memory Cell Operation'
 1 NAND FLASH 가 NAND NROM FL
 ASH 4 30 nm 가

PROBE

2-D (cantilever)가 'Mill
 ipede' IBM 2002 IEEE Transactions of Nanote
 chnology, vol.1 39 P. Vettiger 'The Millipede-Nanotechnology Entering Data Sto
 rage'
 HDD 100 kHz , PROBE 160,000 FLASH 1' , 4 MB/s
 , 5 mW 400 C , 4 MB/s 2W 가 , PROBE
 3 가 , PROBE (indent) 2 20
 2-D ,

, 2 가 가가 .
 가 , 가 1 .
 , PROBE 가 , IBM 가
 1 Tb/in² 가 1 Tb/in² 가 , 'Terabit
 1999 Applied Physics Letters vol.75 3566 E. B. Cooper
 -Per-Square-Inch Data Storage with the Atomic Force Microscope'
 가 10 Tb/in² 가 .
 , 2002 Applied Physics Letters vol.80 2225 E. Yenilmez
 'Wafer Scale Production of Carbon Nanotube Scanning Probe Tips for Atomic Force Microscopy'

OUM

(OUM)가 , 2002
 IEEE ISSCC Tech. Digest 202 M. Gill 'Ovonic Unified Memory - a High Performance Nonvolatile Memory Technology for Stand-Alone Memory and Embedded Applications'
 . OUM ()
)가 . OUM (400
 600 C)가 (50 ns)
 (nucleation)
 100
 OUM 가 FLASH 가
 100 2 가 가 1 2 OUM 가
 OUM - 가 가 , - (at
 omic-scale granularity) 가 가 ,
 가 10 nm 600 C 가 10⁻⁷ A/cm² OUM 가 ,
) , 10⁻⁸ A/cm² (,
 , 2002 IEEE Interconnect Technology Conference Proceedings 265
 G. Steinlesberger 'Copper Damascene Interconnects for the 65 nm Technology Node: A First Look at the Reliability Properties'
 가 가
 OUM 가
 가 OUM 3-D ,
 10⁻⁶ A/cm² , 1982
 Journal of Applied Physics, vol.53 5359 O. H. Kim 'Effects of High-Current Pulses on Polycrystalline Silicon Diode with N-Type Region Heavily Doped with both Boron and Phosphorus'
 10⁻⁵ A/cm²
 F. Gonzalez 'Three-Dimensional Container Diode for Use with Multi-State Material in a Non-Volatile Memory Cell'
 6,429,449

100 가 ,
 onzalez 6,429,449 가 F. G
 (via) OUM 가
 (SOI)
 2002 IEDM Tech. Digest(IEEE)
 943 K. W. Guarini 'Electrical Integrity of State-of-the-Art 0.13 μ m SOI CMOS Devices and Circuits Transferred for Three-Dimensional(3D) Integrated Circuit(IC) Fabrication'
 3-D IC 가 Canon
 ELTRAN 1997 IEICE. Trans. Electron
 vol.E80C 378 K. Sakagushi 'Current Progress in Epitaxial Layer Transfer(ELTRAN)'
 (cavity)
 (> 600 C)
 3-D (< 600 C) 가 3-D
 가 가 (CMP) 가
 3-D 가 OUM
 가 가
 , 3-D MOSFET OUM
 OUM 300 mm 5000 가
 70 mm² 1000 가 5 가 EUV 40 가
<http://www.sematech.org/public/resources/litho/coo/index.htm>
 5 가 600 가 가 SOI
 1000 가 700
 600 3 가 1800
 600 가 가
 60 가 가
 가 1 , OVM (1) 가 SOI () 3-D 4
 가 가 (3) 가 10 nm HDD (2)

MJT-MRAM 3D-MRAM

(MRAM) (MOSFET)
 MTJ(,)가
 2001 IEICE. Trans. Electron. vol. E84-C 740 K. Inom
 ata 'Present and Future of Magnetic RAM Technology'
 MRAM(MTJ-MRAM)
 MTJ MRAM 1
 가 가 2 MTJ 3
 MTJ 2 3
 가 1 MRAM 가

MTJ-MRAM 가
가
가 , 40 nm (cubeshaped magnetic bit
) $K_u = 50k_B T/V = 3.5 \times 10^4 \text{ ergs/cm}^3$, 1000 emu/cm³ 가
 $H_k = 2K_u/M = 70 \text{ Oe}$ 가 Stoner-Wohlfarth (magnetic reversal)
, H_k , 40 nm × 40 nm
(45)가 40 nm 70 Oe
 $j = (5/2)^{1/2} H_k/d = 6 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 가
 $1 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 가 MTJ-MRAM 40 nm
M 가 , MRA
MRAM 가 가
가
action of Magnetics, vol.36 2796 P. P. Freitas , 2000 IEEE Trans
for Memory and Read-Head Applications' 'Spin Dependent Tunnel Junctions'
가
 10^1 A/cm^2
RC

MTJ-MRAM 3-D , 5
12 가 , 2400 가 600
가 , 60% 가 , 12 가 , 3-D
, MRAM 가 ,

MATRIX

MATRIX - (anti-fuse)
2002 Scientific American, vol.286 52 T. H. Lee 'A Vertical Le
ap for Microchips' 가
3-D MRAM 3-D 가 . Matrix Semiconductor MAT
RIX 3-D 가
(1)
1 가 , (2) 가 가 .

1T-FeRAM

1T-FeRAM MOSFET , 2 (200)
가 . 1T-FeRAM 가
DRAM , 1998 Phy
sics Today, vol.51 22 O. Auciello 'The Physics of Ferroelectric Memories'
(1) 가 , (3)
가 , (2) 가 100 가
(polarization)가
가
1T-FeRAM 가, 가
(a gain cell)
IEICE. Trans. Electron. vol.E84-C 747 D. Takashima , 2001
end of Chain FeRAM Architecture' , 1T-FeRAM DRAM
, 10 nm 가
, 2.5 nm Pb(Zr, Ti)O₃ (PZT)
, 1996 Integrated Ferroelectrics, vol.12 161 T. Yamamoto
'Calculated Size Dependence of Ferroelectric Properties in PbZrO₃-PbTiO₃ System'
PZT 4 nm , 199
9 Applied Physics Letters, vol.75 856 T. Tybell 'Ferroelectric in T
hin Perovskite Films' , 13 nm
가 , 2002 Jpn. J. Appl. Phys. vol.41 L716
T. Kijima 'Si-Substituted Ultrathin Ferroelectric Films'

, 6 nm (scanned probe)
 2002 Applied Physics Letters, vol.81 4401 Y. Cho 'Tbit/inc
 h² Ferroelectric Data Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy'

가 , 2
 가 , 1 1T 0T-FeRAM 10 nm
 , 1T-FeRAM DRAM DRAM (perovskite)
 3-D
 3-D
 1 , , , 1 1
 가
 가 , 1 가
 가 , 가 ,
 1 1 2 , 2
 2 , 2
 가 ,
 1 , 1 2
 2 , 2
 가 , 2 가
 1 가 ,
 가 , 1
 3 , 3
 3 , 3
 가 , 3
 ,

2 , 3 ,
 1 3 , 1
 1 2 3
 2 2 1 1
 2 2
 3 , , 1
 1
 가 1
 가 1
 가 2 V가 가 1
 가 0 1 가 가 1
 가 , 1 가 가
 4 , ,
 1 1
 가 1
 가 1
 가 1
 가 2 V 가 1
 가 0 1 가 가 1
 가 , 1 V/3 가 2V/3 가
 0 가 V가 1 가
 '1' V/3 가 2V/3 가 0 가
 5 , 3
 , 1 1 3
 가
 3
 , 2

1, 2, 가, 1, 2, 가, 1, 0, 1, 가, 1, 가, 6, 3, 1, 1, 가, 3, 3, 2, 1, 2, 2, 2, 가, 2V/3, 가, 0, 가, 1, 1, 가, 2V/3, 가, V/3, 가, 0, 가, 가, 가, 가, OT - FeRAM, 3, (3-D), 가, 2, 3, 가, OT - FeRAM, 3-D, 1479, T. Nishihara, 2002, IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol.37, 'A Quasi-Matrix Ferroelectric Memory for Future Silicon Storage' (back-end processing), 8, 600 C, OT - FeRAM, 3-D, T. Nishihara, 가, 가, 가, 가

Nishihara

가 , 가 , 가 가

OT - FeRAM 3

40 EUV 가 , 16 1920 5000 가 1

080 가 가 , 60 가 , 16 가 .

2-D 10

OT - FeRAM 가 1 가

가

FeRAM , - (cross-bar)

O. Auciello 가 2

'201' (minor polarization loop)

MRA

M (half-select scheme) 가

MRAM

가 가

DRAM , FeRAM

2002 IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol.37 1479 T. Nishih

ara 'A Quasi-Matrix Ferroelectric Memory for Future Silicon Storage' T.

Nishihara 'Ferroelectric Memory and Method for Accessing Same' 6,301,

145

HDD FLASH 가

(

2

3 4 B-B 3-D OT-FeRAM (300)

가 3 가

4 3 A-A 3-D OT-FeRAM (300) 가

4

(300) 가

(301) (301) 3 4

2 (302a, 302b)가 3 (302a, 302b) 가

(303) (304a, 304b) (304)

(311)

3 (305) , (306) (306)

(300) (301) (306) 3

(305) (306)

(301)

가 가 4 가 (3)

07) (306) (307) (301)

3-D (307) (305) (306) (308)

(309) 2-D

3 4 4 가 , 가 가 가
16 가 . 가 가 .

(310) (304a, 304b),
(311a, 311b), (312a, 312b) 2-D (309)
(302a, 302b) (305) (314) MOSFET(304) (31
(313) (313a) .
1) (312) .

가 .

(307) (309) 3 2-D 가 . 4
(306) 가 . (307)
가 , (308) 가 .
(309) .

(307) (315) .
(300) .

(300) 가 .

(315) 가 .

(309) 2-D (316) ((313
317) 4 (313a 313d) , 3 2
a) (313a 313d) (302)가 가
(305) .

8 3-D 0T-FeRAM 가 (80
0) (801) . 8 2 (801) 8 (802a,
802b) (802a, 802b)가 (802)
(805) , (806) (806)
(806) (800) (801) (806) 8
(805) (806) (805) (80
1) 3 4 (300) , (807) 8
, (805) 가 가 . 8 4
(806) 가 16 가 .

(800)
(811) 3 4 (300) . (800)
(813) (801) (820) ,

(300) (500) . 1024 가
(501) (501) (502)
(309) (316) (503) .
(504)
(505) (320) (321)
(317) / (505)
가 , (320) (321) /
가 가 (500) (502)
(313) 128
(506) , (313

6 3 5 3-D 0T-FeRAM (300) (301b) 1 (6
00) (600) (601) (602) .
V/3 가 .

(601) , 3 (321b)(3) (RL) '603' '
604' (313a) (BL) 가 '606' ,
(317b) (CC1) '605' ,
(307b) (PL11) V가 가 ,
0 ('PL11' 1 1 (CC2)('607' 3
) PL12 V 가
2 (PLX2) '608' , 'X'

(301b) '0' , '609a' 가 (MT)(302b)
(302b) '1' 가
, '609b' (302b) 가 (304b)
(313a) ('1')
가 ('0' '1' '1'
(602) ('1024 ')
(302b) ('0' (601) , '610'

- (602) '611' (302) V/3
(CC2) '613' (306) '612' 2V/3(PLX2) .
0 ('615') , PL21 '614' 2V/3 PL11
(301b) '0' (302b) , '616a' V/3
('1' , 1024) ('616b') .
('1024 PLX2가 V/3
가 , 가 V/3

7 3 5 3-D 0T-FeRAM (300) (301b) 2 (70
2) (700) (701) 6 (601) (700) (701) 가 (70
- (702) '711' (302) V/3
- (602) (307) '712a', '712b' '712c'
2V/3 '713b' , (302) (301b) '1' V ,
(301b) '713a' '0' V/3 '714' , (307b) 가
307b) 0 (PLX2) ('1024 ')

6 7 가 , 가 6
(800)(8)
7 6 7 BL(V)
BL(I) (800) (MT) (BL)
, 8

4 16 1024 KB 64 ,
127 가

[, (305) (306)] , T. Kijima
(300)
가 s = 13 nm, P = 20 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, = 200 가 '1' '0'
V = 2 Ps/N 0 N . N = 6
4 , V 46 mV . 60 mV/ 가 ,

6

(300)

1 ns 가 , $C = M_0 A/s$, M 가 11
 nm $M = 1024$, $C = 17 \text{ fF}$, 0.5V 가 ,
 $2PA/V = 0.1 \text{ fF}$ 가 ,
 50 fF 가 , 10^{-7} A/cm^2 , $22 \times 11 \text{ nm}$
 24 μA 가 (slew-rate-limited)
 $CV/I = 1$, 2 ns
 (interface scattering) 가 ,
 $= 5 \mu\text{-cm}$, $22 \times 11 \text{ nm}$, 22 μm , 5 k , RC
 0.2 ns , 2 ns , HDD 1
 가 (100 fF) 2 /
 (17 fF) 4 1
 5 ns , 10 ns가 , /
 15 ns , 8KB 1 μs ,
 8 GB/s
 CV^2 , C 2V/3
 , PL11(6 7) / V/2
 , V/3 가 V/2가
 7 , 64 , 가 1
 , 1024 15 ns 0.5 pJ가 , 8 GB/s CV^2
 , OT-FeRAM HDD 1000 200 MB/s HDD 35 μW
 , OUM 가 600 C 가 10^{-7} A/OUM
 cm^2 , 12 μA , 11 nm \times 11 nm ,
 18 μW 가 , 50 ns , 1 , 1.5V ,
 pJ , OUM , OUM ,
 , OT-FeRAM OUM 2000 ,
 , 3-D , FLASH
 , 3-D 가 HDD
 DRAM ,
 가

(57)

.

10.

1 , 1 2 가
 , 2 ,
 ;

가 ,

2

2 , 2 가 .

11.

10 , , ;

3 , 1 3 가 ;

가 ,

3

3 가 ,
 , 3 가 .

12.

11 , , 가
 , .

13.

1 , 1 2 가 ,
 , 2 ,
 ;

가 ,

2

2 가 , 2 가 , .

14.

13 , , 가
 , .

15.

,
 , 1 1 ;
 3 ;

3 ;

2 ,

.

16.

15 , 1 ;

1 , 2
가 ,

2 ,
가

17.

15 , 3 ,

18.

1 1 1 ;
가 1 가 ; 가 가
가 ;

,

1 ;

2 V 가 ;
;

가
1 ;

0 1
1 가 ;

1 가

.

19.

18 , ,

1 ;

1 , 2
;

2 가 ,

2 ,
가

20.

가¹ 1 가¹ ; 가 가
가
;

V/3 가 ;
2V/3 가 ;
V 가 ;

1 '1'
0 가 ;
2V/3 가 ;
V/3 가 ;
0 가 ;
0 가

21.

20 , ,
1 ;
1 , 2
;
2 가 ,
2 가 ,

22.

가¹ 1 가¹ ;
가 가 가 3 ; 3
가 ; 2
,
가 1 ;
2 V 가 ;

;

0 가
 1 ;
 1 가 ;
 1 가

.

23.

22 ,
 .

24.

22 ,
 ,
1 ;
1 ,
 가 ,

2

2

가 ,

.

25.

 1 1 ;
가 가 가 가 ;
가 가 가 3 ; 3
 ;
 ;
 2

,

$V/3$ 가 ;

$2V/3$ 가 ;

V 가 ;

1 '1'

0 가 ;

$2V/3$ 가 ;

$V/3$ 가 ;

0 가 ;

0 가

.

26.

25

27.

25

1

1

가

2

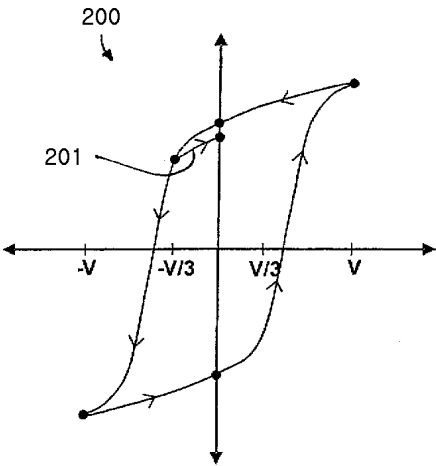
2

가

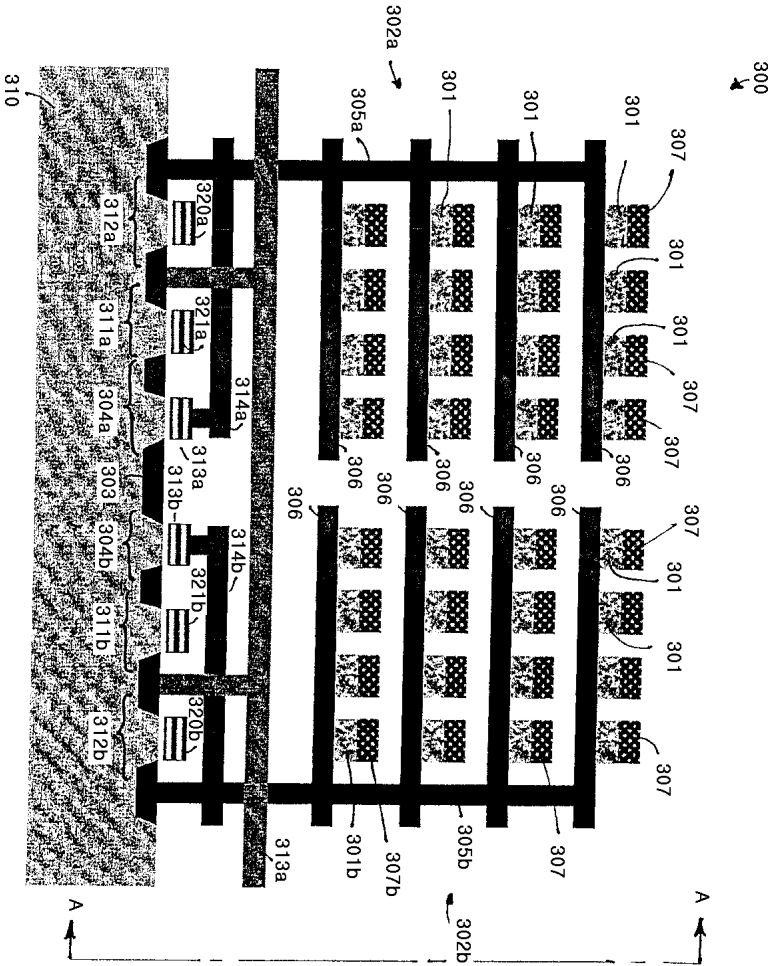
1

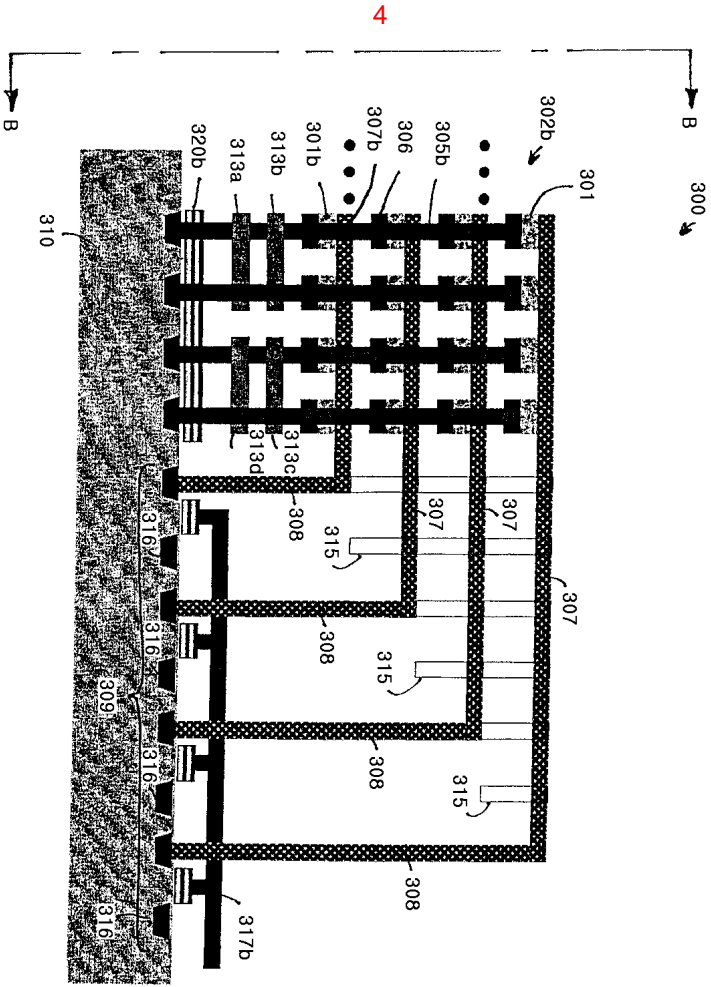
	SRAM	DRAM	HDD	FLASH	PROBE	QUM	MTJ-MRAM	3D-MRAM	MATRIX	1T FeRAM	0T FeRAM
셀 크기	50F ²	8F ²	5F ²	5F ²	5F ²	5F ²	8F ²	5F ²	5F ²	8F ²	5F ²
최소 "F"	10 nm	30 nm	10 nm	30 nm	3 nm	10 nm	40 nm	40 nm	10 nm	10 nm	10 nm
최대 비트/셀	1	1	1	4	1	2	1	1	1	1	1
최대 층수	1	1	1	1	1	4	1	12	12	1	16
최대 밀도	0.1 Tb/in ²	0.07 Tb/in ²	1 Tb/in ²	0.4 Tb/in ²	10 Tb/in ²	8 Tb/in ²	0.04 Tb/in ²	0.75 Tb/in ²	12 Tb/in ²	0.6 Tb/in ²	16 Tb/in ²
비움/면적(AU)	10	10	1	10	10	16	10	16	16	10	16
최소 비움/비트(AU)	100	140	1	22	1	2	250	20	1.3	15	1
데이터 보존	전력 공급	0.1 sec	> 10 yrs	> 10 yrs	> 10 yrs	> 10 yrs	> 10 yrs	> 10 yrs	> 10 yrs	> 10 yrs	> 10 yrs
내구성	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹²	10 ⁹	> 10 ⁵	> 10 ¹³	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	1	> 10 ¹⁴	> 10 ¹⁴
비비트 역제스	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
최소 편독 시간	0.2 ns	1 ns	10 ⁵ ns	5 ns	10 ⁵ ns	5 ns	1 ns	10 ⁴ ns	10 ⁴ ns	1 ns	5 ns
최소 기입 시간	0.2 ns	1 ns	10 ⁶ ns	10 ⁶ ns	10 ⁵ ns	50 ns	1 ns	10 ⁴ ns	10 ⁴ ns	1 ns	10 ns
비트당 기입 에너지	저-고	고	매우 높음	매우 높음	매우 높음	고	중-고	중-고	고	저	저
수익(2002)	40억 달러	170억 달러	200억 달러	80억 달러	DEV.	DEV.	DEV.	RES.	DEV.	1억 달러	RES.

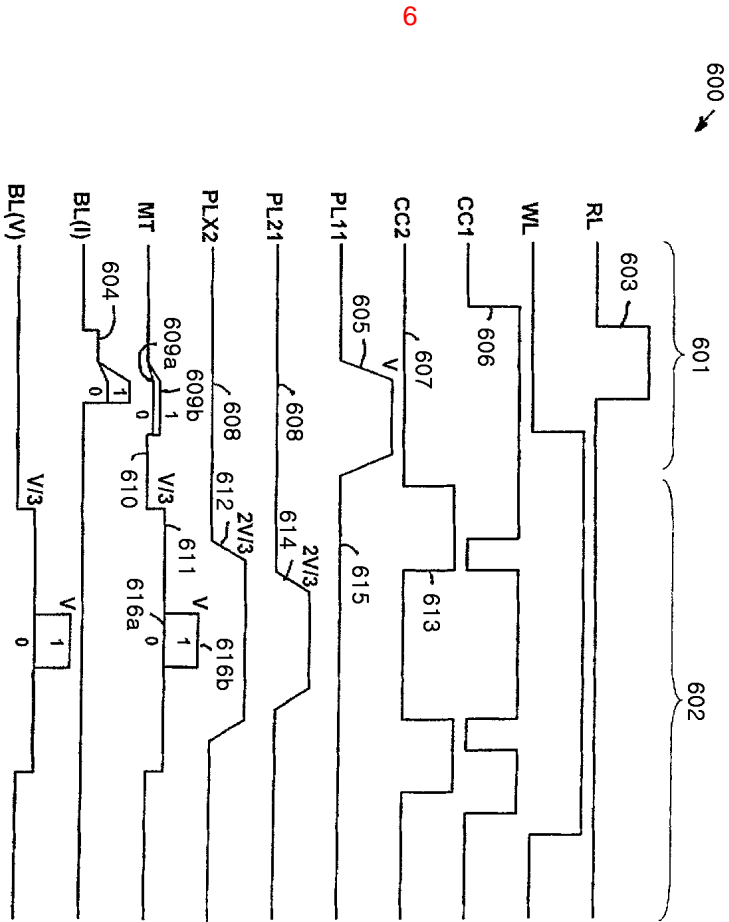
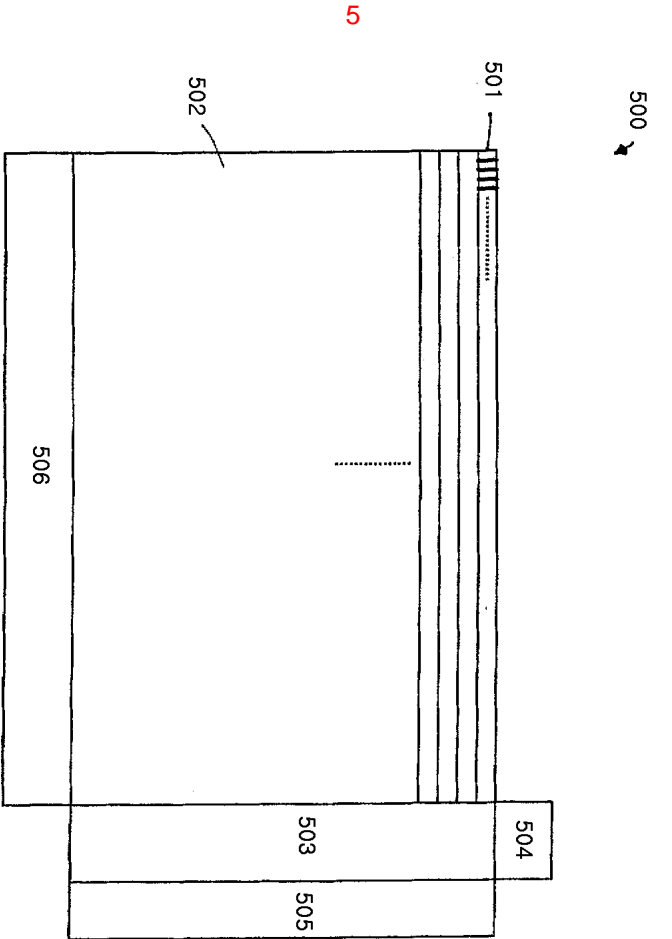
2



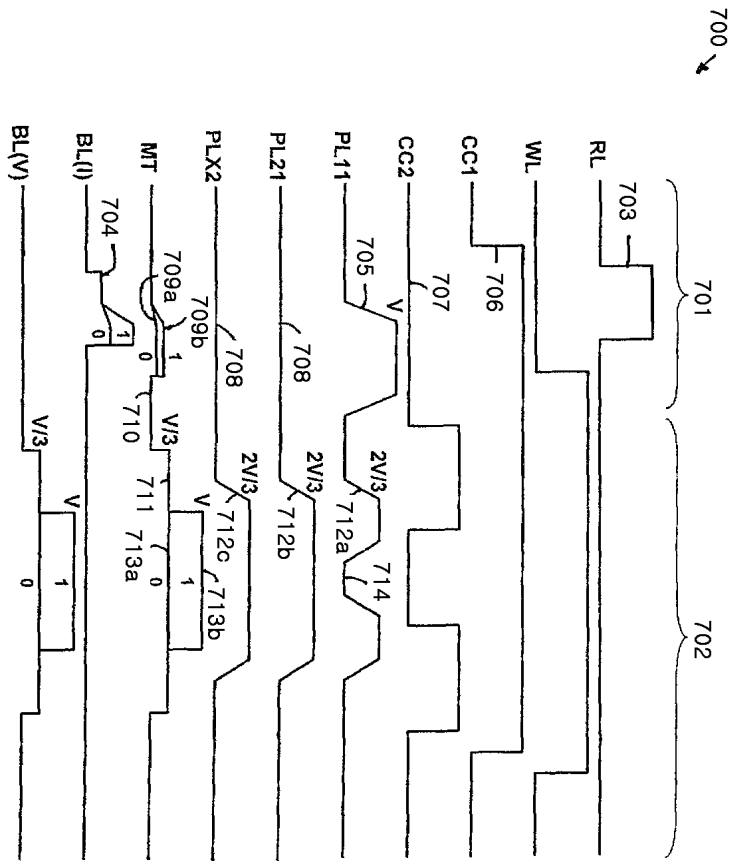
3







7



8

