

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年11月17日(17.11.2022)



(10) 国際公開番号

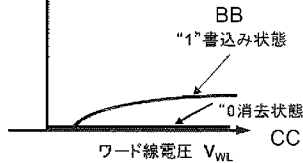
WO 2022/239228 A1

- (51) 国際特許分類:
G11C 16/04 (2006.01) H01L 21/8242 (2006.01)
G06F 12/00 (2006.01) H01L 27/10 (2006.01)
G11C 11/401 (2006.01) H01L 27/108 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/018409
- (22) 国際出願日: 2021年5月14日(14.05.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(USを除く全ての指定国について): ユニ
サンティス エレクトロニクス シンガポ
ール プライベート リミテッド(UNISANTIS
ELECTRONICS SINGAPORE PTE. LTD.) [SG/
SG]; 179098 ノースブリッジロード 1 1 1、ペ
ニンシュラ プラザ # 2 3 - 0 5 Plaza (SG).
- (72) 発明者; および
- (71) 出願人(USについてののみ): 作井 康司(SAKUI
Koji) [JP/JP]; 〒1020083 東京都千代田区麹町
1 丁目 3 番 7 号 日月館麹町ビル5階 S e
m i c o n C o n s u l t i n g 株式会
社内 Tokyo (JP). 原田 望(HARADA Nozomu)
[JP/JP]; 〒1020083 東京都千代田区麹町 1 丁目
3 番 7 号 日月館麹町ビル5階 S e m i c o n
C o n s u l t i n g 株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 田中 伸一郎, 外(TANAKA Shinichiro
et al.); 〒1008355 東京都千代田区丸の内 3

(54) Title: MEMORY DEVICE USING SEMICONDUCTOR ELEMENT

(54) 発明の名称: 半導体素子を用いたメモリ装置

(a) セル電流
I_{cell} (BL to SL Current) AA



$$I_{sat} = \frac{1}{2} \beta (V_g - V_{th})^2 \quad (10)$$

$$\beta = \mu \epsilon / t_{ox} \times (W/L) \quad (11)$$

μ : 移動度

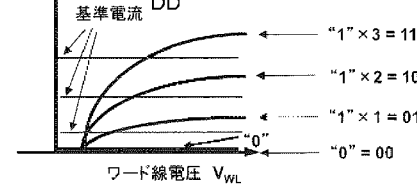
ϵ : 酸化膜の誘電率

t_{ox} : 酸化膜厚

W/L : トランジスタサイズ

(b)

ビット線電流



(a) Cell current

(b) Bit line current

t_{ox} Oxide film thickness

V_{WL} Word line voltage

W/L Transistor size

ϵ Dielectric constant of oxide film

μ Mobility

AA I_{cell} (BL to SL current)

BB "1" written state

CC "0" erased state

DD Reference current

(57) Abstract: This memory device is provided with a page made from multiple memory cells arranged in columns on a substrate. The memory device performs: a page write operation for holding a hole group, which is formed by an impact ionization phenomenon or by a gate-induced drain leakage current, inside a channel semiconductor layer by controlling voltages to be applied to a first gate conductor layer, a second gate conductor layer, a first impurity region, and a second impurity region of each of the memory cells contained in the page; and a page erase operation for removing the hole group from the inside of the channel semiconductor layer by controlling voltages to be applied to the first gate conductor layer, the second gate conductor layer, a third gate conductor layer, a fourth gate conductor layer, the first impurity region, and the second impurity region. The first impurity region of the memory cell is connected to a source line, the second impurity

丁目 3 番 1 号 新東京ビル 中村合同特
許法律事務所 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

region is connected to a bit line, one of the first gate conductor layer and the second gate conductor layer is connected to a word line, the other is connected to a drive control line, and the bit line is connected to a sense amplifier circuit via a switch circuit. Page data of a memory cell group selected by the word line is read into the sense amplifier circuit during a page read operation, and a voltage is applied to the drive control line such that a memory cell current flowing in the bit line of the memory cell group becomes N times higher (N is a positive integer) during a page product-sum read operation.

(57) 要約: メモリ装置は、基板上に列状に配列された複数のメモリセルからなるページを備え、前記ページに含まれる各メモリセルの、第1のゲート導体層と、第2のゲート導体層と、第1の不純物領域と、第2の不純物領域に印加する電圧を制御して、チャネル半導体層の内部に、インパクトイオン化現象、またはゲート誘起ドレインリーク電流により形成した正孔群を保持するページ書込み動作と、前記第1のゲート導体層と、前記第2のゲート導体層と、前記第3のゲート導体層と、前記第4のゲート導体層と、前記第1の不純物領域と、前記第2の不純物領域と、に印加する電圧を制御して、前記正孔群を前記チャネル半導体層の内部から除去するページ消去動作を行う。前記メモリセルの前記第1の不純物層は、ソース線と接続し、前記第2の不純物層は、ビット線と接続し、前記第1のゲート導体層と前記第2のゲート導体層のうちの一方はワード線と接続し、他方は駆動制御線と接続し、前記ビット線は、スイッチ回路を介してセンスアンプ回路に接続する。ページ読出し動作時には、前記ワード線で選択するメモリセル群のページデータを前記センスアンプ回路に読出し、ページ積和読出し動作時には、前記メモリセル群の前記ビット線に流れるメモリセル電流がN倍 (Nは正の整数) となるように前記駆動制御線に電圧を印加する。

明 細 書

発明の名称：半導体素子を用いたメモリ装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体素子を用いたメモリ装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、L S I (Large Scale Integration) 技術開発において、メモリ素子の高集積化と高性能化が求められている。

[0003] 通常のプレナー型MOSトランジスタでは、チャンネルが半導体基板の上表面に沿う水平方向に延在する。これに対して、SGTのチャンネルは、半導体基板の上表面に対して垂直な方向に延在する（例えば、特許文献1、非特許文献1を参照）。このため、SGTはプレナー型MOSトランジスタと比べ、半導体装置の高密度化が可能である。このSGTを選択トランジスタとして用いて、キャパシタを接続したDRAM (Dynamic Random Access Memory、例えば、非特許文献2を参照)、抵抗変化素子を接続したPCM (Phase Change Memory、例えば、非特許文献3を参照)、RRAM (Resistive Random Access Memory、例えば、非特許文献4を参照)、電流により磁気スピンの向きを変化させて抵抗を変化させるMRAM (Magnetoresistive Random Access Memory、例えば、非特許文献5を参照) などの高集積化を行うことができる。また、キャパシタを有しない、1個のMOSトランジスタで構成された、DRAMメモリセル（非特許文献7を参照）などがある。本願は、抵抗変化素子やキャパシタを有しない、MOSトランジスタのみで構成可能な、ダイナミック フラッシュ メモリに関する。

[0004] 図7 (a) ~ (d) に、前述したキャパシタを有しない、1個のMOSトランジスタで構成された、DRAMメモリセルの書込み動作を、図8 (a) と (b) に、動作上の問題点を、図9 (a) ~ (c) に、読出し動作を示す（非特許文献7 ~ 10を参照）。図7 (a) は、“1” 書込み状態を示している。ここで、メモリセルは、SOI基板100に形成され、ソース線SL

が接続されるソースN⁺層103（以下、ドナー不純物を高濃度で含む半導体領域を「N⁺層」と称する。）、ビット線BLが接続されるドレインN⁺層104、ワード線WLが接続されるゲート導電層105、MOSトランジスタ110のフローティングボディ（Floating Body）102により構成され、キャパシタを有さず、MOSトランジスタ110が1個でDRAMのメモリセルが構成されている。なお、フローティングボディ102直下には、SOI基板のSiO₂層101が接している。このMOSトランジスタ110、1個で構成されたメモリセルの“1”書込みを行う際には、MOSトランジスタ110を飽和領域で動作させる。すなわち、ソースN⁺層103から延びる電子のチャンネル107には、ピンチオフ点108があり、ビット線が接続しているドレインN⁺層104までには、到達していない。このようにドレインN⁺層に接続されたビット線BLとゲート導電層105に接続されたワード線WLを共に高電圧にして、ゲート電圧をドレイン電圧の約1/2程度で、MOSトランジスタ110を動作させると、ドレインN⁺層104近傍のピンチオフ点108において、電界強度が最大となる。この結果、ソースN⁺層103からドレインN⁺層104に向かって流れる加速された電子は、Siの格子に衝突して、その時に失う運動エネルギーによって、電子・正孔対が生成される（インパクトイオン化現象）。発生した大部分の電子（図示せず）は、ドレインN⁺層104に到達する。また、ごく一部のとても熱い電子は、ゲート酸化膜109を飛び越えて、ゲート導電層105に到達する。そして、同時に発生した正孔106は、フローティングボディ102を充電する。この場合、発生した正孔は、フローティングボディ102がP型Siのため、多数キャリアの増分として、寄与する。フローティングボディ102は、生成された正孔106で満たされ、フローティングボディ102の電圧がソースN⁺層103よりもV_b以上に高くなると、さらに生成された正孔は、ソースN⁺層103に放電する。ここで、V_bは、ソースN⁺層103とP層のフローティングボディ102との間のPN接合のビルトイン電圧であり、約0.7Vである。図7（b）には、生成された正孔106でフローティングボディ10

2が飽和充電された様子を示している。

[0005] 次に、図7(c)を用いて、メモリセル110の“0”書込み動作を説明する。共通な選択ワード線WLに対して、ランダムに“1”書込みのメモリセル110と“0”書込みのメモリセル110が存在する。図7(c)では、“1”書込み状態から“0”書込み状態に書き換わる様子を示している。

“0”書込み時には、ビット線BLの電圧を負バイアスにして、ドレインN⁺層104とP層のフローティングボディ102との間のPN接合を順バイアスにする。この結果、フローティングボディ102に予め前サイクルで生成された正孔106は、ビット線BLに接続されたドレインN⁺層104に流れる。書込み動作が終了すると、生成された正孔106で満たされたメモリセル110(図7(b))と、生成された正孔が吐き出されたメモリセル110(図7(c))の2つのメモリセルの状態が得られる。正孔106で満たされたメモリセル110のフローティングボディ102の電位は、生成された正孔がないフローティングボディ102よりも高くなる。したがって、“1”書込みのメモリセル110のしきい値電圧は、“0”書込みのメモリセル110のしきい値電圧よりも低くなる。その様子を図7(d)に示している。

[0006] 次に、この1個のMOSトランジスタ110で構成されたメモリセルの動作上の問題点を図8(a)と(b)を用いて、説明する。図8(a)に示したように、フローティングボディの容量 C_{FB} は、ワード線の接続されたゲートとフローティングボディとの間の容量 C_{WL} と、ソース線の接続されたソースN⁺層103とフローティングボディ102との間のPN接合の接合容量 C_{SL} と、ビット線の接続されたドレインN⁺層104とフローティングボディ102との間のPN接合の接合容量 C_{BL} との総和で、

$$C_{FB} = C_{WL} + C_{BL} + C_{SL} \quad (12)$$

で表される。また、ワード線の接続されたゲートとフローティングボディ間の容量結合比 β_{WL} は、

$$\beta_{WL} = C_{WL} / (C_{WL} + C_{BL} + C_{SL}) \quad (13)$$

で表される。したがって、読出し時または書込み時にワード線電圧 V_{WL} が振幅すると、メモリセルの記憶ノード（接点）となるフローティングボディ 102 の電圧も、その影響を受ける。その様子を図 8（b）に示している。読出し時、または、書込み時にワード線電圧 V_{WL} が 0 V から V_{WLH} に上昇すると、フローティングボディ 102 の電圧 V_{FB} は、ワード線電圧が変化する前の初期状態の電圧 V_{FB1} から V_{FB2} へワード線との容量結合によって上昇する。その電圧変化量 ΔV_{FB} は、

$$\begin{aligned}\Delta V_{FB} &= V_{FB2} - V_{FB1} \\ &= \beta_{WL} \times V_{WLH} \quad (14)\end{aligned}$$

で表される。

ここで、式（13）の β_{WL} において、 C_{WL} の寄与率が大きく、例えば、 $C_{WL} : C_{BL} : C_{SL} = 8 : 1 : 1$ である。この場合、 $\beta_{WL} = 0.8$ となる。ワード線が、例えば、書込み時の 5 V から、書込み終了後に 0 V になると、ワード線 WL とフローティングボディ 102 との容量結合によって、フローティングボディ 102 が、 $5 \text{ V} \times \beta_{WL} = 4 \text{ V}$ も振幅ノイズを受ける。このため、書込み時のフローティングボディ 102 の“1”電位と“0”電位との電位差マージンを十分に取れない問題点があった。

[0007] 図 9（a）～（c）に読出し動作を示しており、図 9（a）は、“1”書込み状態を、図 9（b）は、“0”書込み状態を示している。しかし、実際には、“1”書込みでフローティングボディ 102 に V_b が書き込まれていても、書込み終了でワード線が 0 V に戻ると、フローティングボディ 102 は、負バイアスに引き下げられる。“0”が書かれる際には、さらに深く負バイアスになってしまうため、図 9（c）に示すように、書込みの際に“1”と“0”との電位差マージンを十分に大きく出来ないため、実際にキャパシタを有しない、DRAMメモリセルの製品化が困難な状況にあった。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開平2－188966号公報

特許文献2：特開平3－171768号公報

特許文献3：特許第3957774号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：Hiroshi Takato, Kazumasa Sunouchi, Naoko Okabe, Akihiro Nitayama, Katsuhiko Hieda, Fumio Horiguchi, and Fujio Masuoka: IEEE Transaction on Electron Devices, Vol.38, No.3, pp.573-578 (1991)

非特許文献2：H. Chung, H. Kim, H. Kim, K. Kim, S. Kim, K. Dong, J. Kim, Y.C. Oh, Y. Hwang, H. Hong, G. Jin, and C. Chung: “4F2 DRAM Cell with Vertical Pillar Transistor (VPT),” 2011 Proceeding of the European Solid-State Device Research Conference, (2011)

非特許文献3：H. S. Philip Wong, S. Raoux, S. Kim, Jiale Liang, J. R. Reifenberg, B. Rajendran, M. Asheghi and K. E. Goodson: “Phase Change Memory,” Proceeding of IEEE, Vol.98, No 12, December, pp.2201-2227 (2010)

非特許文献4：T. Tsunoda, K. Kinoshita, H. Noshiro, Y. Yamazaki, T. Iizuka, Y. Ito, A. Takahashi, A. Okano, Y. Sato, T. Fukano, M. Aoki, and Y. Sugiyama: “Low Power and High Speed Switching of Ti-doped NiO ReRAM under the Unipolar Voltage Source of less than 3V,” IEDM (2007)

非特許文献5：W. Kang, L. Zhang, J. Klein, Y. Zhang, D. Ravelosona, and W. Zhao: “Reconfigurable Codesign of STT-MRAM Under Process Variations in Deeply Scaled Technology,” IEEE Transaction on Electron Devices, pp.1-9 (2015)

非特許文献6：M. G. Ertosum, K. Lim, C. Park, J. Oh, P. Kirsch, and K. C. Saraswat: “Novel Capacitorless Single-Transistor Charge-Trap DRAM (1T1C1T DRAM) Utilizing Electron,” IEEE Electron Device Letter, Vol. 31, No.5, pp.405-407 (2010)

非特許文献7：J. Wan, L. Rojer, A. Zaslavsky, and S. Crotoloveanu: “A Compact Capacitor-Less High-Speed DRAM Using Field Effect-Controlled

Charge Regeneration,” Electron Device Letters, Vol. 35, No.2, pp.179-181 (2012)

非特許文献8：T. Ohsawa, K. Fujita, T. Higashi, Y. Iwata, T. Kajiyama, Y. Asao, and K. Sunouchi: “Memory design using a one-transistor gain cell on SOI,” IEEE JSSC, vol.37, No.11, pp1510-1522 (2002).

非特許文献9：T. Shino, N. Kusunoki, T. Higashi, T. Ohsawa, K. Fujita, K. Hatsuda, N. Ikumi, F. Matsuoka, Y. Kajitani, R. Fukuda, Y. Watana be, Y. Minami, A. Sakamoto, J. Nishimura, H. Nakajima, M. Morikado, K . Inoh, T. Hamamoto, A. Nitayama: “Floating Body RAM Technology and its Scalability to 32nm Node and Beyond,” IEEE IEDM (2006).

非特許文献10：E. Yoshida: “A Capacitorless 1T-DRAM Technology Using Gate-Induced Drain-Leakage (GIDL) Current for Low-Power and High-Speed Embedded Memory,” IEEE IEDM (2006).

非特許文献11：J. Y. Song, W. Y. Choi, J. H. Park, J. D. Lee, and B-G. Park: “Design Optimization of Gate-All-Around (GAA) MOSFETs,” IEEE Trans. Electron Devices, vol. 5, no. 3, pp.186-191, May 2006.

非特許文献12：N. Loubet, et al.: “Stacked Nanosheet Gate-All-Around Transistor to Enable Scaling Beyond FinFET,” 2017 IEEE Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, T17-5, T230-T231, June 2017.

非特許文献13：H. Jiang, N. Xu, B. Chen, L. Zeng¹, Y. He, G. Du, X. Li u and X. Zhang: “Experimental investigation of self-heating effect (SHE) in multiple-fin SOI FinFETs,” Semicond. Sci. Technol. 29 (2014) 115021 (7pp).

非特許文献14：E. Yoshida, and T. Tanaka: “A Capacitorless 1T-DRAM Technology Using Gate-Induced Drain-Leakage (GIDL) Current for Low-Power and High-Speed Embedded Memory,” IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 53, No. 4, pp. 692-69, Apr. 2006.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] SGTを用いたメモリ装置でキャパシタを無くした、1個のトランジス型のDRAM（ゲインセル）では、ワード線とフローティング状態のSGTのボディとの容量結合カップリングが大きく、データ読み出し時や書き込み時にワード線の電位を振幅させると、直接SGTボディへのノイズとして、伝達されてしまう問題点があった。この結果、誤読み出しや記憶データの誤った書き換えの問題を引き起こし、キャパシタを無くした1トランジス型のDRAM（ゲインセル）の実用化が困難となっていた。

課題を解決するための手段

[0011] 上記の課題を解決するために、本発明に係るメモリ装置は、
基板上に行方向に配列された複数のメモリセルによってページが構成され、複数のページが列方向に配列されたメモリ装置であって、
前記各ページに含まれる各メモリセルは、
基板上に、前記基板に対して、垂直方向に立つか、または水平方向に伸延する半導体母体と、
前記半導体母体の両端にある第1の不純物層と、第2の不純物層と、
前記第1の不純物層と前記第2の不純物層の間の前記半導体母体の側面の一部または全てを囲こみ、前記第1の不純物層に接するか、または、近接した第1のゲート絶縁層と、
前記半導体母体の側面を囲み、前記第1のゲート絶縁層に繋がり、且つ前記第2の不純物層に接するか、または、近接した第2のゲート絶縁層と、
前記第1のゲート絶縁層の一部または全体を覆う第1のゲート導体層と、
前記第2のゲート絶縁層を覆う第2のゲート導体層と、
前記半導体母体が前記第1のゲート絶縁層と、前記第2のゲート絶縁層とで覆われたチャネル半導体層とを、有し、
前記第1のゲート導体層と、前記第2のゲート導体層と、前記第1の不純物領域と、前記第2の不純物領域と、に印加する電圧を制御して、前記チャ

ネル半導体層の内部に、インパクトイオン化現象、またはゲート誘起ドレインリーク電流により形成した正孔群を保持し、

ページ書込み動作時には、前記チャネル半導体層の電圧を、前記第1の不純物層及び前記第2の不純物層の一方もしくは両方の電圧より高い、第1のデータ保持電圧とし、

ページ消去動作時には、前記第1の不純物層と、前記第2の不純物層と、前記第1のゲート導体層と、前記第2のゲート導体層とに印加する電圧を制御して、前記第1の不純物層と、前記第2の不純物層の一方もしくは両方から、前記正孔群を抜きとり、前記チャネル半導体層の電圧を、前記第1のデータ保持電圧よりも低い、第2のデータ保持電圧とし、

前記メモリセルの前記第1の不純物層は、ソース線と接続し、前記第2の不純物層は、ビット線と接続し、前記第1のゲート導体層と前記第2のゲート導体層のうちの一方はワード線と接続し、他方は駆動制御線と接続し、

前記ビット線は、スイッチ回路を介してセンスアンプ回路に接続し、

ページ読出し動作時には、前記ワード線で選択するメモリセル群のページデータをセンスアンプ回路に読出し、

ページ積和読出し動作時には、前記メモリセル群の前記ビット線に流れるメモリセル電流が N 倍（ N は正の整数）となるように前記駆動制御線に電圧を印加する、

ことを特徴とする（第1発明）。

[0012] 上記の第1発明において、前記ページ積和読出し動作時には、少なくとも2本の前記ワード線が多重選択され、第1のメモリセル群の前記ビット線に流れる前記メモリセル電流は、 M 倍（ M は正の整数）となるように第1の駆動制御線に第1の電圧を印加し、第2のメモリセル群の前記ビット線に流れる前記メモリセル電流は、 K 倍（ K は正の整数）となるように第2の駆動制御線に第2の電圧を印加し、前記第1のメモリセル電流と前記第2のメモリセル電流は、前記ビット線で加算され、前記センスアンプ回路に読み出される、

ことを特徴とする（第2発明）。

[0013] 上記の第1発明において、前記センスアンプ回路は、強制反転型センスアンプ回路であり、前記ビット線で加算される前記メモリセル電流の和が基準電流よりも大きい場合に前記強制反転型センスアンプ回路は反転することを特徴とする（第3発明）。

[0014] 上記の第3発明において、前記ページ積和読出し動作時には、前記ビット線で積和された前記メモリセル電流の総和電流は、前記総和電流よりも小さい前記基準電流により、前記強制反転型センスアンプ回路により、読み出されることを特徴とする（第4発明）。

[0015] 上記の第3発明において、前記基準電流は、大電流から小電流への段階的に減少させて、前記メモリセル電流の和は、前記強制反転型センスアンプ回路により、読み出されることを特徴とする（第5発明）。

[0016] 上記の第1発明において、前記ページ積和読出し動作時に前記ビット線に流れる前記メモリセル電流は、前記センスアンプ回路に読み出され、Nビット（Nは正の整数）のラッチ回路に積和計算結果が記憶されることを特徴とする（第6発明）。

[0017] 上記の第1発明において、前記第1のゲート導体層と前記チャネル半導体層との間の第1のゲート容量が、前記第2のゲート導体層と前記チャネル半導体層との間の第2のゲート容量よりも大きいことを特徴とする（第7発明）。

[0018] 上記の第1発明において、前記半導体母体の軸方向から見たときに、前記第1のゲート導体層が、前記第1のゲート絶縁層を囲んで少なくとも2つの導体層に分離していることを特徴とする（第8発明）。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置の構造図である。

[図2]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のプレート線PLに接続された第1のゲート導体層5aのゲート容量が、ワード線WLが接続された、第2のゲート導体層5bのゲート容量よりも、大きくなるようにした場合

の効果を説明する図である。

[図3A]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置の書込み動作メカニズムを説明するための図である。

[図3B]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置の書込み動作メカニズムを説明するための図である。

[図4A]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ消去動作メカニズムを説明するための図である。

[図4B]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ消去動作メカニズムを説明するための図である。

[図4C]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ消去動作メカニズムを説明するための図である。

[図4D]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ消去動作メカニズムを説明するための図である。

[図4E]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ消去動作メカニズムを説明するための図である。

[図5]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置の読出し動作メカニズムを説明するための図である。

[図6A]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ積和読出し動作を説明するための図である。

[図6B]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ積和読出し動作を説明するための回路ブロック図である。

[図6C]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ積和読出し動作を説明するための回路ブロック図である。

[図6D]第1実施形態に係るSGTを有するメモリ装置のページ積和読出し動作を説明するための回路ブロック図である。

[図7]従来例のキャパシタを有しない、DRAMメモリセルの書込み動作を説明するための図である。

[図8]従来例のキャパシタを有しない、DRAMメモリセルの動作上の問題点

を説明するための図である。

[図9]従来例のキャパシタを有しない、DRAMメモリセルの読出し動作を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明に係る、半導体素子を用いたメモリ装置（以後、ダイナミック フラッシュ メモリと呼ぶ）の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

[0021] （第1実施形態）

図1～図5を用いて、本発明の第1実施形態に係るダイナミック フラッシュ メモリセルの構造と動作メカニズムを説明する。図1を用いて、ダイナミック フラッシュ メモリセルの構造を説明する。そして、図2を用いて、プレート線PLに接続された第1のゲート導体層5aのゲート容量が、ワード線WLが接続された、第2のゲート導体層5bのゲート容量よりも、大きくなるようにした場合の効果の説明をする。そして、図3を用いてデータ書込み動作メカニズムを、図4を用いてデータ消去動作メカニズムを、図5を用いてデータ読出し動作メカニズムを説明する。

[0022] 図1に、本発明の第1実施形態に係るダイナミック フラッシュ メモリセルの構造を示す。基板上に形成した、P型又はi型（真性型）の導電型を有するシリコン半導体柱2（以下、シリコン半導体柱を「Si柱」と称する。）（特許請求の範囲の「半導体母体」の一例である）内の上下の位置に、一方がソースとなる場合に、他方がドレインとなるN⁺層3a、3b（特許請求の範囲の「第1の不純物層」、「第2の不純物層」の一例である）が形成されている。このソース、ドレインとなるN⁺層3a、3b間のSi柱2の部分のチャンネル領域7（特許請求の範囲の「チャンネル半導体層」の一例である）となる。このチャンネル領域7を囲むように第1のゲート絶縁層4a（特許請求の範囲の「第1のゲート絶縁層」の一例である）、第2のゲート絶縁層4b（特許請求の範囲の「第2のゲート絶縁層」の一例である）が形成されている。この第1のゲート絶縁層4a、第2のゲート絶縁層4bは、このソー

ス、ドレインとなる N^+ 層3 a、3 bに、それぞれ接するか、または近接している。この第1のゲート絶縁層4 a、第2のゲート絶縁層4 bを囲むように第1のゲート導体層5 a（特許請求の範囲の「第1のゲート導体層」の一例である）、第2のゲート導体層5 b（特許請求の範囲の「第2のゲート導体層」の一例である）がそれぞれ形成されている。そして、第1のゲート導体層5 a、第2のゲート導体層5 bは絶縁層6（特許請求の範囲の「第1の絶縁層」の一例である）により分離されている。そして、 N^+ 層3 a、3 b間のチャンネル領域7は、第1のゲート絶縁層4 aで囲まれた第1のチャンネルSi層7 a（特許請求の範囲の「第1のチャンネル半導体層」の一例である）と、第2のゲート絶縁層4 bで囲まれた第2のチャンネルSi層7 b（特許請求の範囲の「第2のチャンネル半導体層」の一例である）と、よりなる。これによりソース、ドレインとなる N^+ 層3 a、3 b、チャンネル領域7、第1のゲート絶縁層4 a、第2のゲート絶縁層4 b、第1のゲート導体層5 a、第2のゲート導体層5 bからなるダイナミック フラッシュ メモリセル10が形成される。そして、ソースとなる N^+ 層3 aはソース線SL（特許請求の範囲の「ソース線」の一例である）に、ドレインとなる N^+ 層3 bはビット線BL（特許請求の範囲の「ビット線」の一例である）に、第1のゲート導体層5 aはプレート線PL（特許請求の範囲の「第1の駆動制御線」の一例である）に、第2のゲート導体層5 bはワード線WL（特許請求の範囲の「ワード線」の一例である）に、それぞれ接続している。プレート線PLが接続された、第1のゲート導体層5 aのゲート容量は、ワード線WLが接続された、第2のゲート導体層5 bのゲート容量よりも、大きくなるような構造を有することが望ましい。

[0023] なお、図1では、プレート線PLに接続された第1のゲート導体層5 aのゲート容量が、ワード線WLが接続された、第2のゲート導体層5 bのゲート容量よりも、大きくなるように第1のゲート導体層5 aのゲート長を、第2のゲート導体層5 bのゲート長よりも長くしている。しかし、その他にも、第1のゲート導体層5 aのゲート長を、第2のゲート導体層5 bのゲート

長よりも長くせずに、それぞれのゲート絶縁層の膜厚を変えて、第1のゲート絶縁層4 aのゲート絶縁膜の膜厚を、第2のゲート絶縁層4 bのゲート絶縁膜の膜厚よりも薄くしてもよい。また、それぞれのゲート絶縁層の材料の誘電率を変えて、第1のゲート絶縁層4 aのゲート絶縁膜の誘電率を、第2のゲート絶縁層4 bのゲート絶縁膜の誘電率よりも高くしてもよい。また、ゲート導体層5 a、5 bの長さ、ゲート絶縁層4 a、4 bの膜厚、誘電率のいずれかを組み合わせて、プレート線PLに接続された第1のゲート導体層5 aのゲート容量が、ワード線WLが接続された、第2のゲート導体層5 bのゲート容量よりも、大きくしてもよい。

[0024] 図2 (a) ~ (c) は、プレート線PLに接続された第1のゲート導体層5 aのゲート容量が、ワード線WLが接続された、第2のゲート導体層5 bのゲート容量よりも、大きくなるようにした場合の効果を説明する図である。

[0025] 図2 (a) は、本発明の第1実施形態に係るダイナミック フラッシュ メモリセルの構造図を主要部分のみを簡略化して示している。ダイナミック フラッシュ メモリセルには、ビット線BL、ワード線WL、プレート線PL、ソース線SLが接続されており、その電圧状態によって、チャネル領域7の電位状態が決まる。

[0026] 図2 (b) は、それぞれの容量関係を説明するための図である。チャネル領域7の容量 C_{FB} は、ワード線WLの接続されたゲート導体層5 bとチャネル領域7の間の容量 C_{WL} と、プレート線PLの接続されたゲート導体層5 aとチャネル領域7の間の容量 C_{PL} と、ソース線SLの接続されたソース N^+ 層3 aとチャネル領域7の間のPN接合の接合容量 C_{SL} と、ビット線BLの接続されたドレイン N^+ 層3 bとチャネル領域7の間のPN接合の接合容量 C_{BL} との総和で、

$$C_{FB} = C_{WL} + C_{PL} + C_{BL} + C_{SL} \quad (1)$$

で表される。

したがって、ワード線WLとチャネル領域7の間のカップリング率 β_{WL} 、プレ

ート線PLとチャネル領域7の間のカップリング率 β_{PL} 、ビット線BLとチャネル領域7の間のカップリング率 β_{BL} 、ソース線SLとチャネル領域7の間のカップリング率 β_{SL} は、以下でそれぞれ表される。

$$\beta_{WL} = C_{WL} / (C_{WL} + C_{PL} + C_{BL} + C_{SL}) \quad (2)$$

$$\beta_{PL} = C_{PL} / (C_{WL} + C_{PL} + C_{BL} + C_{SL}) \quad (3)$$

$$\beta_{BL} = C_{BL} / (C_{WL} + C_{PL} + C_{BL} + C_{SL}) \quad (4)$$

$$\beta_{SL} = C_{SL} / (C_{WL} + C_{PL} + C_{BL} + C_{SL}) \quad (5)$$

ここで、 $C_{PL} > C_{WL}$ であるため、 $\beta_{PL} > \beta_{WL}$ となる。

[0027] 図2(c)は、ワード線WLの電圧 V_{WL} が、読出し動作と書込み動作で、上昇し、その後に下降する時のチャネル領域7の電圧 V_{FB} の変化を説明するための図である。ここで、ワード線WLの電圧 V_{WL} が、0Vから高電圧状態 V_{WLH} に上がった時に、チャネル領域7の電圧 V_{FB} が、低電圧状態 V_{FBL} から高電圧状態 V_{FBH} になるときの電位差 ΔV_{FB} は、以下となる。

$$\begin{aligned} \Delta V_{FB} &= V_{FBH} - V_{FBL} \\ &= \beta_{WL} \times V_{WLH} \quad (6) \end{aligned}$$

ワード線WLとチャネル領域7の間のカップリング率 β_{WL} が小さく、プレート線PLとチャネル領域7の間のカップリング率 β_{PL} が大きいいため、 ΔV_{FB} は、小さく、ワード線WLの電圧 V_{WL} が、読出し動作と書込み動作で、上下しても、チャネル領域7の電圧 V_{FB} は、殆ど変化しない。

[0028] 図3A(a)～(c)と図3Bに、本発明の第1実施形態に係るダイナミックフラッシュメモリセルのメモリ書込み動作(特許請求の範囲の「メモリ書込み動作」の一例である)を示す。図3A(a)に書込み動作のメカニズム、図3A(b)にビット線BL、ソース線SL、プレート線PL、ワード線WLと、フローティングボディFBとなっているチャネル領域7の動作波形を示す。時刻T0で、ダイナミックフラッシュメモリセルは、“0”消去状態にあり、チャネル領域7の電圧は、 V_{FB} “0”となっている。また、ビット線BL、ソース線SL、ワード線WLには、 V_{SS} が、プレート線PLには、 V_{PLL} が印加している。ここで、例えば、 V_{SS} は0Vで、 V_{PLL} は、2

Vである。次に時刻T1～T2で、ビット線BLが V_{ss} から V_{BLH} へと上がると、例えば、 V_{ss} が0Vの場合、チャネル領域7の電圧は、ビット線BLとチャネル領域7との容量結合により、 $V_{FB} \text{ “0”} + \beta_{BL} \times V_{BLH}$ となる。

[0029] 引き続き、図3A(a)と(b)を用いて、ダイナミックフラッシュメモリセルの書込み動作を説明する。時刻T3～T4で、ワード線WLが V_{ss} から V_{WLH} へと上がる。これにより、ワード線WLの接続された第2のゲート導体層5bがチャネル領域7を取り囲む第2のNチャネルMOSトランジスタの“0”消去のしきい値電圧を $V_{t_{WL}} \text{ “0”}$ とすると、ワード線WLの電圧上昇に伴い、 V_{ss} から $V_{t_{WL}} \text{ “0”}$ までは、ワード線WLとチャネル領域7との第2の容量結合により、チャネル領域7の電圧は、 $V_{FB} \text{ “0”} + \beta_{BL} \times V_{BLH} + \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} \text{ “0”}$ となる。ワード線WLの電圧が $V_{t_{WL}} \text{ “0”}$ 以上に上昇すると、第2のゲート導体層5bの内周のチャネル領域7に環状の反転層12bが形成され、ワード線WLとチャネル領域7との第2の容量結合を遮る。

[0030] 引き続き、図3A(a)と(b)を用いて、ダイナミックフラッシュメモリセルの書込み動作を説明する。時刻T3～T4で、プレート線PLの接続された第1のゲート導体層5aに、例えば、 $V_{PLL} = 2V$ を固定入力し、ワード線WLの接続された第2のゲート導体層5bを、例えば、 $V_{WLH} = 4V$ まで上げる。その結果、図3A(a)で示したように、プレート線PLの接続された第1のゲート導体層5aの内周のチャネル領域7に環状の反転層12aが形成され、その反転層12aには、ピンチオフ点13が存在する。この結果、第1のゲート導体層5aを有する第1のNチャネルMOSトランジスタは線形領域で動作する。一方、ワード線WLの接続された第2のゲート導体層5bを有する第2のNチャネルMOSトランジスタは飽和領域で動作する。この結果、ワード線WLの接続された第2のゲート導体層5bの内周のチャネル領域7にピンチオフ点は存在せずにゲート導体層5bの内周全面に反転層12bが形成される。このワード線WLの接続された第2のゲート導体層5bの内周に全面に形成された反転層12bは、第2のゲート導体層5bを

有する第2のNチャネルMOSトランジスタの実質的なドレインとして働く。この結果、直列接続された第1のゲート導体層5aを有する第1のNチャネルMOSトランジスタと、第2のゲート導体層5bを有する第2のNチャネルMOSトランジスタとの間のチャネル領域7の第1の境界領域で電界は最大となり、この領域でインパクトイオン化現象が生じる。この領域は、ワード線WLの接続された第2のゲート導体層5bを有する第2のNチャネルMOSトランジスタから見たソース側の領域であるため、この現象をソース側インパクトイオン化現象と呼ぶ。このソース側インパクトイオン化現象により、ソース線SLの接続されたN⁺層3aからビット線の接続されたN⁺層3bに向かって電子が流れる。加速された電子が格子Si原子に衝突し、その運動エネルギーによって、電子・正孔対が生成される。生成された電子の一部は、第1のゲート導体層5aと第2のゲート導体層5bに流れるが、大半はビット線BLの接続されたN⁺層3bに流れる（図示せず）。

[0031] そして、図3A(c)に示すように、生成された正孔群9（特許請求の範囲の「正孔群」の一例である）は、チャネル領域7の多数キャリアであり、チャネル領域7を正バイアスに充電する。ソース線SLの接続されたN⁺層3aは、0Vであるため、チャネル領域7はソース線SLの接続されたN⁺層3aとチャネル領域7との間のPN接合のビルトイン電圧V_b（約0.7V）まで充電される。チャネル領域7が正バイアスに充電されると、第1のNチャネルMOSトランジスタと第2のNチャネルMOSトランジスタのしきい値電圧は、基板バイアス効果によって、低くなる。

[0032] 引き続き、図3A(b)を用いて、ダイナミックフラッシュメモリセルの書込み動作を説明する。時刻T6～T7で、ワード線WLの電圧がV_{WLH}からV_{ss}に低下する。その際にワード線WLとチャネル領域7とは、第2の容量結合をするが、ワード線WLの電圧V_{WLH}が、チャネル領域7の電圧がV_bの時の、第2のNチャネルMOSトランジスタのしきい値電圧V_{t_{WL}}“1”以下になるまでは、反転層12bが、この第2の容量結合を遮る。したがって、ワード線WLとチャネル領域7との、実質的な容量結合は、ワード線WLが

$V_{t_{WL}} "1"$ 以下になり、 V_{ss} まで下降する時のみである。この結果、チャネル領域 7 の電圧は、 $V_b - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} "1"$ となる。ここで、 $V_{t_{WL}} "1"$ は、前記 $V_{t_{WL}} "0"$ よりも低く、 $\beta_{WL} \times V_{t_{WL}} "1"$ は小さい。

[0033] 引き続き、図 3 A (b) を用いて、ダイナミック フラッシュ メモリセルの書込み動作を説明する。時刻 $T_8 \sim T_9$ で、ビット線 BL が、 V_{BLH} から V_{ss} へと低下する。ビット線 BL とチャネル領域 7 とは、容量結合しているため、最終的にチャネル領域 7 の “1” 書込み電圧 $V_{FB} "1"$ は、以下のようになる。

$$V_{FB} "1" = V_b - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} "1" - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (7)$$

ここで、ビット線 BL とチャネル領域 7 とのカップリング比 β_{BL} も小さい。これにより、図 3 B に示すように、ワード線 WL の接続された第 2 のチャネル領域 7 b の第 2 の N チャネル MOS トランジスタのしきい値電圧は、低くなる。このチャネル領域 7 の “1” 書込み状態を第 1 のデータ保持電圧（特許請求の範囲の「第 1 のデータ保持電圧」の一例である）とする、メモリ書込み動作を行い、論理記憶データ “1” に割り当てる。

[0034] なお、書込み動作時に、第 1 の境界領域に替えて、第 1 の不純物層 3 a と第 1 のチャネル半導体層 7 a とのあいだの第 2 の境界領域、または、第 2 の不純物層 3 b と第 2 のチャネル半導体層 7 b とのあいだの第 3 の境界領域において、インパクトイオン化現象で、電子・正孔対を発生させ、発生した正孔群 9 でチャネル領域 7 を充電しても良い。

[0035] なお、上記のビット線 BL 、ソース線 SL 、ワード線 WL 、プレート線 PL に印加する電圧条件と、フローティングボディの電位は、書込み動作を行うための一例であり、書込み動作ができる他の動作条件であってもよい。

[0036] 図 4 A ～図 4 E を用いて、メモリ消去動作（特許請求の範囲の「メモリ消去動作」の一例である）メカニズムを説明する。

[0037] 図 4 A に、ページ消去動作を説明するためのメモリブロック回路図を示す。ここでは、3 行 × 3 列の計 9 個のメモリセル $CL_{11} \sim CL_{33}$ を示しているが、実際のメモリブロックは、この行列よりも大きい。メモリセルが行列状に配

列されているときに、その配列の一方の方向を「行方向」（もしくは「行状」）、これに垂直な方向を「列方向」（もしくは「列状」）という。各メモリセルには、ソース線 SL 、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ 、プレート線 $PL_1 \sim PL_3$ 、ワード線 $WL_1 \sim WL_3$ が接続されている。例えば、このブロックにおいて、任意のページ（特許請求の範囲の「ページ」の一例である）のプレート線 PL_2 とワード線 WL_2 とが接続するメモリセル $CL_{21} \sim CL_{23}$ が選択され、ページ消去動作を行うことを想定する。

[0038] 図4B(a)～(d)と図4Cを用いて、ページ消去動作のメカニズムを説明する。ここで、 N^+ 層3a、3b間のチャネル領域7は、電氣的に基板から分離され、フローティングボディとなっている。図4B(a)は、消去動作の主要ノードのタイミング動作波形図を示している。図4B(a)において、 $T_0 \sim T_{12}$ は、消去動作開始から終了までの時刻を表している。図4B(b)に消去動作前の時刻 T_0 に、前のサイクルでインパクトイオン化により生成された正孔群9がチャネル領域7に蓄えられている状態を示す。そして、時刻 $T_1 \sim T_2$ において、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL とが、それぞれ V_{ss} から V_{BLH} と V_{SLH} の高電圧状態になる。ここで、 V_{ss} は、例えば、0Vである。この動作は、次の期間時刻 $T_3 \sim T_4$ で、ページ消去動作で選択されたプレート線 PL_2 とワード線 WL_2 とが、それぞれ第1の電圧 V_{PLL} から第2の電圧 V_{PLH} と、第3の電圧 V_{ss} から第4の電圧 V_{WLH} と高電圧状態になり、チャネル領域7にプレート線 PL_2 の接続された第1のゲート導体層5aの内周の反転層12aと、ワード線 WL_2 の接続された第2のゲート導体層5bの内周の反転層12bとを、形成させない。したがって、 V_{BLH} と V_{SLH} の電圧は、ワード線 WL_2 側の第2のNチャネルMOSトランジスタとプレート線 PL_2 側の第1のNチャネルMOSトランジスタのしきい値電圧を、それぞれ V_{tWL} と V_{tPL} とした場合、 $V_{BLH} > V_{WLH} + V_{tWL}$ 、 $V_{SLH} > V_{PLH} + V_{tPL}$ であることが望ましい。例えば、 V_{tWL} と V_{tPL} が0.5Vの場合、 V_{WLH} と V_{PLH} は、3Vに設定して、 V_{BLH} と V_{SLH} は、3.5V以上に設定すれば良い。

[0039] 引き続き、図4B(a)のページ消去動作メカニズムを説明する。第1の

期間の時刻 $T_3 \sim T_4$ で、プレート線 PL_2 とワード線 WL_2 とが、第2の電圧 V_{PLH} と第4の電圧 V_{WLH} の高電圧状態になるのに伴い、フローティング状態のチャネル領域7の電圧が、プレート線 PL_2 とチャネル領域7との第1の容量結合と、ワード線 WL_2 とチャネル領域7との第2の容量結合とによって、押し上げられる。チャネル領域7の電圧は、“1”書込み状態の V_{FB} “1”から高電圧になる。これは、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL の電圧が、 V_{BLH} と V_{SLH} と高電圧であるため、ソース N^+ 層3aとチャネル領域7との間のPN接合と、ドレイン N^+ 層3bとチャネル領域7との間のPN接合が逆バイアス状態であるため、昇圧することが可能である。

[0040] 引き続き、図4B(a)のページ消去動作メカニズムを説明する。次の期間の時刻 $T_5 \sim T_6$ で、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL の電圧が、高電圧の V_{BLH} と V_{SLH} から V_{SS} へと低下する。この結果、ソース N^+ 層3aとチャネル領域7との間のPN接合と、ドレイン N^+ 層3bとチャネル領域7との間のPN接合は、図4B(c)に示すように、順バイアス状態となり、チャネル領域7の正孔群9のうちの残存正孔群は、ソース N^+ 層3aと、ドレイン N^+ 層3bとに、排出する。その結果、チャネル領域7の電圧 V_{FB} は、ソース N^+ 層3aとP層のチャネル領域7とが形成するPN接合と、ドレイン N^+ 層3bとP層のチャネル領域7とが形成するPN接合のビルトイン電圧 V_b となる。

[0041] 引き続き、図4B(a)のページ消去動作メカニズムを説明する。次に時刻 $T_7 \sim T_8$ で、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL の電圧が、 V_{SS} から高電圧の V_{BLH} と V_{SLH} へと上昇する。この施策によって、図4B(d)に示すように、時刻 $T_9 \sim T_{10}$ で、プレート線 PL_2 とワード線 WL_2 を第2の電圧 V_{PLH} と第4の電圧 V_{WLH} からそれぞれ第1の電圧 V_{PLL} と第3の電圧 V_{SS} に下降する際に、チャネル領域7にプレート線 PL_2 側の反転層12aとワード線 WL_2 側の反転層12bを形成させずに、効率良く、チャネル領域7の電圧 V_{FB} は、プレート線 PL_2 とチャネル領域7との第1の容量結合と、ワード線 WL_2 とチャネル領域7との第2の容量結合によって、 V_b から V_{FB} “0”となる。したがって、“1”書込み状態と“0”消去状態のチャネル領域7の電圧差 ΔV_{FB}

は、以下の式で表される。

$$V_{FB} \text{ “1”} = V_b - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} \text{ “1”} - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (7)$$

$$V_{FB} \text{ “0”} = V_b - \beta_{WL} \times V_{WLH} - \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{FB} &= V_{FB} \text{ “1”} - V_{FB} \text{ “0”} \\ &= \beta_{WL} \times V_{WLH} + \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \\ &\quad - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} \text{ “1”} - \beta_{BL} \times V_{BLH} \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 β_{WL} と β_{PL} との和は、0.8以上あり、 ΔV_{FB} は、大きくなり、十分にマージンが取れる。

[0042] その結果、図4Cに示すように、“1”書込み状態と“0”消去状態とで、マージンを大きく取れる。ここで、“0”消去状態において、プレート線 PL_2 側のしきい値電圧は、基板バイアス効果により、高くなっている。したがって、プレート線 PL_2 の印加電圧を、例えば、そのしきい値電圧以下にすると、プレート線 PL_2 側の第1のNチャネルMOSトランジスタは、非導通となりメモリセル電流を流さない。図4Cの右側の「PL：非導通」は、その様子を示している。

[0043] 引き続き、図4B(a)のページ消去動作メカニズムを説明する。次に第4の期間の時刻 $T_{11} \sim T_{12}$ で、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL の電圧が、 V_{BLH} から V_{SS} へ、 V_{SLH} から V_{SS} へとそれぞれ下降して、消去動作が終了する。その際、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL とが、チャネル領域7の電圧を容量結合で若干引き下げるが、時刻 $T_7 \sim T_8$ にビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL とが、チャネル領域7の電圧を容量結合で引き上げていた分と同等であるため、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ とソース線 SL の電圧の上げ下げは相殺され、結果的にチャネル領域7の電圧に影響を与えない。このチャネル領域7の“0”消去状態の電圧 $V_{FB} \text{ “0”}$ を第2のデータ保持電圧（特許請求の範囲の「第2のデータ保持電圧」の一例である）とする、ページ消去動作を行い、論理記憶データ“0”に割り当てる。

[0044] 次に図4D(a)～(d)を用いて、ページ消去動作のメカニズムを説明する。図4Dの図4Bとの違いは、ページ消去動作中は、ビット線 $BL_1 \sim B$

L_3 は、 V_{ss} もしくは、フローティング状態とする点と、ワード線 WL_2 は、 V_{ss} に固定する点である。これにより、時刻 $T_1 \sim T_2$ で、ソース線 SL が V_{ss} から V_{SLH} に上がっても、ワード線 WL_2 の第2のNチャネルMOSトランジスタは、非導通となり、メモリセル電流は流れない。従って、インパクトイオン化現象による正孔群9の生成は無い。その他は、図4Bと同様にソース線 SL が V_{ss} と V_{SLH} との間を振幅し、プレート線 PL_2 は、 V_{PLL} と V_{PLH} との間を振幅する。その結果、図4D(c)に示すように正孔群9は、ソース線 SL の第1の不純物層 N^+ 層3aへ排出される。

[0045] 次に図4E(a)～(d)を用いて、ページ消去動作のメカニズムを説明する。図4Eの図4Bとの違いは、ページ消去動作中は、ソース線 SL は、 V_{ss} もしくは、フローティング状態とする点と、プレート線 PL_2 は、 V_{ss} に固定する点である。これにより、時刻 $T_1 \sim T_2$ で、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ が V_{ss} から V_{BLH} に上がっても、プレート線 PL_2 の第1のNチャネルMOSトランジスタは、非導通となり、メモリセル電流は流れない。従って、インパクトイオン化現象による正孔群9の生成は無い。その他は、図4Bと同様にビット線 $BL_1 \sim BL_3$ が V_{ss} と V_{BLH} との間を振幅し、ワード線 WL_2 は、 V_{ss} と V_{WLH} との間を振幅する。その結果、図4E(c)に示すように正孔群9は、ビット線 $BL_1 \sim BL_3$ の第2の不純物層 N^+ 層3bへ排出される。

[0046] なお、上記のビット線 BL 、ソース線 SL 、ワード線 WL 、プレート線 PL に印加する電圧条件と、フローティングボディの電位は、ページ消去動作を行うための一例であり、ページ消去動作ができる他の動作条件であってもよい。

[0047] 図5(a)～(c)は、本発明の第1実施形態に係るダイナミックフラッシュメモリセルの読出し動作を説明するための図である。図5(a)に示すように、チャネル領域7がビルトイン電圧 V_b (約0.7V)まで充電されると、ワード線 WL の接続された第2のゲート導体層5bを有する第2のNチャネルMOSトランジスタのしきい値電圧が基板バイアス効果によって、低下する。この状態を論理記憶データ“1”に割り当てる。図5(b)に示

すように、書込みを行う前に選択するメモリブロックは、予め消去状態“0”になっており、チャネル領域7の電圧 V_{FB} は V_{FB} “0”となっている。書込み動作によってランダムに書込み状態“1”が記憶される。この結果、ワード線WLに対して、論理“0”と“1”の論理記憶データが作成される。図5(c)に示すように、このワード線WLに対する2つのしきい値電圧の高低差を利用して、センスアンプで読出しが行われる。

[0048] なお、上記のビット線BL、ソース線SL、ワード線WL、プレート線PLに印加する電圧条件と、フローティングボディの電位は、読出し動作を行うための一例であり、読出し動作ができる他の動作条件であってもよい。

[0049] 図6A～図6Dを用いて、本発明の第1実施形態に係るダイナミックフラッシュメモリセルのページ積和読出し動作（特許請求の範囲の「ページ積和読出し動作」の一例である）を説明する。

[0050] 図6A(a)は、図3B、図4Cと図5(c)において説明した“1”書込み状態と“0”消去状態のメモリセル電流と同様であるが、ワード線WLの電圧を高くしていくと、“1”書込み状態のメモリセル電流（特許請求の範囲の「メモリセル電流」の一例である）が飽和する様子を示している。これは、“1”書込み状態のメモリセル電流は、プレート線PLでも制御されているため、プレート線PLの電圧を固定すると、“1”書込み状態のメモリセル電流は制限され、図6A(a)で示したように飽和する。

[0051] ここで、図6A(a)に示すメモリセル電流の飽和電流を I_{sat} とすると、 I_{sat} は、式(10)で表される。

$$I_{sat} = 1/2 \times \beta (V_g - V_{th})^2 \quad (10)$$

式(10)において、 V_g はプレート線PLの印加電圧であり、 V_{th} は第1のゲート導体層のしきい値電圧であり、 β は式(11)で表される。

$$\beta = (\mu \times \varepsilon / t_{OX}) \times (W/L) \quad (11)$$

[0052] 式(11)において、 μ は移動度であり、 ε は酸化膜の誘電率であり、 t_{OX} は酸化膜厚であり、 W/L はトランジスタサイズであり、 W は第1のゲート導体層のチャネル幅であり、 L は第1のゲート導体層のチャネル長である。

図1に示した構造では、チャネル長は、第1のチャネル領域7aの垂直方向の長さであり、チャネル幅は、第1のチャネル領域7aの水平断面の円周長である。

図6A(b)は、「1」書込み状態のメモリセル（特許請求の範囲の「「1」書込み状態のメモリセル」の一例である）が、ビット線で積和されている様子を示している。「1」書込み状態のメモリセルのメモリセル電流の飽和電流がN倍となるようにプレート線PLに印加する電圧を変えている。例えば、プレート線PLの印加電圧を1Vにした時の飽和電流が $1\mu\text{A}$ であり、第1のゲート導体層のしきい値電圧 V_{th} が0.5Vであった場合を説明する。1倍の飽和電流 $1\mu\text{A}$ を2倍、3倍の $2\mu\text{A}$ 、 $3\mu\text{A}$ にするプレート線PLの印加電圧を求めるには、式(10)を用いて算出できる。式(10)より、 $I_{sat} = 1/2\beta(V_g - V_{th})^2$ であるから、 $1/2\beta$ を定数と考えれば、 $(V_g - V_{th})^2$ の項が2倍、3倍になれば良い。1倍の時は、 $(V_g - V_{th})^2 = (1 - 0.5)^2 = 0.25$ となる。したがって、2倍の時は、 0.25×2 、3倍の時は、 0.25×3 であり、この時のプレート線PLの電圧 V_g は、それぞれ $(V_g - V_{th})^2 = 0.25 \times 2$ 、 $(V_g - V_{th})^2 = 0.25 \times 3$ より、 $V_g = \sqrt{0.25 \times 2} + 0.5 = 1.2\text{V}$ 、 $V_g = \sqrt{0.25 \times 3} + 0.5 = 1.4\text{V}$ となる。したがって、プレート線PLの印加電圧 V_g を1Vから1.2V、1.4Vと増加させるとメモリセル電流の飽和電流は、 $1\mu\text{A}$ から、 $2\mu\text{A}$ 、 $3\mu\text{A}$ と増大する。それを基準電流（特許請求の範囲の「基準電流」の一例である）と比較する。例えば、基準電流は、「1」書込み状態のメモリセル電流の飽和電流の2.5倍、1.5倍、0.5倍と大電流から小電流へ段階的に減少させていくと、「1」書込み状態のメモリセル電流の積は、「1」 $\times 3 = 11$ （2ビットの2進数）、「1」 $\times 2 = 10$ 、「1」 $\times 1 = 01$ 、「1」 $\times 0 = 00$ 、という4通りの「1」書込み状態のメモリセルの積算の場合を判定できる。

[0053] 図6Bの回路図を用いて、ページ積和読出し動作を説明する。ビット線BLは、複数個のメモリセルC1～CMが接続されており、スイッチ回路（特

許請求の範囲の「スイッチ回路」の一例である)であるN型MOSトランジスタT4を介して、センスアンプ回路(特許請求の範囲の「センスアンプ回路」の一例である)SAに接続している。また、メモリセルC1~CMには、それぞれワード線WL1~WLM、プレート線PL1~PLMが接続している。ワード線WL1~WLM、プレート線PL1~PLMに接続する、それぞれ1個のメモリセルC1~CMしか図示していないが、実際にはワード線WL1~WLM、プレート線PL1~PLMで選択される複数個のメモリセル群(特許請求の範囲の「メモリセル群」の一例である)があり、任意のワード線WL選択により、ページデータ(特許請求の範囲の「ページデータ」の一例である)がビット線BLに読み出される。

[0054] 図6Bの回路図において、センスアンプ回路SAは、強制反転型センスアンプ回路(特許請求の範囲の「強制反転型センスアンプ回路」の一例である)である。この強制反転型センスアンプ回路は、N型MOSトランジスタT1、T1A、T1B、P型MOSトランジスタT2、T2A、T2Bで構成されている。また、そのゲートに基準電流制御信号VREFが入力するN型MOSトランジスタT3が接点NBに接続され、基準電流を流出し、接点NAから流出するメモリセル電流の積算と、それぞれの電流の大きさを比較する。

[0055] 例えば、ビット線BLに積算されるメモリセルの内、“1”書込み状態のメモリセルの積算数を判定する場合、図6A(b)に示すように「1」書込み状態のメモリセルの積算数は、最大3倍である。したがって、基準電流としては、「1」書込み状態のメモリセルの飽和電流の2倍分と3倍分の中間の電流を最初の基準電流として、選択すれば良い。そして、もし、ノードNAが「ハイ」から「ロウ」に下がった場合には、ビット線BLで積算されたメモリセル電流は、「1」書込み状態の飽和電流の3倍であったことが分かる。この結果は、Nビットのラッチ回路(特許請求の範囲の「Nビットのラッチ回路」の一例である)Nb__LATに記憶される。

[0056] 次に、「1」書込み状態のメモリセルの飽和電流の1個分と2個分の中間

の電流を基準電流として選択する。この場合、ノードNAが「ハイ」から「ロウ」に下がった場合には、ビット線BLで積算されたメモリセル電流は、「1」書込み状態の飽和電流の2倍であったことが分かる。なお、同一ビット線BLにおいて、「1」書込み状態のメモリセル電流の3倍であった場合は、既に上記のように判定済みであるため、強制反転型センスアンプ回路SAのノードNAは「ロウ」状態を維持する。このように基準電流の値を大電流から小電流へと段階的に小さくすることによって、ビット線BLに読み出されたメモリセルが、何倍の積算された状態のメモリセルであったかが判定でき、その結果をラッチ回路Nb__LATに記憶できる。

[0057] 図6Bにおいて、N型MOSトランジスタT6AとT6Bを介して、ラッチ回路Nb__LATの記憶データは、入出力線IOと／IOに読み出される。なお、P型MOSトランジスタT5は、そのゲートにビット線プリチャージ信号が入力され、ビット線BLを予備充電する。また、N型MOSトランジスタT4には、トランスファー信号FTが入力している。

[0058] 図6Cと図6Dを用いて、複数組のページデータがビット線BL0～BL2で積和される例を説明する。

[0059] 図6Cにおいて、3行×4列のメモリセルC00～C32がブロックの一部を構成している。ここでは、3行×4列のメモリセルC00～C32を示すが、実際のブロックにおいては、3行×4列よりも大きな行列をメモリセルが構成している。そして、各メモリセルには、ワード線WL0～WL2、プレート線PL0～PL2、ソース線SL、ビット線BL0～BL3が接続されている。そのゲートにトランスファー信号FTが入力するトランジスタT40～T43は、スイッチ回路を構成している。また、そのゲートをビット線プリチャージ信号FPに接続するトランジスタT50～T53のドレインは、ビット線プリチャージ電圧VPに、ソースは、各ビット線BL0～BL3に接続する。そして、各ビット線BL0～BL3は、スイッチ回路T40～T43を介して、強制反転型センスアンプ回路SA0～SA3に接続する。強制反転型センスアンプ回路SA0～SA3は、そのゲートをカラム選

択線CSL0～CSL3に接続するトランジスタT6A0～T6B3を介して、1対の相補の入出力線IOと／IOに接続する。また、強制反転型センスアンプ回路SA0～SA3には、Nビットのラッチ回路Nb__LAT0～Nb__LAT3が接続され、ビット線BL0～BL3で積和されたメモリセル電流が強制反転型センスアンプ回路SA0～SA3によって判定され、その結果が記憶される。

[0060] 図6Dは、メモリセルC00～C32の内、ランダムに“1”書込みが行われ、そのチャネル半導体層7に正孔群9が蓄積されている様子を示している。図6Dにおいて、例えば、ワード線WL0に接続する第1のメモリセル群（特許請求の範囲の「第1のメモリセル群」の一例である）C00～C30のうち「1」書込み状態のメモリセルは、C10であり、ワード線WL1に接続する第2のメモリセル群（特許請求の範囲の「第2のメモリセル群」の一例である）C01～C31のうち「1」書込み状態のメモリセルは、C01、C11とC31であり、ワード線WL2に接続する第3のメモリセル群C02～C32のうち「1」書込み状態のメモリセルは、C02とC12である場合を想定する。ここで、3本のワード線WL0～WL2を同時に多重選択する。また、第1の駆動制御線（特許請求の範囲の「第1の駆動制御線」の一例である）であるプレート線PL0には、第1の電圧（特許請求の範囲の「第1の電圧」の一例である）を印加し、第2の駆動制御線（特許請求の範囲の「第2の駆動制御線」の一例である）であるプレート線PL1には、第2の電圧（特許請求の範囲の「第2の電圧」の一例である）を印加し、第3の駆動制御線であるプレート線PL2には、第3の電圧を印加する。なお、多重選択する方法は、ロウデコーダ回路にアドレスラッチ回路を設ければ容易に可能である（図示せず）。

[0061] 図6Dにおいて、プレート線PL0には、第1のメモリセル群のメモリセル電流の飽和電流が1倍となるように第1の電圧を設定し、プレート線PL1には、第2のメモリセル群のメモリセル電流の飽和電流が2倍となるように第2の電圧を設定し、プレート線PL2には、第3のメモリセル群のメモ

リセル電流の飽和電流が3倍となるように第3の電圧を設定する。この結果、ビット線BL0～BL3には、それぞれ3個のメモリセルの総和電流（特許請求の範囲の「総和電流」の一例である）が流れる。具体的には、ビット線BL0には、C00、C01とC02が読み出され、ビット線BL1には、C10、C11とC12が読み出され、ビット線BL2には、C20、C21とC22が読み出され、ビット線BL3には、C30、C31とC32が読み出される。

[0062] 図6Dにおいて、3組のページデータは、 $(C00=0 \times 1, C10=1 \times 1, C20=0 \times 1, C30=0 \times 1)$ 、 $(C01=1 \times 2, C11=1 \times 2, C21=0 \times 2, C31=1 \times 2)$ 、 $(C02=1 \times 3, C12=1 \times 3, C22=0 \times 3, C32=0 \times 3)$ である。したがって、ビット線BL0～BL3には、それぞれページデータの積和が合算される。具体的には、 $BL0=C00+C01+C02=5$ 、 $BL1=C10+C11+C12=6$ 、 $BL2=C20+C21+C22=0$ 、 $BL3=C30+C31+C32=2$ となる。

[0063] そのビット線BL0～BL3の結果を強制反転型センスアンプ回路SA0～SA3で判定し、その結果は、Nビットのラッチ回路Nb__LAT0～Nb__LAT3に記憶される。この場合、Nb__LAT0=101（2進数）、Nb__LAT1=110、Nb__LAT2=000、Nb__LAT3=010となる。その結果は、MOSトランジスタT6A0～T6B3を介して、入出力線IOと／IOに読み出される。

[0064] このようにワード線WL0～WL2で多重選択されるメモリセル群のページデータが、ビット線BL0～BL3で積和計算され、強制反転型センスアンプ回路SA0～SA3を用いて、容易に判定される。このように複数組のページデータをダイナミックフラッシュメモリ装置の外に読み出さずに、その積和データを計算することが出来る。この結果、大幅な消費電力の削減と、計算速度の著しい高速化を実現できる。したがって、AI分野において、最適なメモリ装置を提供できる。

- [0065] なお、上記のページ積和読出し動作において、メモリセル電流の飽和領域を用いて説明して来たが、ワード線WLの電圧の低い線形領域のメモリセル電流を用いて、ページ積和読出し動作を行っても良い。その場合、基準電流もメモリセル電流に合わせて、制御する。
- [0066] 図1において、Si柱2の水平断面形状は、円形状、楕円状、長方形状であっても、本実施形態で説明したダイナミックフラッシュメモリ動作ができる。また、同一チップ上に、円形状、楕円状、長方形状のダイナミックフラッシュメモリセルを混在させてもよい。
- [0067] また、図1では、基板上に垂直方向に立ったSi柱2の側面全体を囲んだ第1のゲート絶縁層4a、第2のゲート絶縁層4bを設け、第1のゲート絶縁層4a、第2のゲート絶縁層4bの全体を囲んで第1のゲート導体層5a、第2のゲート導体層5bを有するSGTを例にダイナミックフラッシュメモリ素子を説明した。本実施形態の説明で示したように、本ダイナミックフラッシュメモリ素子は、インパクトイオン化現象により発生した正孔群9がチャネル領域7に保持される条件を満たす構造であればよい。このためには、チャネル領域7は基板1と分離されたフローティング・ボディ構造であればよい。これより、例えばSGTの1つであるGAA (Gate All Around : 例えば非特許文献10を参照) 技術、Nanosheet技術(例えば、非特許文献11を参照)を用いて、チャネル領域の半導体母体を基板1に対して水平に形成されていても、前述のダイナミックフラッシュメモリ動作ができる。また、SOI (Silicon On Insulator) を用いたデバイス構造(例えば、非特許文献7～10を参照)であってもよい。このデバイス構造ではチャネル領域の底部がSOI基板の絶縁層に接しており、且つ他のチャネル領域を囲んでゲート絶縁層、及び素子分離絶縁層で囲まれている。この構造においても、チャネル領域はフローティング・ボディ構造となる。このように、本実施形態が提供するダイナミックフラッシュメモリ素子では、チャネル領域がフローティング・ボディ構造である条件を満足すればよい。また、Finトランジスタ(例えば非特許文献13を参照)をSOI基板上に形成した構造

であっても、チャネル領域がフローティング・ボディ構造であれば、本ダイナミック・フラッシュ動作が出来る。

[0068] また、“1”書込みにおいて、ゲート誘起ドレインリーク（GIDL : Gate Induced Drain Leakage）電流（例えば非特許文献14を参照）を用いて、電子・正孔対を発生させ、生成された正孔群でチャネル領域7内を満たしてもよい。

[0069] また、本明細書及び図面の式（1）～（14）は、現象を定性的に説明するために用いた式であり、現象がそれらの式によって限定されるものではない。

[0070] なお、図3Aと図3Bの説明において、ワード線WL、ビット線BL、ソース線SLのリセット電圧を V_{ss} と記載しているが、それぞれを異なる電圧にしても良い。

[0071] また、図4A及びその説明において、ページ消去動作条件の一例を示した。これに対して、チャネル領域7にある正孔群9を、 N^+ 層3a、 N^+ 層3bのいずれか、または両方から除去する状態が実現できれば、ソース線SL、プレート線PL、ビット線BL、ワード線WLに印加する電圧を変えてもよい。また、ページ消去動作において、選択されたページのソース線SLに電圧を印加し、ビット線BLはフローティング状態にしても良い。また、ページ消去動作において、選択されたページのビット線BLに電圧を印加し、ソース線SLはフローティング状態にしても良い。

[0072] また、図1において、垂直方向において、第1の絶縁層である絶縁層6で囲まれた部分のチャネル領域7では、第1のチャネル領域7a、第2のチャネル領域7bの電位分布が繋がって形成されている。これにより、第1のチャネル領域7a、第2のチャネル領域7bのチャネル領域7が、垂直方向において、第1の絶縁層である絶縁層6で囲まれた領域で繋がっている。

[0073] なお、図1において、プレート線PLの接続する第1のゲート導体層5aの垂直方向の長さを、ワード線WLの接続する第2のゲート導体層5bの垂直方向の長さより更に長くし、 $C_{PL} > C_{WL}$ とすることが、望ましい。しかし、プ

レート線PLを付加することだけで、ワード線WLのチャネル領域7に対する、容量結合のカップリング比($C_{WL}/(C_{PL}+C_{WL}+C_{BL}+C_{SL})$)が小さくなる。その結果、フローティングボディのチャネル領域7の電位変動 ΔV_{FB} は、小さくなる。

[0074] また、プレート線PLの電圧 V_{PLL} は、例えば、1V程度の固定電圧を印加しても良い。

[0075] なお、本明細書及び特許請求の範囲において「ゲート絶縁層やゲート導体層等がチャネル等を覆う」と言った場合の「覆う」の意味として、SGTやGAAのように全体を囲む場合、Finトランジスタのように一部を残して囲む場合、さらにプレナー型トランジスタのように平面的なものの上に重なるような場合も含む。

[0076] 図1においては、第1のゲート導体層5aは、第1のゲート絶縁層4aの全体を囲んでいる。これに対して、第1のゲート導体層5aは、平面視において、第1のゲート絶縁層4aの一部を囲んでいる構造としてもよい。この第1のゲート導体層5aを少なくとも2つのゲート導体層に分割して、プレート線PL電極として、動作させても良い。同様に、第2のゲート導体層5bを2つ以上に分割して、それぞれをワード線の導体電極として、同期または非同期で動作させてもよい。これにより、ダイナミックフラッシュメモリ動作を行うことができる。

[0077] 図6A～図6Dにおいては、1個の半導体母体から成る1ビットのダイナミックフラッシュメモリセルのページ積和読出し動作を説明したが、“1”と“0”相補のデータを記憶する2個の半導体母体から成る1ビットの高速ダイナミックフラッシュメモリセルの各動作モードに関しても本発明は有効である。

[0078] 本実施形態は、下記の特徴を供する。

(特徴1)

本実施形態のダイナミックフラッシュメモリセルでは、ソース、ドレインとなる N^+ 層3a、3b、チャネル領域7、第1のゲート絶縁層4a、第2

のゲート絶縁層4 b、第1のゲート導体層5 a、第2のゲート導体層5 bが、全体として柱状に形成される。また、ソースとなるN⁺層3 aはソース線S Lに、ドレインとなるN⁺層3 bはビット線B Lに、第1のゲート導体層5 aはプレート線P Lに、第2のゲート導体層5 bはワード線W Lに、それぞれ接続している。プレート線P Lが接続された、第1のゲート導体層5 aのゲート容量は、ワード線W Lが接続された、第2のゲート導体層5 bのゲート容量よりも、大きくなるような構造を特徴としている。本ダイナミック フラッシュ メモリセルでは、垂直方向に第1のゲート導体層と、第2のゲート導体層が、積層されている。このため、プレート線P Lが接続された、第1のゲート導体層5 aのゲート容量が、ワード線W Lが接続された、第2のゲート導体層5 bのゲート容量よりも、大きくなるような構造にしても、平面視において、メモリセル面積を大きくさせない。これによりダイナミック フラッシュ メモリセルの高性能化と高集積化が同時に実現できる。

[0079] (特徴2)

本発明の第1実施形態に係るダイナミック フラッシュ メモリセルのページ積和読出し動作により、複数組のページデータをダイナミック フラッシュ メモリ装置の外に読み出さずに、その積和データを計算することが出来る。この結果、大幅な消費電力の削減と、計算速度の著しい高速化を実現できる。すなわち、メモリ装置内で演算を行うC I M (Computation-In Memory) 技術開発に対して、多大な貢献が可能である。このようにA I分野において、最適なメモリ装置を提供でき、システムの自由度が大幅に拡大し、システムの高速化が達成できる。

[0080] (特徴3)

本発明の第1実施形態に係るダイナミック フラッシュ メモリセルのプレート線P Lの接続する第1のゲート導体層5 aの役割に注目すると、ダイナミック フラッシュ メモリセルが書込み、読出し動作をする際に、ワード線W Lの電圧が上下に振幅する。この際に、プレート線P Lは、ワード線W Lとチャネル領域7との間の容量結合比を低減させる役目を担う。この結果、

ワード線WLの電圧が上下に振幅する際の、チャネル領域7の電圧変化の影響を著しく抑えることができる。これにより、論理“0”と“1”を示すワード線WLのSGTトランジスタのしきい値電圧差を大きくすることが出来る。これは、ダイナミック フラッシュ メモリセルの動作マージンの拡大に繋がる。

[0081] (その他の実施形態)

なお、本発明では、Si柱を形成したが、Si以外の半導体材料よりなる半導体柱であってもよい。このことは、本発明に係るその他の実施形態においても同様である。

[0082] また、本発明は、本発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した各実施形態は、本発明の一実施例を説明するためのものであり、本発明の範囲を限定するものではない。上記実施例及び変形例は任意に組み合わせることができる。さらに、必要に応じて上記実施形態の構成要件の一部を除いても本発明の技術思想の範囲内となる。

産業上の利用可能性

[0083] 本発明に係る、半導体素子を用いたメモリ装置によれば、高密度で、かつ高性能のSGTを用いたメモリ装置であるダイナミック フラッシュ メモリが得られる。

符号の説明

- [0084] 10 : ダイナミック フラッシュ メモリセル
2 : P型又はi型(真性型)の導電型を有するSi柱
3a、3b : N⁺層
7 : チャネル領域
4a、4b : ゲート絶縁層
5a、5b : ゲート導体層
6 : 2層のゲート導体層を分離するための絶縁層
BL : ビット線

SL : ソース線

PL : プレート線

WL : ワード線

FB : フローティングボディ

CL₁₁~CL₃₃ : メモリセル

SL : ソース線

BL₁~BL₃、BL : ビット線

PL₁~PL₃、PL : プレート線

WL₁~WL₃、WL : ワード線

C00~C32 : メモリセル

SL : ソース線

BL0~BL3 : ビット線

PL0~PL2 : プレート線

WL0~WL2 : ワード線

SA0~SA3 : 強制反転型センスアンプ回路

T1~T6B : MOSトランジスタ

Nb__LAT : Nビットのラッチ回路

2b__LAT0~2b__LAT3 : 2ビットのラッチ回路

IO、／IO : 入出力線

CSL、CSL0~CSL3 : カラム選択線

110 : キャパシタを有しない、DRAMメモリセル

100 : SOI基板

101 : SOI基板のSiO₂膜

102 : フローティングボディ (Floating Body)

103 : ソースN⁺層

104 : ドレインN⁺層

105 : ゲート導電層

106 : 正孔

107 : 反転層、電子のチャネル

108 : ピンチオフ点

109 : ゲート酸化膜

請求の範囲

- [請求項1] 基板上に行方向に配列された複数のメモリセルによってページが構成され、複数のページが列方向に配列されたメモリ装置であって、
- 前記各ページに含まれる各メモリセルは、
- 基板上に、前記基板に対して、垂直方向に立つか、または水平方向に伸延する半導体母体と、
- 前記半導体母体の両端にある第1の不純物層と、第2の不純物層と、
- 、
- 前記第1の不純物層と前記第2の不純物層の間の前記半導体母体の側面の一部または全てを囲こみ、前記第1の不純物層に接するか、または、近接した第1のゲート絶縁層と、
- 前記半導体母体の側面を囲み、前記第1のゲート絶縁層に繋がり、且つ前記第2の不純物層に接するか、または、近接した第2のゲート絶縁層と、
- 前記第1のゲート絶縁層の一部または全体を覆う第1のゲート導体層と、
- 前記第2のゲート絶縁層を覆う第2のゲート導体層と、
- 前記半導体母体が前記第1のゲート絶縁層と、前記第2のゲート絶縁層とで覆われたチャネル半導体層とを、有し、
- 前記第1のゲート導体層と、前記第2のゲート導体層と、前記第1の不純物領域と、前記第2の不純物領域と、に印加する電圧を制御して、前記チャネル半導体層の内部に、インパクトイオン化現象、またはゲート誘起ドレインリーク電流により形成した正孔群を保持し、
- ページ書込み動作時には、前記チャネル半導体層の電圧を、前記第1の不純物層及び前記第2の不純物層の一方もしくは両方の電圧より高い、第1のデータ保持電圧とし、
- ページ消去動作時には、前記第1の不純物層と、前記第2の不純物層と、前記第1のゲート導体層と、前記第2のゲート導体層とに印加

する電圧を制御して、前記第1の不純物層と、前記第2の不純物層の一方もしくは両方から、前記正孔群を抜きとり、前記チャネル半導体層の電圧を、前記第1のデータ保持電圧よりも低い、第2のデータ保持電圧とし、

前記メモリセルの前記第1の不純物層は、ソース線と接続し、前記第2の不純物層は、ビット線と接続し、前記第1のゲート導体層と前記第2のゲート導体層のうちの一方はワード線と接続し、他方は駆動制御線と接続し、

前記ビット線は、スイッチ回路を介してセンスアンプ回路に接続し、

ページ読出し動作時には、前記ワード線で選択するメモリセル群のページデータをセンスアンプ回路に読出し、

ページ積和読出し動作時には、前記メモリセル群の前記ビット線に流れるメモリセル電流が N 倍（ N は正の整数）となるように前記駆動制御線に電圧を印加する、

ことを特徴とする半導体素子を用いたメモリ装置。

[請求項2]

前記ページ積和読出し動作時には、少なくとも2本の前記ワード線が多重選択され、第1のメモリセル群の前記ビット線に流れる前記メモリセル電流は、 M 倍（ M は正の整数）となるように第1の駆動制御線に第1の電圧を印加し、第2のメモリセル群の前記ビット線に流れる前記メモリセル電流は、 K 倍（ K は正の整数）となるように第2の駆動制御線に第2の電圧を印加し、前記第1のメモリセル電流と前記第2のメモリセル電流は、前記ビット線で加算され、前記センスアンプ回路に読み出される、

ことを特徴とする請求項1に記載の半導体素子を用いたメモリ装置。

[請求項3]

前記センスアンプ回路は、強制反転型センスアンプ回路であり、前記ビット線で加算される前記メモリセル電流の和が基準電流よりも大

きい場合に前記強制反転型センスアンプ回路は反転する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体素子を用いたメモリ装置
。

[請求項4] 前記ページ積和読出し動作時には、前記ビット線で積和された前記メモリセル電流の総和電流は、前記総和電流よりも小さい前記基準電流により、前記強制反転型センスアンプ回路により、読み出される、
ことを特徴とする請求項 3 に記載の半導体素子を用いたメモリ装置
。

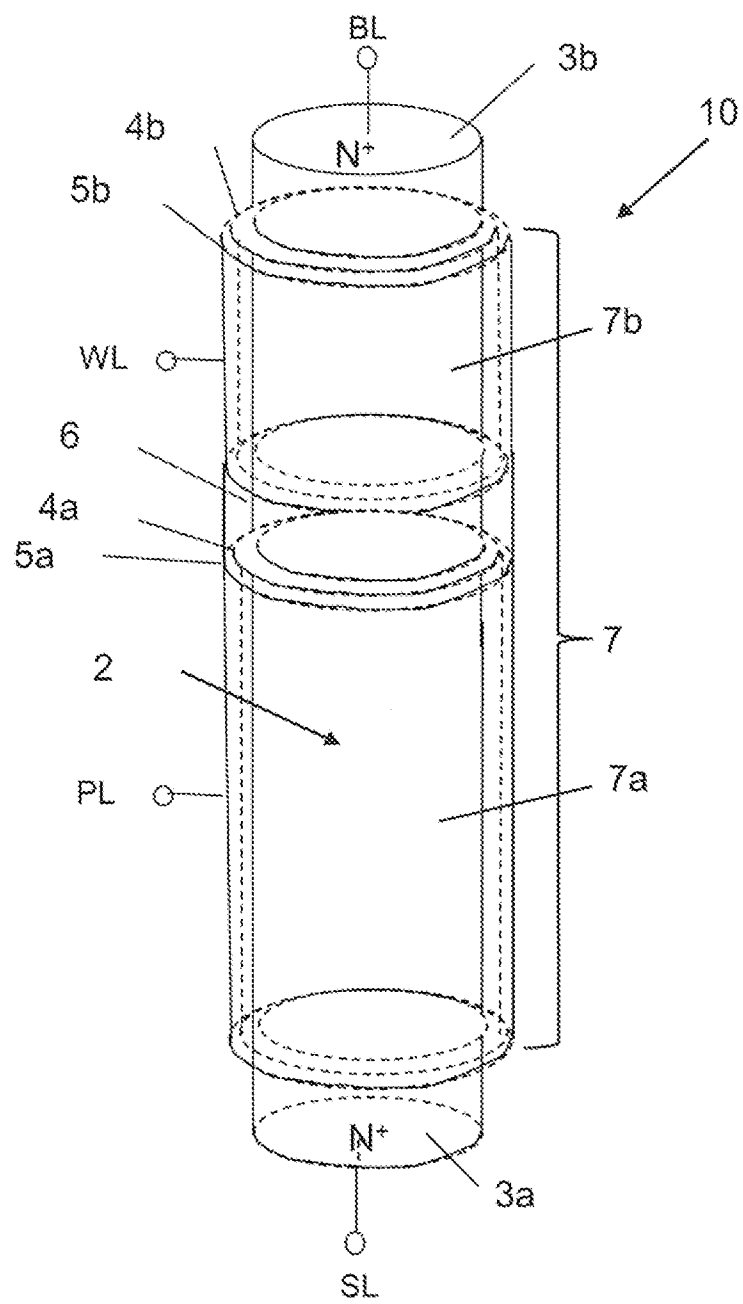
[請求項5] 前記基準電流は、大電流から小電流への段階的に減少させて、前記メモリセル電流の和は、前記強制反転型センスアンプ回路により、読み出される、
ことを特徴とする請求項 3 に記載の半導体素子を用いたメモリ装置
。

[請求項6] 前記ページ積和読出し動作時に前記ビット線に流れる前記メモリセル電流は、前記センスアンプ回路に読み出され、Nビット（Nは正の整数）のラッチ回路に積和計算結果が記憶される、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体素子を用いたメモリ装置
。

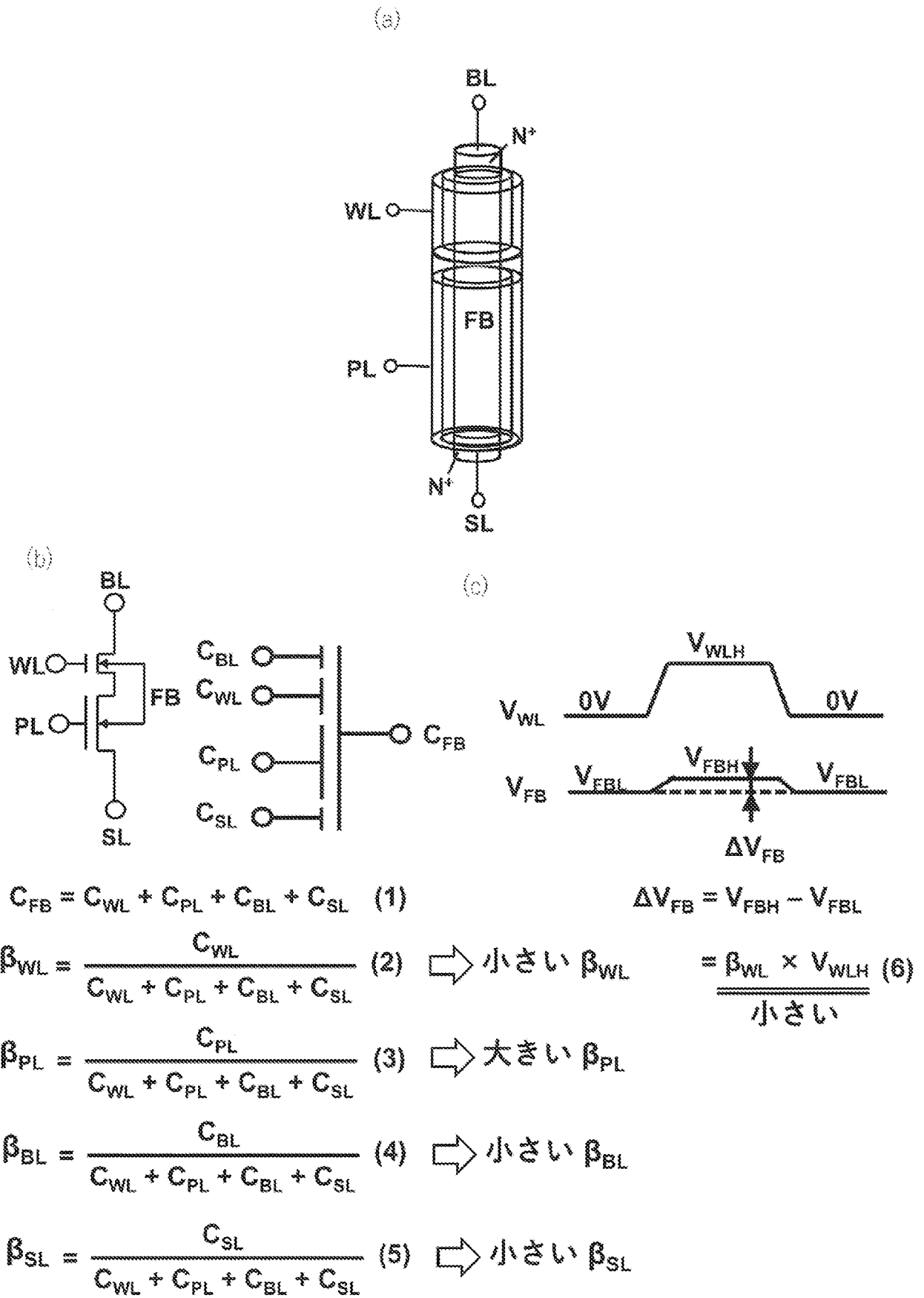
[請求項7] 前記第 1 のゲート導体層と前記チャネル半導体層との間の第 1 のゲート容量が、前記第 2 のゲート導体層と前記チャネル半導体層との間の第 2 のゲート容量よりも大きい、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体素子を用いたメモリ装置
。

[請求項8] 前記半導体母体の軸方向から見たときに、前記第 1 のゲート導体層が、前記第 1 のゲート絶縁層を囲んで少なくとも 2 つの導体層に分離している、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体素子を用いたメモリ装置
。

[図1]

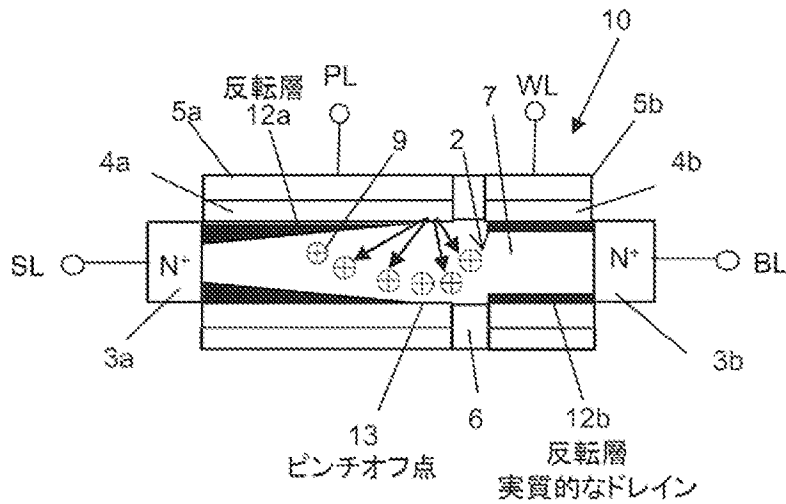


[図2]

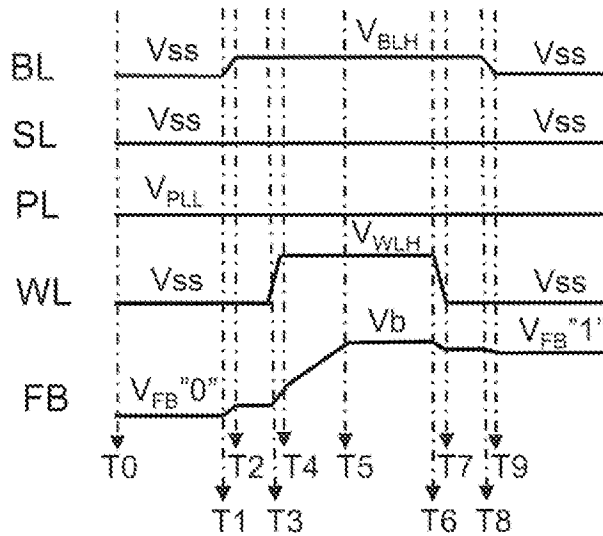


[図3A]

(a) “1” ページ書き込み動作
ソース側インパクトイオン化

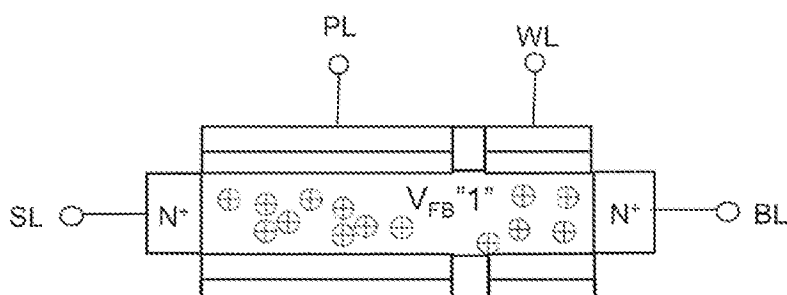


(b)

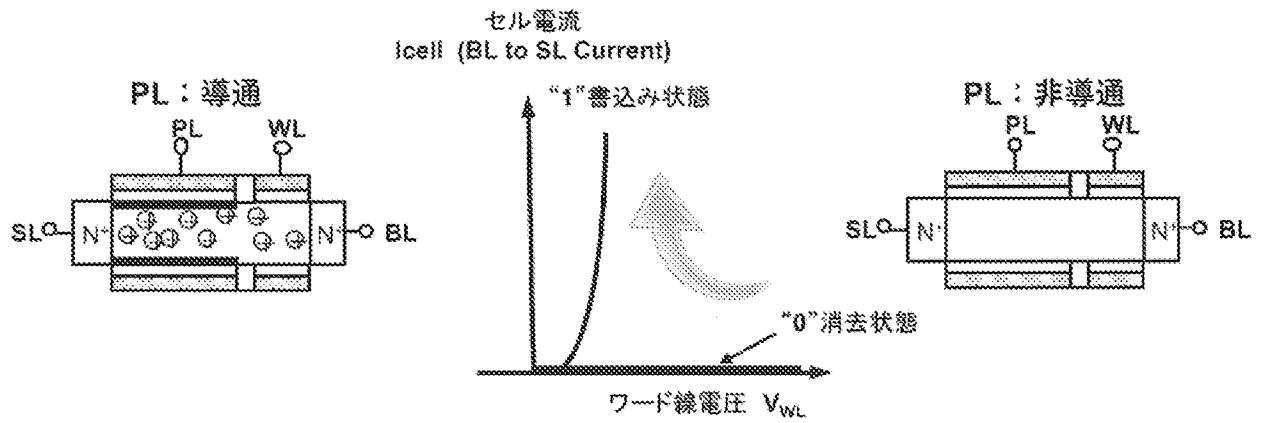


$$V_{FB}'1'' = V_b - \underbrace{\beta_{WL} \times V_{t_{WL}}'1''}_{\text{小さい}} - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (7)$$

(c) “1” 書き込み状態

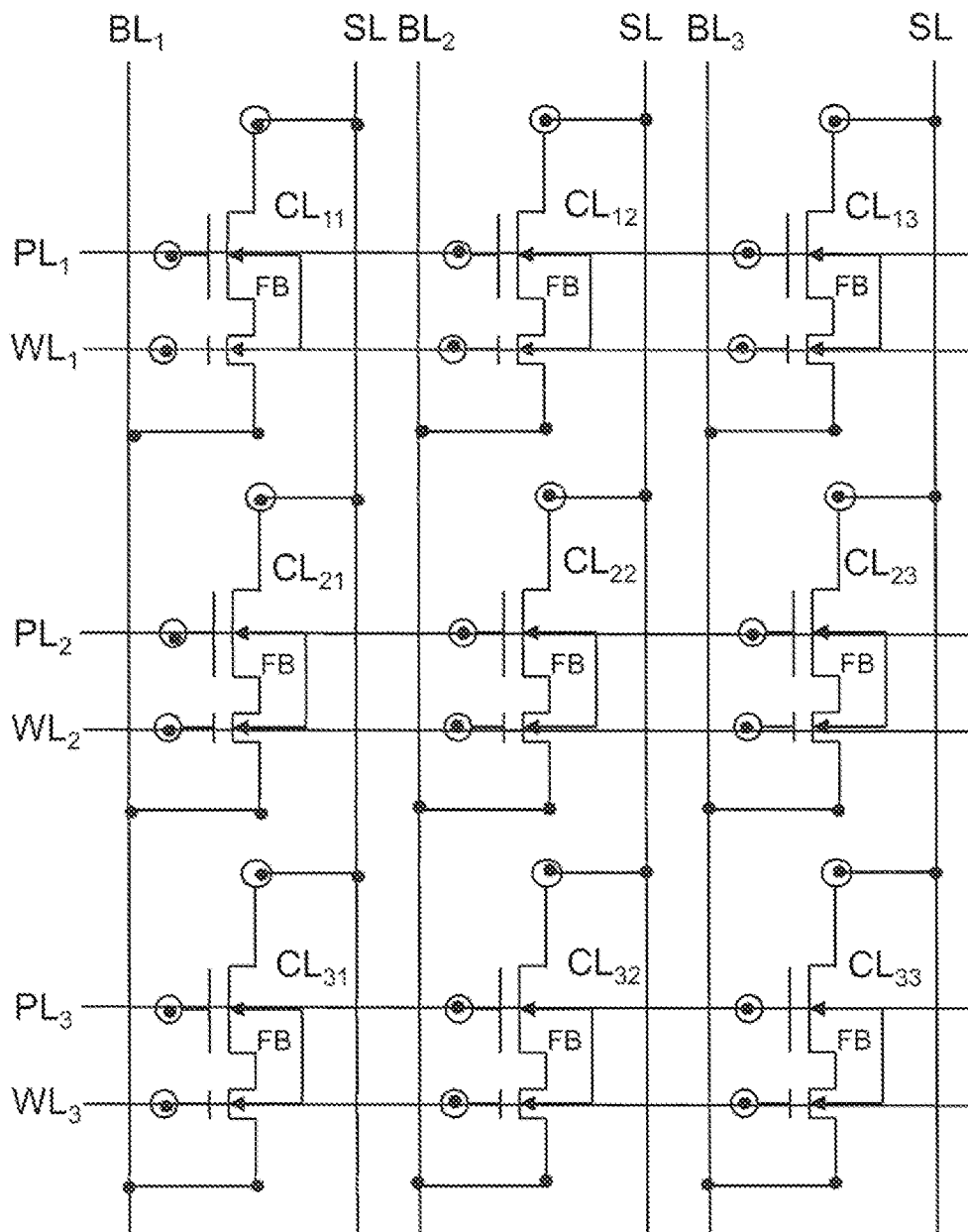


[図3B]

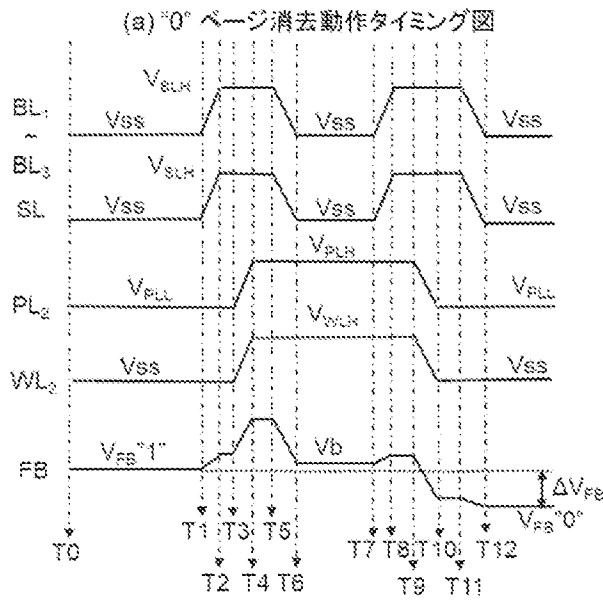


[図4A]

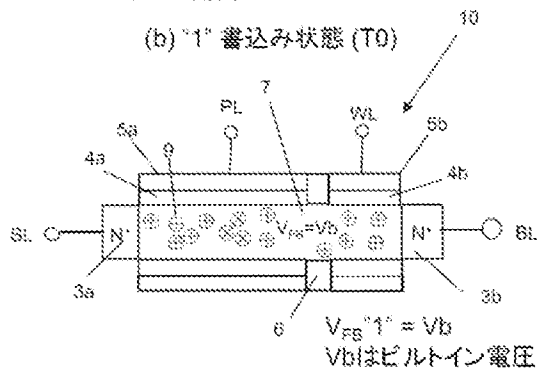
ページ消去 Page Erase



[図4B]



T3~T4: 第1の期間
 T5~T6: 第2の期間
 T9~T10: 第3の期間

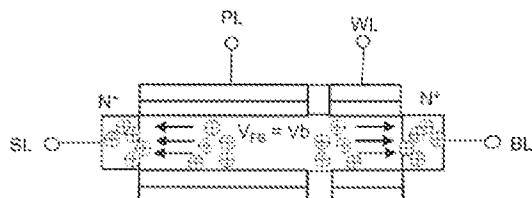


$$V_{FB} "1" = V_b - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} "1" - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (7)$$

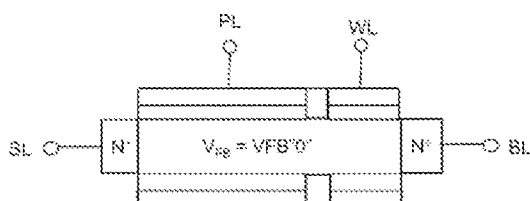
$$V_{FB} "0" = V_b - \beta_{WL} \times V_{WLH} - \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{FB} &= V_{FB} "1" - V_{FB} "0" \\ &= \beta_{WL} \times V_{WLH} + \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \\ &\quad - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} "1" - \beta_{BL} \times V_{BLH} \end{aligned} \quad (9)$$

(c) "0" 消去動作の内、正孔群9を排出する (T5~T6)

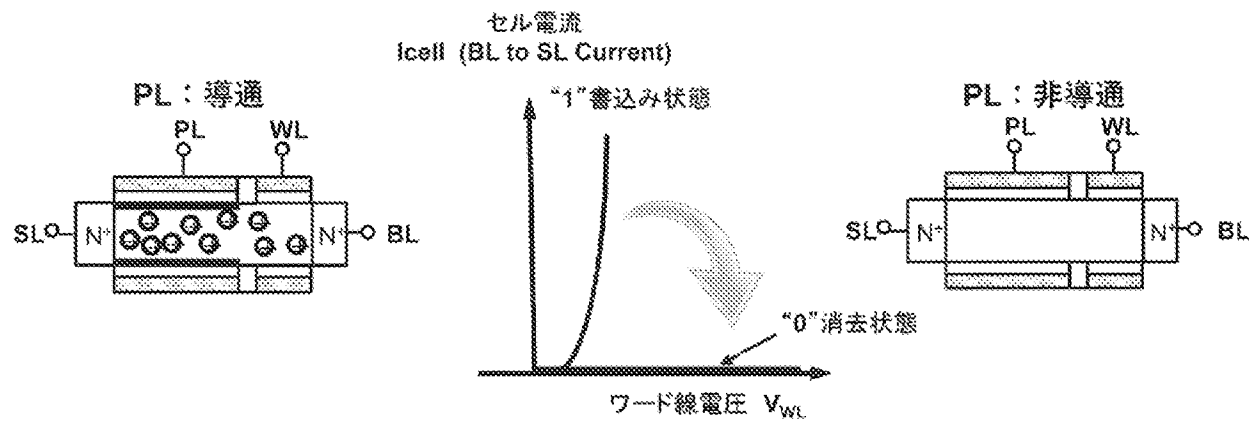


(d) "0" 消去動作の内、ワード線WLとプレート線PLとが、チャネル領域7と容量結合する (T9~T10)

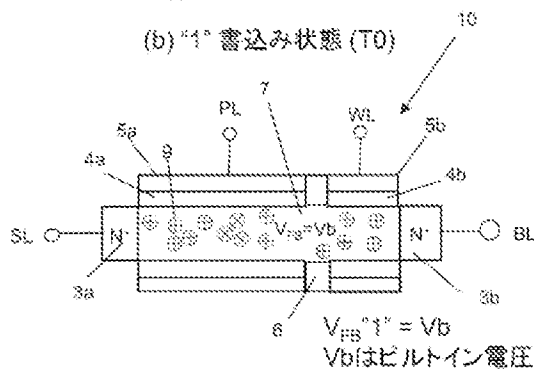
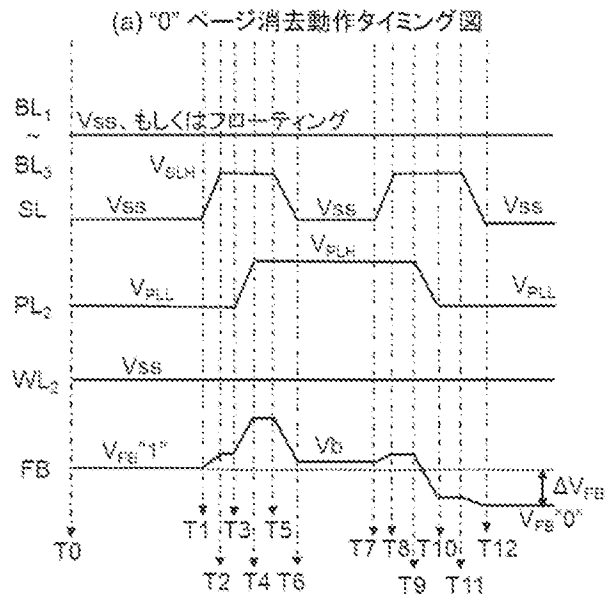


V_b: Built-in Voltage ~ 0.7V
 ビルトイン電圧 ~ 0.7V

[図4C]



[図4D]

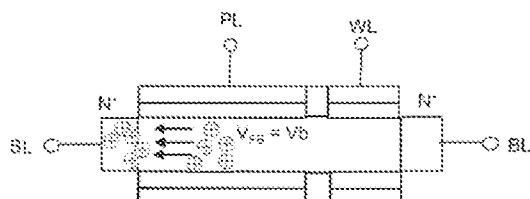


$$V_{FB}'1' = V_b - \beta_{WL} \times V_{tWL}'1' - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (7)$$

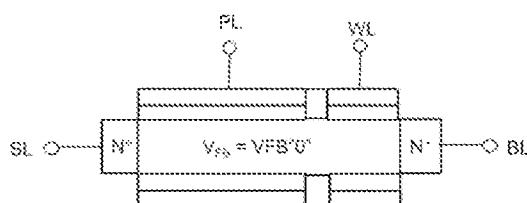
$$V_{FB}'0' = V_b - \beta_{WL} \times V_{WLH} - \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{FB} &= V_{FB}'1' - V_{FB}'0' \\ &= \beta_{WL} \times V_{WLH} + \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \\ &\quad - \beta_{WL} \times V_{tWL}'1' - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (9) \end{aligned}$$

(c) "0" 消去動作の内、正孔群9を排出する (T5~T6)

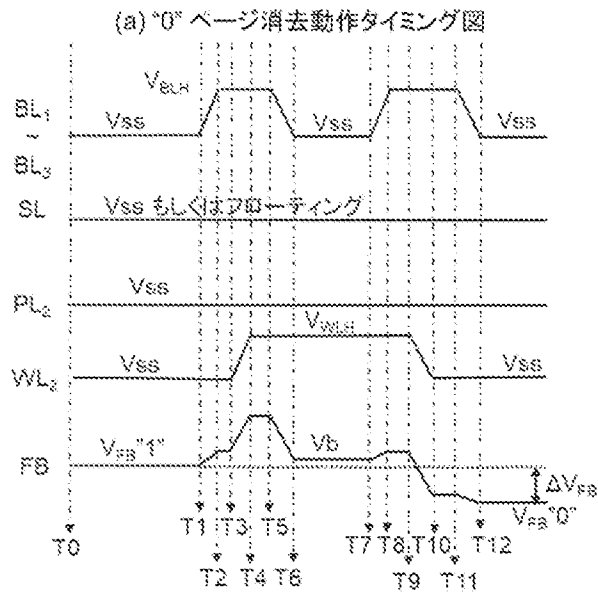


(d) "0" 消去動作の内、ワード線WLとプレート線PLとが、チャンネル領域7と容量結合する (T9~T10)



V_b: Built-in Voltage ~0.7V
 ビルトイン電圧 ~0.7V

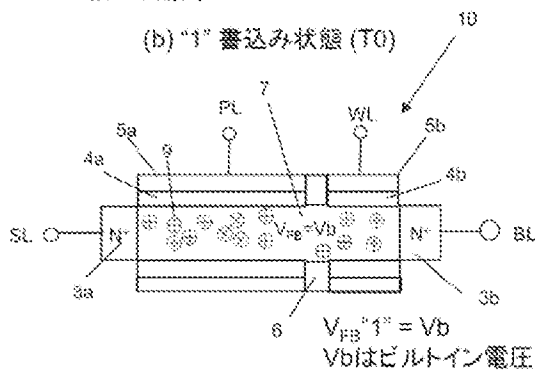
[図4E]



T3~T4: 第1の期間

T5~T6: 第2の期間

T9~T10: 第3の期間

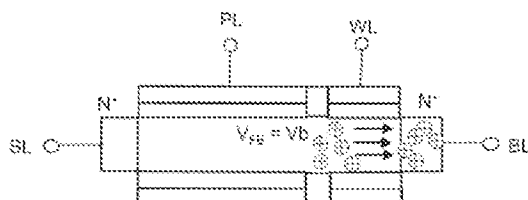


$$V_{FB} \text{ "1" } \approx V_b - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} \text{ "1" } - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (7)$$

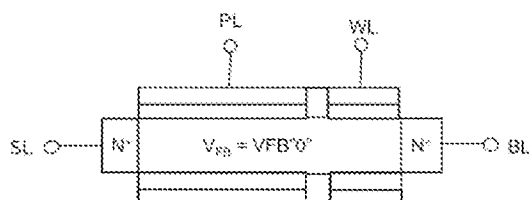
$$V_{FB} \text{ "0" } \approx V_b - \beta_{WL} \times V_{WLH} - \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{FB} &= V_{FB} \text{ "1" } - V_{FB} \text{ "0" } \\ &= \beta_{WL} \times V_{WLH} + \beta_{PL} \times (V_{PLH} - V_{PLL}) \\ &\quad - \beta_{WL} \times V_{t_{WL}} \text{ "1" } - \beta_{BL} \times V_{BLH} \quad (9) \end{aligned}$$

(c) "0" 消去動作の内、正孔群9を排出する(T5~T6)



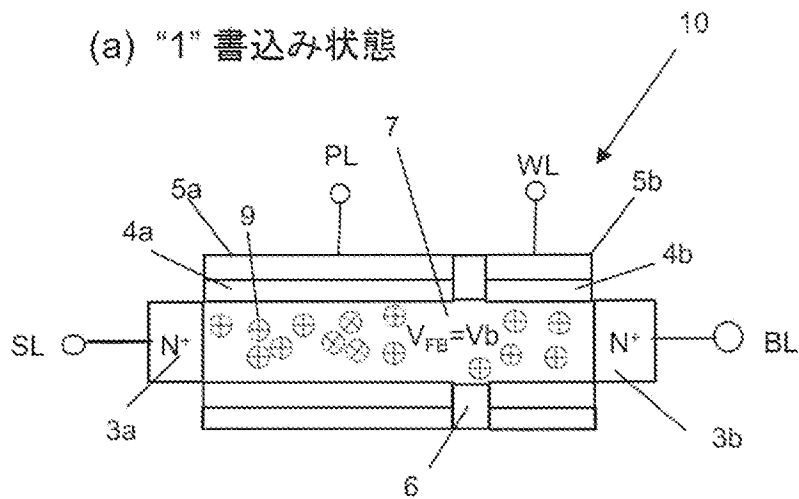
(d) "0" 消去動作の内、ワード線WLとプレート線PLとが、チャネル領域7と容量結合する(T9~T10)



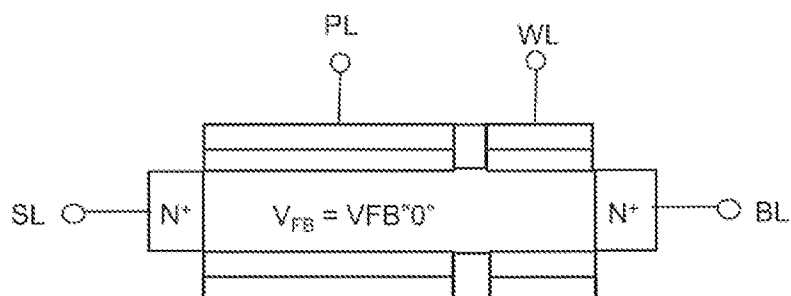
V_b: Built-in Voltage ~ 0.7V
ビルトイン電圧 ~ 0.7V

[図5]

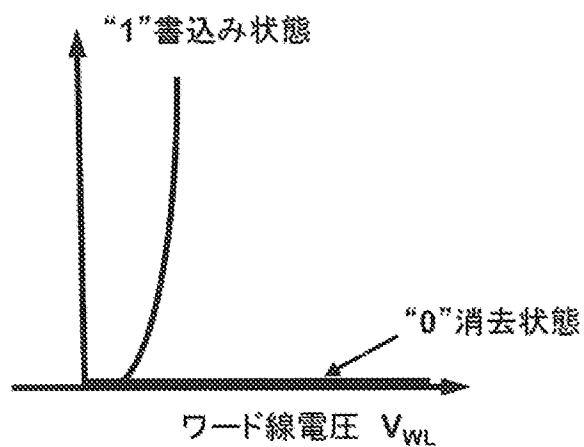
(a) “1” 書込み状態



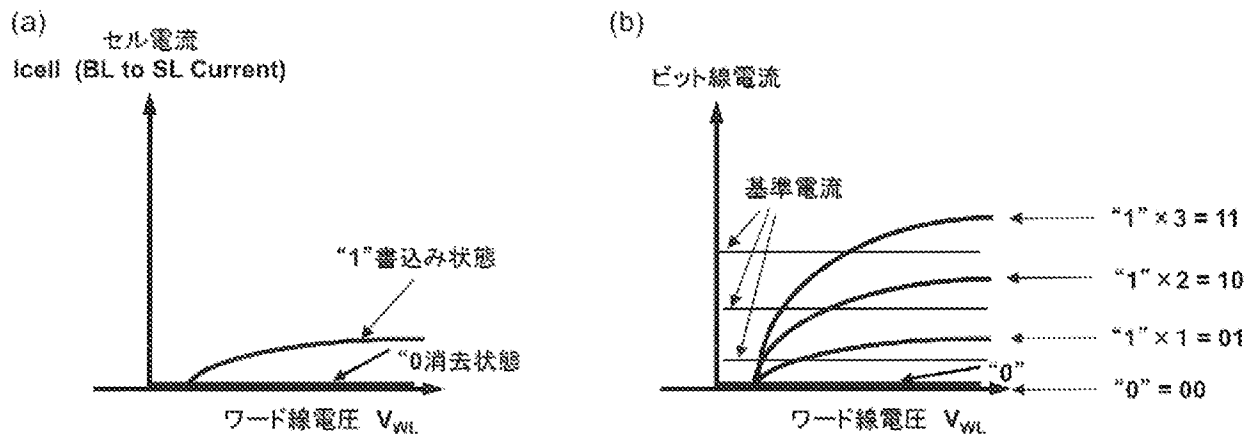
(b) “0” 消去状態

 V_b : ビルトイン電圧 $\sim 0.7V$

(c)

セル電流
 I_{cell} (BL to SL Current)

[図6A]



$$I_{sat} = \frac{1}{2} \beta (V_g - V_{th})^2 \quad (10)$$

$$\beta = \mu \epsilon / t_{ox} \times (W/L) \quad (11)$$

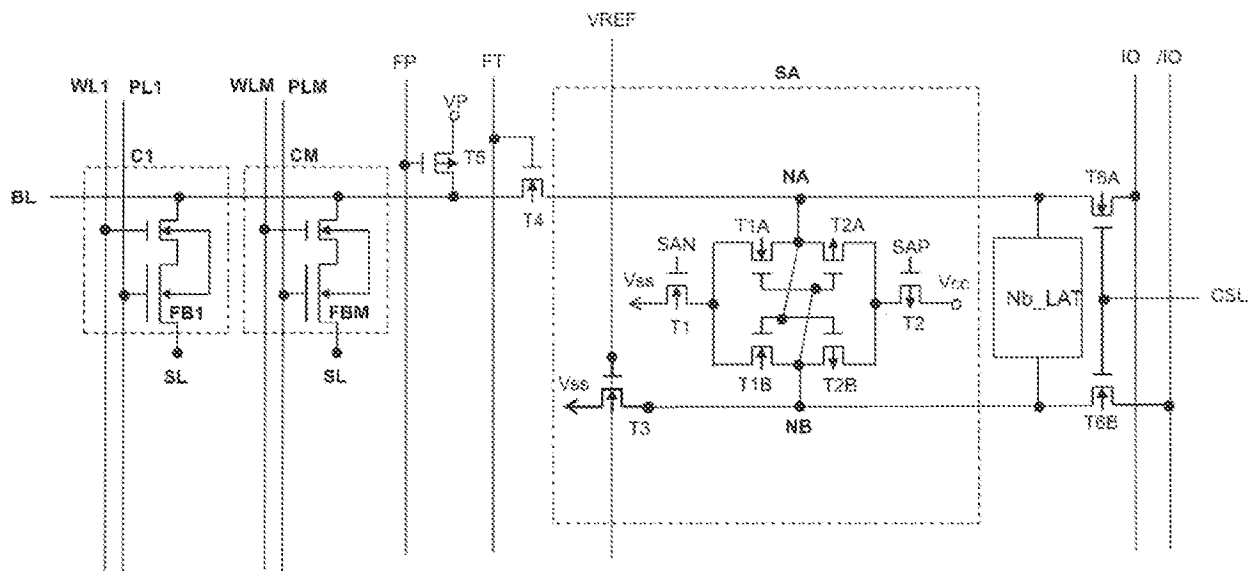
μ : 移動度

ϵ : 酸化膜の誘電率

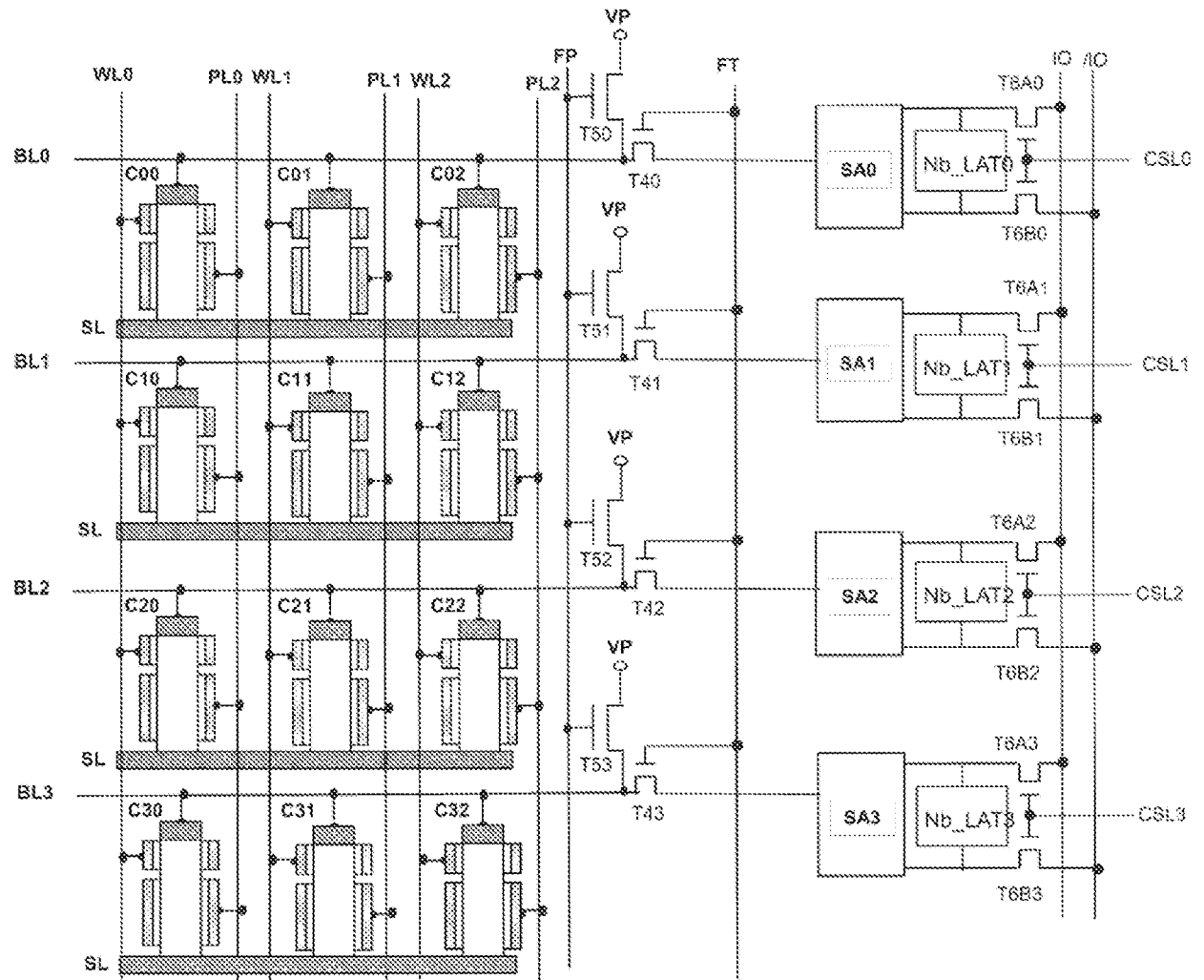
t_{ox} : 酸化膜厚

W/L : トランジスタサイズ

[図6B]

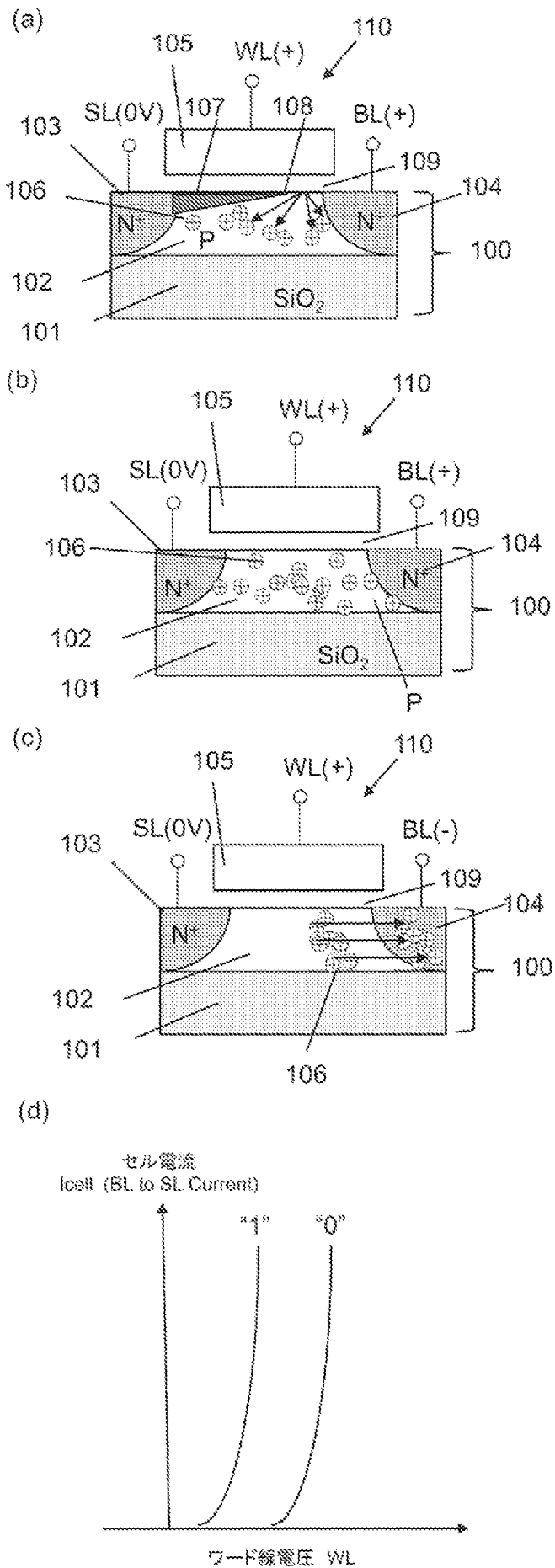


[図6C]



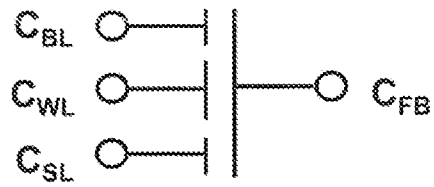
[illegible]

[図7]



[図8]

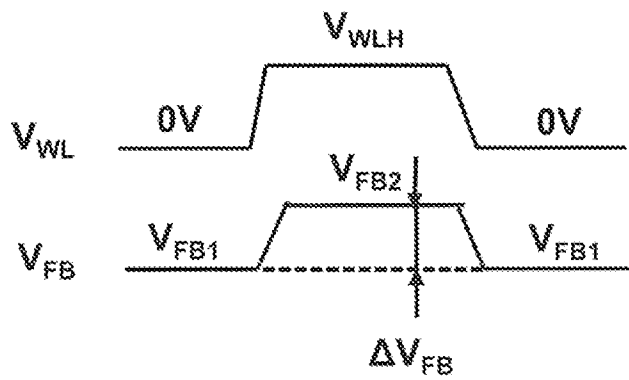
(a)



$$C_{FB} = C_{WL} + C_{BL} + C_{SL} \quad (12)$$

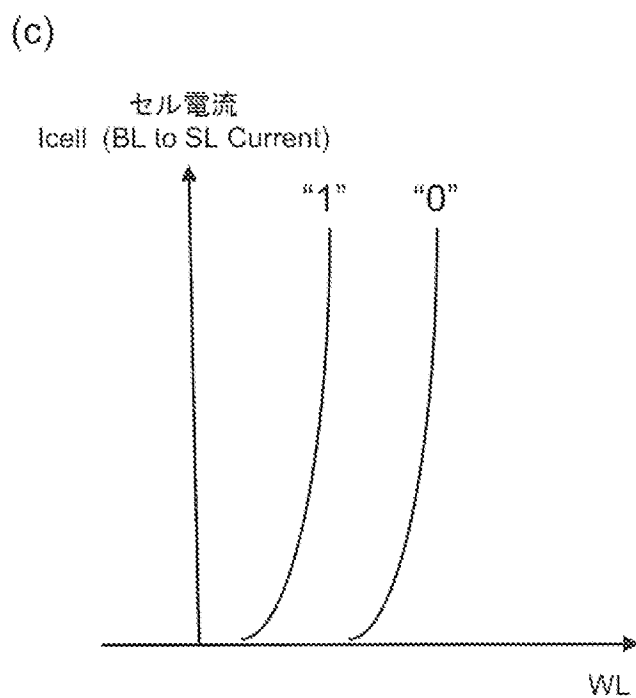
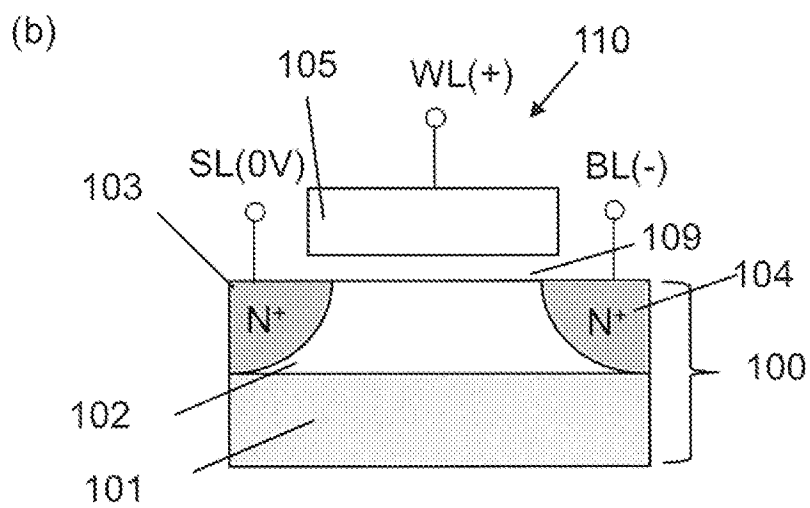
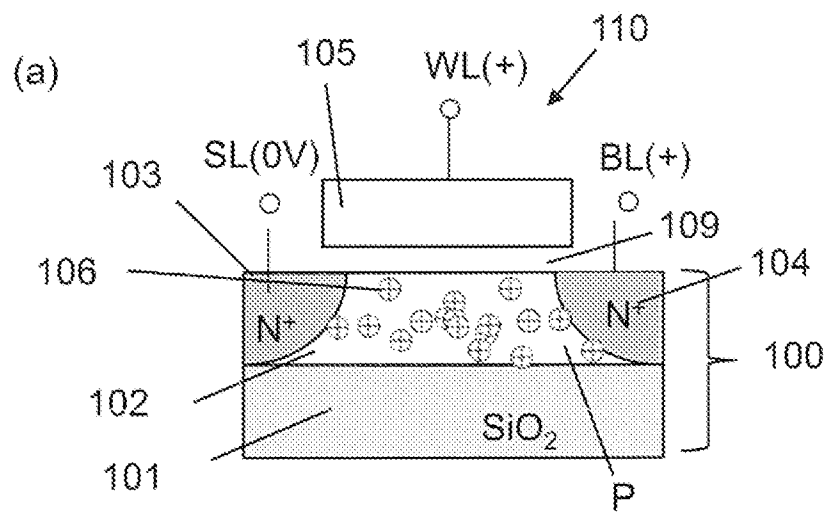
$$\beta_{WL} = \frac{C_{WL}}{C_{WL} + C_{BL} + C_{SL}} \quad (13)$$

(b)



$$\begin{aligned} \Delta V_{FB} &= V_{FB2} - V_{FB1} \\ &= \beta_{WL} \times V_{WLH} \end{aligned} \quad (14)$$

[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/018409

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G11C 16/04(2006.01)i; **G06F 12/00**(2006.01)i; **G11C 11/401**(2006.01)i; **H01L 21/8242**(2006.01)i; **H01L 27/10**(2006.01)i; **H01L 27/108**(2006.01)i

FI: G11C16/04; G11C11/401; G06F12/00 560F; H01L27/10 451; H01L27/108 321

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G11C16/04; G06F12/00; G11C11/401; H01L21/8242; H01L27/10; H01L27/108

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-218556 A (TOSHIBA CORP) 18 September 2008 (2008-09-18) paragraphs [0026]-[0028], [0032], [0033], fig. 1, 5, 6	1-8
A	JP 2006-80280 A (TOSHIBA CORP) 23 March 2006 (2006-03-23) paragraphs [0028]-[0065], fig. 2-5	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 June 2021

Date of mailing of the international search report

06 July 2021

Name and mailing address of the ISA/JP

**Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan**

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/018409

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2008-218556	A	18 September 2008	US 2008/0212366 A1 paragraphs [0042]-[0044], [0048], [0049], fig. 1, 5, 6 KR 10-2008-0080449 A	
JP	2006-80280	A	23 March 2006	US 2006/0049444 A1 paragraphs [0158]-[0196], fig. 2-5	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G11C 16/04(2006.01)i; G06F 12/00(2006.01)i; G11C 11/401(2006.01)i; H01L 21/8242(2006.01)i; H01L 27/10(2006.01)i; H01L 27/108(2006.01)i FI: G11C16/04; G11C11/401; G06F12/00 560F; H01L27/10 451; H01L27/108 321		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G11C16/04; G06F12/00; G11C11/401; H01L21/8242; H01L27/10; H01L27/108 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-218556 A（株式会社東芝）18.09.2008（2008-09-18） 段落[0026]-[0028], [0032], [0033], 図1, 5, 6	1-8
A	JP 2006-80280 A（株式会社東芝）23.03.2006（2006-03-23） 段落[0028]-[0065], 図2-5	1-8
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 24.06.2021		国際調査報告の発送日 06.07.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 後藤 彰 5N 4226 電話番号 03-3581-1101 内線 3586

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/018409

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2008-218556	A	18.09.2008	US 2008/0212366 A1 段落[0042]-[0044], [0048], [0049], 図1, 5, 6 KR 10-2008-0080449 A	
JP	2006-80280	A	23.03.2006	US 2006/0049444 A1 段落[0158]-[0196], 図2-5	