

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2008年10月23日 (23.10.2008)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2008/126548 A1

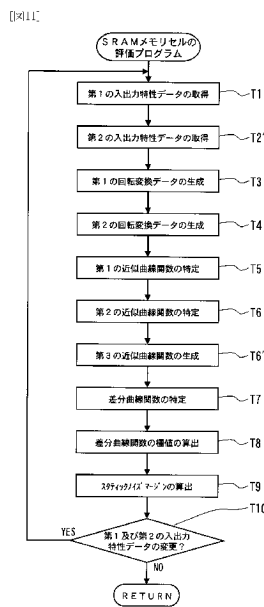
- (51) 国際特許分類:  
G11C 29/56 (2006.01) G11C 11/413 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/054308
- (22) 国際出願日: 2008年3月10日 (10.03.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2007-095928 2007年3月31日 (31.03.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立  
大学法人九州工業大学 (KYUSHU INSTITUTE OF  
TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒8048550 福岡県北九州市  
戸畑区仙水町1番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中村和之 (NAKA-  
MURA, Kazuyuki) [JP/JP]; 〒8048550 福岡県北九州市

- 戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学  
内 Fukuoka (JP). 小池洋紀 (KOIKE, Hiroki) [JP/JP]; 〒  
8048550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立  
大学法人九州工業大学内 Fukuoka (JP).
- (74) 代理人: 松尾憲一郎 (MATSUO, Kenichiro); 〒8100042  
福岡県福岡市中央区赤坂1丁目10番17号 しんく  
み赤坂ビル7階 Fukuoka (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE,  
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,  
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN,  
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,  
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR EVALUATING SRAM MEMORY CELL AND MEDIUM RECORDING EVALUATION PROGRAM OF SRAM MEMORY CELL COMPUTER READABLY

(54) 発明の名称: SRAMメモリセルの評価方法及びSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体



TT EVALUATION PROGRAM OF SRAM MEMORY CELL  
T1 ACQUIRE FIRST I/O CHARACTERISTICS DATA  
T2 ACQUIRE SECOND I/O CHARACTERISTICS DATA  
T3 GENERATE FIRST ROTARY CONVERSION DATA  
T4 GENERATE SECOND ROTARY CONVERSION DATA  
T5 SPECIFY FIRST PROXIMITY CURVE FUNCTION  
T6 SPECIFY SECOND PROXIMITY CURVE FUNCTION  
T6' GENERATE THIRD PROXIMITY CURVE FUNCTION  
T7 SPECIFY DIFFERENCE CURVE FUNCTION  
T8 CALCULATE EXTREME VALUE OF DIFFERENCE CURVE FUNCTION  
T9 CALCULATE STATIC NOISE MARGIN  
T10 ALTERATION OF FIRST AND SECOND I/O CHARACTERISTICS DATA ?

(57) Abstract: A method for evaluating an SRAM memory cell in which the time required for designing an SRAM memory cell can be shortened by evaluating static noise margin in a shorter time. A medium recording an evaluation program is also provided. Coordinate conversion is performed to rotate the coordinate axis by 45 degree for the I/O characteristics data of the first inverter of an SRAM memory cell, and a first proximity curve function is specified by fitting to a proximity curve. Coordinate conversion is performed to rotate the coordinate axis by 45 degree for the I/O characteristics data of the second inverter of the SRAM memory cell, and a second proximity curve function is specified by fitting to a proximity curve. A third proximity curve function is specified by mirror inverting the second proximity curve function for the Y axis and static noise margin is specified from the difference curve function of the first proximity curve function and the third proximity curve function.

(57) 要約: より短時間でスタティックノイズマージンの評価を行って、SRAMメモリセルの設計に要する時間を短縮化可能なSRAMメモリセルの評価方法及び評価プログラムを記録した記録媒体を提供する。SRAMメモリセルの第1のインバータの入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行い、近似曲線へのフィッティングによって第1の近似曲線関数を特定するとともに、SRAMメモリセルの第2のインバータの入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行い、近似曲線へのフィッティングによって第2の近似曲線関数を特定し、前記第2の近似曲線関数をY軸に対してミラー反転させた関数である第3の近似曲線関数を特定し、前記第1の近似曲線関数と前記第3の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数の極値からスタティックノイズマージンを特定する。

WO 2008/126548 A1



(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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE,

SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

## 明 細 書

SRAMメモリセルの評価方法及びSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体

### 技術分野

[0001] 本発明は、SRAMメモリセル(Static Random Access Memory)メモリセルの評価方法及びSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体に関するものである。

### 背景技術

[0002] 半導体基板上にトランジスタを形成して構成される半導体装置は、小型化及び高集積化の要求に対応するために開発された様々な微細加工の技術を用いて製造され、止まることなく小型化及び高集積化が進んでいる。

[0003] このような微細加工の技術を用いて製造されるトランジスタなどの半導体素子は、小型化にともなってその形状を相似形状のまま単に縮小しただけでは十分ではなく、新たな設計が必要であって、特に、図15に示すように、第1インバータ110と第2インバータ120を備えたフリップフロップ回路で構成されるSRAMメモリセルでは、各トランジスタの設計仕様を調整することにより、SRAMメモリセルが所要の書込特性及び読出特性を有するようになる必要があった。

[0004] このSRAMメモリセルの特性評価の方法として、スタティックノイズマージンの評価が用いられている(例えば、特許文献1参照)。

[0005] スタティックノイズマージンとは、以下のようにして評価することと規定した指標である。

[0006] 図15のSRAMメモリセルにおけるワード線Wとビット線BL、BL<sub>-</sub>にそれぞれ定格電源電圧VDDを印加して、第1インバータ110および第2インバータ120の入出力特性を求める。このときの第1インバータを図16に抜き出して示す。ここで、ノードVs2に0Vから定格電源電圧VDDまでの入力電圧を印加した際、ノードVs1に出力される出力電圧を求めて第1の入出力特性データとする。図17は、第1の入出力特性データ130の例である。

[0007] 同様に、図18に示す第2インバータ120におけるノードVs1に0Vから定格電源電圧VDDまでの入力電圧を印加した際、ノードVs2から出力される出力電圧を求めて第2の入出力特性データとする。次いで、その第2の入出力特性データを、第1の入出力特性データ130の縦軸及び横軸に合わせてX-Y軸変換を行い、あらためて第2の入出力特性データとする。図19は、このX-Y軸変換を行った後の第2の入出力特性データ140の例である。

[0008] このようにして得られた第1の入出力特性データ130と第2の入出力特性データ140と重ね合わせると、図20に示すように、第1の入出力特性データ130の曲線と、第2の入出力特性データ140の曲線とで囲まれた2つの領域が形成される。これらの領域に内接する最大の正方形をそれぞれ描き、小さい方の正方形の一辺の長さをスタティックノイズマージン(SNM)として規定する。

[0009] SRAMメモリセルにおいては、この2つの正方形が存在することが情報保持の必要条件であり、正方形が大きいほど、すなわちスタティックノイズマージンの値が大きいほど、メモリセルは安定に情報保持できる。

特許文献1:特開2005-310242号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0010] 昨今の微細化されたSRAMメモリセルでは、微細化にともなって製造時のバラツキの影響を受けやすくなっており、SRAMメモリセルのフリップフロップを構成している2つのインバータの特性が一致していないことが問題となってきた。

[0011] このインバータの特性の不一致は、SRAMメモリセルのスタティックノイズマージン値を低下させ、SRAMメモリセルの正常な動作を困難なものとする。

[0012] したがって、SRAMメモリセルを設計する場合には、製造時のバラツキを考慮して設計することが望まれており、このバラツキの評価を効率よく行うために、スタティックノイズマージンを効率よく計算することが求められていた。

[0013] しかしながら、スタティックノイズマージンは、前述したように、第1の入出力特性データの曲線と、第2の入出力特性データの曲線とで囲まれた領域に内接する最大の正方形を特定しなければならないために、手作業で正方形を特定しており、スタティ

ックノイズマージンを求めるために多大な時間を要し、全ての製造時のバラツキを考慮した設計を行うことは不可能であった。

- [0014] 本発明者は、このような現状に鑑み、より短時間でスタティックノイズマージンの評価を行って、製造時のバラツキの影響を受けにくいSRAMメモリセルを設計可能とすべく研究を行って、本発明を成すに至ったものである。

#### 課題を解決するための手段

- [0015] 上記課題を解決するために、本発明の第1の観点によれば、第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルの評価方法であって、前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得る工程と、前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性のデータをX-Y軸変換した第2の入出力特性データを得る工程と、前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成する工程と、前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成する工程と、前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定する工程と、前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定する工程と、前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定する工程と、前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出する工程を有するSRAMメモリセルの評価方法を提供することとした。

- [0016] また、本発明の第2の観点によれば、第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルの評価方法であって、前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得る工程と、前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得る工程と、前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成する工程と、前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標

変換を行って第2の回転変換データを生成する工程と、前記第2の回転変換データをY軸に対してミラー反転させたY軸反転データを生成する工程と、前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定する工程と、前記Y軸反転データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定する工程と、前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定する工程と、前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出する工程を有するSRAMメモリセルの評価方法を提供することとした。

[0017] また、本発明の第3の観点によれば、第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルの評価方法であって、前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得る工程と、前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得る工程と、前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成する工程と、前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成する工程と、前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定する工程と、前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定する工程と、前記第2の近似曲線関数をY軸に対してミラー反転させた関数である第3の近似曲線関数を得る工程と、前記第1の近似曲線関数と前記第3の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定する工程と、前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出する工程を有するSRAMメモリセルの評価方法を提供することとした。

[0018] また、上記SRAMメモリセルの評価方法において、前記第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、3次以上の多項式で表される関数としてもよい。

- [0019] また、上記SRAMメモリセルの評価方法において、前記第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、5次多項式で表される関数としてもよい。
- [0020] また、本発明の第4の観点によれば、第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルを評価する機能をコンピュータに実現させるSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体であって、前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得るステップと、前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性のデータをX-Y軸変換した第2の入出力特性データを得るステップと、前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成するステップと、前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成するステップと、前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定するステップと、前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定するステップと、前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定するステップと、前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出するステップとを有することとした。
- [0021] また、本発明の第5の観点によれば、第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルを評価する機能をコンピュータに実現させるSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体であって、前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得るステップと、前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得るステップと、前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成するステップと、前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを

生成するステップと、前記第2の回転変換データをY軸に対してミラー反転させたY軸反転データを生成するステップと、前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定するステップと、前記Y軸反転データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定するステップと、前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定するステップと、前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出するステップとを有することとした。

[0022] また、本発明の第6の観点によれば、第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルを評価する機能をコンピュータに実現させるSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体であって、前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得るステップと、前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得るステップと、前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成するステップと、前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成するステップと、前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定するステップと、前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定するステップと、前記第2の近似曲線関数をY軸に対してミラー反転させた関数である第3の近似曲線関数を特定するステップと、前記第1の近似曲線関数と前記第3の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定するステップと、前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出するステップとを有することとした。

[0023] また、上記SRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体において、前記第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、3次以上の多項式で表される関数としてもよい。



[0024] また、上記SRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体において、前記第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、5次多項式で表される関数としてもよい。

#### 発明の効果

[0025] 本発明によれば、SRAMメモリセルの第1のインバータの入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行い、近似曲線へのフィッティングによって第1の近似曲線関数を特定するとともに、前記SRAMメモリセルの第2のインバータのX-Y軸変換した入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行い、近似曲線へのフィッティングによって第2の近似曲線関数を特定し、「内接する正方形の一辺の長さ」として規定されるスタティックノイズマージンを、第1の近似曲線関数と第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数の極値から特定することができる。

[0026] したがって、スタティックノイズマージン算出手順が容易化でき、短時間でスタティックノイズマージンが評価されることにより、SRAMメモリセルの設計に要する時間を短縮化することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0027] [図1]本発明に係るSRAMメモリセルの評価プログラムを実行するコンピュータの説明図である。

[図2]コンピュータが実行するSRAMメモリセルの設計プログラムのフローチャートである。

[図3]コンピュータが実行するSRAMメモリセルの評価プログラムのフローチャートである。

[図4]SRAMメモリセルを構成するインバータの入出力特性データの説明図である。

[図5]入出力特性データの回転変換データの説明図である。

[図6]第1近似曲線関数および第2近似曲線関数の説明図である。

[図7]第1近似曲線関数、第2近似曲線関数および差分曲線関数の説明図である。

[図8]コンピュータが実行するSRAMメモリセルの評価プログラムのフローチャートである。

[図9]SRAMメモリセルを構成するインバータの入出力特性データの説明図である。

[図10]入出力特性データの回転変換データの説明図である。

[図11]コンピュータが実行するSRAMメモリセルの評価プログラムのフローチャートである。

[図12]第1近似曲線関数および第2近似曲線関数の説明図である。

[図13]第1近似曲線関数および第2近似曲線関数の説明図である。

[図14]第1近似曲線関数および第3近似曲線関数の説明図である。

[図15]SRAMメモリセルの回路図である。

[図16]第1のインバータの回路図である。

[図17]第1の入出力特性データのグラフである。

[図18]第2のインバータの回路図である。

[図19]第2の入出力特性データのグラフである。

[図20]スタティックノイズマージンの説明図である。

## 符号の説明

- [0028] 10 コンピュータ  
11 CPU  
12 バス  
13 ROM  
14 RAM  
15 ハードディスク装置  
16 入力インターフェース回路  
17 入力手段  
18 画像処理回路  
19 ディスプレイ装置  
110 第1のインバータ  
120 第2のインバータ  
130 第1の入出力特性データの例  
140 第2の入出力特性データの例

L1 第1の近似曲線関数

L2 第2の近似曲線関数

L2' 第3の近似曲線関数

L3 差分曲線関数

発明を実施するための最良の形態

- [0029] 本発明のSRAMメモリセルの評価方法及びSRAMメモリセルの評価プログラムでは、従来のスタティックノイズマージンの算出が、「所定の領域に内接する正方形」を想定する必要があるために手作業による作図が必要であったのに対し、「所定の領域に内接する正方形」の対角線は、スタティックノイズマージンの値に平方根2を掛けた値であって、この対角線は、座標軸を45度回転させる座標変換によってY軸方向となるので、これを利用することによりスタティックノイズマージンの算出を容易化したものである。
- [0030] すなわち、SRAMメモリセルの第1のインバータの入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行い、近似曲線へのフィッティングによって第1の近似曲線関数を特定するとともに、SRAMメモリセルの第2のインバータのX-Y軸変換した入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行い、近似曲線へのフィッティングによって第2の近似曲線関数を特定することにより、第1の近似曲線関数と第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数の極値からスタティックノイズマージンを特定することができる。
- [0031] ここで、差分曲線関数の極値は、スタティックノイズマージンの値に平方根2を掛けた値となっており、差分曲線関数の極大値と極小値のうち、極小値の絶対値と極大値とで小さい方の値を平方根2で除することによりスタティックノイズマージンの値を算出することができる。
- [0032] したがって、スタティックノイズマージン算出手順を容易化でき、極めて短時間でスタティックノイズマージンの評価が行えるので、SRAMメモリセルの設計に要する時間を短縮化することができる。
- [0033] 本発明の第1の具体的実施形態を以下に示す。本発明では、図1に示すように、所要の演算処理を実行するCPU11を備えたコンピュータ10を用いてスタティックノイズ

マージンを算出しており、CPU11は、バス12を介して、所要のプログラムを記憶したROM13、実行するプログラムを展開したり所要のデータを記憶したりするRAM14、SRAMメモリセルの評価プログラムやSRAMメモリセルのDC特性データを生成するシミュレーションプログラムなどを記憶したハードディスク装置15と接続され、所要の処理を実行可能としている。なお、記録媒体として、例えばコンピュータが評価プログラムを読み取り可能に記録されたCD-ROM、DVD-ROM、USBメモリ等であってもよい。

- [0034] また、コンピュータ10のバス12には、入力インターフェース回路16を介してキーボードやマウス、あるいはタブレットなどの入力手段17を接続している。さらに、コンピュータ10のバス12には、画像処理回路18を介してディスプレイ装置19を接続し、このディスプレイ装置19に所要の画像を表示可能としている。
- [0035] 本実施形態のSRAMメモリセルの評価プログラムは、ハードディスク装置15に記憶されたSRAMメモリセルの設計プログラムにおける1つのサブルーチンとして動作するものである。
- [0036] すなわち、コンピュータ10では、図2に示すように、入力手段17から入力されたSRAMメモリセルの設計プログラムの起動命令に基づいて、SRAMメモリセルの設計プログラムを起動させ(ステップS1)、SRAMメモリセルの設計条件を入力させている。
- [0037] SRAMメモリセルの設計プログラムの起動後、設計するSRAMメモリセルに対して製造バラツキに対するマージンを確認するために、入力手段17によってディスプレイ装置19の表示画面に設けられた「スタティックノイズマージン評価」ボタンが選択されることにより(ステップS2: YES)、コンピュータ10は、SRAMメモリセルの評価プログラムを起動し、SRAMメモリセルの評価を行っている(ステップS3)。「スタティックノイズマージン評価」ボタンが選択されない間は、コンピュータ10は、SRAMメモリセルの設計プログラムに基づいて所要の処理を実行している。
- [0038] ステップS3のSRAMメモリセルの評価作業が終了して、SRAMメモリセルの評価プログラムを終了した後、SRAMメモリセルの設計プログラムを終了しない場合には(ステップS4: NO)、コンピュータ10は、SRAMメモリセルの設計プログラムに基づいて所要の処理を実行している。

- [0039] コンピュータ10は、ステップS3でSRAMメモリセルの評価プログラムを起動することにより、以下の処理を行っている。
- [0040] すなわち、SRAMメモリセルの評価プログラムの実行に基づいて、コンピュータ10は、図3に示すように、まず、SRAMメモリセルを構成している2つのインバータのうち一方のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性を、第1の入出力特性データとして取得している(図3ステップT1)。この第1の入出力特性データの例を図4中の白丸に示す。
- [0041] 第1の入出力特性データの取得は、RAM14やハードディスク装置15にあらかじめ記憶されている入出力特性データであってもよいし、キーボードなどの入力手段17で入力された入出力特性データであってもよいし、メモ리카ードなどの記録媒体から読み込まれた入出力特性データであってもよい。あるいは、コンピュータ10において、SRAMメモリセルの設計条件を入力して行ったシミュレーションで得られた入出力特性データであってもよい。または、実際のデバイスを測定することによって得られた入出力特性データであってもよい。本実施形態では、第1の入出力特性データの取得時に、SRAMメモリセルの設計条件を入力させてシミュレーションを行い、その結果の入出力特性データを用いた場合を例としている。
- [0042] 次に、コンピュータ10は、SRAMメモリセルを構成している2つのインバータのうち他方のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性をX-Y軸変換して、第2の入出力特性データとして取得している(図3ステップT2)。図4において黒丸が第2の入出力特性データの例を示している。
- [0043] 第2の入出力特性データの取得も、第1の入出力特性データの場合と同様、RAM14やハードディスク装置15にあらかじめ記憶されている入出力特性データであってもよいし、キーボードなどの入力手段17で入力された入出力特性データであってもよいし、メモ리카ードなどの記録媒体から読み込まれた入出力特性データであってもよい。また、シミュレーションによって得られたデータ、あるいは実際のデバイスを測定することによって得られたデータでもよい。本実施形態では、第2の入出力特性データの取得時に、SRAMメモリセルの設計条件を入力させてシミュレーションを行い、その結果の入出力特性データを用いている。なお、シミュレーションの実行時には、第1

の入出力特性データと第2の入出力特性データの計算を同時に行って、第1の入出力特性データと第2の入出力特性データとを同時に取得してもよい。

[0044] 次いで、コンピュータ10は、第1の入出力特性データの各座標点データに対して、45度回転させる回転変換を行うことにより、第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成している(図3ステップT3)。この第1の回転変換データの例を図5中の白丸に示す。

[0045] なお、回転変換とは、回転前の座標を(x, y)とし、回転後の座標を(X, Y)とした際に、

$$X = \cos(\pi/4) \cdot x - \sin(\pi/4) \cdot y$$

$$Y = \sin(\pi/4) \cdot x + \cos(\pi/4) \cdot y$$

とする演算を行っているものである。

[0046] 次いで、コンピュータ10は、第2の入出力特性データの各座標点データに対して、45度回転させる回転変換を行うことにより、第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成している(図3ステップT4)。図5において、黒丸が第2の回転変換データを示している。

[0047] 各回転変換データの生成後、コンピュータ10は、図6に示すように、第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数L1を特定するとともに(図3ステップT5)、第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数L2を特定している(図3ステップT6)。

[0048] 第1の近似曲線関数L1及び第2の近似曲線関数L2の特定は、コンピュータ10が近似曲線特定プログラムを実行することにより行っている。本実施形態では最小二乗法を用いた近似曲線特定プログラムによって第1の近似曲線関数L1及び第2の近似曲線関数L2を特定している。

[0049] なお、近似曲線特定プログラムでは、第1の近似曲線関数L1及び第2の近似曲線関数L2を3次以上の多項式で表される曲線として、フィッティングを行っている。フィッティング対象式として多項式を用いることで、図3のステップT6以降の計算を容易化することができる。次数を3次以上としている理由は、図5もしくは図6に示されている回転変換データの形状を見るとわかるように、フィッティング対象式として極値を2つ

以上持つ式が望ましいからである。

- [0050] 各近似曲線関数L1,L2の特定後、コンピュータ10は、第1の近似曲線関数L1と第2の近似曲線関数L2の差分とした差分曲線関数を特定している(図3ステップT7)。この差分曲線関数を図7中のL3に示す。
- [0051] 差分曲線関数L3の特定後、コンピュータ10は、差分曲線関数L3の極大値と極小値を特定するとともに(図3ステップT8)、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージン(SNM)を算出している(図3ステップT9)。図7の例の場合、図中に $\text{SNM} \times (\text{平方根記号})^2$ と示した部分が、求めるスタティックノイズマージン値の(平方根2)倍に相当する。
- [0052] ここで、図3のステップT5及びステップT6において第1の近似曲線関数L1及び第2の近似曲線関数L2を特定する際に、第1の近似曲線関数L1及び第2の近似曲線関数L2を5次多項式とした場合には、差分曲線関数L3も5次多項式となる。
- [0053] このとき、図3のステップT8の差分曲線関数L3の極大値と極小値を求めるため、差分曲線関数を微分した式をゼロとおいた方程式を解く。5次多項式の差分曲線関数L3は微分すると4次多項式となるので、4次方程式を解くことになる。一般に、4次以下の方程式には解の公式が存在することが知られており、この公式に基づいて計算することにより、極値算出を高速化することができる。
- [0054] このように、差分曲線関数L3として5次以下の多項式を用いる場合には、その微分が4次以下の多項式となり、極値計算に多項式方程式の解の公式を用いることができる。このため、数値計算の必要がなく、それ以外の関数にフィッティングさせた場合よりも、以後の計算を一層容易化・高速化することができる。
- [0055] このようにしてスタティックノイズマージンが算出された後、コンピュータ10は、第1の入出力特性データ及び第2の入出力特性データの変更が要求されることにより(図3ステップT10: YES)、図3のステップT1に戻って新たな第1の入出力特性データ及び第2の入出力特性データの取得を行って、スタティックノイズマージンを算出している。一方、第1の入出力特性データ及び第2の入出力特性データの変更が要求されない場合には(図3ステップT10: NO)、コンピュータ10は、SRAMメモリセルの評価プログラムを終了してメインルーチンに戻る。

- [0056] 本発明の第2の具体的実施形態を以下に示す。第2の実施形態における、第1の実施形態の図3に相当するフローチャートを図8に示す。説明を簡易にするため、本例で用いるSRAMを構成する2つのインバータは、第1の実施形態の説明で用いたインバータと同じものであるとし、かつ入出力特性データ、回轉變換データ、近似曲線関数等、等価な内容を示す用語については同じ用語を用いて説明を省略する。また、第1の実施形態のフローチャートと同一のステップには同一符号を用いることとする。
- [0057] 本実施形態の特徴は、第1の具体的実施形態の場合に、図3のステップT2において他方のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性をX-Y軸変換して、第2の入出力特性データとしていたのに対し、X-Y軸変換することなく、他方のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性をそのまま第2の入出力特性データとしているものである。
- [0058] そして、X-Y軸変換の代わりに、第2の回轉變換データをY軸に対してミラー反転させたY軸反転データを生成しているものである。
- [0059] まず、コンピュータ10は、SRAMメモリセルを構成している2つのインバータのうち一方のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性を、第1の入出力特性データとして取得する(図8ステップT1)。第1の入出力特性データの例を図9の白丸に示すが、これは図5の白丸のグラフと同じものである。
- [0060] 次に、コンピュータ10は、SRAMメモリセルを構成している2つのインバータのうち他方のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを、X-Y軸変換することなくそのまま取得する(図8ステップT2')。図9の黒丸に第2の入出力特性データを示す。
- [0061] 次に、コンピュータ10は、第1の入出力特性データの各座標点データに対して、45度回転させる回轉變換を行うことにより、第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる第1の回轉變換データを生成する(図8ステップT3)。図10の白丸に第1の回轉變換データを示している。回轉變換は第1の実施形態の場合と同様の計算によって行われる。
- [0062] 次に、コンピュータ10は、第2の入出力特性データの各座標点データに対して、45



度回転させる回転変換を行うことにより、第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる第2の回転変換データを生成している(図8ステップT4)。図10の黒丸に第2の回転変換データを示している。

[0063] 上記の第1の回転変換データおよび第2の回転変換データの生成にあたっては、特性ばらつき等の影響を加味した多数のインバータに対する入出力特性データを予め収集しておき、必要に応じて任意の2つの入出力特性データを取り出して第1および第2の入出力特性データとし、それらをもとに第1および第2の回転変換データを生成するという方法でもよい。

[0064] 次に、コンピュータ10は、第2の回転変換データを、Y軸に対してミラー反転させる座標変換を行い、Y軸反転データを生成する(図8ステップT4')。もともとのインバータが、第1の実施形態で用いたインバータと同じものであるとする前提の下では、このY軸反転データおよび第1の回転変換データを重ね合わせたグラフは、第1の実施形態における図5と同じグラフとなる。

[0065] 以後、スタティックノイズマージンの算出までの各ステップ(T5~T9)は、第1の実施形態と同様であり、説明は省略する。

[0066] この第2の実施形態では、入出力特性データに対し、図3においてステップT2でX-Y軸変換した後、ステップT4で座標軸45度回転させる座標変換を行うという操作と、図8においてステップT4で座標軸45度回転させる座標変換を行った後、ステップT4'でY軸ミラー反転させるという操作とが、互いに等価であるということを利用して、このことは数学的に次のように証明できる。

[0067] 点(x, y)をX-Y軸変換により点(x', y') = (y, x)に移す写像を示す行列は次のように表される。

[0068] [数1]

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

[0069] 点(x, y)を座標軸45度回転させる座標変換により点(x', y')に移す写像を示す行列は次のように表される。

[0070] [数2]

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos \pi/4 & -\sin \pi/4 \\ \sin \pi/4 & \cos \pi/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad \dots (2) \end{aligned}$$

[0071] 点(x, y)をY軸ミラー反転により点(x', y') = (-x, y)に移す写像を示す行列は次のように表される。

[0072] [数3]

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

[0073] X-Y軸変換した後、座標軸45度回転させるという座標変換は、(1)式と(2)式の行列の積で表される。

[0074] [数4]

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad \dots (4) \end{aligned}$$

[0075] 一方、座標軸45度回転させる座標変換を行った後、Y軸ミラー反転を行うという座標変換は、(2)式と(3)式の行列の積で表される。

[0076] [数5]

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

[0077] 以上、(4)式と(5)式が等しいため、上記2つの操作は等価であることが証明された。

[0078] 本発明の第3の具体的実施形態を以下に示す。

[0079] 本実施形態の特徴は、第2の具体的実施形態の場合に、図8のステップT4'において第2の回転変換データを、Y軸に対してミラー反転させる座標変換を行い、Y軸反転データを生成していたのに対して、第2の回転変換データではなく、第2の近似曲線関数をミラー反転させて第3の近似曲線関数を生成しているものである。

[0080] そして、差分関数は、第1の回転変換データと、第2の近似曲線関数をミラー反転させて第3の近似曲線関数とから生成しているものである。

[0081] 第3の実施形態における、第1の実施形態の図3に相当するフローチャートを図11に示す。

[0082] 図11においてステップT4までは、図8の第2の実施形態のフローチャートにおけるステップT4までと全く同様に進められるので説明は省略する。ここでも説明を簡易にするため、SRAMを構成する2つのインバータは、第2の実施形態の説明で用いたインバータと同じものであるとする。また、入出力特性データ、回転変換データ、近似曲線関数等、等価な内容を示す用語については同じ用語を用いて説明を省略する。また、第2の実施形態のフローチャートと同一のステップには同一符号を用いることとする。この場合、図11のステップT4の結果として得られるグラフは、図8のステップT4の結果として得られる図10と同じグラフとなる。

[0083] 次に、本実施形態では、図8のステップT4'の第2の回転変換データをY軸に対してミラー反転させる座標変換を行うことなく、コンピュータ10は、第1の回転変換データおよび第2の回転変換データをもとに、第1の実施形態の場合と同様なフィッティン

グ手法を用いて、第1の近似曲線関数および第2の近似曲線関数をそれぞれ特定する(図11ステップT5、T6)。ここでも、フィッティング対象式として3次以上の多項式、特に5次多項式を用いることが有効である。フィッティングの結果得られた第1の近似曲線関数および第2の近似曲線関数を、図12の破線(L1)および実線(L2)にそれぞれ示す。

[0084] 図12から、もとの回転変換データを削除し、第1の近似曲線関数(L1)および第2の近似曲線関数(L2)のみ抜き出したグラフを図13に示す。フィッティング対象式として5次多項式を用いた場合、L1およびL2は、それぞれ次のような関数形で表される。

[0085] [数6]

$$L1: Y = a_1 X^5 + b_1 X^4 + c_1 X^3 + d_1 X^2 + e_1 X + f_1 \dots (6)$$

$$L2: Y = a_2 X^5 + b_2 X^4 + c_2 X^3 + d_2 X^2 + e_2 X + f_2 \dots (7)$$

[0086] ここで、 $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2, e_1, e_2, f_1, f_2$  はフィッティングにより定まる係数である。

[0087] 次に、コンピュータ10は、図13の第2の近似曲線関数L2を、Y軸に対してミラー反転して第3の近似曲線関数を生成する(図11ステップT6')。このY軸ミラー反転の操作は、上に述べた(7)式において、Xに $-X$ を代入するという操作と等価である。これはすなわち、係数 $a_2, c_2, e_2$ の前の符号を $-$ にすることに等しい。

[0088] [数7]

L2' (Y軸ミラー反転):

$$Y = -a_2 X^5 + b_2 X^4 - c_2 X^3 + d_2 X^2 - e_2 X + f_2 \dots (8)$$

[0089] この結果得られたY軸ミラー反転したL2'をL1と重ね合わせて描いたグラフを図14に示す。

[0090] その後の差分曲線関数の特定(図11ステップT7)以降から、スタティックノイズマージンの算出までのステップは、図8のステップT7以降と同様に行うことができるので、説明は省略する。

[0091] 第3の実施形態を用いる場合、まず、特性ばらつき等の影響を加味した多数のインバータに対する入出力特性データを予め収集しておき、図11のステップT6まで実行し、上記(6),(7)式を得ておくことが有効である。

- [0092] Y軸ミラー反転操作は(8)式を用いて即時に行うことができる。こうすることで、 $a_1 \sim f_1$ というわずか6つの係数でインバータの入出力特性を記述することができ、少ないデータ量でSRAMメモリセル回路設計に関して基本的かつ必要十分なデータベースを作成することができる。
- [0093] このデータベースから任意の2つの入出力特性データを取り出して図11のステップT7以降を行うことで、様々なSRAMメモリセルに対するスタティックノイズマージンが瞬時に計算でき、最適なメモリセル回路を容易に得ることができる。

## 請求の範囲

- [1] 第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルの評価方法であって、
- 前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得る工程と、
- 前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性のデータをX-Y軸変換した第2の入出力特性データを得る工程と、
- 前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成する工程と、
- 前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成する工程と、
- 前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定する工程と、
- 前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定する工程と、
- 前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定する工程と、
- 前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出する工程と
- を有するSRAMメモリセルの評価方法。
- [2] 第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルの評価方法であって、
- 前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得る工程と、
- 前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得る工程と、
- 前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って

第1の回転変換データを生成する工程と、

前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成する工程と、

前記第2の回転変換データをY軸に対してミラー反転させたY軸反転データを生成する工程と、

前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定する工程と、

前記Y軸反転データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定する工程と、

前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定する工程と、

前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出する工程と

を有するSRAMメモリセルの評価方法。

[3] 第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルの評価方法であって、

前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得る工程と、

前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得る工程と、

前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成する工程と、

前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成する工程と、

前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定する工程と、

前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲

線関数を特定する工程と、

前記第2の近似曲線関数をY軸に対してミラー反転させた関数である第3の近似曲線関数を得る工程と、

前記第1の近似曲線関数と前記第3の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定する工程と、

前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出する工程と

を有するSRAMメモリセルの評価方法。

- [4] 請求項1から請求項3までに記載された第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、3次以上の多項式で表される関数としたことを特徴とするSRAMメモリセルの評価方法。
- [5] 請求項1から請求項3までに記載された第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、5次多項式で表される関数としたことを特徴とするSRAMメモリセルの評価方法。
- [6] 第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルを評価する機能をコンピュータに実現させるSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体であって、  
前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得るステップと、  
前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性のデータをX-Y軸変換した第2の入出力特性データを得るステップと、  
前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成するステップと、  
前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成するステップと、  
前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定するステップと、



前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定するステップと、

前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定するステップと、

前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出するステップとを有するSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体。

[7] 第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルを評価する機能をコンピュータに実現させるSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体であって、

前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得るステップと、

前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得るステップと、

前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成するステップと、

前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成するステップと、

前記第2の回転変換データをY軸に対してミラー反転させたY軸反転データを生成するステップと、

前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定するステップと、

前記Y軸反転データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定するステップと、

前記第1の近似曲線関数と前記第2の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定するステップと、

前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大

値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出するステップとを有するSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体。

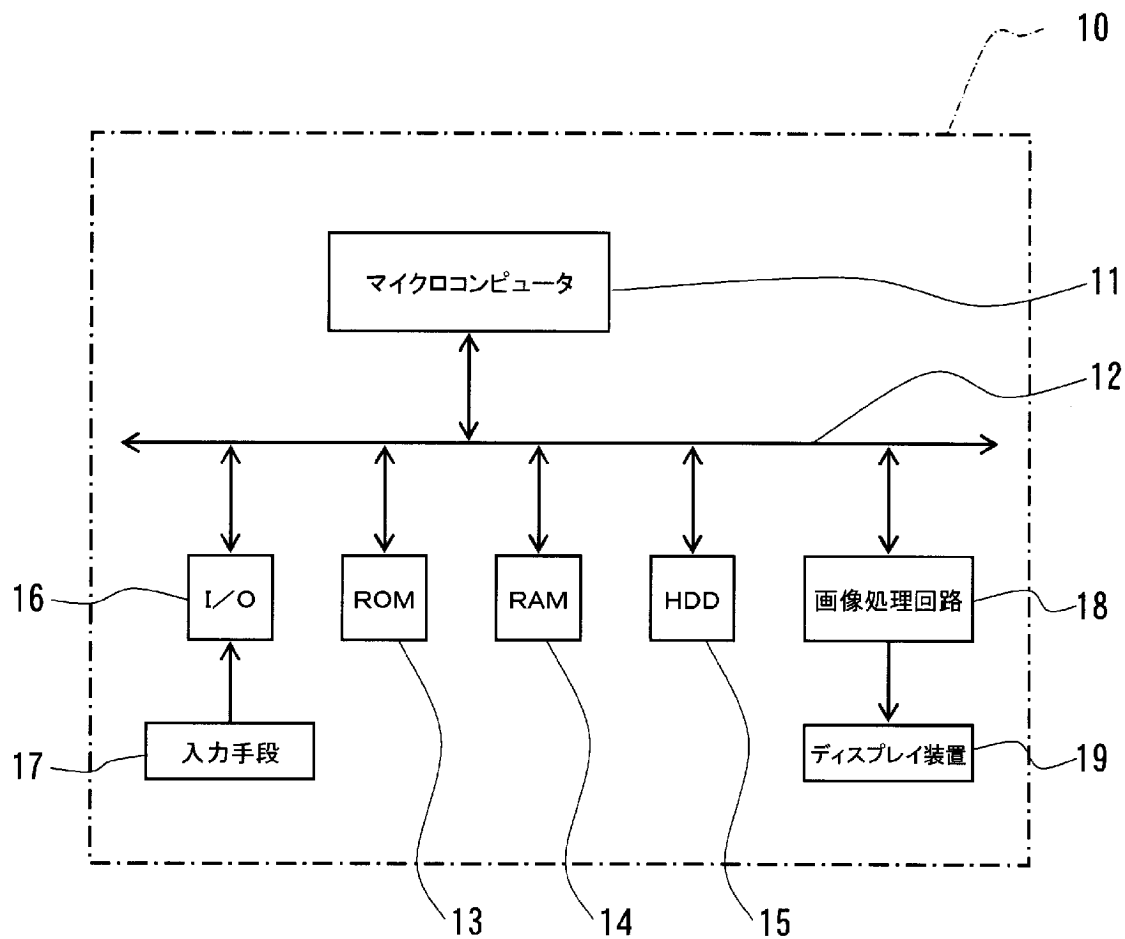
- [8] 第1のインバータと第2のインバータで構成したフリップフロップ回路でデータを記憶するSRAMメモリセルの評価機能をコンピュータに実現させるSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体であって、
- 前記第1のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第1の入出力特性データを得るステップと、
- 前記第2のインバータにおける入力電圧に対する出力電圧の特性である第2の入出力特性データを得るステップと、
- 前記第1の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第1の回転変換データを生成するステップと、
- 前記第2の入出力特性データに対して座標軸を45度回転させる座標変換を行って第2の回転変換データを生成するステップと、
- 前記第1の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第1の近似曲線関数を特定するステップと、
- 前記第2の回転変換データを近似曲線でフィッティングして得られる第2の近似曲線関数を特定するステップと、
- 前記第2の近似曲線関数をY軸に対してミラー反転させた関数である第3の近似曲線関数を特定するステップと、
- 前記第1の近似曲線関数と前記第3の近似曲線関数の差分とした差分曲線関数を特定するステップと、
- 前記差分曲線関数の極大値と極小値を特定するとともに、極小値の絶対値と極大値のうち、小さい方の値を平方根2で除してスタティックノイズマージンを算出するステップとを有するSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体。
- [9] 請求項6から請求項8までに記載された第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、3次以上の多項式で表される関数とした

ことを特徴とするSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体。

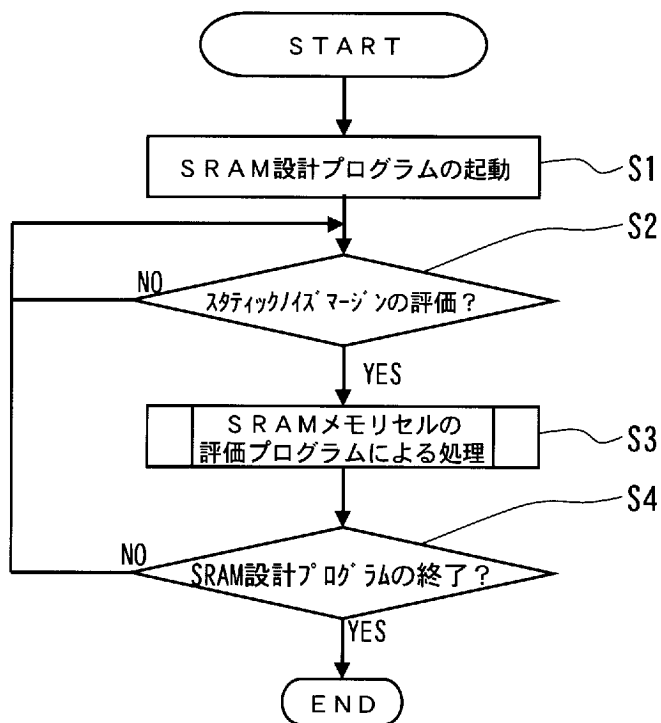
- [10] 請求項6から請求項8までに記載された第1の近似曲線関数、第2の近似曲線関数もしくは第3の近似曲線関数を、5次多項式で表される関数とした

ことを特徴とするSRAMメモリセルの評価プログラムをコンピュータが読み取り可能に記録した記録媒体。

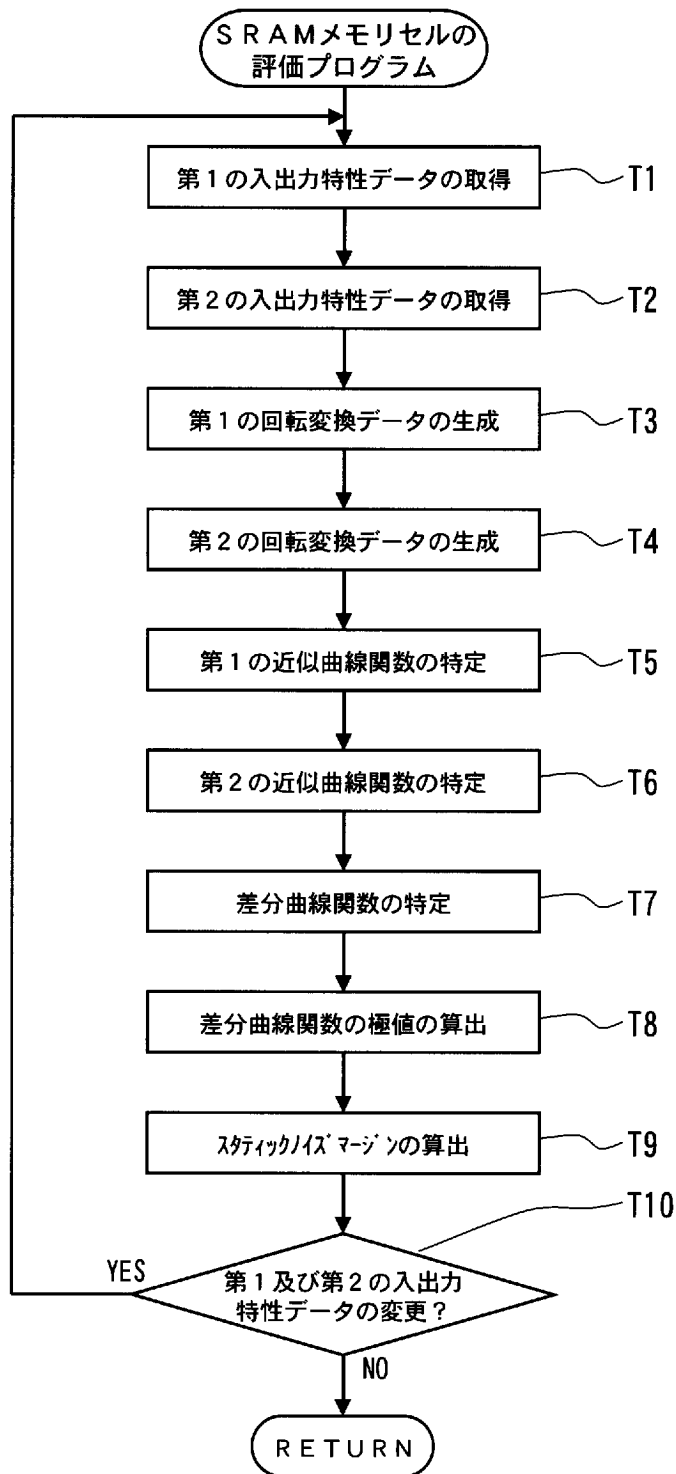
[図1]



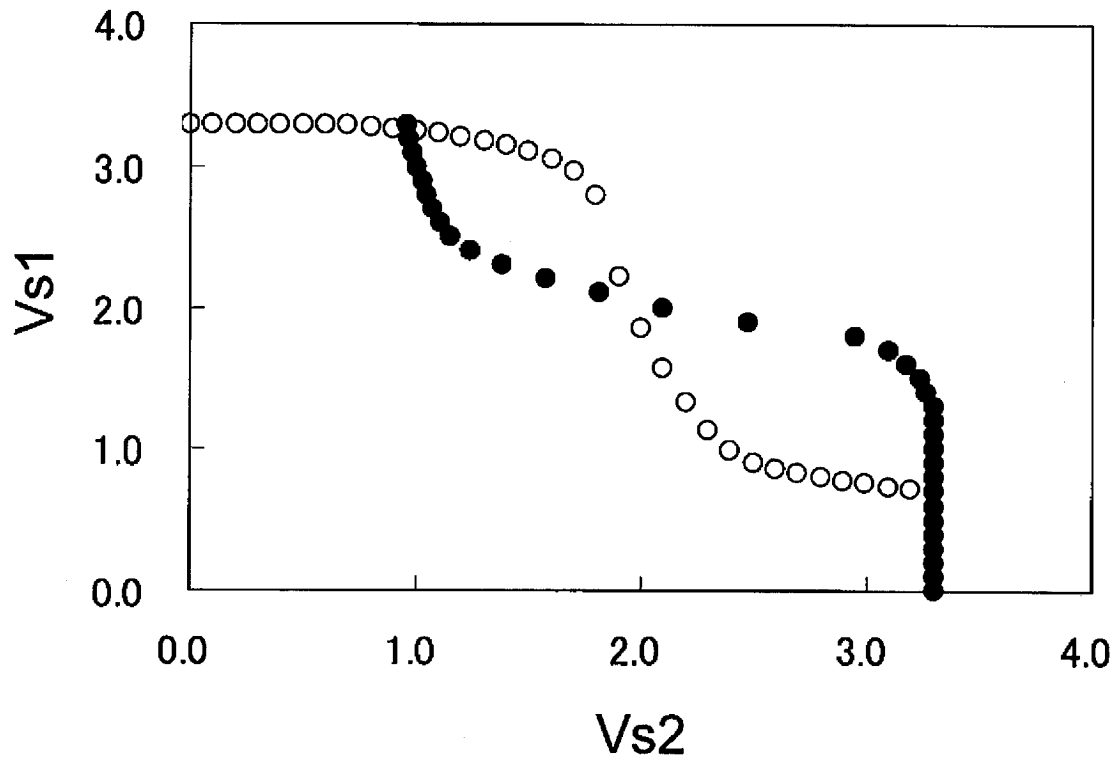
[図2]



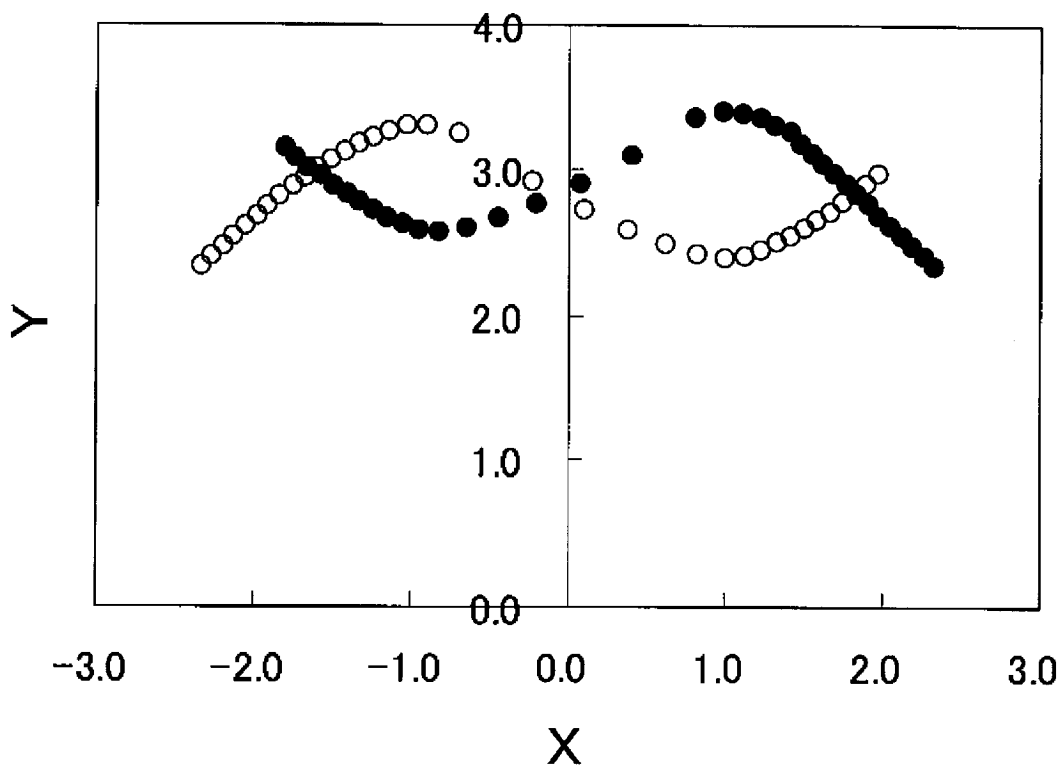
[図3]



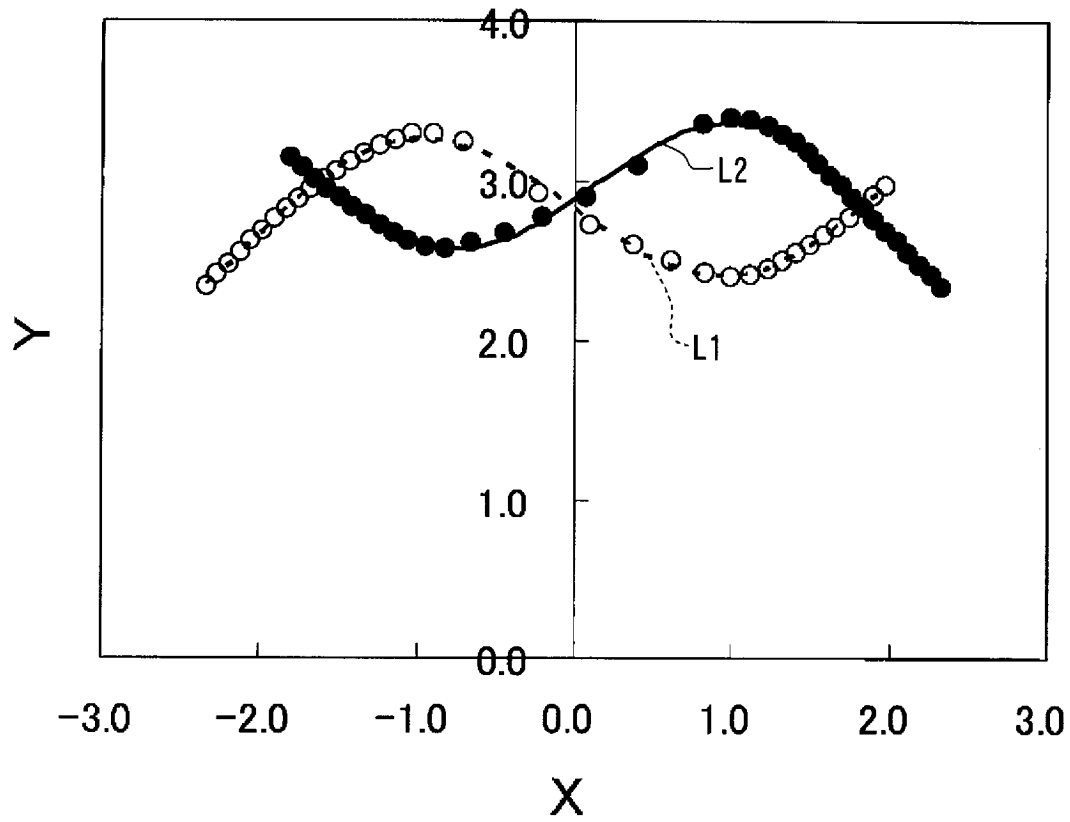
[図4]



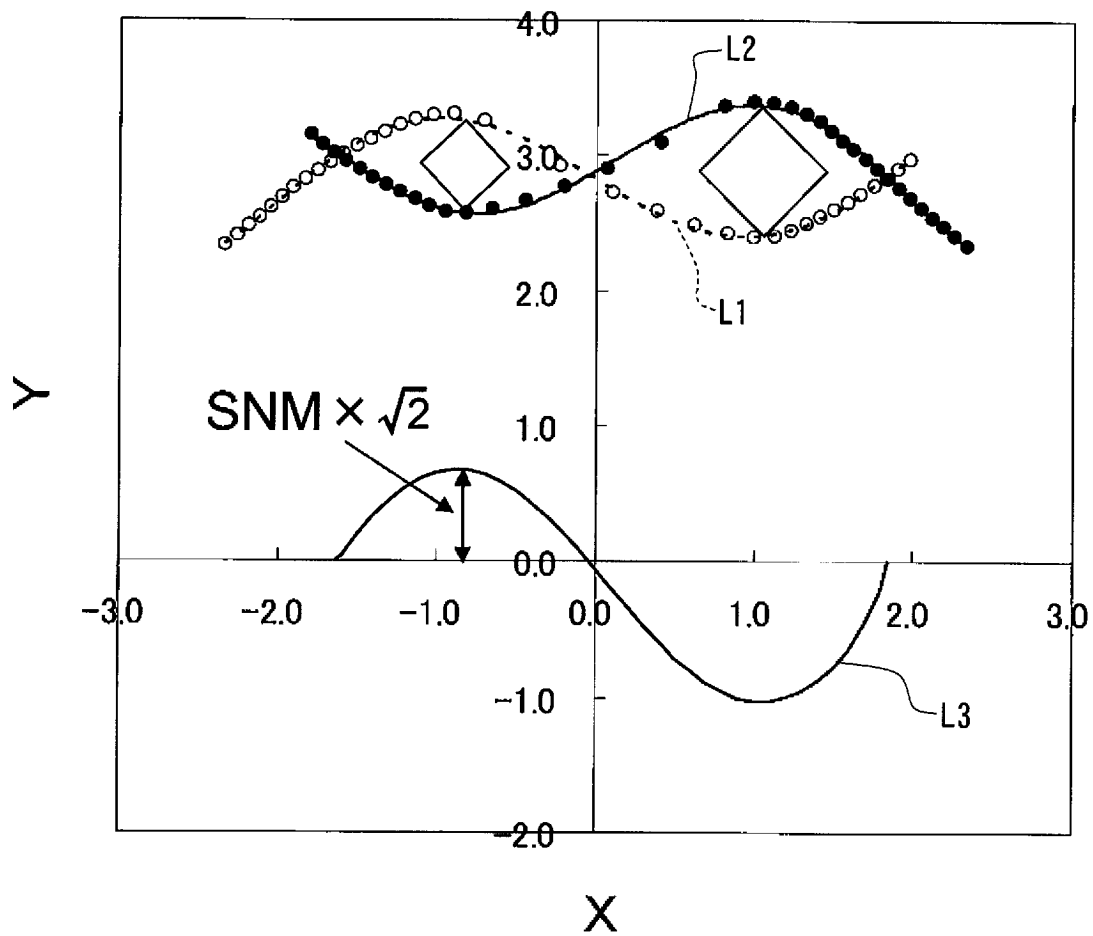
[図5]



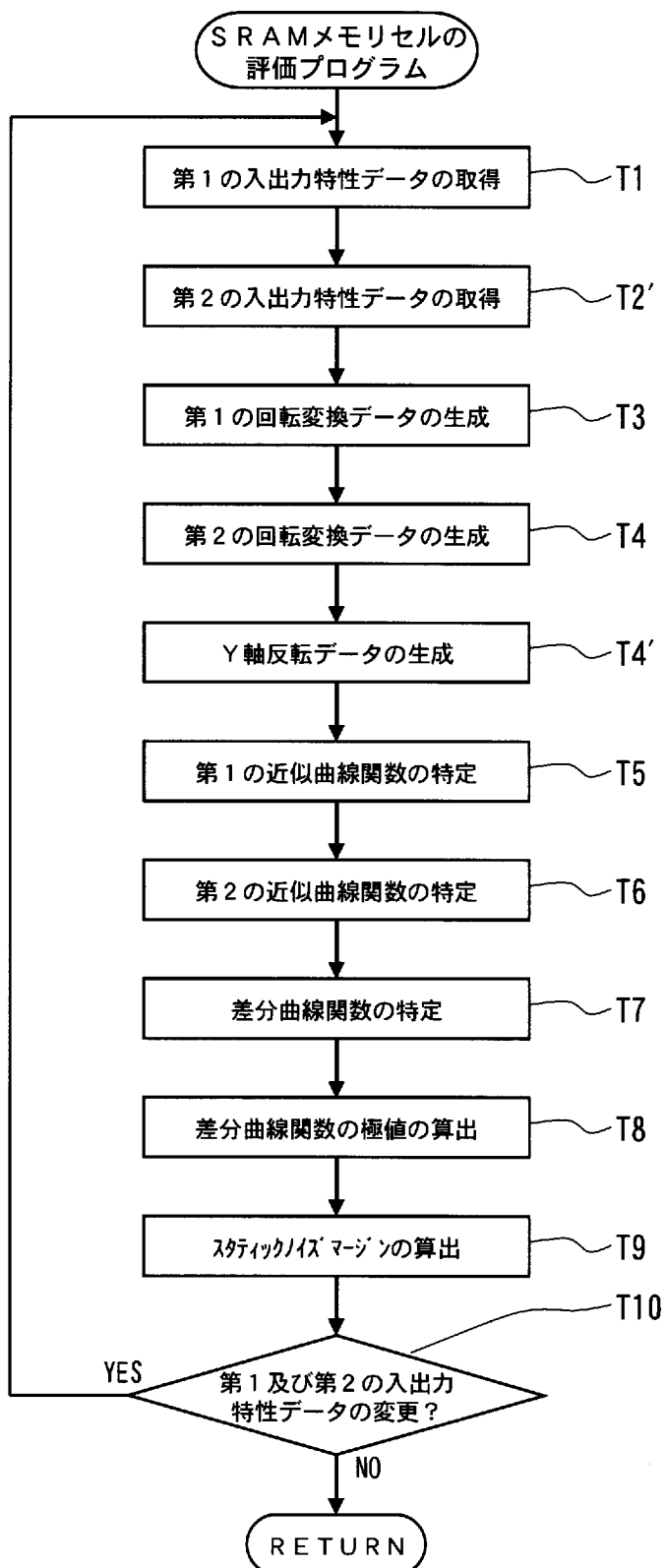
[図6]



[図7]

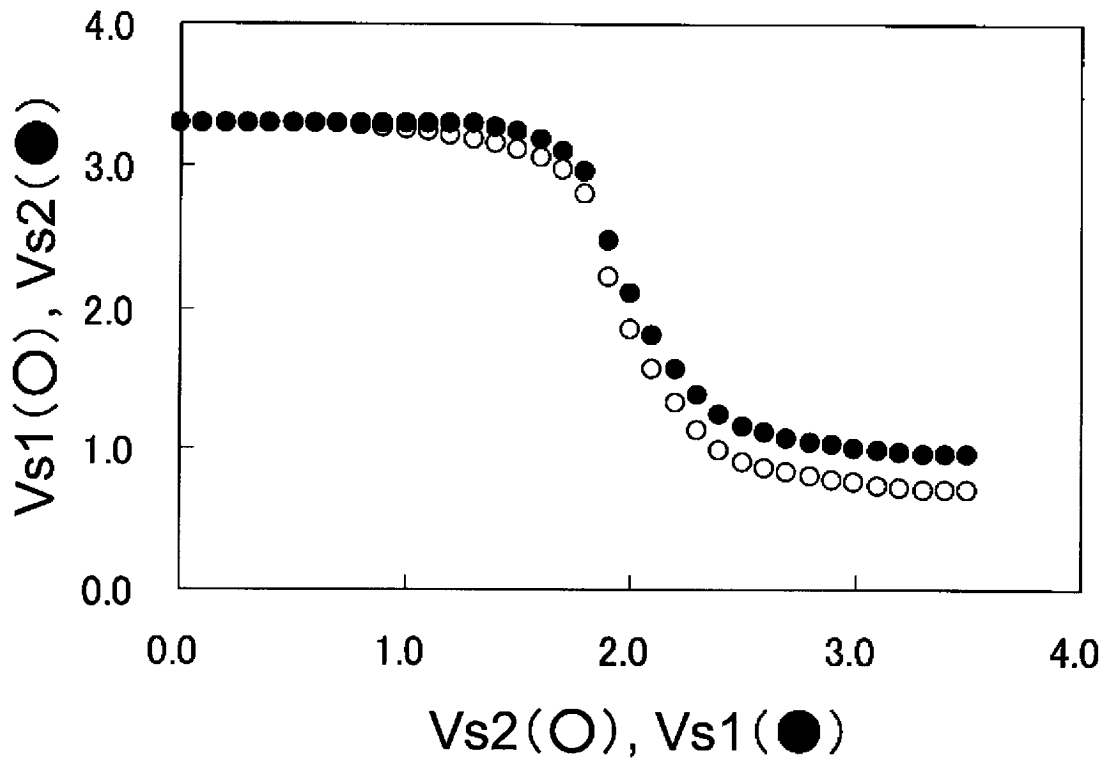


[図8]

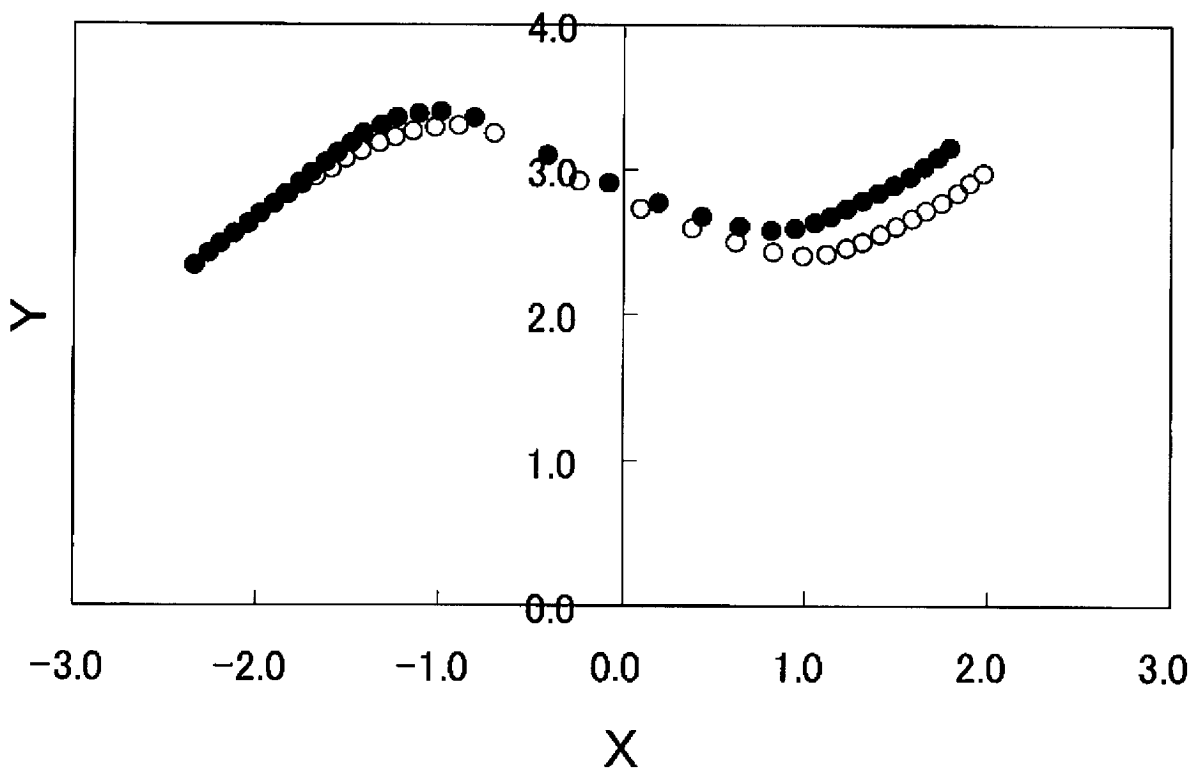




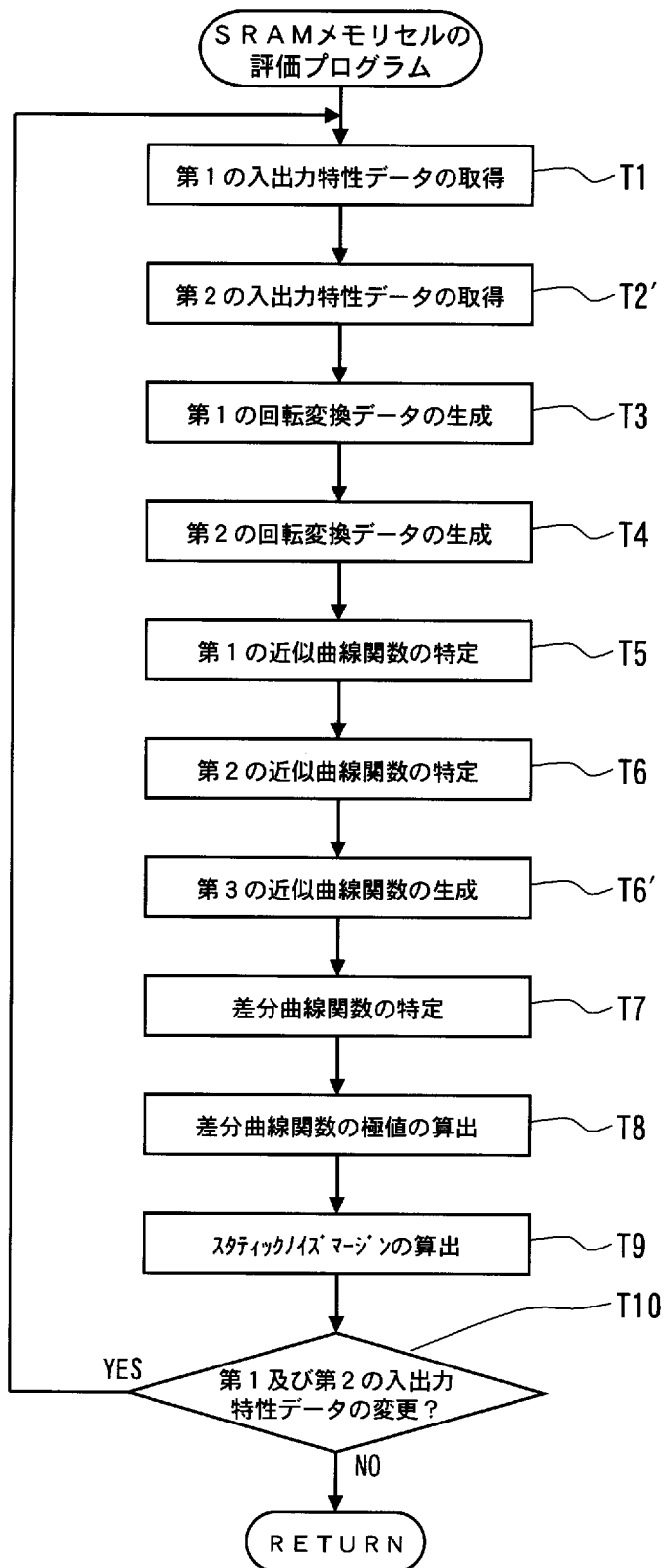
[図9]



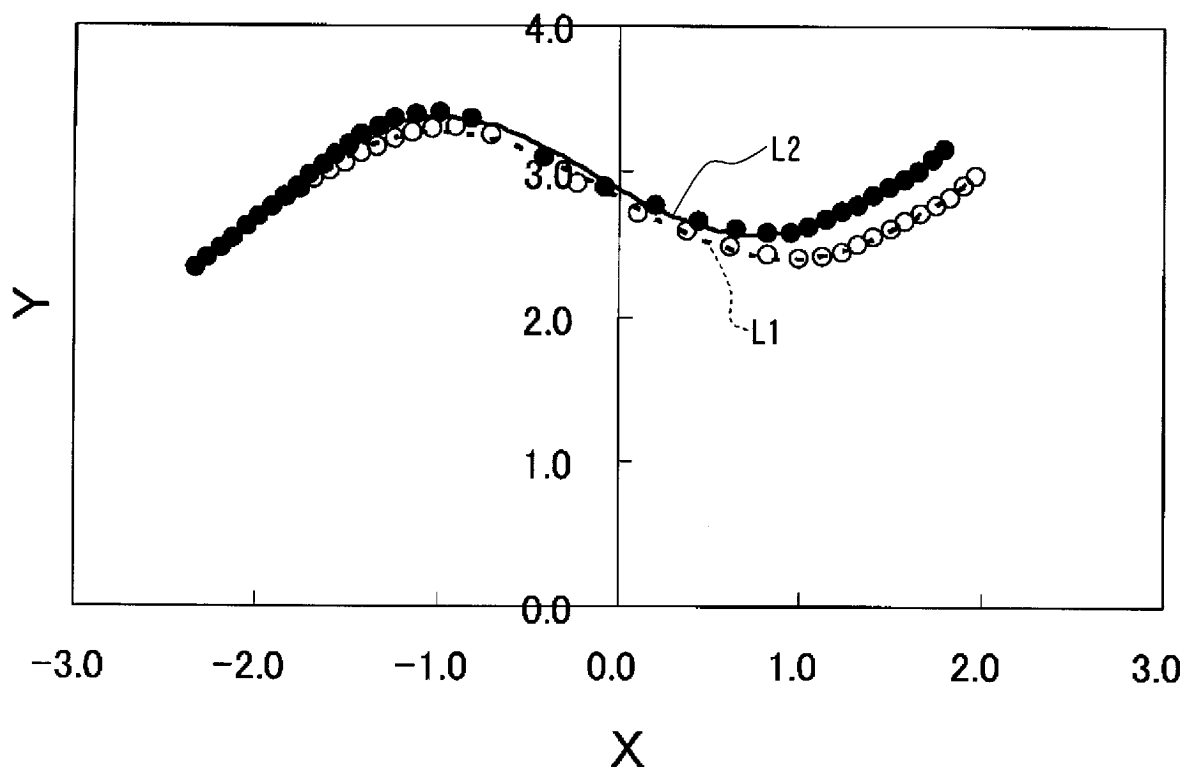
[図10]



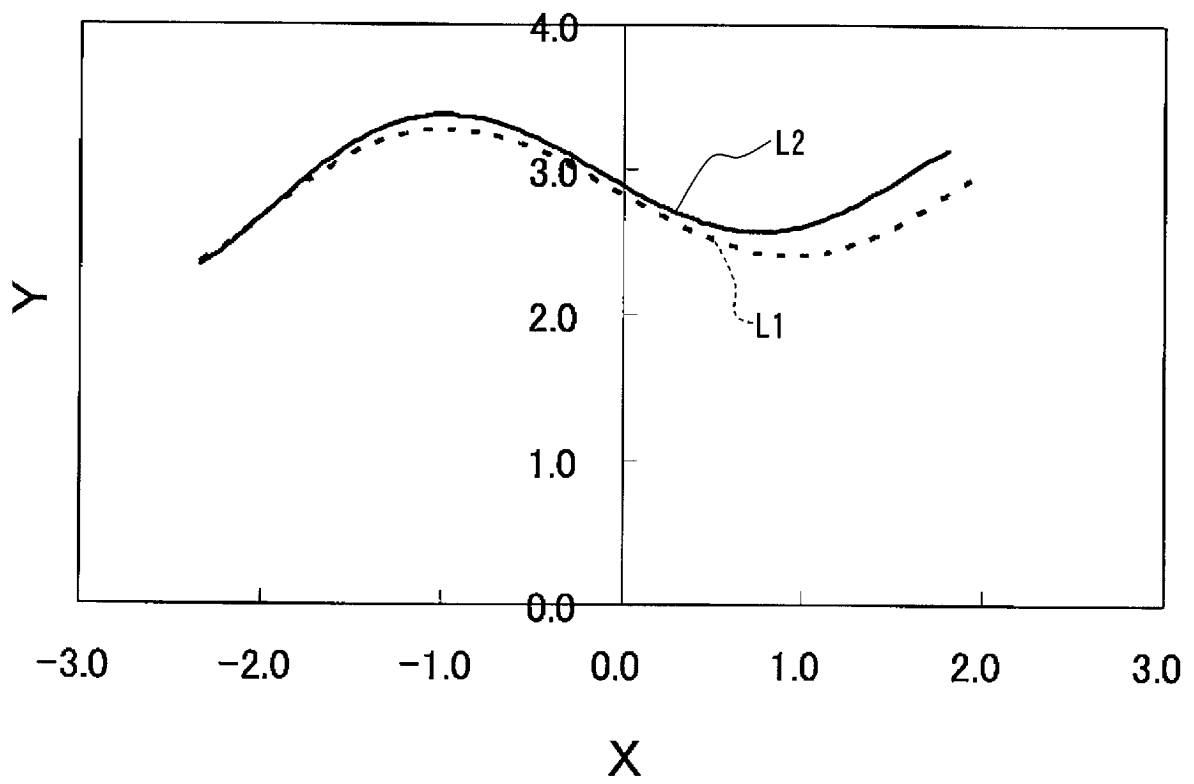
[図11]



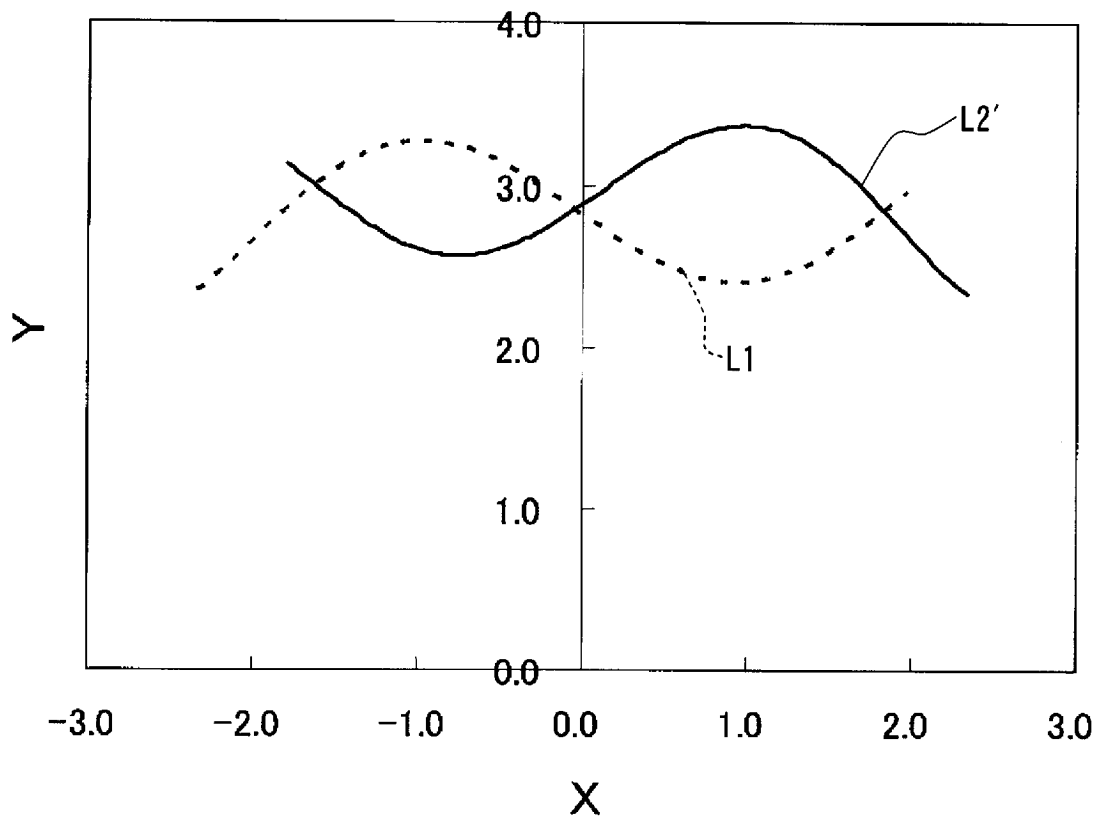
[図12]



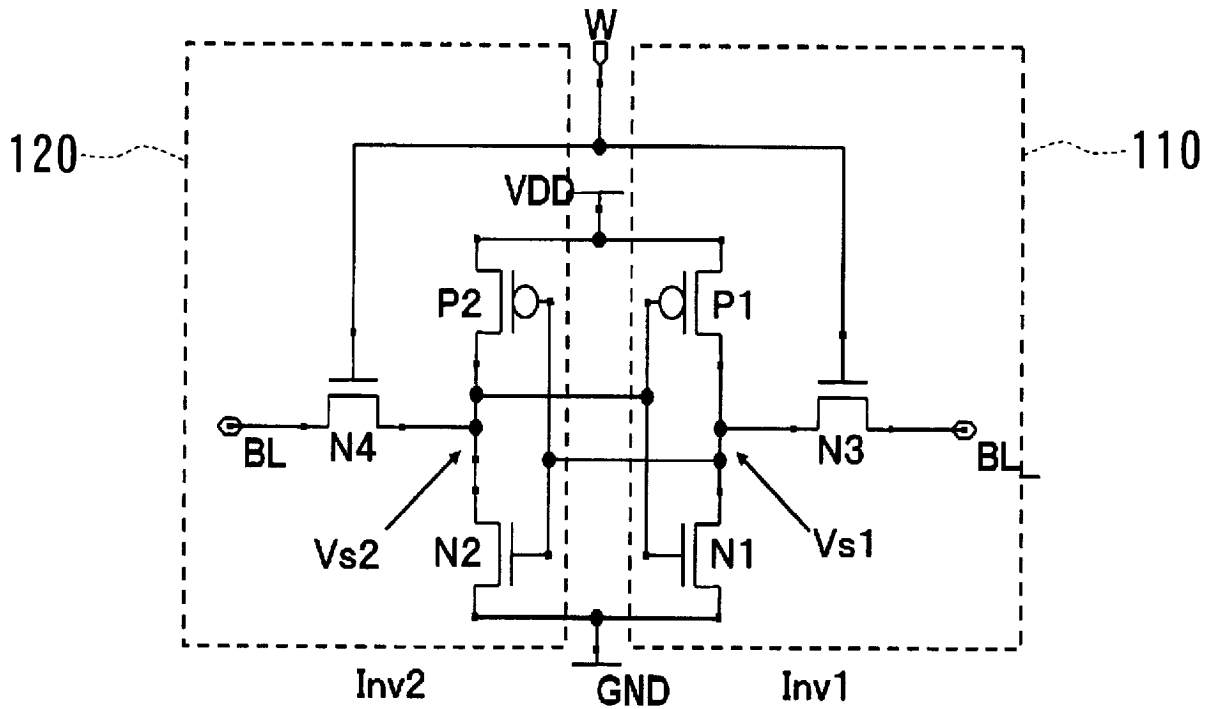
[図13]



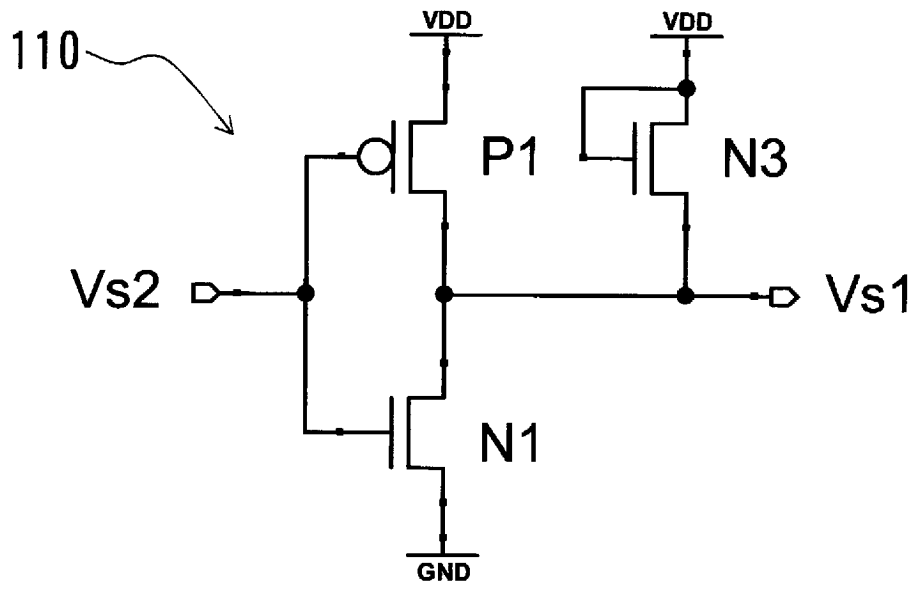
[図14]



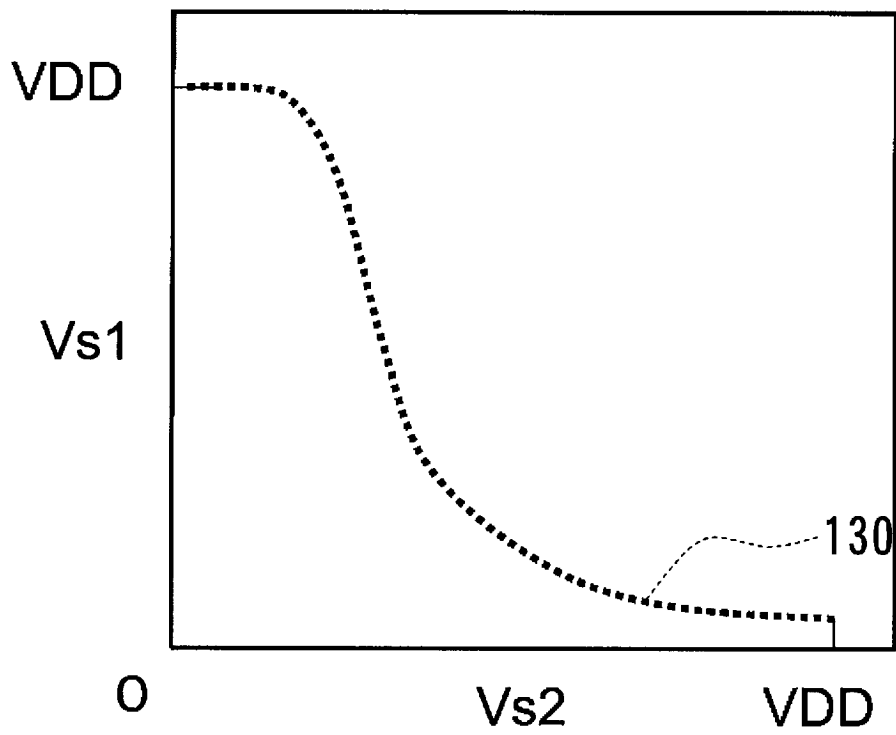
[図15]



[図16]

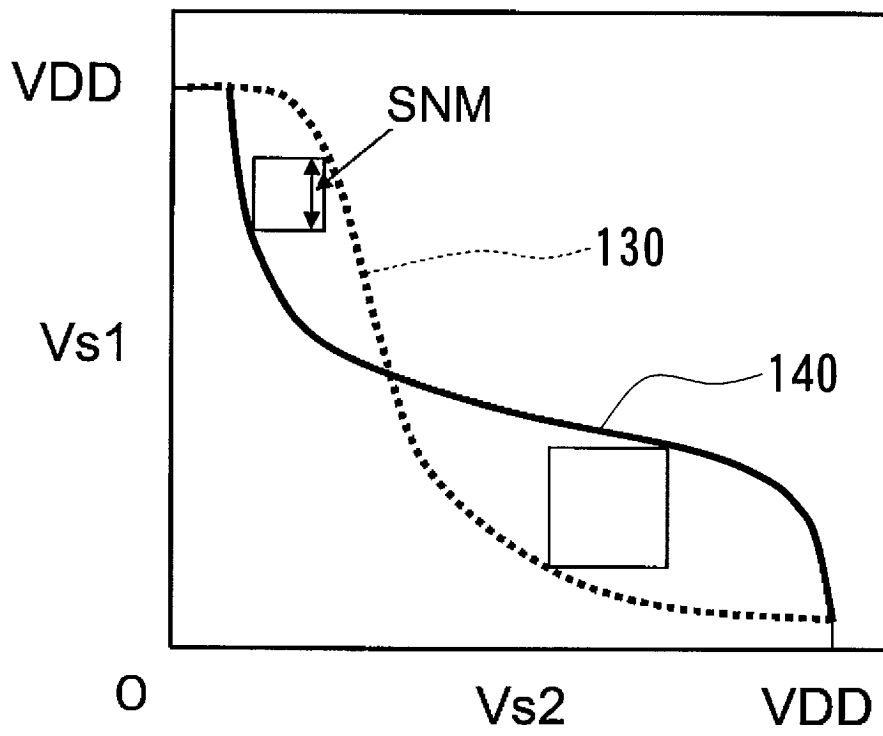


[図17]





[図20]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2008/054308

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G11C29/56(2006.01) i, G11C11/413(2006.01) i

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)  
G11C29/56, G11C11/413

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

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 2005-310242 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 04 November, 2005 (04.11.05), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2006-520511 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 07 September, 2006 (07.09.06), Fig. 2 & WO 2004/081948 A1 & EP 1606824 A1 & TW 200428392 A & KR 2005107786 A & CN 1759452 A & US 2006/0187724 A1 & US 7200057 B2 & EP 1606824 B1 & DE 602004006848 D	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 27 May, 2008 (27.05.08)	Date of mailing of the international search report 03 June, 2008 (03.06.08)
--	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/054308

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2841665 B2 (Mitsubishi Electric Corp.), 24 December, 1998 (24.12.98), Fig. 4 & JP 03-273597 A	1-10
A	JP 2006-134477 A (Toshiba Corp.), 25 May, 2006 (25.05.06), Fig. 6 & US 2006/0098475 A1 & US 7099182 B2	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G11C29/56(2006.01)i, G11C11/413(2006.01)i

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))  
 Int.Cl. G11C29/56, G11C11/413

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 1971-2008年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2008年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2008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 請求の範囲の番号
A	JP 2005-310242 A (松下電器産業株式会社) 2005. 11. 04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2006-520511 A (コーニンクレッカ フィリップス エレクトロ ニクス エヌ ヴィ) 2006. 09. 07, 図2 & WO 2004/081948 A1 & EP 1606824 A1 & TW 200428392 A & KR 2005107786 A & CN 1759452 A & US 2006/0187724 A1 & US 7200057 B2 & EP 1606824 B1 & DE 602004006848 D	1-10

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	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 27. 05. 2008	国際調査報告の発送日 03. 06. 2008
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 小林 紀和 電話番号 03-3581-1101 内線 3586

5 N	4 2 4 0
-----	---------

C (続き) . 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 請求の範囲の番号
A	JP 2841665 B2 (三菱電機株式会社) 1998. 12. 24, 第4図 & JP 03-273597 A	1 - 1 0
A	JP 2006-134477 A (株式会社東芝) 2006. 05. 25, 図6 & US 2006/0098475 A1 & US 7099182 B2	1 - 1 0