

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-184029

(P2005-184029A)

(43) 公開日 平成17年7月7日(2005.7.7)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H O 1 L 21/8247

H O 1 L 27/115

H O 1 L 29/788

H O 1 L 29/792

F I

H O 1 L 29/78 3 7 1

H O 1 L 27/10 4 3 4

テーマコード (参考)

5 F O 8 3

5 F 1 O 1

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2005-41612 (P2005-41612)  
 (22) 出願日 平成17年2月18日 (2005.2.18)  
 (62) 分割の表示 特願2001-257698 (P2001-257698)  
                   の分割  
                   原出願日 平成13年8月28日 (2001.8.28)

(71) 出願人 503121103  
 株式会社ルネサステクノロジ  
 東京都千代田区丸の内二丁目4番1号  
 (74) 代理人 100089071  
 弁理士 玉村 静世  
 (72) 発明者 宿利 章二  
 東京都小平市上水本町五丁目20番1号  
 株式会社日立製作所半導体グループ内  
 Fターム(参考) 5F083 EP17 EP18 EP23 EP77 ER02  
 ER19 ER30 HA02 JA02 JA04  
 JA06 JA19 JA36 JA39 KA05  
 KA13 LA04 LA05 LA07 LA10  
 MA03 MA06 MA19 MA20 NA01  
 PR12 PR29 PR36 PR43 PR45  
 PR53 PR55

最終頁に続く

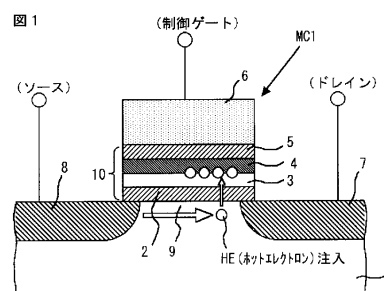
(54) 【発明の名称】 不揮発性記憶素子及び半導体集積回路装置

(57) 【要約】

【課題】 絶縁性電荷トラップ膜を電荷蓄積領域とする不揮発性記憶素子のトンネル消去を可能とし、特性劣化を防止する。

【解決手段】 電荷トラップ膜(4)を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子であって、半導体領域にソース領域(8)、ドレイン領域(7)、及びそれらの間のチャネル領域(9)とが形成され、前記チャネル領域上に第1絶縁膜(2)が設けられ、前記第1絶縁膜上に半導体膜(3)が設けられ、前記半導体膜上に前記電荷トラップ膜である第2絶縁膜が設けられ、前記第2絶縁膜上にゲート電極(6)が設けられ、前記第2絶縁膜は金属酸化膜で構成される。前記電荷トラップ膜が保持する電子を放出する動作をトンネルによって行っても第1絶縁膜に電子が第1絶縁膜に残存する事態を阻止することができる。ホットホール注入による消去を要しない。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電荷トラップ膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子であって、  
半導体領域にソース領域、ドレイン領域、及びそれらの間のチャンネル領域とが形成され

、  
前記チャンネル領域上に第 1 絶縁膜が設けられ、

前記第 1 絶縁膜上に半導体膜が設けられ、

前記半導体膜上に前記電荷トラップ膜である第 2 絶縁膜が設けられ、

前記第 2 絶縁膜上にゲート電極が設けられ、

前記第 2 絶縁膜は金属酸化膜で構成されることを特徴とする不揮発性記憶素子。

10

## 【請求項 2】

電荷トラップ膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子であって、

半導体領域にソース領域、ドレイン領域、及びそれらの間のチャンネル領域とが形成され

、  
前記チャンネル領域上に第 1 絶縁膜が設けられ、

前記第 1 絶縁膜上に前記電荷トラップ膜である第 2 絶縁膜が設けられ、

前記第 2 絶縁膜上に第 3 絶縁膜が設けられ、

前記第 3 絶縁膜上にゲート電極が設けられ、

前記第 2 絶縁膜は、シリコン窒化膜で構成され、

前記シリコン窒化膜は、電荷トラップを多く保有するように  $S_i / N$  の値が大きなシリ  
コンリッチで構成されることを特徴とする不揮発性記憶素子。

20

## 【請求項 3】

前記第 3 絶縁膜はシリコン酸化膜であることを特徴とする請求項 2 記載の不揮発性記憶  
素子。

## 【請求項 4】

不揮発性記憶素子をメモリセルとして複数個有する半導体集積回路装置であって、

半導体基板上に形成された第 4 絶縁膜上に半導体領域が形成され、

前記半導体領域にソース領域、ドレイン領域、及びそれらの間のチャンネル領域とが形成  
され、

前記チャンネル領域上に第 1 絶縁膜が設けられ、

30

前記第 1 絶縁膜上に前記電荷保持膜が設けられ、

前記電荷保持膜上にゲート電極が設けられ、

前記第 4 絶縁膜の下部の前記半導体基板内に共通ソース配線領域が形成され、

前記共通ソース配線領域は、前記第 4 絶縁膜および前記半導体領域に形成された接続孔  
を介して前記複数個のメモリセルのソース領域にそれぞれ接続され、

前記接続孔は、前記第 3 絶縁膜を前記ゲート電極の側壁に形成されたサイドウォールス  
ペースに対して自己整合的に除去することで形成され、

前記接続孔にプラグが形成されて、前記ソース領域と前記共通ソース配線領域とが接続  
されていることを特徴とする半導体集積回路装置。

## 【発明の詳細な説明】

40

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、電氣的に消去及び書き込み可能な不揮発性記憶素子、そして当該不揮発性記憶素子を有する半導体集積回路に関し、例えば非導電性の電荷トラップ膜を情報の保持領域として使用する不揮発性メモリ、更にはそのような不揮発性メモリをオンチップで備えるマイクロコンピュータもしくはデータプロセッサ等に適用して有効な技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、データやプログラム構成するデータを記憶させるメモリ装置として、記憶するデータを所定の単位で一括して電氣的に消去可能であり、かつ、データを電氣的に書き込み

50

可能な不揮発性記憶装置とされるフラッシュEEPROM（以下、フラッシュメモリという）が注目を集めている。フラッシュメモリは、電氣的に消去及び書き込み可能な不揮発性記憶素子によってメモリセルが構成されており、一旦メモリセルに書き込まれたデータやプログラムを消去し、新たなデータやプログラムをメモリセルへ再度書き込み（プログラミング）する事が可能である。

#### 【0003】

従来、フラッシュメモリの電荷蓄積領域は、ポリシリコン膜から成り、電氣的に周囲とは絶縁されたフローティングゲート内に電子を蓄積することにより行われていた。この電子蓄積動作、いわゆる書き込み動作は、ホットエレクトロン注入が一般的であり、蓄積された電子をフローティングゲート外へ放出する消去動作は、ゲート酸化膜を通過するトンネル電流により行われている。書き込みと消去を繰り返すと、ゲート酸化膜の内部にトラップ準位が形成され、基板とゲート酸化膜の界面のトラップ準位が増加する。特に、前者は電荷の保持特性、すなわち書換え後のリテンション特性を劣化させるという本質的な問題点があった。

10

#### 【0004】

上記問題点を解消する方法として、近年、EEPROMの電荷蓄積を非導電性の電荷トラップ膜を使用する方式が提案されている。例えば、米国特許第5,768,192号明細書、米国特許第5,966,603号明細書、米国特許第6,011,725号明細書、米国特許第6,180,538号明細書、及び、B.Eitanらによる”Can NROM, a 2-bit, Trapping Storage NVM Cell, Give a Real Challenge to Floating Gate Cell”, International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1999、に開示されている。例えば、米国特許第5,768,192号明細書には、図24にその断面図を示したようにシリコン酸化膜等の絶縁膜132、134で挟まれたシリコン窒化膜133、いわゆるONO(Oxide/Nitride/Oxide)構造の積層膜をゲート絶縁膜とし、ソース137に0V、ドレイン136とコントロールゲート135に適当な正電圧を印加してトランジスタをオンさせ、ドレイン136の近傍で発生するホットエレクトロンを注入し、上記シリコン窒化膜133中へ電子をトラップさせることにより書き込みを行う方式である。この電荷蓄積方式は、連続した導電膜であるポリシリコン膜に電荷蓄積を行う方式に比較すると、シリコン窒化膜133中の電子トラップが非連続で離散的であるため、酸化膜132の一部にピンホール等の電荷漏洩パスが発生した場合においても、蓄積された電荷のすべてが消失されることがなく、リテンション特性が本質的に強固であるという特徴をもっている。

20

30

#### 【0005】

また、米国特許第6,011,725号明細書には、図25にその書き込み方式を示したように、ホットエレクトロン注入の局在性を利用して、ドレイン136近傍とソース137の近傍との2個所の電荷蓄積を独立して制御することにより、2ビットの情報を1メモリセル内で実現する、いわゆる多値セル技術を開示している。

#### 【0006】

さらに、米国特許第5,966,603号明細書には、ONO膜の形成方法、例えば、基板上にON積層膜を形成した後、シリコン窒化膜上部を酸化することによりONO構造を形成すること、また、基板上にONO積層膜を形成した後に酸化工程を追加することによりシリコン窒化膜中に酸素を導入して、メモリセルのリテンション特性を向上すること、が開示されている。また、米国特許第6,180,538号明細書には、短時間気相成長法(Rapid Thermal Chemical Vapor Deposition)により、ONO膜を形成する方法、酸化膜の堆積温度が700～800であること、酸化膜の膜厚が5～15nmであることが記述されている。

40

#### 【0007】

【特許文献1】米国特許第5,768,192号明細書

【特許文献2】米国特許第6,011,725号明細書

【特許文献3】米国特許第5,966,603号明細書

50

【特許文献4】米国特許第6,180,538号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記公知例では、シリコン窒化膜中にトラップされた電子を引抜く消去動作は、基板、ソース、あるいはドレイン側へのトンネル放出によるか、ソース、あるいはドレイン近傍からのホットホール注入による電荷の中和によって行われている。例えば、B.Eitanらによる "Can NROM, a 2-bit, Trapping Storage NVM Cell, Give a Real Challenge to Floating Gate Cell", International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1999、によれば、ドレインへ7V、コントロールゲートへ-3V、ソースへ3Vを印加し、ドレイン近傍の基板内で発生するバンド間トンネル現象によるホットホールを、シリコン窒化膜中へ注入することにより消去動作を行っている。

10

【0009】

上述した動作方式が採用された従来のメモリセルにおいては、図26に模式的に例示されるように、幾つかの問題点のあることが本発明者により見出された。

【0010】

第1の問題点は、ホットホール注入による消去動作において、消去動作で注入されるホールは、酸化膜132中を通過するため、一旦酸化膜132中で捕獲されると、ホールの移動度が小さいために、それがホールトラップとなって、書換え後のリテンション特性、即ち電荷保持特性を劣化させる要因となることである。

20

【0011】

第2の問題点は、ホットホール注入による消去動作において、消去動作でのホール注入は、半導体基板131と酸化膜132との界面にトラップ準位を発生させ、サブスレッショルド特性を著しく劣化させ、オフ・リーク電流を増加させる。これは、消去状態のメモリセルの記憶情報を読み出す際のドレインリーク電流を増加させ、読み出しデータの反転不良、いわゆる読み出し不良を引起こす原因となる。

【0012】

第3の問題点は、ホットホール注入による問題点を解消するために電子をトンネル電流で基板側へ放出しようとしても、窒化膜に捕獲されている電荷の分布中心が基板から離れているので十分な消去が難しい、ということである。要するに、所要の書き込み特性を得るには窒化膜に比較的多くの電子を保持させ、保持された電荷が容易に抜けないように、窒化膜には比較的厚い膜厚を要する。それ故に、トンネル電流による電子の基板放出には限界がある。

30

【0013】

第4の問題点は、消去動作をホール注入ではなく、トンネル電流による基板131側への電子放出を行おうとするとき、新たに発生すると考えられる問題があることである。例えば、コントロールゲート135へ-10V、基板131へ+10Vを印加して、シリコン窒化膜中へ捕獲された電子を酸化膜132を介したトンネル電流で基板131側へ放出する場合、ドレイン136近傍の電子トラップが存在するシリコン窒化膜領域の直下の酸化膜132中よりも、ソース137近傍の電子トラップが存在しないシリコン窒化膜領域の直下の酸化膜132中へ注入されたホールの残存が顕著となる。この酸化膜中ホールの蓄積量は、書換えを繰り返すにしたがって増大し、ソース137近傍のチャネル領域のみを、部分的にディプリート状態（閾値電圧がデプレッション状態）としてしまう。この状態は、チャネル長が短くなった状態に対応しており、書換え回数によってメモリセルの諸特性、書き込み特性、読み出し電流等が変動することになり、特性バラツキが大きく劣化することになる。

40

【0014】

本発明の目的は、シリコン窒化膜などの絶縁膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子に対する消去動作のような電子放出動作をトンネルによって行ってもゲート絶縁膜に電子が不消耗に残存する事態を阻止することができる不揮発性記憶素子及び半導体集積回路を提

50

供することにある。

【0015】

本発明の別の目的は、シリコン窒化膜などの絶縁膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子に対する消去動作のような電子放出動作をF Nトンネルによって行っても、チャネル領域の一部に片寄って正孔が蓄積して特性劣化を生ずる事態を防止することができる不揮発性記憶素子及び半導体集積回路を提供することにある。

【0016】

本発明の更に別の目的は、シリコン窒化膜などの絶縁膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子において電子の放出にホットエレクトロン注入を行わなくても済み、これにより、書き換え後の電荷保持特性の劣化、書き換えに起因するサブスレッショルドリーク電流の増加を、抑止若しくは緩和することができる不揮発性記憶素子及び半導体集積回路を提供することにある。

10

【0017】

本発明のその他の目的は、絶縁性の電荷トラップ膜を電荷蓄積領域として用いる不揮発性メモリセルのチップ占有面積を縮小させることが容易な不揮発性記憶素子を提供することにある。

【0018】

本発明の前記並びにその他の目的と新規な特徴は本明細書の記述及び添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

20

【0019】

本願において開示される発明のうち代表的なものの概要を簡単に説明すれば下記の通りである。

【0020】

〔1〕本発明に係る不揮発性記憶素子は、半導体領域(1)に夫々形成されたソース領域(8)、ドレイン領域(7)及びそれらの間のチャネル領域(9)と、前記チャネル領域の上に設けられた第1絶縁膜(2)と、前記第1絶縁膜の上に設けられた半導体膜(3)と、前記半導体膜の上に設けられた第2絶縁膜(4)と、前記第2絶縁膜の上に設けられた第3絶縁膜(5)と、前記第3絶縁膜の上に設けられたゲート電極(6)とを有する。前記第2絶縁膜のトラップ密度は前記第1絶縁膜及び第3絶縁膜の夫々のトラップ密度よりも高い。前記半導体膜と前記第2絶縁膜との界面部のトラップ密度は前記第2絶縁膜のトラップ密度よりも高い。トラップに捕獲された電子は前記第1絶縁膜を介してトンネル放出される。

30

【0021】

上記不揮発性記憶素子においては、前記半導体膜と前記第2絶縁膜との界面部に形成されるエネルギー準位の深いトラップ(界面トラップ)による電荷保持機能が追加されているから、従来より情報記憶のための電荷保持を担っている第2絶縁膜を薄膜化することができる。薄膜化によっても記憶素子全体として必要な量の電子を保持することは保証される。第2絶縁膜及びその界面部に捕獲された電子をトンネル放出するとき、第2絶縁膜が薄膜化されているので、第2絶縁膜のバルク中のトラップに捕獲されている電子は容易に前記半導体膜に到達し、当該半導体膜及び第1絶縁膜をトンネル電流として流れて放出される。第2絶縁膜と半導体膜の界面部に捕獲されている電子はそのトラップ準位に抗する電界により半導体膜にデトラップされ、デトラップされた電子は半導体膜から第1絶縁膜をトンネル電流として流れて放出される。前記半導体領域と第2絶縁膜との界面部はトンネル電流を流す第1絶縁膜寄りに形成されているので、そこに捕獲されている電子は前記トンネル放出に際して第2絶縁膜を通過することを要しない。仮にそのような界面準位をゲート電極側に形成して機能させる場合と比べれば、本発明手段は消去動作のような電子放出動作が容易である。

40

【0022】

したがって、シリコン窒化膜などの絶縁膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子に対す

50

る消去動作のような電子放出動作をトンネル効果によって行っても第2絶縁膜に電子が不消耗に残存する事態を阻止することができる。

【0023】

消去動作では、チャネル領域側からのホットホール注入を行う必要がないから、ホットホール注入による問題点をことごとく解消することができる。第1に、チャネル領域上の第1絶縁膜中にホールトラップが発生するのを抑制できる。第2に、チャネル領域と第1絶縁膜との界面準位の発生に起因するサブスレッショルド特性の劣化を生ずることもない。したがって、書き込み特性及び読み出し特性の劣化を防止することができる。更に、サブスレッショルドリークが低減されて低消費電力に寄与する。

【0024】

さらに、情報記憶の為に主体的に電子を保持する前記半導体膜と前記第2絶縁膜との間の界面部のトラップに捕獲された電子は、絶縁体ではない半導体膜にデトラップされ、デトラップされた電子は半導体膜内で自由電子の如く振る舞う。ホットエレクトロン注入による書き込みではドレイン近傍の界面トラップに電子が捕獲されていても、デトラップされた電子がドレイン近傍に集中せず、ソース近傍の第1絶縁膜にホールが残存することもない。この点でも不揮発性記憶素子における書き込み、読み出しの特性劣化が防止される。

【0025】

上記不揮発性記憶素子において、電子の注入を行う場合には、例えば、前記ドレイン領域及び前記ゲート電極に、ソース領域に印加する電位よりも高い電位を印加して、前記チャネル領域をオンさせ、前記ドレイン領域の近傍で発生するホットエレクトロンにより前記半導体膜と前記第2絶縁膜との界面部及び前記第2絶縁膜に電子を捕獲させる。また、電子のトンネル放出を行う場合、例えば、前記半導体領域に、前記ゲート電極に印加する電位よりも高い電位を印加して、前記半導体膜と前記第2絶縁膜との界面部及び前記第2絶縁膜に捕獲されている電子を、前記第1絶縁膜を介してトンネル電流として引き抜く。

【0026】

望ましい形態として、前記半導体膜と前記第2絶縁膜との間の界面のトラップ密度は前記第2絶縁膜と前記第3絶縁膜との間の界面部のトラップ密度よりも高いのがよい。また、前記半導体膜の膜厚は前記第2絶縁膜の膜厚よりも薄いのがよい。

【0027】

一つの具体的な形態として、前記第1絶縁膜をシリコン酸化膜、前記半導体膜をシリコン膜、前記第2絶縁膜をシリコン窒化膜、前記第3絶縁膜をシリコン酸化膜としてよい。また、前記第1絶縁膜をシリコン酸化膜、前記半導体膜をシリコン膜、前記第2絶縁膜を金属酸化膜、前記第3絶縁膜をシリコン酸化膜としている。前記シリコン膜はポリシリコン膜である。望ましい形態として、前記ポリシリコン膜は不純物が導入されている。前記ポリシリコン膜に代えて、絶縁膜中にポリシリコン粒子(88)が分散された膜を、前記シリコン膜として採用してもよい。

【0028】

〔2〕本発明に係る半導体集積回路は、半導体領域(1)に形成されたソース領域(8)とドレイン領域(9)の間のチャネル領域(9)の上に、第1絶縁膜(2)、前記第1絶縁膜の上に設けられた半導体膜(3)、前記半導体膜の上に設けられた第2絶縁膜(4)、前記第2絶縁膜の上に設けられた第3絶縁膜(5)、及び前記第3絶縁膜の上に設けられたゲート電極(6)が形成された不揮発性記憶素子を複数個有するメモリアレイと、電子の注入と前記第1絶縁膜を介する電子のトンネル放出とにより前記不揮発性記憶素子の閾値電圧を制御するメモリ制御回路とを備える。前記第2絶縁膜のトラップ密度は前記第1絶縁膜及び第3絶縁膜の夫々のトラップ密度よりも高い。前記半導体膜と前記第2絶縁膜との界面部トラップ密度は前記第2絶縁膜のトラップ密度よりも高い。

【0029】

この半導体集積回路は不揮発性メモリ、或は不揮発性メモリをオンチップで備えるデータプロセッサなどとされる。この半導体集積回路は前記項目〔1〕で説明した不揮発性記

10

20

30

40

50

憶素子によって得られる作用効果を奏する。

【0030】

望ましい形態として、前記ゲート電極が共通化されて延在する方向に隣接する複数の不揮発性記憶素子の半導体膜を、互に一体に形成するのがよい。仮にメモリセル単位で半導体膜を分断する場合には、不揮発性記憶素子間に少なくとも最小加工寸法分の間隔が必要になり、チップ占有面積が増える。この点において、メモリアレイのチップ占有面積低減、もしくは記憶容量増大に寄与することができる。更に、消去動作でデトラップされた電子は複数の不揮発性記憶素子間で共通の半導体膜中を移動でき、デトラップされた電子のトンネル放出を、共通化されたゲート電極単位で行うことにより、不揮発性記憶素子間の消去特性のばらつきを低減することができる。

10

【0031】

具体的な形態として、前記メモリ制御回路は、電子の注入動作の指示に応答して、ドレイン領域及び前記ゲート電極に、ソース領域に印加する電位よりも高い電位を印加して、前記チャネル領域をオンさせ、前記ドレイン領域の近傍で発生するホットエレクトロンにより前記半導体膜と前記第2絶縁膜との界面部及び前記第2絶縁膜に電子を捕獲させる。また、前記メモリ制御回路は、電子のトンネル放出動作の指示に応答して、前記半導体領域に、前記ゲート電極に印加する電位よりも高い電位を印加して、前記半導体膜と前記第2絶縁膜との界面部及び前記第2絶縁膜に捕獲されている電子を、前記第1絶縁膜中を介してトンネル電流として引き抜く。

【0032】

前記半導体領域は、半導体基板上に形成された第3絶縁膜(42)上に形成してよい。要するに、前記不揮発性記憶素子のデバイス構造としてTFT(Thin Film Transistor)構造を採用することが可能である。このとき、前記半導体領域は例えばシリコン膜で形成すればよい。そこに形成されるソース・ドレイン領域には例えばn型不純物が導入され、チャネル領域には例えばp型不純物が導入される。TFT構造を採用するときの一つの望ましい形態として、前記第3絶縁膜の半導体基板(41)内に共通ソース配線領域(54)を形成し、前記共通ソース配線領域を、前記第3絶縁膜に形成した接続孔(53H)を介して前記複数個のメモリセルのソース領域に接続する。前記接続孔は、前記第3絶縁膜を前記ゲート電極の側壁に形成されたサイドウォールスペーサ(52)に対して自己整合的に除去することにより形成することが可能である。

20

30

【0033】

〔3〕上記不揮発性記憶素子はポリシリコン膜等の半導体膜と窒化シリコン膜などの第2絶縁膜との界面準位を利用した。別の態様として、チャネル領域の上の第1絶縁膜にシリコン窒化膜を設け、このシリコン窒化膜の第1絶縁膜寄りの部分をシリコンリッチな組成とする。具体的には、不揮発性記憶素子は、半導体領域に夫々形成されたソース領域(8)、ドレイン領域(7)及びそれらの間のチャネル領域(9)と、前記チャネル領域の上に設けられた第1絶縁膜(2)と、前記第1絶縁膜の上に設けられた第2絶縁膜(90)と、前記第2絶縁膜の上に設けられた第3絶縁膜(5)と、前記第3絶縁膜の上に設けられたゲート電極(6)とを有する。前記第2絶縁膜は第3絶縁膜寄り(90B)よりも第1絶縁膜寄り(90A)の方がSi/Nの値が大きくされたシリコン窒化膜である。前記第2絶縁膜のトラップ密度は前記第1絶縁膜及び第3絶縁膜の夫々のトラップ密度よりも高い。トラップに捕獲された電子は前記第1絶縁膜を介してトンネル放出される。

40

【0034】

前記シリコン窒化膜のシリコンリッチな部分(90A)は前記項目〔1〕で説明した前記半導体膜(ポリシリコン膜)と第2絶縁膜(シリコン窒化膜)との界面におけるトラップの機能を代替するものと位置付けることができ、基本的にはそれと同様の作用効果を奏する。

【0035】

〔4〕上記半導体膜と絶縁膜との界面準位を利用する発明と実質同一観点の発明として、半導体集積回路は、半導体領域のチャネル領域(9)の上に形成された第1絶縁膜(2

50

）と、前記第 1 絶縁膜の上に形成された中間膜（ 3 ）と、前記中間膜の上に形成された非導電性の電荷トラップ膜（ 4 ）と、前記電荷トラップ膜の上に形成された第 2 絶縁膜（ 5 ）と、前記第 2 絶縁膜の上に形成されたゲート電極（ 6 ）と、を有する不揮発性記憶素子を備える。前記電荷トラップ膜のトラップ密度は、前記第 1 絶縁膜及び第 2 絶縁膜の夫々のトラップ密度よりも高い。前記中間膜と前記電荷トラップ膜との界面部のトラップ密度は、前記電荷トラップ膜と前記第 2 絶縁膜との界面部のトラップ密度より高く、且つ、前記電荷トラップ膜のトラップ密度よりも高い。前記不揮発性記憶素子は、注入された電子を前記トラップに捕獲することで情報の書き込みが行われ、前記トラップに捕獲された電子を前記第 1 絶縁膜を介してトンネル放出させることで情報の消去が行われる。

【 0 0 3 6 】

10

シリコン窒化膜の一部をシリコンリッチとしてトラップ密度を上げた発明と実質同一観点の発明として、半導体集積回路は、半導体領域のチャネル領域（ 9 ）の上に形成された第 1 絶縁膜（ 2 ）と、前記第 1 絶縁膜の上に形成された第 2 絶縁膜（ 9 0 ）と、前記第 2 絶縁膜の上に形成された第 3 絶縁膜（ 5 ）と、前記第 3 絶縁膜の上に形成されたゲート電極（ 6 ）とを有する不揮発性記憶素子を備える。前記第 2 絶縁膜のトラップ密度は前記第 1 絶縁膜及び第 3 絶縁膜の夫々のトラップ密度よりも高い。前記第 2 絶縁膜のトラップ密度は第 3 絶縁膜寄り（ 9 0 B ）よりも第 1 絶縁膜寄り（ 9 0 A ）の方が高い。前記不揮発性記憶素子は、注入された電子をトラップに捕獲することで情報の書き込みが行われ、トラップに捕獲された電子を前記第 1 絶縁膜を介してトンネル放出させることで情報の消去が行われる。

20

【 0 0 3 7 】

〔 5 〕上記半導体膜と絶縁膜との界面準位を利用する本発明の別の観点による不揮発性記憶素子は、半導体領域に夫々形成されたソース領域（ 8 ）、ドレイン領域（ 7 ）及びそれらの間のチャネル領域（ 9 ）と、前記チャネル領域の上に設けられたゲート絶縁膜（ 1 0 ）と、前記ゲート絶縁膜の上に設けられたゲート電極（ 6 ）とを有する。前記ゲート絶縁膜は、第 1 絶縁膜（ 2 ）、前記第 1 絶縁膜の上に設けられた半導体膜（ 3 ）、前記半導体膜の上に設けられたシリコン窒化膜（ 4 ）、及び前記シリコン窒化膜の上に設けられた第 2 絶縁膜（ 5 ）から成る。ホットエレクトロン注入により前記ゲート絶縁膜に捕獲された電子が前記第 1 絶縁膜を介してトンネル放出可能にされる。

【 0 0 3 8 】

30

この観点ではトラップ密度について積極的な言及はないが、半導体膜とシリコン窒化膜の組み合わせが明言されているから、その界面で深い界面準位が形成され、当該界面準位はトンネル放出先である半導体領域寄りとされ、これにより、上記同様に、従来より情報記憶のための電荷保持を担っているシリコン窒化膜を薄膜化することができ、消去動作のような電子放出動作をトンネル効果によって行ってもシリコン窒化膜に電子が不消耗に残存する事態を阻止することができる。そして、チャネル領域側からのホットホール注入を行う必要がないから、チャネル領域上の第 1 絶縁膜中にホールトラップが発生するのを抑制でき、チャネル領域と第 1 絶縁膜との界面準位の発生に起因するサブスレッショルド特性の劣化を生ずることもない。さらに、デトラップされた電子がドレイン近傍に集中せず、ソース近傍の第 1 絶縁膜にホールが残存することもない。

40

【 0 0 3 9 】

上記においてシリコン窒化膜に代えて、5 酸化タンタル膜、チタン酸化膜等の、高誘電率の金属酸化膜を採用しても同様である。

【 0 0 4 0 】

シリコンリッチな部分を有するシリコン窒化膜を利用する本発明の別の観点による不揮発性記憶素子は、半導体領域（ 1 ）に夫々形成されたソース領域（ 8 ）、ドレイン領域（ 7 ）及びそれらの間のチャネル領域（ 9 ）と、前記チャネル領域の上に設けられたゲート絶縁膜（ 1 0 A ）と、前記ゲート絶縁膜の上に設けられたゲート電極（ 6 ）とを有する。前記ゲート絶縁膜は、第 1 絶縁膜（ 2 ）、前記第 1 絶縁膜の上に設けられたシリコン窒化膜（ 9 0 ）、前記シリコン窒化膜の上に設けられた第 2 絶縁膜（ 5 ）から成る。前記シリ

50



コン室化膜は第2絶縁膜寄り(90B)よりも第1絶縁膜寄り(90A)の方がSi/Nの値が大きくされる。不揮発性記憶素子は、ホットエレクトロン注入により前記ゲート絶縁膜に捕獲された電子が前記第1絶縁膜を介してトンネル放出可能にされる。この観点においてもトラップ密度について積極的な言及はないが、半導体領域にシリコンリッチな部分を臨ませたシリコン室化膜を利用することが明言されているから、そのシリコンリッチな部分のトラップ密度が相対的に高くなり、これにより、上記同様の作用効果を奏する。

【発明の効果】

【0041】

本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば下記の通りである。

【0042】

トンネル放出側の絶縁膜寄りに半導体膜とシリコン室化膜のような絶縁膜による界面準位を形成し、これに情報記憶のための電荷保持の主体を担わせ、シリコン室化膜のような絶縁膜の薄膜化を可能にした。これにより、シリコン室化膜などの絶縁膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子に対する消去動作のような電子放出動作をトンネルによって行ってもゲート絶縁膜に電子が不消耗に残存する事態を阻止することができる。

【0043】

シリコン室化膜のような絶縁膜と界面準位を形成する膜は絶縁膜でなく半導体膜であるから、シリコン室化膜などの絶縁膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子に対する消去動作のような電子放出動作をトンネルによって行っても、チャンネル領域の一部に片寄って正孔が蓄積して特性劣化を生ずる事態を防止することができる。

【0044】

保持電子の放出にホットホール注入を行わずに済むから、シリコン室化膜などの絶縁膜を電荷保持に用いる不揮発性記憶素子に対する書き換え後の電荷保持特性の劣化、書き換えに起因するサブスレッショルドリーク電流の増加を抑止することができる。

【0045】

前記界面準位を形成する半導体膜やシリコン室化膜のような絶縁膜をゲート電極方向に一体化したりすることにより、非導電性の電荷トラップ膜を電荷蓄積領域として用いる不揮発性メモリのセル面積の縮小化が可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0046】

《半導体膜と室化膜を持つ第1のメモリセル構造》

図1には半導体膜と室化膜を持つ第1の基本的なメモリセル構造が縦断面で例示される。同図に示される不揮発性メモリセルMC1は、半導体領域例えばp型半導体領域1内にn型ソース領域8、n型ドレイン領域7及びそれら該ソース領域8と該ドレイン領域7に挟まれたチャンネル領域9を有する。そして、前記チャンネル領域9の上に設けられたゲート絶縁膜10、及びゲート絶縁膜10の上の設けられた導電膜によるゲート電極(単にコントロールゲートとも記す)6を有する。ゲート絶縁膜10は、第1絶縁膜例えばシリコン酸化膜2、該第1絶縁膜2の上に設けられた半導体膜例えばシリコン膜であるポリシリコン膜3、該半導体膜3の上に設けられた第2絶縁膜例えば非導電性の電荷トラップ膜としてのシリコン室化膜4、前記シリコン室化膜4の上に設けられた第3絶縁膜例えばシリコン酸化膜5によって構成される。前記チャンネル領域9とは導電チャンネルが形成可能にされる領域を意味する。

【0047】

前記シリコン室化膜5のトラップ密度は前記シリコン酸化膜2,5の夫々のトラップ密度よりも高い。前記ポリシリコン膜3とシリコン室化膜4との界面部のトラップ密度は前記シリコン室化膜4のトラップ密度よりも高い。

【0048】

特に制限されないが、コントロールゲート6は濃度 $3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ のリンがドーブされた膜厚100nmのポリシリコン膜で構成される。特に制限されないが、前記シリ

10

20

30

40

50

コン酸化膜 2 は膜厚 5 nm、前記ポリシリコン膜 3 は濃度  $3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  のリンがイオン打ち込みされた膜厚 4 nm、シリコン窒化膜 4 は膜厚 5 nm、シリコン酸化膜 5 は膜厚 5 nm とされる。上記ゲート絶縁膜 10 の実効膜厚はシリコン酸化膜換算で 13.5 nm である。図 24 で説明した従来の ONO (酸化膜・窒化膜・酸化膜) 構造のゲート絶縁膜は、例えば、順次 5 nm のシリコン酸化膜、10 nm のシリコン窒化膜、5 nm のシリコン酸化膜とされ、実効膜厚はシリコン酸化膜換算で 15 nm である。本発明に係るメモリセルではシリコン窒化膜 4 は従来に比べて半減され、また、ポリシリコン膜 3 はシリコン窒化膜 4 よりも薄くされている。なお、コントロールゲート 6 は、ポリシリコン膜 3 と、ポリシリコン膜 3 上に形成された、シリサイド膜又は高融点金属との積層膜で構成しても良い。なお、特に制限されないが、コントロールゲート 6 は、ワード線 WL に一体に形成される。

#### 【0049】

図 2 には図 1 の不揮発性メモリセルの詳細な構造を平面図で例示する。メモリセルの活性領域 11 が横方向にライン・アンド・スペース状、即ち、所定間隔を置いて並列配置され、それに直行する縦方向にコントロールゲート 6 がライン・アンド・スペース状に配置される。前記活性領域 11 はソース領域、ドレイン領域、及びチャネル領域にされる不純物導入に係る半導体領域である。ドレイン領域とソース領域へコンタクト (電氣的接続) を取るためのコンタクト穴 13a, 13b、前記活性領域 11 に並行に配置されたビット線 15 とドレイン領域上のコンタクト穴 13a を接続する接続穴 14 が配置されている。コンタクト穴 13b はコントロールゲート 6 の方向に延在される。

#### 【0050】

図 3 には図 2 中の A - A' 断面が例示される。図 3 において、半導体領域 1 のドレイン領域 7 とソース領域 8 との間のチャネル領域 9 上に、シリコン酸化膜 2、ポリシリコン膜 3、シリコン窒化膜 4、シリコン酸化膜 5、コントロールゲート 6、及び絶縁膜 28 が積層される。絶縁膜 33 を貫通して、ドレイン領域 31 上に形成された一方のコンタクト穴 13a、及びソース領域 8 上に形成された他方のコンタクト穴 13b が配置され、絶縁膜 36 を貫通して形成された接続穴 14 を介して一方のコンタクト穴 13a とビット線 15 が接続されている。前記コンタクト穴 13a, 13b の内部にはコンタクトプラグ 34, 35 が形成され、接続穴 14 の内部には接続プラグ 37 が形成される。前記コンタクトプラグ 34, 35 及び接続プラグ 37 はアルミニウム、タングステン、或はポリシリコン等の配線材料から成る。

#### 【0051】

図 4 には図 2 中の B - B' 断面が例示される。図 4 において、半導体基領域 1 には素子分離領域 22 で分離された活性領域の表面領域にシリコン酸化膜 2 が形成され、その上に、ポリシリコン膜 3、シリコン窒化膜 4、シリコン酸化膜 5、コントロールゲート 6、及び絶縁膜 28 が順次積層され、その上部に絶縁膜 33、及び絶縁膜 36 が介在してビット線 15 が配置されている。

#### 【0052】

上記不揮発性メモリセル MC 1 に対する書込み動作は、従来と同様にホットエレクトロン注入で行われる。消去動作はチャネル領域 9 の全面でトンネル放出により行われる。例えば、電子の注入を行う場合には、前記ドレイン領域 7 及び前記ゲート電極 6 に、ソース領域 8 に印加する電位よりも高い電位を印加して、前記チャネル領域 9 をオンさせ、前記ドレイン領域 7 の近傍で発生するホットエレクトロンにより、前記ポリシリコン膜 3 とシリコン窒化膜との界面に多くの電子が捕獲され、また、シリコン窒化膜 4 のバルク中のトラップに電子が捕獲される。また、電子のトンネル放出を行う場合、例えば、前記半導体領域 1 に、前記ゲート電極 6 に印加する電位よりも高い電位を印加して、前記ポリシリコン膜 3 と前記シリコン窒化膜 4 との界面部及び前記シリコン窒化膜のバルク中に捕獲されている電子を、前記ポリシリコン膜 3 からシリコン酸化膜 2 中をトンネル電流として前記チャネル領域 9 に引き抜く。

#### 【0053】

10

20

30

40

50

不揮発性メモリセルMC 1では、ポリシリコン膜3とシリコン窒化膜4との界面部のトラップ密度は、シリコン窒化膜4とシリコン酸化膜5との界面部のトラップ密度より高いことから、注入されたホットエレクトロンの多くはポリシリコン膜3とシリコン窒化膜4との界面部へ捕獲される。シリコン窒化膜4のバルク中のトラップにも電子が捕獲されることは言うまでも無い。このように、不揮発性メモリセルMCにおいては、前記ポリシリコン膜3と前記シリコン窒化膜4との界面部に形成されるエネルギー準位の深いトラップ（界面トラップ）による電荷保持機能が追加されているから、従来より情報記憶のための電荷保持を担っているシリコン窒化膜を薄膜化することができる。薄膜化によってもメモリセルMCとして必要な量の電子を保持することは保証される。すなわち、ポリシリコン膜3とシリコン窒化膜4との界面トラップの密度であるトラップ密度が高いので電荷保持機能を追加できる。 10

#### 【0054】

消去動作は、上記ポリシリコン膜3とシリコン窒化膜4との界面部に捕獲された電子に関しては、一旦ポリシリコン膜3中へデトラップする第1ステップと、デトラップした電子がシリコン酸化膜2を通過するトンネル電流により半導体領域1へ放出される第2ステップにより行われる。シリコン窒化膜4のバルク中に捕獲されている電子は、ポリシリコン膜3を経てシリコン酸化膜2をトンネル電流として通過して半導体領域1へ放出される。シリコン窒化膜4のバルク中及びその界面部に捕獲された電子をトンネル放出するとき、シリコン窒化膜4が薄膜化されているので、シリコン窒化膜4のバルク中に捕獲されている電子は容易に前記ポリシリコン膜3に到達し、シリコン酸化膜2をトンネル電流として流れて半導体領域1に放出される。シリコン窒化膜4とポリシリコン膜3との界面部に捕獲されている電子はそのトラップ準位に抗する電界によりポリシリコン膜3にデトラップされ、デトラップされた電子はシリコン酸化膜2をトンネル電流として流れて放出される。その界面準位を成すトラップはシリコン酸化膜2側に形成されているので、そこに捕獲されている電子は前記トンネル放出に際してシリコン窒化膜4を通過することを要しない。仮にそのような界面準位をゲート電極6側に形成して機能させる場合と比べれば、本発明手段は消去動作のような電子放出動作が容易である。 20

#### 【0055】

したがって、シリコン窒化膜を電荷保持に用いる不揮発性メモリに対する消去動作のような電子放出動作をトンネル効果によって行ってもシリコン窒化膜4に電子が不消耗に残存する事態を阻止することができる。 30

#### 【0056】

消去動作では、チャネル領域9側からのホットホール注入を行う必要がないから、チャネル領域9上のシリコン酸化膜2中にホールトラップが発生するのを抑制でき、また、チャネル領域9とシリコン酸化膜2との界面準位の発生に起因するサブスレッショルド特性の劣化を生ずることもない。したがって、書き込み特性及び読み出し特性の劣化を防止することができる。更に、サブスレッショルドリークが低減されて低消費電力に寄与する。

#### 【0057】

さらに、情報記憶の為にポリシリコン膜3とシリコン窒化膜4の界面部トラップに捕獲された電子は、絶縁体ではないポリシリコン膜3にデトラップされ、デトラップされた電子はポリシリコン膜3内で自由電子の如く振る舞う。ホットエレクトロン注入による書き込みによりドレイン7近傍の界面トラップに多くの電子が捕獲されていても、デトラップされた電子がドレイン領域7の近傍に集中せず、ソース領域8の近傍のシリコン酸化膜2にホールが残存することもない。この点でも不揮発性記憶素子における書き込み、読み出しの特性劣化が防止される。 40

#### 【0058】

##### 《半導体膜と窒化膜を持つ第2のメモリセル構造》

図5には半導体膜と窒化膜を持つ第2の基本的なメモリセル構造が縦断面で例示される。同図に示される不揮発性メモリセルMC 2は、半導体基板41上の比較的厚いシリコン酸化膜42の上にTF T技術にて形成される。シリコン酸化膜42上には、ボロンなどの 50

p 型不純物がドーピングされたポリシリコンから成るチャンネル領域 4 3 と、砒素などの n 型不純物がドーピングされたポリシリコンから成るドレイン領域 3 1 及びソース領域 3 2 が形成される。このチャンネル領域 4 3 の上に、前述と同様に、シリコン酸化膜 2、ポリシリコン膜 3、シリコン窒化膜 4、シリコン酸化膜 5 から成るゲート絶縁膜 1 0 が形成される。ゲート絶縁膜 1 0 の上には前記ゲート電極 6 及び絶縁膜 2 8 が設けられる。ドレイン領域 3 1 とビット線の接続は前記コンタクト穴 1 3 a のコンタクトプラグ 3 4 及び接続穴 1 4 の接続プラグ 3 7 にて行われ、ソース領域 3 2 は前記コンタクト穴 1 3 b のコンタクトプラグ 3 5 に接続される。

#### 【0059】

この T F T 構造であっても、その消去・書き込み動作は図 1 のメモリセル構造と基本的に同じである。前記ソース領域 3 2 を回路接地電位とし、前記ドレイン領域 3 1 及び前記コントロールゲート 6 へ適当な正電位を与えて、前記チャンネル領域 4 3 をオンさせ、前記ドレイン領域 3 1 の近傍で発生するホットエレクトロンを注入して、前記ポリシリコン膜 3 と前記シリコン窒化膜 4 との界面部分、並びにシリコン窒化膜 4 のバルク中に電子を捕獲することにより書き込みを行う。前記コントロールゲート 6 へ適当な負電位を与え、前記ドレイン領域 3 1 へ適当な正電位を与えて、前記ポリシリコン膜 3 と前記シリコン窒化膜 4 との界面部分に捕獲されている電子をポリシリコン膜 3 にデトラップさせ、シリコン窒化膜 4 のバルク中に捕獲されている電子をポリシリコン膜に導き、ポリシリコン膜 3 中の電子をトンネル電流によってシリコン酸化膜 2 からドレイン領域 3 1 に引抜くことにより消去を行う。

#### 【0060】

この第 2 のメモリセル構造においても第 1 のメモリセル構造と同様に、消去動作ではシリコン酸化膜 2 へのホットホール注入を行わないため、従来の問題点であったシリコン酸化膜 2 中での電荷トラップ準位の発生を抑制でき、ホットホール注入によるチャンネル領域 4 3 とシリコン酸化膜 2 との界面準位の発生に起因するサブスレッショルド特性の劣化を解消することが可能となり、また、上記半導体膜としてのポリシリコン膜 4 がコントロールゲート 6 の延在方向に配置された複数のメモリセルに共通接続されているため、上記消去動作におけるトンネル電子放出がコントロールゲート 6 の単位で行われることになり、消去特性のバラツキを著しく低減することができる。

#### 【0061】

##### 《半導体膜と窒化膜を持つ第 3 のメモリセル構造》

図 6 には半導体膜と窒化膜を持つ第 3 の基本的なメモリセル構造が平面で例示される。同図に示される不揮発性メモリセル M C 3 は図 5 と同様の T F T として構成され、図 5 説明した要素と同じ構成要素には同一符号を付してある。

#### 【0062】

同図において、メモリセルの活性領域 1 1 が横方向にライン・アンド・スペース状に配置され、それに直行する縦方向にコントロールゲート 6 がライン・アンド・スペース状に配置され、ドレイン領域へコンタクトを取るためのコンタクト穴 1 3、共通ソース線を加工するためのマスクパターン 1 6、前記活性領域 1 1 に並行に配置されたビット線 1 5 とドレイン領域上のコンタクト穴 1 3 を接続する接続穴 1 4 が配置されている。

#### 【0063】

図 7 には図 6 中の C - C' 断面が例示される。図 8 には図 6 中の D - D' 断面が例示される。各図において、半導体基板 4 1 上に、例えば、膜厚 1 0 0 n m の絶縁膜であるシリコン酸化膜 4 2 を介して、膜厚 5 0 n m、濃度  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  のボロンがドーピングされた半導体膜であるポリシリコン膜から成るチャンネル領域 4 3 が配置され、濃度  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  の砒素がドーピングされた半導体膜であるポリシリコンから成るドレイン領域 3 1 及びソース領域 3 2 が形成される。ドレイン領域 3 1 とソース領域 3 2 で挟まれたチャンネル領域 4 3 の上に、例えば、膜厚 5 n m のシリコン酸化膜 2、膜厚 4 n m の半導体膜であるノンドープのポリシリコン膜 3、膜厚 6 n m のシリコン窒化膜 4、及び膜厚 5 n m のシリコン酸化膜 5 が積層されてゲート絶縁膜が形成される。その上に、例えば、濃度  $3 \times$

10

20

30

40

50

$10^{20} / \text{cm}^3$  のリンがドーピングされた膜厚  $100 \text{ nm}$  のポリシリコン膜からなるコントロールゲート 6、及び膜厚  $100 \text{ nm}$  のシリコン窒化膜 28 が積層されてワード線が構成される。積層されて延在するゲート絶縁膜及びワード線の側面部には膜厚  $80 \text{ nm}$  のシリコン窒化膜からなるサイドウォールスペーサ 52 が配置される。前記ワード線上に堆積された膜厚  $100 \text{ nm}$  の絶縁膜 33 には、前記ドレイン領域 31 の上方に導電膜であるタングステン膜からなるコンタクトプラグ 34 が貫通形成され、また、前記ソース領域 32 に側面で電氣的に接続されたソースプラグ 53 が貫通形成されている。前記ソースプラグ 53 は、コンタクト穴 53H を介して前記酸化膜 43 を貫通し、その下に延在形成されている共通ソース線 54 にも電氣的に接続される。ソースプラグ 53 は導電膜であるポリシリコン膜から成る。ドレイン領域 31 はコンタクト穴 13 及び接続穴 14 を介してドレインプラグ 34 及び接続プラグ 37 により対応するビット線 15 に電氣的に接続される。

#### 【0064】

ここで、前記ドレインプラグ 34 及びソースプラグ 53 は、前記サイドウォールスペーサ 52 及びシリコン窒化膜 51 に対して選択比のある酸化膜エッチングで自己整合的に形成する。このため、ドレインプラグ 34 及びソースプラグ 53 の開口寸法を最小寸法以下に微細化することが可能となる。この例で用いた  $0.13 \mu\text{m}$  プロセスルールでは、特に制限はされないが、ワード線幅は  $0.2 \mu\text{m}$ 、ドレイン領域のワード線スペースは  $0.3 \mu\text{m}$ 、ソース領域のワード線スペースは  $0.2 \mu\text{m}$  であるため、単位メモリセルのワード線方向長さは  $0.45 \mu\text{m}$  である。また、活性領域 11 の幅は  $0.15 \mu\text{m}$  であり、各々の活性領域 11 間の分離幅も  $0.15 \mu\text{m}$  であることから、単位メモリセルのビット線方向長さは  $0.3 \mu\text{m}$  である。したがって、単位メモリセル面積は  $0.45 \times 0.3 = 0.135 \text{ 平方} \mu\text{m}$  である。

#### 【0065】

図 9 には前記不揮発性メモリセル MC3 を用いたメモリアレイの一部が例示される。同図にはマトリクス配置された 4 個の不揮発性メモリセル MC3 が代表的に示される。行方向に配置された一対の不揮発性メモリセル MC3 は鏡面对象の如く配置され、共通ドレインが対応するビット線 BL1、BL2 に電氣的に接続され、コントロールゲートは列毎に対応するワード線 WL1、WL2 に電氣的に接続される。

#### 【0066】

上記不揮発性メモリセル MC3 への書込み動作は、図 10 に例示されるように、ワード線 WL1 とビット線 BL1 に接続するメモリセルを書込み対象とすると、ビット線 BL1 を介してドレイン領域 31 へ  $4 \text{ V}$  を、ワード線 WL1 を介してコントロールゲート 6 へ  $8 \text{ V}$  のパルス電圧をパルス幅  $2 \text{ マイクロ秒}$  印加する。書込み対象メモリセルが接続されていないワード線 WL2 及びビット線 BL2 は  $0 \text{ V}$  にされる。これにより、書込み対象メモリセルの閾値電圧は例えば  $2 \text{ V}$  から  $4.5 \text{ V}$  へ上昇した。また、消去動作は、図 11 に例示されるように、ワード線 WL1 に接続するメモリセルを消去対象とすると、メモリセル MC3 のソース領域 32 の電位をオープンとした状態で、ビット線 BL1、BL2 を介してドレイン領域 31 へ  $4 \text{ V}$  を印加し、消去対象側のワード線 WL1 を介してコントロールゲート 6 へ  $-8 \text{ V}$  のパルス電圧をパルス幅  $10 \text{ ミリ秒}$  印加する。消去非対象側のワード線 WL2 には  $4 \text{ V}$  のパルス電圧を印加する。これにより、ワード線 WL1 を共有する消去対象メモリセル MC3 の閾値電圧を  $4.5 \text{ V}$  から  $2 \text{ V}$  へ低下させることができた。上述の書込み・消去の電圧条件で 1 万回の書換え動作を行った結果、書込み及び消去後のしきい電圧の変動は  $0.2 \text{ V}$  以内であり、書換えによるメモリセルの特性変動は非常に小さいことが確認された。

#### 【0067】

次に前記不揮発性メモリセル MC3 を採用したフラッシュメモリのような半導体集積回路の製造方法を概略的に説明する。

#### 【0068】

図 12 から図 18 には前記メモリセル MC3 を採用した半導体集積回路の製造方法を各製造工程毎に断面図で示してある。夫々の断面図には周辺回路領域とメモリセル領域の断

10

20

30

40

50

面が例示される。メモリセル領域は前記不揮発性メモリセルMC3がマトリクス配置されたメモリアレイの部分の意味する。周辺回路領域はアクセス指示に応答して不揮発性メモリセルMC3に対する記憶情報の読み出し動作、消去・書き込み動作などを制御するメモリ制御部の部分の意味する。

#### 【0069】

先ず、図12に例示されるように、例えば抵抗率 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ のp型半導体基板60の表面領域に、深さ $200 \text{ nm}$ の溝内に酸化膜を埋め込み、CMP (Chemical Mechanical Polishing)法により平坦化した溝型素子分離領域61を形成した後、例えば加速エネルギー $1 \text{ MeV}$ のリンイオンを注入量 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 、加速エネルギー $500 \text{ keV}$ のリンイオンを注入量 $3 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ 、及び加速エネルギー $150 \text{ keV}$ のリンイオンを注入量 $1 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ 注入して、n型ウエル領域62を形成する。そして、例えば加速エネルギー $500 \text{ keV}$ のボロンイオンを注入量 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 、加速エネルギー $150 \text{ keV}$ のボロンイオンを注入量 $5 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ 、及び加速エネルギー $50 \text{ keV}$ のボロンイオンを注入量 $1 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ 注入してp型ウエル領域63を形成する。その後、例えば膜厚 $10 \text{ nm}$ の表面酸化膜64を成長させ、メモリセル領域へのみ加速エネルギー $50 \text{ keV}$ のリンイオンを注入量 $2 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 注入してn型共通ソース領域65を形成する。次いで、メモリセル領域の前記表面酸化膜64上に気相成長法(CVD:Chemical Vapor Deposition)法により膜厚 $100 \text{ nm}$ の酸化膜を堆積し、その上部にCVD法により膜厚 $20 \text{ nm}$ のポリシリコン膜を積層し、ホトリソグラフィ法でパターンニングされたレジストマスクを用いて加工された酸化膜66と第1ポリシリコン膜67の積層膜を形成する。この状態では、上記酸化膜66上の上記第1ポリシリコン膜67膜は、ライン・アンド・スペース状に加工されている。

#### 【0070】

次に、図13に例示されるように、例えばCVD法により膜厚 $5 \text{ nm}$ の酸化膜68、膜厚 $4 \text{ nm}$ のポリシリコン膜69、膜厚 $6 \text{ nm}$ のシリコン窒化膜70、及び膜厚 $5 \text{ nm}$ の酸化膜71を積層堆積し、それらを、ホトリソグラフィ法でパターンニングされたレジストマスクを用いて加工する。

#### 【0071】

さらに、図14に例示されるように、周辺回路領域において、上記表面酸化膜64を除去した後、例えば膜厚 $7 \text{ nm}$ の第1ゲート酸化膜72と膜厚 $18 \text{ nm}$ の第2ゲート酸化膜73を成長させ、CVD法により濃度 $3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ のリンをドーブした膜厚 $100 \text{ nm}$ のポリシリコン膜75と膜厚 $100 \text{ nm}$ のシリコン窒化膜75を堆積し、ホトリソグラフィ法でパターンニングされたレジストマスクを用いて加工する。その後、例えば周辺回路領域の低電圧pチャネルトランジスタとなる領域へのみ加速エネルギー $30 \text{ keV}$ のリンイオンを斜め $30^\circ$ の方向から注入量 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 注入してn型ハロー領域76を形成し、周辺回路領域の高電圧nチャネルトランジスタとなる領域へのみ加速エネルギー $30 \text{ keV}$ のリンイオンを注入量 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 注入してn型LDD (Lightly Doped Drain)領域77を形成する。そして、例えばメモリセル領域へのみ加速エネルギー $20 \text{ keV}$ の砒素イオンを注入量 $2 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 注入してセルソース・ドレイン領域78を形成する。

#### 【0072】

続いて、図15に示すように、例えばCVD法で堆積しエッチバック法で加工した膜厚 $80 \text{ nm}$ のシリコン窒化膜からなるサイドウォールスペーサ79を形成した後、周辺回路領域の低電圧pチャネルトランジスタとなる領域へのみ加速エネルギー $30 \text{ keV}$ のボロンイオンを注入量 $3 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 注入してp型ソース・ドレイン領域80を形成し、周辺回路領域の高電圧nチャネルトランジスタとなる領域へのみ加速エネルギー $40 \text{ keV}$ の砒素イオンを注入量 $2 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 注入してn型ソース・ドレイン領域81を形成する。その後、CVD法により膜厚 $900 \text{ nm}$ の酸化膜を堆積し、CMP法により平坦化した酸化膜82を形成する。

#### 【0073】

更に、図 16 に示すように、例えばサイドウォールスペーサ 79 をエッチングマスクとして上記酸化膜 82、酸化膜 71、シリコン窒化膜 70、ポリシリコン膜 69、酸化膜 68、ポリシリコン膜 67、酸化膜 66、及び表面酸化膜 64 を一括エッチングして、ソース線接続穴を形成し、CVD 法により濃度  $4 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  のリンをドーブしたポリシリコン膜を埋め込んでソースプラグ 83 を形成する。

【0074】

続いて、図 17 には、CVD 法により膜厚 100 nm の酸化膜 84 を堆積した後、タングステンからなるビット線プラグ 85 を形成した状態を示している。

【0075】

最後に、図 18 に例示されるように、例えば CVD 法により膜厚 100 nm の酸化膜 85 を堆積した後、周辺回路領域のトランジスタのソース・ドレイン上、及び上記ビット線プラグ 85 上に、コンタクト穴を開口し、第 1 金属配線 86 をパターンニングする。さらに、図示されてはいないが、製造工程では上記第 1 金属配線 86 上に第 1 層間絶縁膜の堆積、第 1 接続穴の形成、第 2 金属配線のパターンニング、第 2 層間絶縁膜の堆積、第 2 接続穴の形成、第 3 金属配線のパターンニング、及びパッシベーション膜の堆積とボンディングパッド部の開口を行って、フラッシュメモリのような半導体集積回路のウェーハプロセス製造工程が完了する。

【0076】

上記製造プロセスにより製造された半導体集積回路の不揮発性メモリセルへの書込み動作は、例えば、ビット線プラグ 85 へ 5 V を、コントロールゲート 74 へ 8 V のパルス電圧をパルス幅 1 マイクロ秒印加して行い、これによって、書込み対象メモリセルの閾値電圧は 2 V から 4 V へ上昇した。また、消去動作は、ソース領域の電位をオープンとした状態で、ビット線プラグ 85 へ 4 V を、コントロールゲート 74 へ - 8 V のパルス電圧をパルス幅 50 ミリ秒印加して行い、これによって、消去対象メモリセルの閾値電圧を 4 V から 2 V へ低下させることができた。上述の書込み・消去の電圧条件で 10 万回の書換え動作を行った結果、書込み及び消去後のしきい電圧の変動は 0.4 V 以内であった。書換えによるメモリセルの特性変動は、書込み時間は 1.2 倍の増加、消去時間は 3 倍の増加、読出し電流は 0.8 倍の低下に抑制することができ、本発明の有効性が確認された。

【0077】

《メモリセル構造の別の形態》

図 19 には図 8 の D - D' 断面に対応するメモリセル構造の別の形態が例示される。前記図 6 乃至図 8 で説明したメモリセル MC3 はポリシリコン膜 3 がワード線方向に延在し、ワード線を共有するメモリセル間で一体に形成されていた。メモリセル構造の別の形態として、例えば、図 8 の D - D' 断面に対応する図 19 に例示されるように、ポリシリコン膜 3 をメモリセル単位に分割してもよい。同図に示されるポリシリコン膜 3 は、電荷トラップ領域となるシリコン窒化膜 4 を CVD 法により堆積する前に、ビット線 38 を加工するためのマスクを用いて形成することができる。この例では、単位メモリセル面積もメモリセル MC3 と同様に  $0.45 \times 0.3 = 0.135$  平方  $\mu\text{m}$  である。このメモリセル構造は、例えば、ポリシリコン膜 3 とシリコン窒化膜 4 の界面部にトラップされた電子が消去動作とは別に不所望にデトラップしてポリシリコン膜 3 を移動して他のメモリセルの閾値電圧に影響する虞がある場合に利用して有効な構造である。

【0078】

図 19 の構造の不揮発性メモリセルへの書込み動作は、ドレイン領域へ 4 V を、コントロールゲートへ 8 V のパルス電圧をパルス幅 2 マイクロ秒印加して行い、閾値電圧は 2 V から 4.5 V へ上昇した。また、消去動作は、ソース領域の電位をオープンとした状態で、ドレイン領域へ 4 V を、コントロールゲートへ - 7 V のパルス電圧をパルス幅 100 ミリ秒印加して行い、閾値電圧は 4.5 V から 2 V へ低下させることができた。上述の書込み・消去の電圧条件で 1 万回の書換え動作を行った結果、書込み及び消去後の閾値電圧の変動は 0.3 V 以内であり、書換えによるメモリセルの特性変動は非常に小さいことが確認された。

10

20

30

40

50

## 【0079】

図20には図8のD-D'断面に対応するメモリセル構造の更に別の形態が例示される。前記図6乃至図8で説明したメモリセルMC3は半導体膜としてポリシリコン膜3を採用した。メモリセル構造の別の形態として、例えば、図8のD-D'断面に対応する図20に例示されるように、絶縁膜中に直径10nm程度のノンドープポリシリコン粒88を離散的に配置した半導体膜を採用する。この例では、単位メモリセル面積もメモリセルMC3と同様に $0.45 \times 0.3 = 0.135$ 平方 $\mu\text{m}$ である。

## 【0080】

図20の構造の不揮発性メモリセルへの書込み動作は、例えばドレイン領域へ5Vを、コントロールゲートへ8Vのパルス電圧をパルス幅2マイクロ秒印加して行い、これにより、閾値電圧は2Vから4.5Vへ上昇した。また、消去動作は、例えば、ソース領域の電位をオープンとした状態で、ドレイン領域へ6Vを、コントロールゲートへ-8Vのパルス電圧をパルス幅50ミリ秒印加して行い、これにより、閾値電圧は4.5Vから2Vへ低下させることができた。上述の書込み・消去の電圧条件で1万回の書換え動作を行った結果、書込み及び消去後の閾値電圧の変動は0.3V以内であり、書換えによるメモリセルの特性変動は非常に小さいことが確認された。

## 【0081】

ここまでの説明では、上記電荷トラップ膜としての絶縁膜にシリコン窒化膜4を採用した。このシリコン窒化膜に代えて金属酸化膜を電荷トラップ膜として採用してもよい。金属酸化膜として、例えば膜厚20nmの5酸化タンタル膜( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ )を採用可能である。例えば図7の断面構造においてシリコン窒化膜4を膜厚20nmの5酸化タンタル膜に変更して不揮発性メモリセルを構成すればよい。この不揮発性メモリセルのドレイン領域へ5V、コントロールゲートへ8Vのパルス電圧をパルス幅2マイクロ秒印加する書き込み条件では、閾値電圧は2Vから5Vへ上昇した。5酸化タンタル膜の代替として、アルミナ膜( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )やチタン酸化膜( $\text{TiO}_2$ )に代表される高誘電率の金属酸化物を用いても、夫々の誘電率に対応した適切な膜厚に設定すれば、本発明の不揮発性メモリセルに利用することが可能である。

## 【0082】

図21にはチャネル領域寄りが相対的にシリコンリッチなシリコン窒化膜を用いた不揮発性メモリセルのデバイス構造が縦断面で例示される。今までの説明では、不揮発性記憶素子はポリシリコン膜等の半導体膜と窒化シリコン膜などの高誘電体膜との界面準位を利用した。図21のメモリセルMC4は、チャネル領域9の上の第1絶縁膜としてのシリコン酸化膜2にシリコン窒化膜90を設け、このシリコン窒化膜90のシリコン酸化膜2寄りの部分90Aをシリコンリッチな組成とした。具体的には、不揮発性メモリセルMC4は、半導体領域1に夫々形成されたソース領域8、ドレイン領域7及びそれら前記ソース領域8とドレイン領域7の間のチャネル領域9を有し、このチャネル領域9の上にゲート絶縁膜10Aが形成される。ゲート絶縁膜10Aは、前記チャネル領域9の上に設けられた第1絶縁膜としてのシリコン酸化膜2、前記シリコン酸化膜2の上に設けられた第2絶縁膜としてのシリコン窒化膜90、前記シリコン窒化膜90の上に設けられた第3絶縁膜としてのシリコン酸化膜5から成る。前記シリコン酸化膜5の上にはゲート電極6を有する。前記シリコン窒化膜90はシリコン酸化膜5寄りの部分90Bよりもシリコン酸化膜90A寄りの部分90A方がSi/Nの値が大きくされたシリコン窒化膜である。このシリコン窒化膜90のトラップ密度は前記シリコン酸化膜2、5の夫々のトラップ密度よりも高い。トラップに捕獲された電子はシリコン酸化膜2を通過して前記チャネル領域9又はドレイン領域7にトンネル放出される。

## 【0083】

前記シリコン窒化膜のシリコンリッチな部分90Aは、格子欠陥やダングリングボンドなどのトラップを相対的に多く保有する領域であり、この点で、前記メモリセルMC1～MC3におけるポリシリコン膜3とシリコン窒化膜4との界面部におけるトラップの機能を代替するものと位置付けることができ、基本的にはそれと同様の作用効果を奏する。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 8 4 】

## 《 不揮発性メモリ 》

図 2 2 には M C 3 に代表される前記不揮発性メモリセルを採用した電氣的に消去及び書き込み可能な不揮発性メモリとしてフラッシュメモリが例示される。

## 【 0 0 8 5 】

同図に示されるフラッシュメモリ 9 9 は、前記不揮発性メモリセル M C 3 がマトリクス配置されたメモリアレイ 1 0 0 と、外部からのアクセス指示に応答して不揮発性メモリセル M C 3 に対するリード動作、消去動作、書き込み動作を制御するメモリ制御回路とから成る。この例では、メモリアレイ 1 0 0 以外の回路部分は全てメモリ制御回路として位置付けられる。

10

## 【 0 0 8 6 】

前記メモリアレイ 1 0 0 は、メモリマット、データラッチ回路及びセンスラッチ回路を有する。このメモリマットは前記メモリセル M C 3 に代表される電氣的に消去及び書き込み可能な前記不揮発性メモリセルを多数有する。不揮発性メモリセルの前記コントロールゲートは対応するワード線 1 0 1 に、ドレインは対応するビット線 1 0 2 に、ソースは図示を省略するソース線に接続される。前記不揮発性メモリセルは、データ読み出しのためのワード線電圧（コントロールゲート印加電圧）に対する閾値電圧の高低に応じた情報を記憶することになる。特に制限されないが、本明細書においてメモリセルトランジスタの閾値電圧が低い状態を消去状態、高い状態を書き込み状態と称する。尚、書き込みと消去の定義は相対的な概念であるから上記とは逆に定義することも可能である。

20

## 【 0 0 8 7 】

フラッシュメモリ 9 9 の外部入出力端子 I / O 0 ~ I / O 7 は、アドレス入力端子、データ入力端子、データ出力端子、コマンド入力端子に兼用される。外部入出力端子 I / O 0 ~ I / O 7 から入力された X アドレス信号はマルチプレクサ 1 0 4 を介して X アドレスバッファ 1 0 5 に供給される。X アドレスデコーダ 1 0 6 は X アドレスバッファ 1 0 5 から出力される内部相補アドレス信号をデコードしてワード線 1 0 1 を駆動する。

## 【 0 0 8 8 】

前記ビット線 1 0 2 の一端側には、センスラッチ回路が設けられ、他端にはデータラッチ回路が設けられている。ビット線 1 0 2 は Y アドレスデコーダ 1 0 7 から出力される選択信号に基づいて Y スイッチアレイ 1 0 8 で選択される。外部入出力端子 I / O 0 ~ I / O 7 から入力された Y アドレス信号は Y アドレスカウンタ 1 0 9 にプリセットされ、プリセット値を起点に順次インクリメントされたアドレス信号が前記 Y アドレスデコーダ 1 0 7 に与えられる。

30

## 【 0 0 8 9 】

Y スイッチアレイ 1 0 8 で選択されたビット線は、データ出力動作時には出力バッファ 1 1 0 の入力端子に導通され、データ入力動作時には入力バッファ 1 1 1 を介してデータ制御回路 1 1 2 の出力端子に導通される。出力バッファ 1 1 0、入力バッファ 1 1 1 と前記入出力端子 I / O 0 ~ 7 との接続は前記マルチプレクサ 1 0 4 で制御される。入出力端子 I / O 0 ~ I / O 7 から供給されるコマンドはマルチプレクサ 1 0 4 及び入力バッファ 1 1 1 を介してモード制御回路 1 1 3 に与えられる。

40

## 【 0 0 9 0 】

制御信号バッファ回路 1 1 5 はアクセス制御信号として、チップイネーブル信号 / C E、出力イネーブル信号 / O E、書き込みイネーブル信号 / W E、シリアルクロック信号 S C、リセット信号 / R E S 及びコマンドイネーブル信号 / C D E を入力する。信号名の直前に記付された記号 / は当該信号がロー・イネーブルであることを意味する。モード制御回路 1 1 3 は、それら信号の状態に応じてマルチプレクサ 1 0 4 を介する外部との信号インタフェース機能などを制御する。入出力端子 I / O 0 ~ I / O 7 からのコマンド入力は前記コマンドイネーブル / C D E に同期される。データ入力はシリアルクロック S C に同期される。アドレス情報の入力はライトイネーブル信号 / W E に同期される。モード制御部 1 1 3 は、コマンドコードにより消去又は書き込み動作の開始が指示されると、その期間

50

、消去や書込み動作中を示すレディー・ビジー信号 R / B をアサートして外部に出力する。

【 0 0 9 1 】

内部電源回路（内部電圧発生回路）1 1 6 は、書込み、消去、ベリファイ、読み出しなどのための各種内部電圧とされる動作電源 1 1 7 を生成して、前記 X アドレスデコーダ 1 0 6 及びメモリセルアレイ 1 0 0 等 に供給する。

【 0 0 9 2 】

前記モード制御回路 1 1 3 は、入力コマンドに従ってフラッシュメモリを全体的に制御する。フラッシュメモリ 9 9 の動作は、基本的にコマンドによって決定される。フラッシュメモリ 9 9 のコマンドには、読み出し、消去、書込み等の各コマンドがある。例えば読み出しコマンドは、読み出しコマンドコード、読み出し X アドレス、及び必要な Y アドレスを含む。書込みコマンドは、書込みコマンドコード、X アドレス、必要な Y アドレス、及び書込みデータを含む。

10

【 0 0 9 3 】

フラッシュメモリ 9 9 はその内部状態を示すためにステータスレジスタ 1 1 8 を有し、その内容は、信号 / O E をアサートすることによって入出力端子 I / O 0 ~ I / O 7 から読み出し可能にされる。

【 0 0 9 4 】

フラッシュメモリ 9 9 は、M C 3 に代表される不揮発性メモリセルを採用しているので、多数回の書き換えによっても特性劣化が著しく進行せず、永年使用によってもデータ保持の高い信頼性を実現でき、しかも、記憶容量に対するチップ占有面積の縮小を実現することができる。

20

【 0 0 9 5 】

《コンピュータシステム》

図 2 3 には前記フラッシュメモリを用いたコンピュータシステムが例示される。同図に示されるコンピュータシステムは、システムバス 1 2 0 を介して相互に接続されたホスト C P U 1 2 1 と、入出力装置 1 2 2、R A M 1 2 3、メモリカード 1 2 4 を備える。

【 0 0 9 6 】

前記メモリカード 1 2 4 は、特に制限されないが、システムバスインタフェース回路 1 2 5、メモリコントローラ 1 2 6、及び複数個のフラッシュメモリ 9 9 がカード基板に実装されて成る。

30

【 0 0 9 7 】

前記システムバスインタフェース回路 1 2 5 は、特に制限されないが、A T A ( A T A t t a c h m e n t ) システムバスなどの標準バスインターフェイスを可能とする。システムバスインタフェース回路 1 2 5 に接続されたメモリコントローラ 1 2 6 は、システムバス 1 2 0 に接続されたホスト C P U 1 2 1 や入出力装置 1 2 2 のホストシステムからのアクセスコマンド及びデータを受け付ける。

【 0 0 9 8 】

例えば、前記アクセスコマンドがリード命令の場合、メモリコントローラ 1 2 6 は複数のフラッシュメモリ 9 9 の必要な一つ又は複数個をアクセスして読み出しデータをホスト C P U 1 2 1 又はホストシステムへ転送する。前記アクセスコマンドがライト命令の場合、メモリコントローラ 1 2 6 は複数のフラッシュメモリ 9 9 の必要な一つ又は複数個をアクセスしてホスト C P U 1 2 1 又はホストシステムからの書き込みデータをその内部に格納する。この格納動作は、フラッシュメモリの必要なブロックやセクターやメモリセルへの書き込み動作と書き込みベリファイ動作とを含んでいる。前記アクセスコマンドが消去命令の場合、メモリコントローラ 1 2 6 は複数のフラッシュメモリ 9 9 の必要な一つ又は複数個をアクセスして、その内部に記憶されるデータを消去する。この消去動作は、フラッシュメモリ 9 9 の必要なブロック、セクター又はメモリセルへの消去動作と消去ベリファイ動作とを含んでいる。

40

【 0 0 9 9 】

50

長期間に記憶されるデータはこの不揮発性の記憶装置に記憶される一方、ホストCPU 121によって処理されて頻繁に変更されるデータは揮発性メモリとしての前記RAM 123に格納されて利用される。

【0100】

前記メモリカード124は、特に制限されないが、ハードディスク記憶装置の互換用途とされ、多数のフラッシュメモリ99により数十ギガバイトの大容量記憶を実現している。フラッシュメモリ99を採用するから、高集積密度、低消費電力、高速書き込み、高速読み出し速度、信頼性の高い記憶情報保持特性などの、MC3に代表される不揮発性メモリセルの特性に由来する優位性を備えている。

【0101】

前記メモリカード124は厚さの比較的薄いメモリカードに限定されるものではなく、厚さが比較的厚い場合であっても、ホストバスシステムとのインタフェースとホストシステムのコマンドを解析してフラッシュ不揮発性メモリを制御することが可能なインテリジェントなコントローラとを含むどのような不揮発性記憶装置として実現できることは言うまでもない。

【0102】

以上本発明者によってなされた発明を種々の形態で具体的に説明したが、本発明はそれに限定されず、その要旨を逸脱しない範囲で適宜変更可能であることは言うまでもない。

【0103】

例えば、以上説明では一つのメモリセルにデジタルデータの1ビットを記憶させるために不揮発性メモリセルに2値の閾値電圧を持たせる場合を説明した。本発明は、記憶情報の蓄積にシリコン窒化膜のような電荷トラップ性の絶縁膜を利用しているから、それに限定されず、一つの不揮発性メモリセルにデジタルデータの多ビットを記憶させるためメモリセルに4値あるいはそれ以上の多値の閾値電圧を持たせるように制御してもよい。例えば4値の閾値電圧を設定するには、ソース・ドレインを入換えてホットエレクトロン注入書き込みを行えばよい。それに応じてソース・ドレインを入換えて読み出し動作を行えば、夫々の記憶情報を別々に読み出すことができる。

【0104】

また、以上各種説明したデバイス構造における膜の成分、膜厚、膜の製法などは適宜変更可能である。

【0105】

また、本発明に係る不揮発性メモリセルを適用した半導体集積回路はフラッシュメモリLSIに限定されない。例えば、そのようなフラッシュメモリをデータ或はプログラム格納用にオンチップで備えたマイクロコンピュータなどのデータプロセッサとして実現してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図1】半導体膜と窒化膜を持つ第1の基本的なメモリセル構造を例示する縦断面図である。

【図2】図1の不揮発性メモリセルの詳細な構造を例示する平面図である。

【図3】図2中のA - A'断面図である。

【図4】図2中のB - B'断面図である。

【図5】半導体膜と窒化膜を持つ第2の基本的なメモリセル構造を例示する縦断面図である。

【図6】半導体膜と窒化膜を持つ第3の基本的なメモリセル構造を例示する平面図である。

【図7】図6中のC - C'断面図である。

【図8】図6中のD - D'断面図である。

【図9】第3の基本的なメモリセル構造を有する不揮発性メモリセルを用いたメモリアレイの一部を例示する回路図である。

10

20

30

40

50

【図 10】図 9 の回路における不揮発性メモリセルの書込み動作の電圧印加状態を例示する回路図である。

【図 11】図 9 の回路における不揮発性メモリセルの消去動作の電圧印加状態を例示する回路図である。

【図 12】第 3 の基本的なメモリセル構造を有する不揮発性メモリセルを採用した半導体集積回路の製造方法の最初の製造工程における不揮発性メモリセルの要部縦断面図である。

【図 13】図 12 に続く製造工程における不揮発性メモリセルの要部縦断面図である。

【図 14】図 13 に続く製造工程における不揮発性メモリセルの要部縦断面図である。

【図 15】図 14 に続く製造工程における不揮発性メモリセルの要部縦断面図である。

【図 16】図 15 に続く製造工程における不揮発性メモリセルの要部縦断面図である。

【図 17】図 16 に続く製造工程における不揮発性メモリセルの要部縦断面図である。

【図 18】図 17 に続く製造工程における不揮発性メモリセルの要部縦断面図である。

【図 19】図 8 の D - D ' 断面に対応するメモリセル構造の別の形態としてポリシリコン膜をメモリセル単位に分割したメモリセル構造を例示する縦断面図である。

【図 20】図 8 の D - D ' 断面に対応するメモリセル構造の更に別の形態として絶縁膜中にポリシリコン粒を離散的に配置した半導体膜を採用したメモリセル構造を例示する縦断面図である。

【図 21】相対的にチャネル領域寄りがシリコンリッチとされたシリコン窒化膜を用いた不揮発性メモリセルのデバイス構造を例示する縦断面図である。

【図 22】本発明に係る不揮発性メモリセルを採用した電氣的に消去及び書き込み可能な不揮発性メモリとしてフラッシュメモリを例示するブロック図である。

【図 23】フラッシュメモリを用いたコンピュータシステムを例示するブロック図である。

【図 24】ONO 構造のゲート酸化膜を持つ従来の不揮発性記憶素子のデバイス構造を例示する説明図である。

【図 25】ONO 構造のゲート酸化膜を持つ従来の不揮発性記憶素子を用いた多値記憶技術を例示する説明図である。

【図 26】ONO 構造のゲート酸化膜を持つ従来の不揮発性記憶素子に関し本発明者が見出した問題点を模式的に例示する説明図である。

【符号の説明】

【0107】

MC1、MC2、MC3 不揮発性メモリセル

1 半導体領域

2 シリコン酸化膜

3 ポリシリコン膜

4 シリコン窒化膜

5 シリコン酸化膜

6 ゲート電極

7 ドレイン領域

8 ソース領域

9 チャネル領域

10、10A ゲート絶縁膜

11 活性領域

15 ビット線

34 ドレインプラグ

41 半導体基板

42 シリコン酸化膜

43 チャネル領域

52 サイドウォールスペーサ

10

20

30

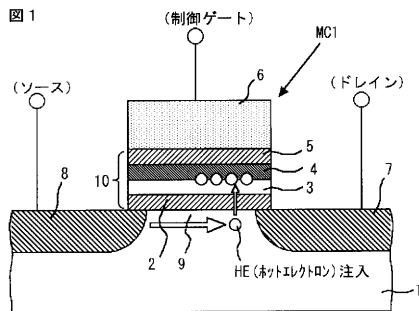
40

50

- 5 3 ソースプラグ
- 8 8 ポリシリコン粒
- 9 0 一部シリコンリッチなシリコン窒化膜
- 9 0 A シリコンリッチな部分
- 9 9 フラッシュメモリ
- 1 0 0 メモリアレイ

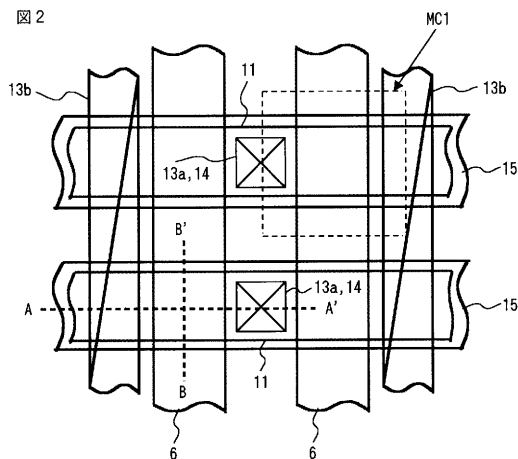
【図 1】

図 1



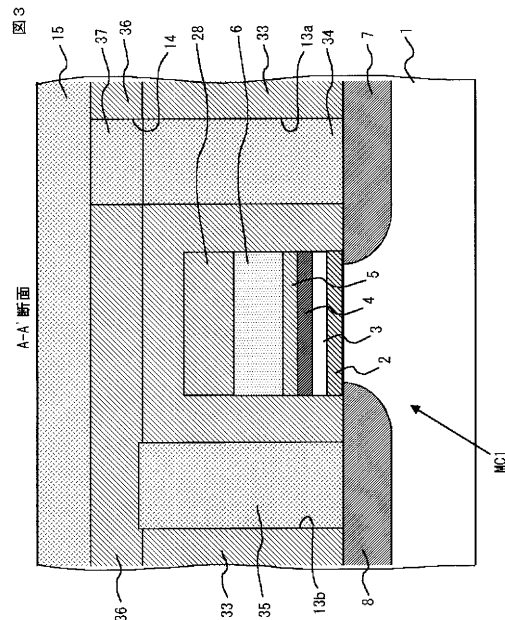
【図 2】

図 2



【図 3】

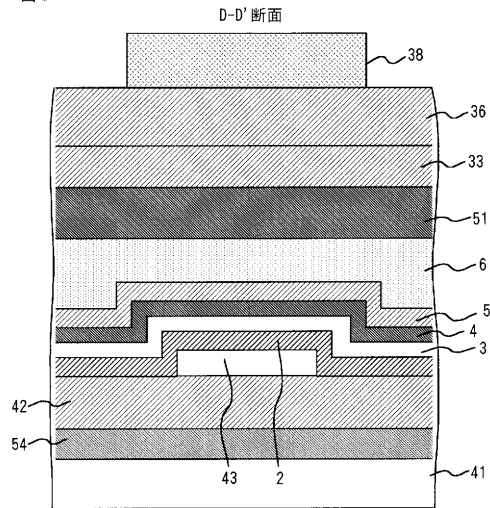
図 3





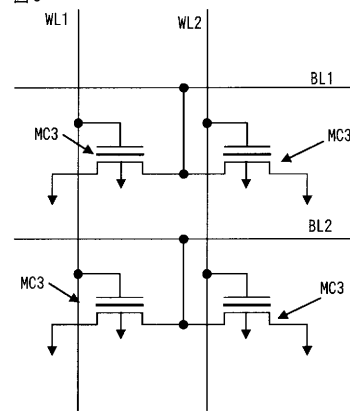
【図 8】

図 8



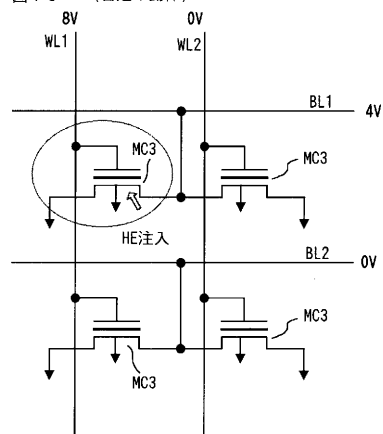
【図 9】

図 9



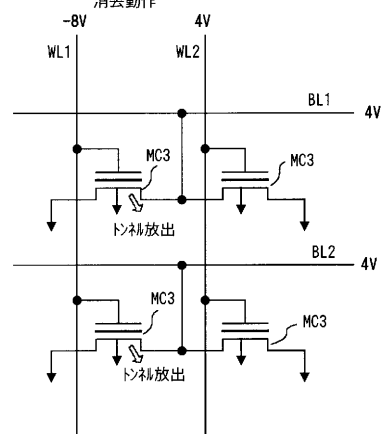
【図 10】

図 10 (書き込み動作)

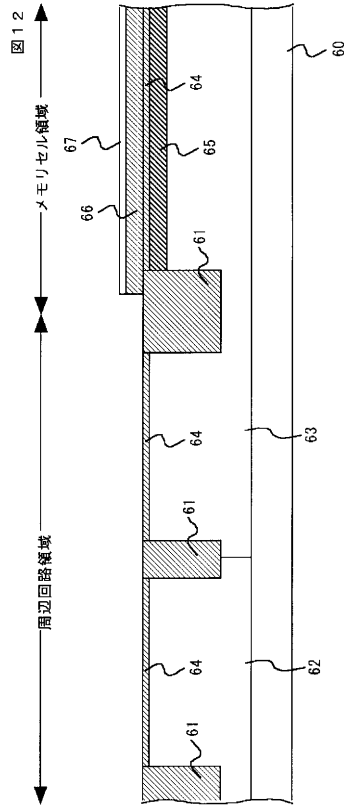


【図 11】

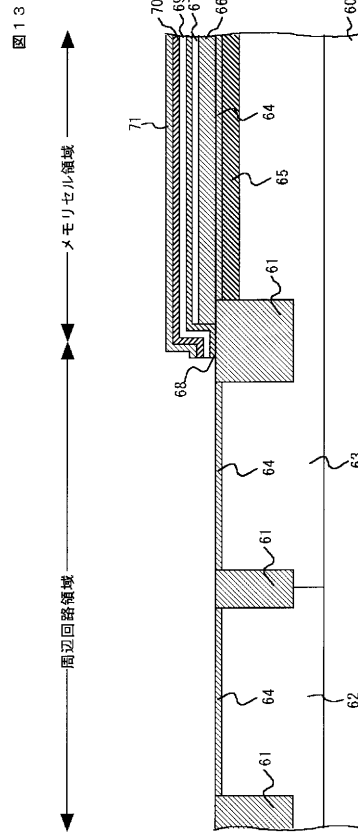
図 11 消去動作



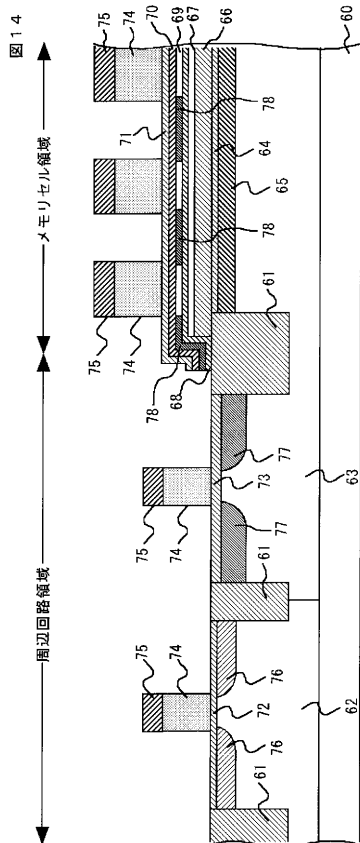
【図 1 2】



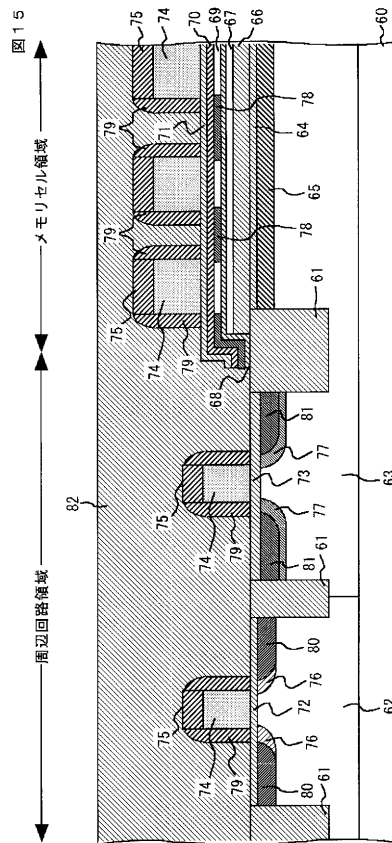
【図 1 3】



【図 1 4】

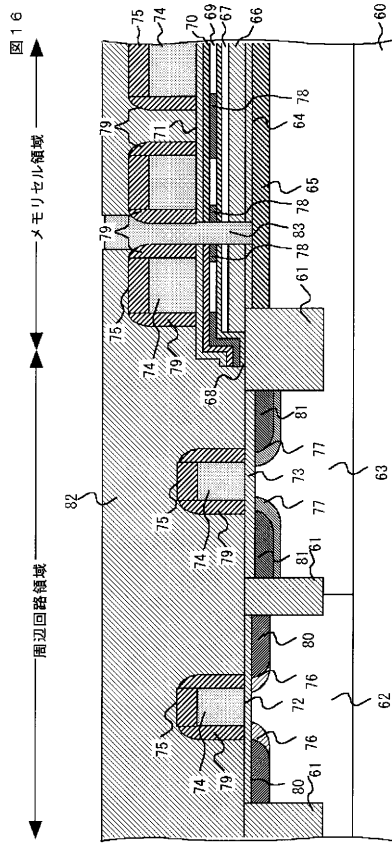


【図 1 5】

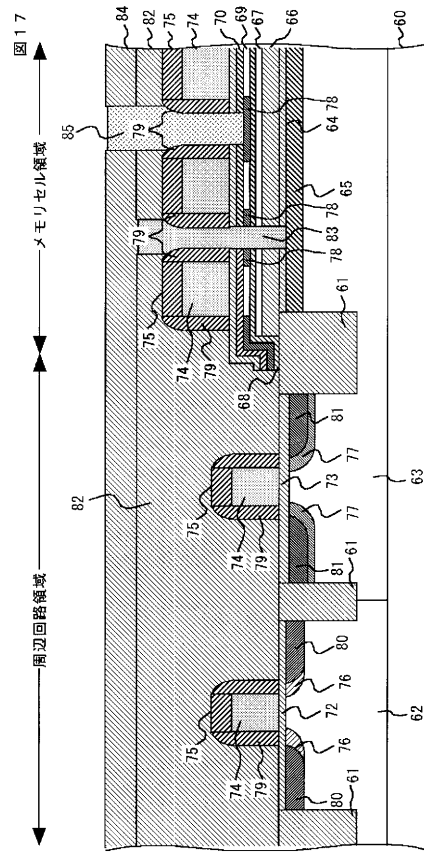




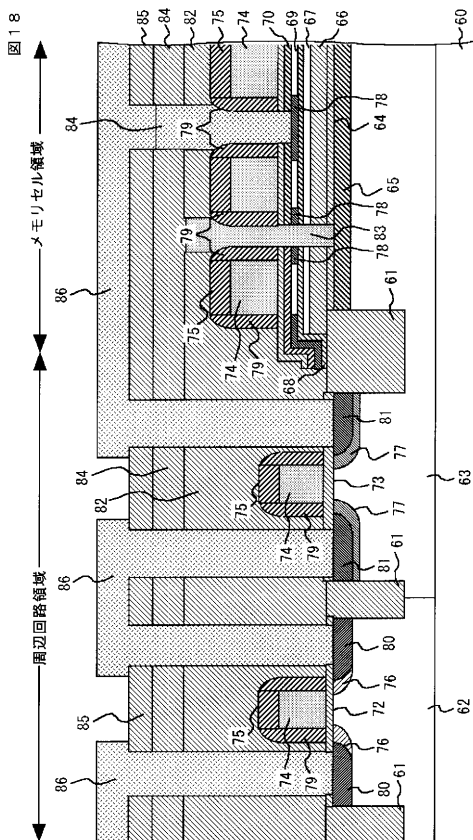
【図 16】



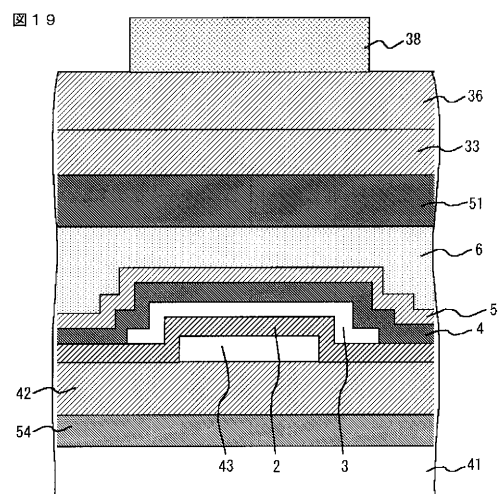
【図 17】



【図 18】

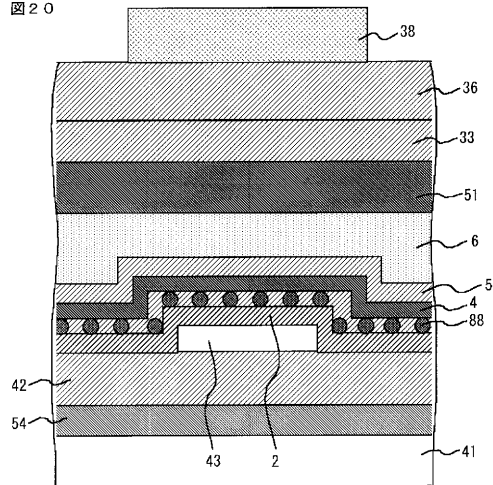


【図 19】



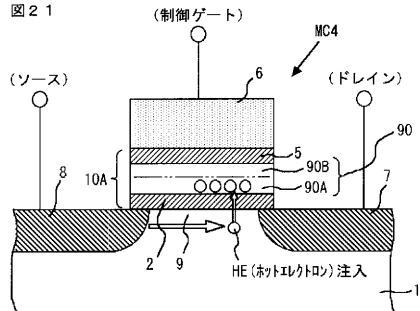
【図 20】

図 20



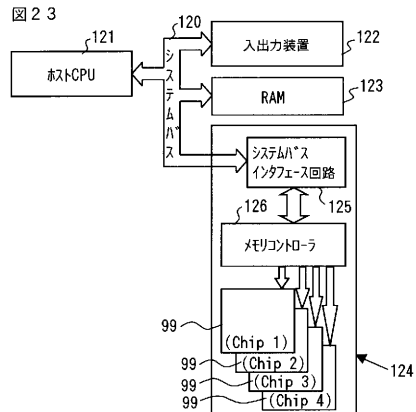
【図 21】

図 21



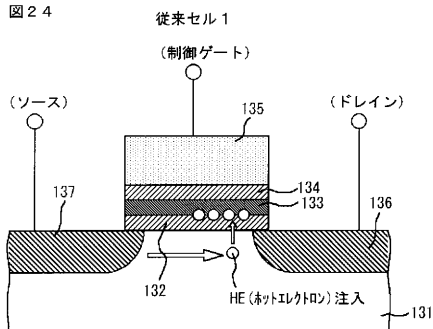
【図 23】

図 23



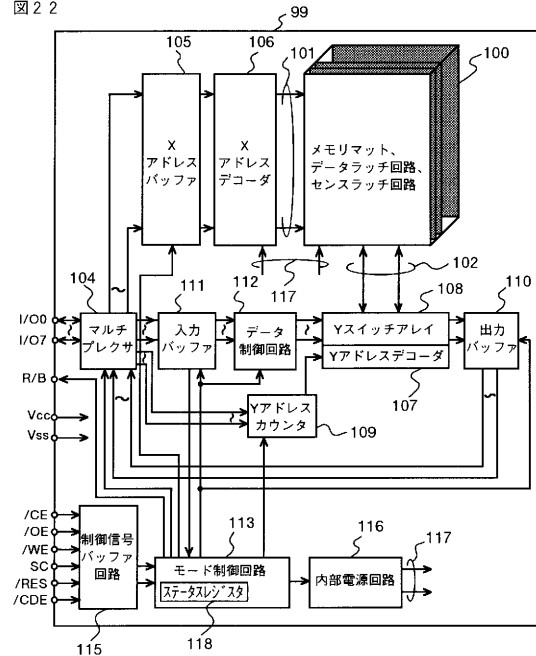
【図 24】

図 24



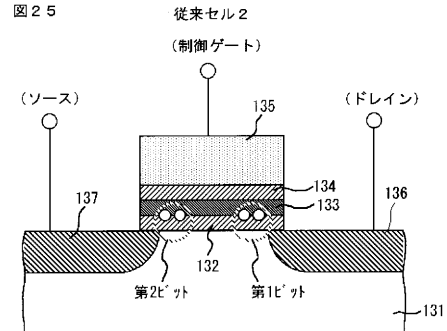
【図 22】

図 22



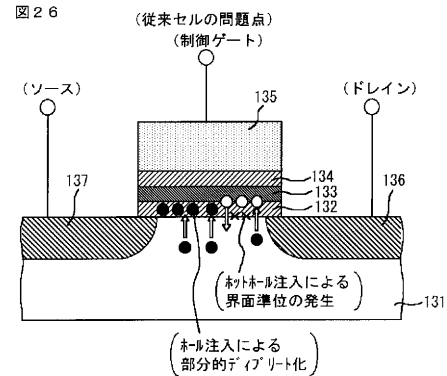
【図 25】

図 25



【図 26】

図 26



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 5F101 BA45 BA54 BB05 BC11 BD02 BD30 BD33 BD35 BE02 BE05  
BE07 BH03 BH19 BH21