

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-533728

(P2004-533728A)

(43) 公表日 平成16年11月4日(2004.11.4)

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

F I

テーマコード (参考)

H O 1 L 29/78

H O 1 L 29/78

3 O 1 X

4 M 1 O 4

H O 1 L 29/423

H O 1 L 29/78

6 1 8 C

5 F 1 1 O

H O 1 L 29/49

H O 1 L 29/78

6 1 7 K

5 F 1 4 O

H O 1 L 29/786

H O 1 L 29/78

6 1 7 L

H O 1 L 29/78

6 1 7 N

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 48 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-509521 (P2003-509521)  
 (86) (22) 出願日 平成14年6月25日 (2002.6.25)  
 (85) 翻訳文提出日 平成15年12月26日 (2003.12.26)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2002/007028  
 (87) 国際公開番号 W02003/003442  
 (87) 国際公開日 平成15年1月9日 (2003.1.9)  
 (31) 優先権主張番号 101 31 276.8  
 (32) 優先日 平成13年6月28日 (2001.6.28)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)  
 (81) 指定国 JP, KR, US

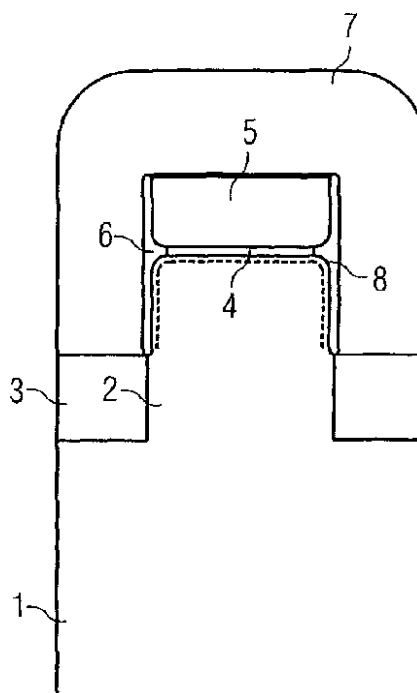
(71) 出願人 501055020  
 インフィネオン テクノロジーズ アクチ  
 エンゲゼルシャフト  
 ドイツ連邦共和国, デー-8 1 6 6 9 ミ  
 ュンヘン, ザンクト-マルティン-シュト  
 ラーセ 5 3  
 (74) 代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策  
 (74) 代理人 100062409  
 弁理士 安村 高明  
 (74) 代理人 100113413  
 弁理士 森下 夏樹  
 (72) 発明者 ポップ, マルティン  
 ドイツ国 0 1 1 0 9 ドレスデン, ゼ  
 リーナ シュトラーセ. 1 7  
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電界効果トランジスタおよびこれを製造する方法

## (57) 【要約】

本発明は、隆起の上面上のプレーナチャネル領域が、隆起の側面上のさらなる垂直チャネル領域だけ幅が広げられたプレーナチャネル領域電界効果トランジスタに関する。このさらなる垂直チャネル領域は、プレーナチャネル領域と直接的に結合される（垂直に拡大されたチャネル領域）。この電界効果トランジスタは、達成可能な集積密度を低減させる必要なく、電流の流れ  $I_{ON}$  のための実効チャネル幅の著しい拡大が、これまで利用された従来のトランジスタ構造と比較して、より保証され得るという有利な点を有する。さらに、この電界効果トランジスタは、低い逆電流  $I_{OFF}$  を有する。上述の利点は、ゲート絶縁体から電荷移送トンネリングの領域までの厚みを低減するか、または安定性を低減する必要なく達成される。

【選択図】 図 2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電界効果トランジスタ、特に、MIS電界効果トランジスタであって、

- a) 半導体基板(1)上に配置され、かつ、上面(2a)および側面(2b)を有する、少なくとも1つのウェブタイプの隆起(2)と、
- b) 該ウェブタイプの隆起(2)の該上面(2a)上に配置される、第1のゲート酸化物層(4)と、
- c) 該第1のゲート酸化物層(4)上に配置される第1のゲート電極であって、上面および側面を有する、第1のゲート電極(5)と、
- d) 該ウェブタイプの隆起(2)の該側面(2b)および該第1のゲート電極(4)の少なくとも一部分に配置される、第2のゲート酸化物層(6)と、 10
- e) 該第2のゲート酸化物層(6)および該第1のゲート電極(5)の該上面上に配置される、第2のゲート電極(7)と、
- f) 該ウェブタイプの隆起(2)上に配置されるソース領域およびドレイン領域とを備える、電界効果トランジスタ。

## 【請求項 2】

前記第2のゲート酸化物層(6)は、前記ウェブタイプの隆起(2)の前記側面(2b)上よりも、前記第1のゲート電極(5)の側面上で、より厚く製造される、請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

## 【請求項 3】

絶縁スペーサ(14)は、前記第1のゲート電極(5)のレベルで前記第2のゲート酸化物層(6)上に配置される、請求項1または2に記載の電界効果トランジスタ。 20

## 【請求項 4】

電界効果トランジスタ、特に、MIS電界効果トランジスタであって、

- a) 半導体基板(1)上に配置され、かつ、上面(2a)および側面(2b)を有する、少なくとも1つのウェブタイプの隆起(2)と、
- b) 該ウェブタイプの隆起(2)の該側面(2b)の少なくとも一部分に配置される、第1のゲート酸化物層(4)と、
- c) 該第1のゲート酸化物層(4)に配置される第1のゲート電極(5)であって、該第1のゲート電極層(5)は、上面および側面を有する、第1のゲート電極(5)と、 30
- d) 該ウェブタイプの隆起(2)の該上面(2a)、および該第1のゲート電極(5)の該上面上に配置される、第2のゲート酸化物層(6)と、
- e) 該第2のゲート酸化物層(6)、および該第1のゲート電極(5)の該側面に配置される、第2のゲート電極(7)と、
- f) 該ウェブタイプの隆起(2)上に配置される、ソースおよびドレイン領域とを有する、電界効果トランジスタ。

## 【請求項 5】

前記ウェブタイプの隆起(2)の前記エッジ(8)は、前記上面(2a)と前記側面(2b)との間で丸み付けされる、請求項1～4のいずれか1つに記載の電界効果トランジスタ。 40

## 【請求項 6】

前記エッジ(8)の湾曲の半径は、前記第1のゲート酸化物層(4)または前記第2のゲート酸化物(6)の層の厚さの大きさの次数である、請求項5に記載の電界効果トランジスタ。

## 【請求項 7】

前記ソース領域と前記ゲート電極との間、さらに、前記ドレイン領域と該ゲート電極との間にスペーサが配置される、請求項1～7のいずれか1つに記載の電界効果トランジスタ。

## 【請求項 8】

前記第1のゲート電極(5)は、ポリシリコン層を有する、請求項1～8のいずれか1つ 50

に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 9】

前記第 2 のゲート電極 (7) は、ポリシリコン金属の 2 重層またはポリサイド層を有する、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 つに記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 10】

ゲート酸化物層 (4、6) によって覆われた前記ウェブタイプの隆起 (2) の前記側面 (2b) の一部分は、トレンチアイソレーション (3) によって境界付けされる、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 つに記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 11】

前記ソースおよびドレイン領域のドーピングプロファイル深さは、ゲート酸化物層 (4、6) によって覆われた前記ウェブタイプの隆起 (2) の前記側面 (2b) の一部分の広がりよりも大きい、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 つに記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 12】

電界効果トランジスタ、特に、MIS 電界効果トランジスタを製造する方法は、  
a) 第 1 のゲート酸化物層 (4) が上に付与され、かつ第 1 のゲート電極層 (5) が該ゲート酸化物層 (4) に付与された半導体基板 (1) が提供される工程と、  
b) 上面 (2a) および側面 (2b) を有する、少なくとも 1 つのウェブタイプの隆起 (2) が生成され、該第 1 のゲート酸化物層 (4) および該第 1 のゲート電極層 (5) が該上面 (2a) 上に配置される工程と、  
c) 第 2 のゲート酸化物層 (6) が、該ウェブタイプの隆起 (2) の該側面 (2b) および該第 1 のゲート電極層 (5) の少なくとも一部分に生成される工程と、  
d) 第 2 のゲート電極層が付与され、これにより、該第 2 のゲート電極層 (7) は、該第 2 のゲート酸化物層 (6)、および該第 1 のゲート電極層 (5) の該上面上に配置される工程と、  
e) 該第 1 のゲート電極層 (5) および該第 2 のゲート電極層 (7) は、第 1 および第 2 のゲート電極を形成するようにパターニングされ、ソースおよびドレイン領域が生成される工程と  
を包含する、電界効果トランジスタを製造する方法。

【請求項 13】

前記ウェブタイプの隆起 (2) は、トレンチアイソレーション (3) 用のトレンチのパターニングにより生成される、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記トレンチアイソレーション用の前記トレンチは、酸化物 (3) で充填され、かつ、エッチングバックが実行され、これにより、前記ウェブタイプの隆起 (2) の前記側面 (2b) の一部分が露出される、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

エッチングバックの前に、CMP 工程が実行される、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

前記上面 (2a) と前記側面 (2b) との間の前記ウェブタイプの隆起 (2) の前記エッジ (8) を丸み付けするために、少なくとも 1 回の熱処理が実行される、請求項 12 ~ 15 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 17】

前記ゲート酸化物層 (4、6) は、それぞれ、熱酸化によって生成される、請求項 12 ~ 16 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 18】

前記第 2 のゲート酸化物層 (6) は、選択的酸化によって生成され、これにより、前記第 2 のゲート酸化物層 (6) は、前記ウェブタイプの隆起 (2) の前記側面 (2b) 上よりも、前記第 1 のゲート電極 (5) の前記側面上で、より厚く製造される、請求項 12 ~ 17 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 19】

絶縁スペーサは、前記第1のゲート電極層(5)が生成された後に生成され、これにより、該第1のゲート電極(5)のレベルで、絶縁層(14)が前記第2のゲート酸化物層(6)上に配置される、請求項12~18のいずれか1つに記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電界効果トランジスタ、および、これを製造する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の電界効果トランジスタ、特に、プレーナMIS電界効果トランジスタ(MISFET)の特性パラメータは、構造が小型化するにつれ(スケーリング)、および集積回路の充填密度が高くなるにつれて益々低下する。従って、例えば、トランジスタのチャネル長が短縮されるにつれ、トランジスタの閾値電圧 $V_T$ は小さくなる。同時に、チャネル長が短縮されるにつれ、チャネル領域における電界強度、および逆電流 $I_{OFF}$ は大きくなる(SCE:短チャネル効果;ロールオフ)。さらに、チャネル幅が縮小されるにつれ、順方向電流 $I_{ON}$ が非線形的に変動する。さらに、電界効果トランジスタのジオメトリおよびドーピングは、チャネルと絶縁部との間の接合部において改変される。通常、スケーリングの場合、チャネル境界部は、中心のチャネル領域に対して比較的重要である(NCE:狭チャネル効果、INCE:逆狭チャネル効果)。

【0003】

上述の問題にもかかわらず、構造の小型化の進行(スケーリング)という意味合いで、電界効果トランジスタの性能の向上/維持を保証することができるように、一連の措置が提示または実行される。従って、例えば、内部の動作電圧レベルに適合されたスケーリングは、MISFETスケーリングと同時に行われる。さらに、ウェルおよびチャネル領域の、さらに、ソースおよびドレイン領域のドーピングプロファイルが、通常、最適化される。同時に、厚さおよび材料に関してゲート絶縁体のスケーリングが、通常、行われる。

【0004】

サリサイド化されたソースおよびドレイン領域(S/D)、ならびにサリサイド化されたゲート電極を使用することによって、さらなる向上がもたらされる。例えば、銅線および中間絶縁体を用いることによって、または、例えば、いわゆる「ローク」材料を用いることによって、接続メタライゼーションの寄生抵抗または容量の最小化によりさらなる向上がもたらされ得る。DRAMメモリセルの場合、読み出しロジックを、それぞれのアレイトランジスタの「ON」電流(「縮小(shrink)」する毎に小さくなる)に適合させることも可能である(例えば、ゲートトラックの抵抗の低減)。

【0005】

電界効果トランジスタの性能を維持または向上するためのさらなる可能性は、例えば、上昇したソース/ドレイン領域(「上昇したS/D」)を有するか、または、いわゆる「silicon on insulator」技術(SOI)に基づくか、または、チャネル領域において、SiGe等の、より高いキャリア移動度の材料を有する改変されたトランジスタ構成を使用することである。動作温度が低下した場合に結果として生じるさらなる可能性は、本明細書中には示されない。

【0006】

従来のLOCOSフィールド絶縁に代わるトレンチフィールドアイソレーション(STI:シャロートレンチアイソレーション)の導入は、同様に、状況を改善するために寄与する。トレンチフィールドアイソレーション(STI:シャロートレンチアイソレーション)が、従来のLOCOSフィールドアイソレーションの変わりに用いられる場合、いわゆる「逆狭チャネル効果」(INCE)を最小化するためのさらなる措置をとることが、通常、必要とされる。従って、いわゆる「ラップアラウンドゲート」を回避するために、例えば、半導体表面上のSTI上部エッジの正のステップ高さが設定される。さらに、フィールドアイソレーションを有する接合部におけるトランジスタチャネルの局所的ドーピン

グ、いわゆる「コーナ領域」は、通常のチャネルドーピングに加えて提供され得る。

【0007】

STI処理の間のSTI側壁の酸化は、いわゆる「バースピークジオメトリ」の生成をもたらす、かつトレンチアイソレーションを有する接合部における活性領域のエッジが丸み付けされ得る。プロセスシーケンスにおいて、本明細書中で用いられる用語は、「コーナの丸み付け」、「ミニLOCOS」または「ポストCMP酸化」である。これらは、さらに、「逆狭チャネル効果（INCE）」に対処するために利用され得る。この効果は、パッド酸化物を事前に長手方向にエッチングバックすることによって強化され得る。活性領域のエッジの丸み付けは、熱による表面の変質によっても生成される。さらに、窒化物スペーサ保護リングが生成され得る。コーナ領域へのゲートの重なりを回避するために、フィールドアイソレーション境界部分の前に、ゲートエッジの自己整合的終端を提供することが可能である。これは、例えば、STIパターニングの間に、ポリゲートおよび活性領域が共にパターニングされることによって行われ得る。

10

【0008】

しかしながら、これらのすべての措置に関わらず、MISFETのトンネリング、またはゲート酸化物の安定性が悪化する危険なしに、約100nmの構造サイズ上に適切な順方向電流 $I_{ON}$ を保証することが益々困難になる。従って、一連の代替的トランジスタ構成が提示される。

【0009】

特許文献米国第4,979,014号は、半導体基板上にウェブタイプの隆起を有するMOSトランジスタを開示する。このトランジスタのチャネルは、ウェブタイプの隆起に沿って構成され、かつ、ウェブタイプの隆起の上面のチャネル領域の他に、ウェブタイプの隆起の側壁に2つのさらなるチャネル領域を有する。特許文献米国第4,979,014号によるトランジスタは、大きい空乏ゾーンを生成するために用いられる、明確な「コーナ効果」を示す。

20

【0010】

Huangらによる特許文献「Sub 50nm FinFET; PMOS」IEDM (1999年)は、「FinFET」と呼ばれるトランジスタを開示し、これは、ウェブタイプの隆起（「Fin」）の側壁にデュアルゲート構造を有する。FinFETは、表面を覆う狭いFin上のより厚い絶縁層によってINCEを回避する。

30

【0011】

残念ながら、上述のすべての措置のいずれも、制限された効果のみを有するか、またはプロセス技術上のコストおよび労力を多く必要とする。従って、本発明の目的は、電界効果トランジスタ、および上述の問題を低減または回避する電界効果トランジスタを製造する方法を提供することである。本発明の目的は、特に、適切な順方向電流 $I_{ON}$ を利用可能にし、かつ、わずかな出費で、これまでの従来のプレーナMOSFETの集積プロセスとの互換性を有するように製造され得る電界効果トランジスタを提供することである。

【0012】

この目的は、独立請求項1に記載の電界効果トランジスタ、または独立請求項4に記載の電界効果トランジスタ、および独立請求項12に記載の電界効果トランジスタを製造する方法により達成される。本発明のさらなる有利な実施形態、改良点および局面は、従属請求項、明細書および添付の図面から明らかである。

40

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の第1の局面は、以下の特徴

- a) 半導体基板上に配置され、かつ、上面および側面を有する少なくとも1つのウェブタイプの隆起と、
- b) ウェブタイプの隆起の上面上に配置される第1のゲート酸化物層と、
- c) 第1のゲート酸化物層上に配置される第1のゲート電極であって、上面および側面を

50

有する第 1 のゲート電極と、

d) ウェブタイプの隆起の側面および第 1 のゲート電極の該側面の少なくとも一部分に配置される第 2 のゲート酸化物層と、

e) 第 2 のゲート酸化物層および第 1 のゲート電極の上面上に配置される第 2 のゲート電極と、

f) 隆起上に配置されるソースおよびドレイン領域と

を有する電界効果トランジスタを提供する。

本発明のさらなる局面は、以下の特徴

a) 半導体基板上に配置され、かつ、上面および側面を有する、少なくとも 1 つのウェブタイプの隆起と、

b) ウェブタイプの隆起の側面の少なくとも一部分に配置される第 1 のゲート酸化物層と、

c) 第 1 のゲート酸化物層に配置される第 1 のゲート電極であって、第 1 のゲート電極層は、上面および側面を有する、第 1 のゲート電極と、

d) ウェブタイプの隆起の上面、および第 1 のゲート電極の上面上に配置される第 2 のゲート酸化物層と、

e) 第 2 のゲート酸化物層、および第 1 のゲート電極の側面に配置される第 2 のゲート電極と、

f) 隆起上に配置されるソースおよびドレイン領域と

を有する電界効果トランジスタを提供する。

【0014】

さらに、本発明は、以下の工程

a) 第 1 のゲート酸化物層が上に付与され、かつ第 1 のゲート電極層がゲート酸化物層に付与された半導体基板が提供される工程と、

b) 上面および側面を有する少なくとも 1 つのウェブタイプの隆起が生成され、第 1 のゲート酸化物層および第 1 のゲート電極層が上面上に配置される工程と、

c) 第 2 のゲート酸化物層が、ウェブタイプの隆起の側面および第 1 のゲート電極層の少なくとも一部分に生成される工程と、

d) 第 2 のゲート電極層が付与され、これにより、第 2 のゲート電極層は第 2 のゲート酸化物層、および第 1 のゲート電極層の上面上に配置される工程と、

e) 第 1 および第 2 のゲート電極層は、第 1 および第 2 のゲート電極を形成するようにパターンニングされ、ソースおよびドレイン領域が生成される工程と

を包含する電界効果トランジスタを製造する方法を提供する。

【0015】

本発明による電界効果トランジスタは、達成され得る集積密度を低減させる必要なく、すでに公知の従来のトランジスタ構造と比較して、順方向電流  $I_{ON}$  のために効果的なチャネル幅の著しい拡大が保証され得るという有利な点を有する。本発明による電界効果トランジスタの場合、隆起の上面のプレーナチャネル領域が、隆起の側方面積におけるさらなる垂直チャネル領域だけ幅が広がる。これらのさらなる垂直チャネル領域は、プレーナチャネル領域（垂直に伸ばされたチャネル領域）に直接的に隣接する。さらに、本発明による電界効果トランジスタは、少量の逆電流  $I_{OFF}$  を有する。これらの有利な点は、ゲート絶縁体の厚さを電荷キャリアのトンネリングの領域にまで低減することも、安定性を低減することなく達成される。

【0016】

この場合、さらなる垂直チャネル領域が、本発明により、好適には、STI パターニング（「シャロートレンチアイソレーション」）の間に従来のプレーナトランジスタ構成と同様に生成され得、垂直 STI 側壁を形成し得る垂直半導体面を利用することによって、達成される。従って、本発明によるトランジスタを製造するプロセスは、従来のプレーナトランジスタが集積され得、かつ本発明によるトランジスタを有する同じチップ上に非常に簡単に組み込まれ得る従来の STI 絶縁されたプレーナトランジスタのプロセスシーケン

10

20

30

40

50

スと密接に関連する。

【0017】

プレーナチャネル領域と垂直チャネル領域との間に凸状に曲げられたエッジの形態の遷位部が、ウェブタイプの隆起上にソース/ドレイン方向に配置され、活性チャネルの構成部分として存在する。前に提示されたトランジスタ構成の場合、このエッジは、常に、明確な「コーナ効果」をもたらす。これは、トランジスタの閾値電圧に不利な影響を及ぼす。本発明による電界効果トランジスタの場合、この問題は、第1および第2のゲート酸化物層、さらに、第1および第2のゲート電極を有する特定の包囲構成によって大幅に回避される。

【0018】

本発明による電界効果トランジスタの好適な1実施形態によると、第2のゲート酸化物層は、ウェブタイプの隆起の側面上よりも、第1のゲート電極の側面上で、より厚く製造される。さらに、第1のゲート電極のレベルで、絶縁スペーサが第2のゲート酸化物層上に配置された場合、好適である。これは、エッジにおける電界の大きさをさらに低減することを可能にする。

【0019】

本発明による電界効果トランジスタのさらなる好適な実施形態によると、ウェブタイプの隆起のエッジは、上面と側面との間で丸み付けされる。この丸み付けは、好適には、短い高温プロセスを用いて生成され得る。従って、本発明によるトランジスタは、著しく低減された温度収支で生成され得る。これは、特に、ドーピングプロファイルおよび性能に関して、有利な点をもたらす。さらに、その結果、プレーナと垂直チャネル領域との間の遷移領域が小さく保持され、垂直には、トランジスタのジオメトリが非常に著しくスケールリングされた場合、幾何学的チャネル領域の幅および深さ全体が活性チャネルとして利用され得る。

【0020】

この場合、エッジの湾曲の半径が第1または第2のゲート酸化物層の層厚さの大きさの次数である場合、特に好適である。従って、いわゆる「寄生コーナードバイス」の閾値電圧は、プレーナチャネル領域の閾値電圧値よりも大きい値にされ得る。従って、結果として生じた、エッジの湾曲の表面に沿う電界の大きさは、チャネルのプレーナ部分における電界の大きさを超過しない。

【0021】

本発明による電界効果トランジスタのさらなる好適な実施形態によると、スペーサは、ソース領域とゲート電極との間、さらに、ドレイン領域とゲート電極との間に配置される。さらに、第1のゲート電極がポリシリコン層を有する場合、好適である。さらに、第2のゲート電極がポリシリコン金属の2重層またはポリサイド層を有する場合、特に好適である。

【0022】

本発明による電界効果トランジスタのさらなる好適な実施形態によると、ゲート酸化物層によって覆われたウェブタイプの隆起の側面的一部分は、トレンチアイソレーションによって境界付けられる。さらに、ソースおよびドレイン領域のドーピングプロファイルの深さが、ゲート酸化物層によって覆われたウェブタイプの隆起の側面的一部分の広がりよりも大きい場合、特に、好適である。

【0023】

本発明による製造法の好適な1実施形態によると、ウェブタイプの隆起がトレンチアイソレーションのためのトレンチのパターニングにより生成される。この場合、トレンチアイソレーションのためのトレンチが酸化物で充填され、かつ、エッチングバックが、好適には、CMP工程の後に実行され、これにより、ウェブタイプの隆起の側面的一部分が露出される場合、特に好ましい。

【0024】

本発明による製造方法のさらなる好適な実施形態によると、上面と側面との間のウェブタ

10

20

30

40

50

ウェブの隆起のエッジを丸み付けするために、少なくとも1回の熱処理が実行される。さらに、ゲート酸化物層が、各場合について、熱酸化によって生成された場合、特に好適である。

【0025】

本発明による製造方法のさらなる好適な実施形態によると、第2のゲート酸化物層が選択的酸化によって生成され、これにより、第2のゲート酸化物層は、ウェブタイプの隆起の側面上よりも、第1のゲート電極の側面上で、より厚く製造される。さらに、絶縁スペーサが、第1のゲート電極層が生成された後に生成され、これにより、第1のゲート電極のレベルで、絶縁スペーサが第2のゲート酸化物層上に配置された場合に好適である。

【0026】

本発明は、次に、図面を参照してより詳細に説明される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

図1および図2は、本発明による電界効果トランジスタの第1の実施形態を示す。この場合、図1は、本発明による電界効果トランジスタのこの実施形態の一般的構造を示し、図2は、本発明による電界効果トランジスタのこの実施形態の詳細を断面図で示す。図1から見出され得るように、本発明による電界効果トランジスタは、半導体基板1上に配置され、かつ上面2a、および2つの側面2bを有するウェブタイプの隆起2を有する。ウェブタイプの隆起2は、この場合、活性半導体領域を構成する。

【0028】

半導体基板1と垂直に接続する活性半導体領域2は、STIフィールドアイソレーション領域3によって隣接し合う活性領域（図示せず）から長手方向に絶縁される。活性領域の面2a、2bは、ソースおよびドレイン領域に、ならびにプレーナチャネル領域になるようにパターンニングされる。ウェブタイプの隆起2は、STI面上に突き出し、その結果、活性領域の側方領域2bが、アイソレーション3によって部分的に覆われない。対応するプレーナ領域と直接的に隣接するこれらの露出した側方領域は、ソース、ドレインおよびチャネル領域になるように同様にパターンニングされる。この場合、活性半導体領域とSTI表面との間の高さの差が垂直チャネル領域の幅に対応する。ソースおよびドレイン領域のドーピングプロファイルの深さは、好適には、上述の高さの差よりも大きい。

【0029】

図2から見出され得るように、本発明による電界効果トランジスタは、ウェブタイプの隆起2の上面2a上に配置される第1のゲート酸化物層4を有する。さらに、第1のゲート酸化物層4上に配置された第1のゲート電極5が提供され、第1のゲート電極は、上面および2つの側面を有する。第2のゲート酸化物層6は、ウェブタイプの隆起2の側面2bおよび第1のゲート電極4に配置される。さらに、第2のゲート電極7は、第2のゲート酸化物層6上、および第1のゲート電極5の上面上に配置される。

【0030】

従って、活性および埋没STI面を備える起伏構造は、チャネル領域において2重ゲート電極によって覆われる。この場合、第1のゲート電極5は、好適には、高濃度ドーピングポリシリコンからなる一方で、第2のゲート電極7は、好適には、ポリシリコン金属層のスタックを有する。この場合、2つのゲート電極5、7は、第1のゲート電極5が活性領域のプレーナ部分のみを覆い、かつ、その側壁でほぼ終端する一方で、第2のゲート電極7は、活性領域の垂直方向の側壁を覆い、かつ第1のゲート電極5を包囲するように配置される。この場合、第2のゲート電極7は、プレーナ表面上の第1のゲート電極5と接触する一方で、第2のゲート酸化物層6によってその長手方向の側壁から絶縁される。

【0031】

本発明による電界効果トランジスタの本実施形態の場合、活性領域のエッジ8が丸み付けされる。この丸み付けの湾曲の半径は、ゲート酸化物の厚さの大きさの次数である。さらに、チャネル領域は、デュアルゲート電極5、7をS/Dコンタクト領域から長手方向に絶縁するスペーサ（図示せず）によってソースおよびドレイン側で支えられる（f l a n

10

20

30

40

50



k e d )。

【 0 0 3 2 】

図 3 a ~ 図 3 h は、電界効果トランジスタを製造するための本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。いくつかの予備製造工程の後、第 1 のゲート酸化物層 4、さらに、第 1 のゲート電極層 5 およびパッド窒化物層 10 が半導体基板 1、特に、シリコン基板上に生成される。この場合、ゲート酸化が、例えば、熱酸化を用いて実行され得る。ゲート電極層およびパッド窒化物堆積が、例えば、CVD法を用いて実行される。結果として生じた状態が図 3 a に示される。

【 0 0 3 3 】

その後、レジストマスク 11 を用いて、この層スタックは、STI パターニングと共にパターニングされる。この共通のパターニングは、例えば、化学的物理的ドライエッチングにより、行われる。その結果、上面 2 a および 2 つの側面 2 b を有するウェブタイプの隆起 2 が生成され、第 1 のゲート酸化物層 4 および第 1 のゲート電極層 5 が、上面 2 a 上に配置される。上面 2 a と 2 つの側面 2 b との間のエッジ 8 は、この処理工程において、垂直に 90 度に鋭く切断される。この結果生じた状態が図 3 b に示される。

【 0 0 3 4 】

その後、垂直の側方領域、および、さらに、第 1 のゲート電極層 5 の側壁のシーリングの質を向上させるために、レジストマスク 11 の除去、さらに、洗浄および短時間の熱酸化が行われる。その後、生成された表面起伏が酸化物 3 で充填され (図 3 c)、熱により高密度化され、かつCMP法 (化学的機械的研磨) により窒化物の残留物の厚さに平坦化される (図 3 d)。この処理セクションの熱処理は、結果として、エッジ 8 における第 1 のゲート酸化物層 4 の幅をわずかに広くし、かつ、ウェブタイプの隆起 2 の上面 2 a と 2 つの側面 2 b との間のエッジ 8 を丸み付けする。

【 0 0 3 5 】

STI 酸化物 3 は、次に、意図的に垂直チャネルを拡大することなく、トランジスタのすべての領域を覆うブロックマスク 12 を用いた異方性エッチングによりプレーナの態様で所定の深さにエッチングされる。このエッチングは、パッド窒化物層 10 に関して特定の選択性を有し、これにより、ウェブタイプの隆起 2 の上面 2 a が、依然としてシリコン窒化物 10 で確実に覆われた状態になる。残ったSTI充填深さは、後で確実なフィールドアイソレーションが保証される大きさにされる。その結果生じた状態が図 3 e に示される。

【 0 0 3 6 】

ブロックマスクの除去、洗浄 / オーバーエッチングの後に、第 2 のゲート酸化が行われる (図 3 f)。この場合、第 2 のゲート酸化物層 6 は、ウェブタイプの隆起 2 の露出された側壁、および第 1 のゲート電極層 5 の露出された側壁上で成長する。この酸化工程は、さらに、エッジ 8 における第 1 のゲート酸化物層 4 の幅を広くし、かつ、基板およびポリエッジの湾曲をさらに低減する。その後、第 1 のゲート電極層の表面に残ったパッド窒化物の残留層 10 が除去され (図 3 g)、かつ、さらなる洗浄工程の後、第 2 のゲート電極層 7 が堆積する (図 3 h)。

【 0 0 3 7 】

その後、マスクを用いて (図示せず)、第 1 および第 2 のゲート電極層がエッチング、好適には、プラズマエッチングにより共にパターニングされ、エッチングは、第 1 のゲート酸化物層で停止する。この後に、従来のプロセスシーケンスにより、ソース / ドレイン領域を完全な回路になるように製造する工程を含むさらなる処理が続く。

【 0 0 3 8 】

図 4 は、本発明による電界効果トランジスタのさらなる実施形態を示す。図 4 から見出され得るように、本発明による電界効果トランジスタのさらなる実施形態は、さらに、半導体基板 1 上に配置され、かつ、上面 2 a および 2 つの側面 2 b を有するウェブタイプの隆起 2 を有する。ウェブタイプの隆起 2 は、この場合、活性半導体領域を構成する。

【 0 0 3 9 】

10

20

30

40

50

半導体基板と垂直に接続される活性半導体領域もまた、STIフィールドアイソレーション領域3によって隣接し合う活性領域から長手方向に絶縁される。活性領域の表面は、ソースおよびドレイン領域ならびにプレーナチャンネル領域へとパターンニングされる。これはSTI表面の上に突き出し、その結果、活性領域の側壁は、部分的に露出される。これらの露出された側壁は、対応するプレーナ領域に直接的に隣接し、ソース、ドレインおよびチャンネル領域へと同様にパターンニングされる。活性面とSTI表面との間の高さの差は、垂直チャンネル領域の幅に対応する。ソースおよびドレイン領域のドーピングプロファイルの深さは、好適には、その高さの差よりも大きい。

#### 【0040】

従って、活性面および埋没STI表面を含む起伏構造は、チャンネル領域において、デュアルゲート電極5、7によって覆われる。この場合、第1のゲート電極5は、好適には、高濃度ドーピングポリシリコンからなる一方で、第2のゲート酸化物7は、好適には、ポリシリコン金属層のスタックを有する。2つのゲート電極5、7は、第1のゲート電極5が、活性領域2の垂直部分2bのみを覆い、かつ、その上面でほぼ終端する一方で、第2のゲート電極7は、活性領域2の上面を覆い、かつ第1のゲート電極5を包囲するように配置される。この場合、第2のゲート電極は、その側面上の第1のゲート電極と接触する一方で、第2のゲート酸化物層6によってその上部側壁から絶縁される。チャンネル領域は、そのプレーナ部分で第2のゲート酸化物層6によって、およびその垂直領域において第1のゲート酸化物層4によって覆われる。

#### 【0041】

図5は、本発明による電界効果トランジスタのさらなる実施形態を示す。図5に示されるように、本発明による電界効果トランジスタの実施形態は、第2のゲート酸化物層6が、ウェブタイプの隆起2の側面2b上よりも、第1のゲート電極5の側面上で、より厚く製造されることを除いて、実質的に、図2に示される本発明による電界効果トランジスタの実施形態に対応する。第1のゲート電極5の側面上の第2のゲート酸化物層6を厚くすることは、選択的ゲート酸化によって達成され、ここで、プロセスパラメータが、適切に選択された場合、単結晶シリコン上よりもポリシリコン上において高い酸化率が取得されるという事実が利用される。

#### 【0042】

図6は、本発明による電界効果トランジスタのさらなる実施形態を示す。図6に示される、本発明による電界効果トランジスタの実施形態は、第1のゲート電極5のレベルで、スペーサ14、特に、酸化物スペーサが第2のゲート酸化物層6上に配置されることを除いて、実質的に、図2に示される本発明による電界効果トランジスタの実施形態に対応する。この場合、スペーサ14は、そのパターンニングの直後、さらにウェブタイプの隆起2の形成の前に第1のゲート電極層5の側壁に形成され得る。第2のゲート酸化物層6を生成するための酸化は、第1のゲート電極層5の側面のすぐ上のさらなる酸化物層によって、このスペーサ14を強化する。

#### 【0043】

本発明による電界効果トランジスタは、順方向電流 $I_{ON}$ 用の実効チャンネル幅の著しい増加は、達成され得る集積密度を低減させる必要なく、すでに公知の従来のトランジスタ構造と比較して、保証され得るという有利な点を有する。本発明による電界効果トランジスタの場合、隆起の上面におけるプレーナチャンネル領域は、隆起の側方領域におけるさらなる垂直チャンネル領域だけ幅が拡大される（垂直に拡大されたチャンネル領域）。さらに、本発明による電界効果トランジスタは、少量の逆電流 $I_{OFF}$ を有する。これらの有利な点は、ゲート絶縁体から電荷キャリアのトンネリング領域までの厚みの低減、または安定性の低減の必要なく達成される。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0044】

【図1】図1は、本発明による電界効果トランジスタの第1の実施形態を示す。

【図2】図2は、本発明による電界効果トランジスタの第1の実施形態を示す。

10

20

30

40

50

【図 3 a】図 3 a は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 3 b】図 3 b は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 3 c】図 3 c は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 3 d】図 3 d は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 3 e】図 3 e は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 3 f】図 3 f は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 3 g】図 3 g は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 3 h】図 3 h は、電界効果トランジスタを製造する、本発明による方法の第 1 の実施形態を示す。

【図 4】図 4 は、本発明による電界効果トランジスタのさらなる実施形態を示す。

【図 5】図 5 は、本発明による電界効果トランジスタのさらなる実施形態を示す。

【図 6】図 6 は、本発明による電界効果トランジスタのさらなる実施形態を示す。

## 【国際公開パンフレット】

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
9. Januar 2003 (09.01.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/003442 A1

(51) Internationale Patentklassifikation: H01L 21/336,  
29/78

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; St.-  
Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/07028

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:  
25. Juni 2002 (25.06.2002)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): POPP, Martin  
[DE/DE]; Selliner Str. 17, 01109 Dresden (DE).  
RICHTER, Frank [DE/DE]; Alte Moritzburger Str. 59,  
01108 Dresden (DE). TEMMLER, Dietmar [DE/DE];  
Pulbuser Weg 14, 01109 Dresden (DE). WICH-GLASEN,  
Andreas [DE/DE]; A.Richter-Str. 12, 01465 Langebrück  
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

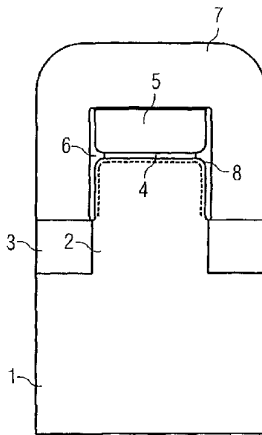
(30) Angaben zur Priorität: 101 31 276.8 28. Juni 2001 (28.06.2001) DE

(74) Anwälte: ZIMMERMANN & PARTNER usw.; Postfach  
330 920, 80069 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FIELD EFFECT TRANSISTOR AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: FELD-EFFEKT-TRANSISTOR UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a field effect transistor in which the planar channel region on the upper surface of the elevation is extended in width by means of additional vertical channel regions on the lateral surfaces of the elevation. Said additional vertical channel regions connect directly to the planar channel region (vertical extended channel regions). Said field effect transistor has the advantage that a significant increase in the effective channel width for the current flow  $I_{ON}$  can be guaranteed relative to conventional transistor structures used up until the present, without having to accept a reduction in the achievable integration density. Said field effect transistor furthermore has a low reverse current  $I_{OFF}$ . The above advantages are achieved without the thickness of the gate insulators up to the region of the charge transfer tunnels having to be reduced or a reduced stability.

(57) Zusammenfassung: Bei dem erfindungsgemäßen Feldeffekttransistor wird das planare Kanalgebiet an der oberen Oberfläche der Erhebung durch zusätzliche vertikale Kanalgebiete an den Seitenflächen der Erhebung in der Weite ausgedehnt. Diese zusätzlichen vertikalen Kanalgebiete schließen sich unmittelbar an das planare Kanalgebiet an (vertikal extended channel regions). Der erfindungsgemäße Feldeffekttransistor besitzt den Vorteil, dass eine deutliche Erhöhung der für den Flusstrom  $I_{ON}$  wirksamen Kanalweite gegenüber bisher verwendeten, konventionellen Transistorstrukturen gewährleistet werden kann, ohne dass eine Verringerung der erzielbaren Integrationsdichte hingenommen werden muss. Weiterhin besitzt der erfindungsgemäße Feldeffekttransistor eine geringen Sperrstrom  $I_{OFF}$ . Diese Vorteile werden erzielt, ohne dass die Dicke des Gate-Isolators bis in den Bereich des Tunnels von Ladungsträgern oder einer verminderten Stabilität verringert werden muss.

WO 03/003442 A1

---

**WO 03/003442 A1** 

**(81) Bestimmungsstaaten** (*national*): JP, KR, US.

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

1

Beschreibung

Feldeffekttransistor und Verfahren zu seiner Herstellung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Feldeffekttransistor und ein Verfahren zu seiner Herstellung.

Die charakteristischen Parameter von herkömmlichen Feldeffekttransistoren, insbesondere von planaren MIS-Feldeffekttransistoren (MISFET), verschlechtern sich zunehmend mit fortgesetzter Strukturverkleinerung (Skalierung) und Erhöhung der Packungsdichte von integrierten Schaltungen. So sinkt beispielsweise mit verkürzter Kanallänge des Transistors die Einsatzspannung  $V_t$  des Transistors. Gleichzeitig erhöhen sich mit verkürzter Kanallänge die Feldstärke im Kanalgebiet und der Sperrstrom  $I_{off}$  (SCE: short channel effect; roll-off). Weiterhin verändert sich mit verminderter Kanalweite der Flußstrom  $I_{on}$  in nichtlinearer Weise. Zusätzlich werden am Übergang des Kanals zur Isolation die Geometrie und Dotierung des Feldeffekttransistors modifiziert. Allgemein gewinnen die Kanalgrenzen bei Skalierung gegenüber dem zentralen Kanalbereich an relativer Bedeutung (NCE: narrow channel effect, INCE: inverse narrow channel effect).

Um trotz der genannten Schwierigkeiten eine Verbesserung/Aufrechterhaltung der Performance von Feldeffekttransistoren bei fortschreitender Strukturverkleinerung (Skalierung) gewährleisten zu können, werden eine Reihe von Maßnahmen vorgeschlagen bzw. durchgeführt. So erfolgt beispielsweise mit der MISFET-Skalierung zugleich eine angepasste Skalierung der internen Betriebsspannungspegel. Weiterhin erfolgt in der Regel eine Optimierung der Dotierungsprofile der Wannen- und Kanalgebiete sowie der Source- und Draingebiete. Gleichzeitig

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

2

wird üblicherweise eine Skalierung des Gateisolators bezüglich Dicke und Material durchgeführt.

Weitere Verbesserungen ergeben sich durch die Verwendung von salicierten Source- und Drain-Gebieten (S/D) sowie salicierten Gate-Elektroden. Durch eine Minimierung der parasitären Widerstände bzw. Kapazitäten der Anschlußmetallisierung, beispielsweise durch die Verwendung einer Kupferverdrahtung, und der Zwischenisolatoren, beispielsweise durch die Verwendung von sogenannten „low-k“ Materialien, kann eine weitere Verbesserung erzielt werden. Im Fall von DRAM-Speicherzellen kann auch eine Anpassung der Ausleselogik an die sich mit jedem „Shrink“ verkleinernden „ON“-Ströme der jeweiligen Arraytransistoren (z.B. Reduktion der Widerstände der Gatebahnen) vorgenommen werden.

Eine weitere Möglichkeit, die Performance von Feldeffekttransistoren aufrechtzuerhalten bzw. zu verbessern, besteht in der Verwendung modifizierte Transistoranordnungen, die beispielsweise erhöhte Source/Drainbereiche („elevated S/D“) aufweisen oder die auf einer sogenannten „silicon on insulator“ Technologie (SOI) basieren oder die im Kanalgebiet ein Material mit einer höheren Trägerbeweglichkeit, z.B. SiGe, aufweisen. Zusätzliche Möglichkeiten, die sich bei Senkung der Betriebstemperatur ergeben, sind hier nicht dargestellt.

Die Einführung der Trench-Feldisolation (STI: shallow trench isolation) anstelle konventioneller LOCOS-Feldisolation trägt ebenfalls zur Verbesserung der Situation bei. Wird eine Trench-Feldisolation (STI: shallow trench isolation) anstelle einer konventionellen LOCOS-Feldisolation eingesetzt, so müssen in der Regel zusätzliche Maßnahmen zur Minimierung des sogenannten „inverse narrow channel effect“ (INCE) ergriffen werden. So wird beispielsweise eine positiven Stufenhöhe der STI-Oberkante über der Halbleiteroberfläche eingestellt, um ein sogenanntes „wrap-

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

3

around Gate" zu vermeiden. Weiterhin kann eine lokale Aufdotierung des Transistorkanals am Übergang zur Feldisolation, der sogenannten „corner region, zusätzlich zur normalen Kanaldotierung vorgesehen sein.

- 5 Durch eine Oxidation der STI-Flanken während der STI-Prozessierung kann eine sogenannte „birdsbeak Geometrie" und Kantenverrundung der aktiven Gebiete am Übergang zur Trenchisolation erzeugt werden. Im Prozeßablauf spricht man
- 10 dabei von „corner rounding", „mini LOCOS" bzw. „post CMP oxidation". Auch diese Maßnahmen dienen dazu, dem „inverse narrow channel effect" (INCE) entgegenzuwirken. Eine Verstärkung dieser Wirkung kann dabei durch ein vorheriges laterales Rückätzen des Padoxids erreicht werden. Eine
- 15 Kantenverrundung der aktiven Gebiete kann auch mittels thermischer Oberflächentransformation erzeugt werden. Weiterhin kann ein Nitrid-Spacer Schutzring („guardring") vorgesehen sein. Zur Vermeidung einer Gateüberlappung über die corner-Region kann ein selbstjustierter Abschluß der
- 20 Gatekante vor der Feldisolationsgrenze vorgesehen sein. Dies kann beispielsweise durch eine gemeinsame Strukturierung von Poly-Gate und aktivem Gebiet bei der STI-Strukturierung erfolgen.
- 25 Trotz all dieser Maßnahmen wird es jedoch immer schwieriger, ab etwa 100nm Strukturgröße eine ausreichenden Flußströme  $I_{ON}$  zu gewährleisten, ohne daß die Gefahr des Tunnelns oder der Degradation der Gateoxid-Stabilität des MISFET besteht. Daher wurden eine Reihe von alternativen
- 30 Transistoranordnungen vorgeschlagen.

- Das Dokument US 4,979,014 offenbart eine MOS-Transistor, der eine stegförmige Erhöhung auf einem Halbleitersubstrat aufweist. Der Kanal dieses Transistors ist entlang der
- 35 stegförmigen Erhöhung angeordnet und weist neben dem Kanalbereich an der Oberseite der stegförmigen Erhöhung noch zwei weitere Kanalbereiche an den Seitenwänden der



WO 03/003442

PCT/EP02/07028

4

stegförmigen Erhöhung auf. Der Transistor gemäß Dokument US 4,979,014 zeigt einen ausgeprägten „Ecken-Effekt“ („corner effect“), der dazu verwendet wird, eine große Verarmungszone zu erzeugen.

5 Das Dokument Huang et al. „Sub 50-nm FinFET: PMOS“ IEDM 1999 offenbart einen „FinFET“ genannten Transistor, der eine Doppel-Gate Struktur an den Seitenwänden der stegförmigen Erhöhung („Fin“) aufweist. Der FinFET vermeidet den INCE  
10 mittels einer dickeren Isolatorschicht auf der schmalen Fin-Deckfläche.

Leider besitzen all die genannten Maßnahme entweder nur eingeschränkte Wirksamkeit oder sie erfordern einen großen  
15 prozestechnischen Aufwand. Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Feldeffekttransistor und Verfahren zu seiner Herstellung bereitzustellen, welche die genannten Schwierigkeiten vermindern bzw. vermeiden. Es ist insbesondere die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen  
20 Feldeffekttransistor bereitzustellen, der einen ausreichenden Flußstrom  $I_{ON}$  zur Verfügung stellt und der mit einem geringem Aufwand, kompatibel zum bisherigen, konventionellen Integrationsprozeß für planare MOSFETs hergestellt werden kann.

25 Diese Aufgabe wird von dem Feldeffekttransistor gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 bzw. von dem Feldeffekttransistor gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 4 sowie von dem Verfahren zur Herstellung eines  
30 Feldeffekttransistors gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 12 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen, Ausgestaltungen und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen, der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

35

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

5

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Feldeffekttransistor bereitgestellt, der die folgenden Merkmale umfaßt:

- 5 a) zumindest eine auf einem Halbleitersubstrat angeordnete stegförmige Erhebung, die eine obere Oberfläche und seitliche Oberflächen aufweist,
- b) eine erste Gateoxidschicht, die auf der oberen  
10 Oberfläche der stegförmigen Erhebung angeordnet ist,
- c) eine erste Gateelektrode, die auf der ersten Gateoxidschicht angeordnet ist, wobei die erste Gateelektrode eine obere Oberfläche und seitliche  
15 Oberflächen aufweist,
- d) eine zweite Gateoxidschicht, die zumindest auf einem Teil der seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung und der ersten Gateelektrode angeordnet ist,  
20 e) eine zweite Gateelektrode, die auf der zweiten Gateoxidschicht und der oberen Oberfläche der ersten Gateelektrode angeordnet ist, und
- 25 f) Source- und Draingebiete, die auf der Erhebung angeordnet sind.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Feldeffekttransistor bereitgestellt, der die  
30 folgenden Merkmale umfaßt:

- a) zumindest eine auf einem Halbleitersubstrat angeordnete stegförmige Erhebung, die eine obere  
35 Oberfläche und seitliche Oberflächen aufweist,

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

6

- b) eine erste Gateoxidschicht, die zumindest auf einem Teil der seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung angeordnet ist,
- 5 c) eine erste Gateelektrode, die auf der ersten Gateoxidschicht angeordnet ist, wobei die erste Gateelektrodenschicht eine obere Oberfläche und seitliche Oberflächen aufweist,
- 10 d) eine zweite Gateoxidschicht, die auf der oberen Oberfläche der stegförmigen Erhebung und der oberen Oberfläche der ersten Gateelektrode angeordnet ist,
- e) eine zweite Gateelektrode, die auf der zweiten Gateoxidschicht und den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrode angeordnet ist, und
- 15 f) Source- und Draingebiete, die auf der Erhebung angeordnet sind.
- 20 Weiterhin wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Herstellung eines Feldeffekttransistors bereitgestellt, das die folgenden Schritte umfaßt:
- 25 a) ein Halbleitersubstrat mit einer darauf aufgebrachtten ersten Gateoxidschicht und einer auf die Gateoxidschicht aufgebrachtten ersten Gateelektrodenschicht wird bereitgestellt,
- 30 b) zumindest eine stegförmige Erhebung mit einer oberen Oberfläche und seitlichen Oberflächen wird erzeugt, wobei die erste Gateoxidschicht und die erste Gateelektrodenschicht auf der oberen Oberfläche angeordnet sind,
- 35 c) zumindest auf einem Teil der seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung und der ersten

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

7

Gateelektrodenschicht wird eine zweite Gateoxidschicht erzeugt,

- 5 d) eine zweite Gateelektrodenschicht wird aufgebracht, so daß die zweite Gateelektrodenschicht auf der zweiten Gateoxidschicht und der oberen Oberfläche der ersten Gateelektrodenschicht angeordnet ist, und
- 10 e) die erste und die zweite Gateelektrodenschicht werden zu ersten und zweiten Gateelektroden strukturiert und Source- und Draingebiete werden erzeugt.

Der erfindungsgemäße Feldeffekttransistor besitzt den Vorteil, daß eine deutliche Erhöhung der für den Flußstrom  $I_{ON}$  wirksamen Kanalweite gegenüber bisher verwendeten, konventionellen Transistorstrukturen gewährleistet werden kann, ohne daß eine Verringerung der erzielbaren Integrationsdichte hingenommen werden muß. Bei dem erfindungsgemäßen Feldeffekttransistor wird das planare Kanalgebiet an der oberen Oberfläche der Erhebung durch zusätzliche vertikale Kanalgebiete an den Seitenflächen der Erhebung in der Weite ausgedehnt. Diese zusätzlichen vertikalen Kanalgebiete schließen sich unmittelbar an das planare Kanalgebiet an (vertical extended channel regions). Weiterhin besitzt der erfindungsgemäße Feldeffekttransistor einen geringen Sperrstrom  $I_{OFF}$ . Diese Vorteile werden erzielt, ohne daß Dicke des Gate-Isolators bis in den Bereich des Tunnels von Ladungsträgern oder einer verminderten Stabilität verringert werden muß.

30 Die zusätzlichen vertikalen Kanalgebiete werden dabei erfindungsgemäß durch Nutzung der vertikalen Halbleiteroberflächen gewonnen, die bevorzugt analog zur konventionellen planaren Transistoranordnung bei der STI-Strukturierung („shallow trench isolation“) erzeugt werden können und die vertikalen STI Flanken bilden. Der Herstellungsprozeß des erfindungsgemäßen Transistors ist

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

8

5 somit dem Prozeßablauf des konventionellen STI-isolierten, planaren Transistors so eng verwandt, daß herkömmliche, planare Transistoren sehr einfach auf demselben Chip mit erfindungsgemäßen Transistoren integriert und kombiniert werden können.

10 Zwischen dem planaren Kanalgebiet und den vertikalen Kanalgebieten existiert ein Übergangsgebiet in Form einer konvex gekrümmten, in Source/Drain-Richtung angeordnete Kante auf der stegförmigen Erhebung als Bestandteil des aktiven Kanals. Diese Kante führte bei bisher vorgeschlagenen Transistoranordnungen immer zu einem ausgeprägten „Ecken-Effekt“ („corner effect“), der die Einsatzspannung des Transistors negativ beeinflusste. Bei dem erfindungsgemäßen Feldeffekttransistor wird dieses Problem durch die spezielle Umschließungsanordnung, welche die erste und zweite Gateoxidschicht sowie die erste und zweite Gateelektrode aufweist, weitgehend vermieden.

20 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors ist die zweite Gateoxidschicht auf den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrode dicker ausgebildet als auf den seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung. Weiterhin ist es 25 bevorzugt, wenn an der zweiten Gateoxidschicht auf der Höhe der ersten Gateelektrode ein isolierender Spacer angeordnet ist. Dadurch läßt sich die elektrische Feldstärke an den Kanten weiter verringern.

30 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors sind die Kanten der stegförmigen Erhebung zwischen der oberen Oberfläche und den seitlichen Oberflächen verrundet. Diese Verrundung kann bevorzugt mit Hilfe eines kurzen Hochtemperaturprozesses 35 erzeugt werden. Dementsprechend kann der erfindungsgemäße Transistor mit einem deutlich reduziertem Temperaturbudget prozessiert werden. Dadurch ergeben sich Vorteile u.a.

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

9

hinsichtlich Dotierprofile und Performance. Auch wird dadurch der Übergangsbereich zwischen dem planaren und vertikalen Kanalgebiet gering gehalten, und nahezu die gesamte Breite und Tiefe der geometrischen Kanalfläche kann selbst bei sehr stark skaliertem Transistorgeometrie als aktiver Kanal genutzt werden.

Dabei ist es insbesondere bevorzugt, wenn der Krümmungsradius der Kanten in der Größenordnung der Schichtdicke der ersten oder zweiten Gateoxidschicht liegt. Dementsprechend kann die Einsatzspannung des sogenannten "parasitic corner device" auf einen Wert gebracht werden, der größer als der Wert der Einsatzspannung des planaren Kanalbereichs ist. Die resultierende elektrische Feldstärke entlang der Oberfläche der Kantenkrümmung übersteigt somit nicht die im ebenen Teil des Kanals herrschenden elektrische Feldstärke.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors sind zwischen dem Sourcegebiet und den Gateelektroden sowie zwischen dem Draingebiet und den Gateelektroden Spacer angeordnet. Weiterhin ist es bevorzugt, wenn die erste Gateelektrode eine Polysiliziumschicht aufweist. Darüber hinaus ist es insbesondere bevorzugt, wenn die zweite Gateelektrode eine Polysilizium-Metall-Doppelschicht oder eine Polyzidschicht aufweist.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors ist der Teil der seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung, der von einer Gateoxidschicht bedeckt ist, von einer Grabenisolation begrenzt. Weiterhin ist es insbesondere bevorzugt, wenn die Dotierungsprofiltiefe der Source- und Draingebiete größer als die Ausdehnung des Teils der seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung ist, der von einer Gateoxidschicht bedeckt ist.

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

10

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens erfolgt die Erzeugung der stegförmige Erhebung mit der Strukturierung der Gräben für eine Grabenisolation. Dabei ist es insbesondere bevorzugt, wenn die Gräben für die Grabenisolation mit Oxid gefüllt werden und eine Rückätzung, bevorzugt nach einem CMP-Schritt, durchgeführt wird, so daß ein Teil der seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung freigelegt wird.

10

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens wird zumindest ein thermischer Prozeß zur Verrundung der Kanten der stegförmigen Erhebung zwischen der oberen Oberfläche und den seitlichen Oberflächen durchgeführt. Weiterhin ist es insbesondere bevorzugt, wenn die Gateoxidschichten jeweils durch thermische Oxidation erzeugt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens wird die zweite Gateoxidschicht mit selektiver Oxidation erzeugt, so daß die zweite Gateoxidschicht auf den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrode dicker ausgebildet ist als auf den seitlichen Oberflächen der stegförmigen Erhebung. Weiterhin ist es bevorzugt, wenn nach der Erzeugung der ersten Gateelektroden-schicht ein isolierender Spacer erzeugt wird, so daß an der zweiten Gateoxidschicht auf der Höhe der ersten Gateelektrode ein isolierender Spacer angeordnet ist.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren der Zeichnungen näher dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 und 2 eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors,

35

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

11

- Fig. 3a - 3h eine erste Ausführungsform des  
erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung  
eines Feldeffekttransistors,
- 5 Fig. 4 eine weitere Ausführungsform des  
erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors,
- Fig. 5 eine weitere Ausführungsform des  
erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors, und
- 10 Fig. 6 eine weitere Ausführungsform des  
erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors.

15 Die Fig. 1 und 2 zeigen eine erste Ausführungsform des  
erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors. Dabei zeigt die Fig.  
1 die allgemeine Struktur dieser Ausführungsform des  
erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors während Fig. 2 die  
Details dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen  
20 Feldeffekttransistors in einem Querschnitt darstellt. Wie aus  
Fig. 1 ersichtlich weist der erfindungsgemäße  
Feldeffekttransistor eine auf einem Halbleitersubstrat 1  
angeordnete stegförmige Erhebung 2 auf, die eine obere  
Oberfläche 2a und zwei seitliche Oberflächen 2b besitzt. Die  
25 stegförmige Erhebung 2 stellt dabei das aktive  
Halbleitergebiet dar.

Das aktive Halbleitergebiet 2 mit vertikaler Verbindung  
zum Halbleitersubstrat 1 ist von benachbarten aktiven  
30 Gebieten (nicht dargestellt) durch STI-Feldisolationsgebiete  
3 lateral isoliert. Die Oberfläche 2a, 2b des aktiven Gebiets  
ist in Source- und Draingebiete sowie in ein planares  
Kanalgebiet strukturiert. Die stegförmige Erhebung 2 überragt  
die STI-Oberfläche, wodurch die Seitenflächen 2b des aktiven  
35 Gebiets teilweise nicht durch die Isolation 3 bedeckt sind.  
Diese freiliegenden Seitenflächen sind, unmittelbar an die  
entsprechenden planaren Gebiete anschließend, gleichartig in



WO 03/003442

PCT/EP02/07028

12

Source-, Drain- und Kanalgebiete strukturiert. Der Höhenunterschied zwischen dem aktiven Halbleitergebiet und der STI-Oberfläche entspricht dabei der Weite der vertikalen Kanalgebiete. Die Dotierungsprofiltiefe der Source- und Draingebiete ist vorzugsweise größer als dieser Höhenunterschied.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich weist der erfindungsgemäße Feldeffekttransistor eine erste Gateoxidschicht 4 auf, die auf der oberen Oberfläche 2a der stegförmigen Erhebung 2 angeordnet ist. Weiterhin ist eine erste Gateelektrode 5 vorgesehen, die auf der ersten Gateoxidschicht 4 angeordnet ist, wobei die erste Gateelektrode eine obere Oberfläche und zwei seitliche Oberflächen aufweist. Eine zweite Gateoxidschicht 6 ist auf den seitlichen Oberflächen 2b der stegförmigen Erhebung 2 und der ersten Gateelektrode 4 angeordnet. Auf dieser zweiten Gateoxidschicht 6 und auf der oberen Oberfläche der ersten Gateelektrode 5 ist weiterhin eine zweite Gateelektrode 7 angeordnet.

Die Reliefstruktur aus aktiver und abgesenkter STI-Oberfläche ist somit im Kanalbereich von einer doppelten Gateelektrode bedeckt. Dabei besteht die erste Gateelektrode 5 vorzugsweise aus hochdotiertem Polysilizium während die zweite Gateelektrode 7 vorzugsweise einen Polysilizium-Metall-Schichtstapel aufweist. Die beiden Gateelektroden 5, 7 sind dabei so angeordnet, daß die erste Gateelektrode 5 ausschließlich den planaren Teil des aktiven Gebiets bedeckt und etwa mit dessen Flanken abschließt, während die zweite Gateelektrode 7 die Vertikalflanken des aktiven Gebiets bedeckt und die erste Gateelektrode 5 umschließt. Dabei kontaktiert die zweite Gateelektrode 7 die erste Gateelektrode 5 auf deren planarer Oberfläche, während sie von deren seitlichen Flanken durch die zweite Gateoxidschicht 6 isoliert ist.

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

13

Bei der vorliegenden Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors ist die Kante 8 des aktiven Gebiets verrundet. Der Krümmungsradius dieser Rundung liegt dabei in der Größenordnung der Gateoxiddicke. Weiterhin ist das Kanalgebiet source- und drainseitig von Spacern (nicht gezeigt) flankiert, welche die doppelte Gateelektrode 5, 7 lateral von den S/D-Kontaktflächen isolieren.

Die Fig. 3a - 3h zeigen eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Feldeffekttransistors. Nach einigen vorbereitenden Herstellungsschritten wird auf einem Halbleitersubstrat 1, insbesondere einem Siliziumsubstrat, eine erste Gateoxidschicht 4 sowie eine erste Gateelektrodenschicht 5 und Padnitridschicht 10 erzeugt. Dabei kann die Gateoxidation beispielsweise mit Hilfe einer thermischen Oxidation durchgeführt werden. Die Gateelektrodenschicht- und Padnitridabscheidung erfolgt beispielsweise mit Hilfe von CVD-Verfahren. Die sich daraus ergebende Situation ist in Fig. 3a gezeigt.

Anschließend erfolgt mittels einer Lackmaske 11 die Strukturierung dieses Schichtstapels gemeinsam mit der STI-Strukturierung. Diese gemeinsame Strukturierung erfolgt beispielsweise mit Hilfe einer chemisch-physikalischen Trockenätzung. Somit wird eine stegförmige Erhebung 2 mit einer oberen Oberfläche 2a und zwei seitlichen Oberflächen 2b erzeugt, wobei die erste Gateoxidschicht 4 und die erste Gateelektrodenschicht 5 auf der oberen Oberfläche 2a angeordnet sind. Die Kanten 8 zwischen der oberen Oberfläche 2a und den zwei seitlichen Oberflächen 2b sind in diesem Bearbeitungsstadium scharf, nahezu mit 90°C geschnitten. Die sich daraus ergebende Situation ist in Fig. 3b gezeigt.

Danach erfolgt die Entfernung der Lackmaske 11 sowie eine Reinigung und eine kurze thermische Oxidation zur Verbesserung der Qualität der senkrechten Seitenflächen,

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

14

sowie Versiegelung der Flanken der ersten Gateelektrodenschicht 5. Dann wird das erzeugte Oberflächenrelief mit Oxid 3 verfüllt (Fig. 3c), thermisch verdichtet und mittels eines CMP-Verfahrens (chemical mechanical polishing) bis auf eine Nitrid-Restdicke planarisiert (Fig. 3d). Durch die thermischen Prozesse dieses Bearbeitungsabschnitts erfolgt eine geringe Aufweitung des ersten Gateoxidschicht 4 an der Kante 8 sowie eine Abrundung der Kanten 8 zwischen der oberen Oberfläche 2a und den zwei seitlichen Oberflächen 2b der stegförmigen Erhebung 2.

Im Anschluß wird mittels anisotroper Ätzung über eine Blockmaske 12, die alle Bereiche für Transistoren ohne beabsichtigte vertikale Kanalerweiterung abdeckt, das STI-Oxid 3 bis in eine definierte Tiefe planar zurückgeätzt. Diese Ätzung hat eine gewisse Selektivität zu der Padnitridschicht 10, so daß die obere Oberflächen 2a der stegförmigen Erhebungen 2 noch sicher mit Siliziumnitrid 10 bedeckt bleiben. Die verbleibende STI-Fülltiefe ist so dimensioniert, daß eine spätere sichere Feldisolation garantiert ist. Die sich daraus ergebende Situation ist in Fig. 3e gezeigt.

Nach Entfernung der Blockmaske, Reinigung / Überätzung erfolgt die 2. Gateoxidation (Fig. 3f). Auf den freiliegenden Flanken der stegförmigen Erhebung 2 und auf den freiliegenden Flanken der ersten Gateelektrodenschicht 5 wächst dabei die zweite Gateoxidschicht 6 auf. Dieser Oxidationsschritt weitet die erste Gateoxidschicht 4 an den Kanten 8 zusätzlich auf und vermindert die Krümmung der Substrat- und Poly-Kanten weiter. Anschließend erfolgt die Entfernung der auf den Oberflächen der ersten Gateelektrodenschicht verbliebenen Padnitrid-Restschicht 10 (Fig. 3g) und, nach einer weiteren Reinigung, die Abscheidung der zweiten Gateelektrodenschicht 7 (Fig. 3h).

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

15

Danach wird über eine Maske (nicht gezeigt) die erste und die zweite Gateelektrodenschicht gemeinsam mit Hilfe einer Ätzung, bevorzugt Plasmaätzung, strukturiert, wobei die Ätzung in der ersten Gateoxidschicht stoppt. Im Anschluß  
5 daran erfolgt die weitere Prozessierung incl. Herstellung der Source/Drain-Gebiete bis zur kompletten Schaltung entsprechend dem konventionellen Prozeßablauf.

Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform des  
10 erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors. Wie aus Fig. 4 ersichtlich weist auch die weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors eine auf einem Halbleitersubstrat 1 angeordneten stegförmigen Erhebung 2  
15 auf, die eine obere Oberfläche 2a und zwei seitliche Oberflächen 2b besitzt. Die stegförmige Erhebung 2 stellt dabei das aktive Halbleitergebiet dar.

Das aktive Halbleitergebiet mit vertikaler Verbindung zum Halbleitersubstrat ist wiederum von benachbarten aktiven  
20 Gebieten durch STI-Feldisolutionsgebiet 3 lateral isoliert. Die Oberfläche des aktiven Gebiets ist in Source- und Drain- und planares Kanalgebiet strukturiert. Sie überragt die STI-Oberfläche, wodurch die Seitenflanken des aktiven Gebiets teilweise freiliegen. Diese freiliegenden Seitenflanken sind,  
25 unmittelbar an die entsprechenden planaren Gebiete anschließend, gleichartig in Source-, Drain- und Kanalgebiete strukturiert. Der Höhenunterschied zwischen aktiver und STI-Oberfläche entspricht der Weite der vertikalen Kanalgebiete. Die Dotierungsprofiltiefe der Source- und Draingebiete ist  
30 vorzugsweise größer als dieser Höhenunterschied.

Die Reliefstruktur aus aktiver und abgesenkter STI-Oberfläche ist somit im Kanalbereich von einer doppelten Gateelektrode 5, 7 bedeckt. Dabei besteht die erste  
35 Gateelektrode 5 vorzugsweise aus hochdotiertem Polysilizium während die zweite Gateelektrode 7 vorzugsweise einen Polysilizium-Metall-Schichtstapel aufweist. Die beiden

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

16

Gateelektroden 5, 7 sind dabei so angeordnet, daß die erste Gateelektrode 5 ausschließlich den vertikalen Teil 2b des aktiven Gebiets 2 bedeckt und etwa mit dessen oberen Oberflächen abschließt, während die zweite Gateelektrode 7 die obere Oberfläche des aktiven Gebiets 2 bedeckt und die erste Gateelektrode 5 umschließt. Dabei kontaktiert die zweite Gateelektrode die erste Gateelektrode auf deren seitlichen Oberflächen, während sie von deren oberen Flanken durch die zweite Gateoxidschicht 6 isoliert ist. Das Kanalgebiet ist auf seinem planaren Teil von der zweiten Gateoxidschicht 6 und auf seinen Vertikalflächen von der ersten Gateoxidschicht 4 bedeckt.

Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors. Die in Fig. 5 gezeigte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors entspricht im wesentlichen der in Fig. 2 gezeigte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors mit der Ausnahme, daß die zweite Gateoxidschicht 6 auf den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrode 5 dicker ausgebildet ist als auf den seitlichen Oberflächen 2b der stegförmigen Erhebung 2. Die Verdickung der zweiten Gateoxidschicht 6 auf den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrode 5 wird durch eine selektive Gateoxidation erzielt, wobei die Tatsache ausgenutzt wird, daß bei geeignet gewählten Prozeßparametern an Polysilizium eine höhere Oxidationsrate erzielt wird als an monokristallinem Silizium.

Fig. 6 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors. Die in Fig. 6 gezeigte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors entspricht im wesentlichen der in Fig. 2 gezeigte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors mit der Ausnahme, daß an der zweiten Gateoxidschicht 6 auf der Höhe der ersten Gateelektrode 5 ein Spacer 14, insbesondere ein Oxidspacer, angeordnet ist. Dabei

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

17

kann die Ausbildung des Spacers 14 an den Flanken der ersten Gateelektrodenschicht 5 unmittelbar nach deren Strukturierung erfolgen, noch bevor die stegförmige Erhebung 2 ausgebildet ist. Die Oxidation zur Erzeugung der zweiten Gateoxidschicht 6 verstärkt dann diesen Spacer 14 durch eine zusätzliche Oxidschicht unmittelbar an den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrodenschicht 5.

Der erfindungsgemäße Feldeffekttransistor besitzt den Vorteil, daß eine deutliche Erhöhung der für den Flußstrom  $I_{ON}$  wirksamen Kanalweite gegenüber bisher verwendeten, konventionellen Transistorstrukturen gewährleistet werden kann, ohne daß eine Verringerung der erzielbaren Integrationsdichte hingenommen werden muß. Bei dem erfindungsgemäßen Feldeffekttransistor wird das planare Kanalgebiet an der oberen Oberfläche der Erhebung durch zusätzliche vertikale Kanalgebiete an den Seitenflächen der Erhebung in der Weite ausgedehnt. Diese zusätzlichen vertikalen Kanalgebiete schließen sich unmittelbar an das planare Kanalgebiet an (vertical extended channel regions). Weiterhin besitzt der erfindungsgemäße Feldeffekttransistor einen geringen Sperrstrom  $I_{OFF}$ . Diese Vorteile werden erzielt, ohne daß Dicke des Gate-Isolators bis in den Bereich des Tunnels von Ladungsträgern oder einer verminderten Stabilität verringert werden muß.

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

18

## Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor, insbesondere MIS-  
5 Feldeffekttransistor, mit:
- a) zumindest einer auf einem Halbleitersubstrat (1)  
angeordneten stegförmigen Erhebung (2), die eine obere  
Oberfläche (2a) und seitliche Oberflächen (2b)  
10 aufweist,
  - b) einer ersten Gateoxidschicht (4), die auf der oberen  
Oberfläche (2a) der stegförmigen Erhebung (2)  
angeordnet ist,  
15
  - c) einer ersten Gateelektrode (5), die auf der ersten  
Gateoxidschicht (4) angeordnet ist, wobei die erste  
Gateelektrode eine obere Oberfläche und seitliche  
Oberflächen aufweist,  
20
  - d) einer zweiten Gateoxidschicht (6), die zumindest auf  
einem Teil der seitlichen Oberflächen (2b) der  
stegförmigen Erhebung (2) und der ersten Gateelektrode  
(4) angeordnet ist,  
25
  - e) einer zweiten Gateelektrode (7), die auf der zweiten  
Gateoxidschicht (6) und der oberen Oberfläche der  
ersten Gateelektrode (5) angeordnet ist, und  
30
  - f) Source- und Draingebiete, die auf der stegförmigen  
Erhebung (2) angeordnet sind.
2. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1,  
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß  
die zweite Gateoxidschicht (6) auf den seitlichen  
Oberflächen der ersten Gateelektrode (5) dicker

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

19

ausgebildet ist als auf den seitlichen Oberflächen (2b) der stegförmigen Erhebung (2).

3. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1 oder 2,  
5     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,   daß  
an der zweiten Gateoxidschicht (6) auf der Höhe der ersten Gateelektrode (5) ein isolierender Spacer (14) angeordnet ist.
- 10   4. Feldeffekttransistor, insbesondere MIS-Feldeffekttransistor, mit:
- a) zumindest einer auf einem Halbleitersubstrat (1) angeordneten stegförmigen Erhebung (2), die eine obere  
15     Oberfläche (2a) und seitliche Oberflächen (2b) aufweist,
- b) einer ersten Gateoxidschicht (4), die zumindest auf einem Teil der seitlichen Oberflächen (2b) der  
20     stegförmigen Erhebung (2) angeordnet ist,
- c) einer ersten Gateelektrode (5), die auf der ersten Gateoxidschicht (4) angeordnet ist, wobei die erste Gateelektrode (4) eine obere Oberfläche und seitlichen  
25     Oberflächen aufweist,
- d) einer zweiten Gateoxidschicht (6), die auf der oberen Oberfläche (2a) der stegförmigen Erhebung (2) und der oberen Oberfläche der ersten Gateelektrode (5) angeordnet ist,  
30     angeordnet ist,
- e) einer zweiten Gateelektrode (7), die auf der zweiten Gateoxidschicht (6) und den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrode (5) angeordnet ist, und  
35
- f) Source- und Draingebiete, die auf der stegförmigen Erhebung (2) angeordnet sind.



WO 03/003442

PCT/EP02/07028

20

5. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Kanten (8) der stegförmigen Erhebung (2) zwischen der  
5 oberen Oberfläche (2a) und den seitlichen Oberflächen (2b)  
verrundet sind.
6. Feldeffekttransistor nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
10 der Krümmungsradius der Kanten (8) in der Größenordnung  
der Schichtdicke der ersten oder zweiten Gateoxidschicht  
(4, 6) liegt.
7. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
15 dadurch gekennzeichnet, daß  
zwischen dem Sourcegebiet und den Gateelektroden sowie  
zwischen dem Draingebiet und den Gateelektroden Spacer  
angeordnet sind.
- 20 8. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die erste Gateelektrode (5) eine Polysiliziumschicht  
aufweist.
- 25 9. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die zweite Gateelektrode (7) eine Polysilizium-Metall-  
Doppelschicht oder eine Polyzidschicht aufweist.
- 30 10. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der Teil der seitlichen Oberflächen (2b) der stegförmigen  
Erhebung (2), der von einer Gateoxidschicht (4, 6) bedeckt  
ist, von einer Grabenisolation (3) begrenzt ist.
- 35 11. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, daß

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

21

die Dotierungsprofiltiefe der Source- und Draingebiete größer als die Ausdehnung des Teils der seitlichen Oberflächen (2b) der stegförmigen Erhebung (2) ist, der von einer Gateoxidschicht (4, 6) bedeckt ist.

5

12. Verfahren zur Herstellung eines Feldeffekttransistor, insbesondere eines MIS-Feldeffekttransistor, mit den Schritten:

- 10 a) ein Halbleitersubstrat (1) mit einer darauf aufgebracht ersten Gateoxidschicht (4) und einer auf die Gateoxidschicht (4) aufgetragenen ersten Gateelektroden-  
schicht (5) wird bereitgestellt,
- 15 b) zumindest eine stegförmige Erhebung (2) mit einer oberen Oberfläche (2a) und seitlichen Oberflächen (2b) wird erzeugt, wobei die erste Gateoxidschicht (4) und die erste Gateelektroden-  
schicht (5) auf der oberen Oberfläche (2a) angeordnet sind,
- 20 c) zumindest auf einen Teil der seitlichen Oberflächen (2b) der stegförmigen Erhebung (2) und der ersten Gateelektroden-  
schicht (5) wird eine zweite Gateoxidschicht (6) erzeugt,
- 25 d) eine zweite Gateelektroden-  
schicht (7) wird aufgebracht, so daß die zweite Gateelektroden-  
schicht (7) auf der zweiten Gateoxidschicht (6) und der oberen Oberfläche  
der ersten Gateelektroden-  
schicht (5) angeordnet ist,  
30 und
- e) die erste und die zweite Gateelektroden-  
schicht (5, 7) werden zu ersten und zweiten Gateelektroden  
strukturiert und Source- und Draingebiete werden  
35 erzeugt.

13. Verfahren nach Anspruch 12,

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

22

dadurch gekennzeichnet, daß  
die Erzeugung der stegförmige Erhebung (2) mit der  
Strukturierung der Gräben für eine Grabenisolation (3)  
erfolgt.

- 5
14. Verfahren nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Gräben für die Grabenisolation mit Oxid (3) gefüllt  
werden und eine Rückätzung durchgeführt wird, so daß ein  
10 Teil der seitlichen Oberflächen (2b) der stegförmigen  
Erhebung (2) freigelegt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
15 vor der Rückätzung ein CMP-Schritt durchgeführt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
zumindest ein thermischer Prozeß zur Verrundung der Kanten  
20 (8) der stegförmigen Erhebung (2) zwischen der oberen  
Oberfläche (2a) und den seitlichen Oberflächen (2b)  
durchgeführt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16,  
25 dadurch gekennzeichnet, daß  
die Gateoxidschichten (4, 6) jeweils durch eine thermische  
Oxidation erzeugt werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17,  
30 dadurch gekennzeichnet, daß  
die zweite Gateoxidschicht (6) mit selektiver Oxidation  
erzeugt wird, so daß die zweite Gateoxidschicht (6) auf  
den seitlichen Oberflächen der ersten Gateelektrode (5)  
dicker ausgebildet ist als auf den seitlichen Oberflächen  
35 (2b) der stegförmigen Erhebung (2).
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 18,

WO 03/003442

PCT/EP02/07028

23

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a ß  
nach der Erzeugung der ersten Gateelektrodenschicht (5)  
ein isolierender Spacer erzeugt wird, so daß an der  
zweiten Gateoxidschicht (6) auf der Höhe der ersten  
5 Gatelektrode (5) ein isolierender Spacer (14) angeordnet  
ist.



FIG 3a

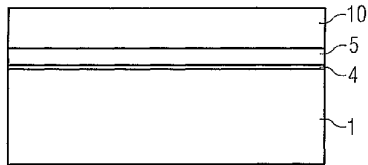


FIG 3b

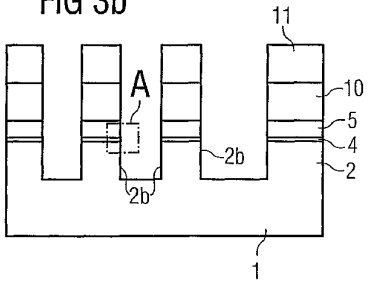
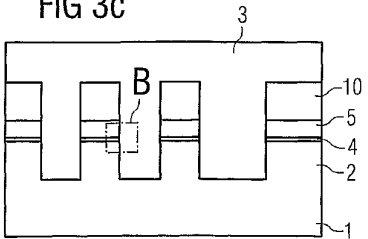
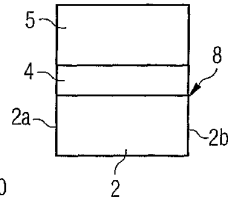


FIG 3c



A



B

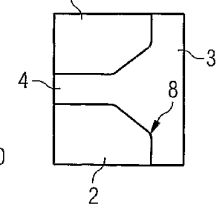


FIG 3d

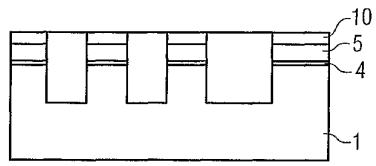


FIG 3e

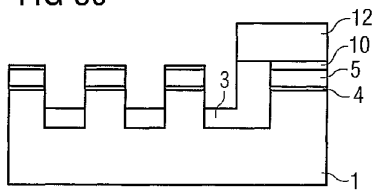


FIG 3f

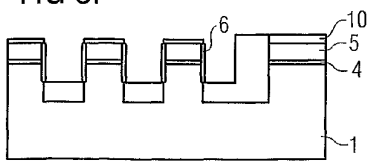


FIG 3g

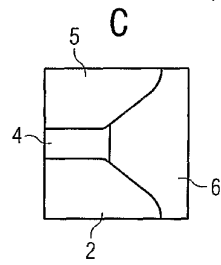
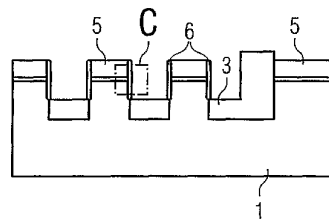


FIG 3h

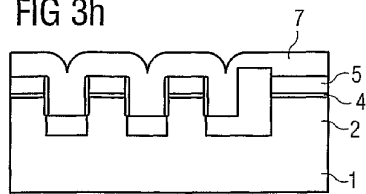




FIG 4

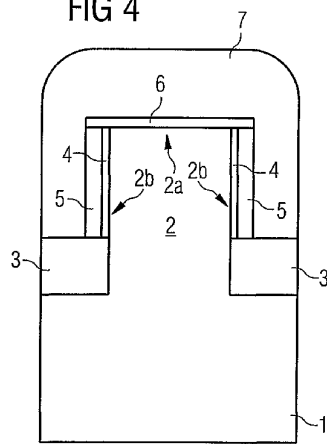


FIG 5

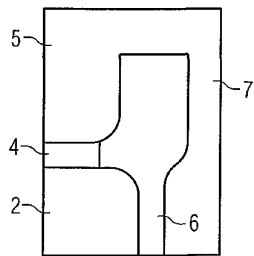
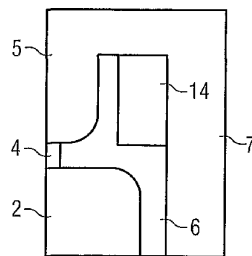


FIG 6



## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/EP 02/07028
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01L21/336 H01L29/78		
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) IPC 7 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 844 278 A (MIZUNO TOMOHISA ET AL) 1 December 1998 (1998-12-01) column 10, line 53 -column 11, line 54; figures 11,12	1,2,4, 7-9,12
A	WO 00 30181 A (WIEDER ARMIN ;INFINEON TECHNOLOGIES AG (DE); WIDMANN HELGA HF (DE)) 25 May 2000 (2000-05-25) page 7, line 7 -page 9, line 30; figure 6	1,4
A	US 5 391 506 A (KUNITOMO HIROYASU ET AL) 21 February 1995 (1995-02-21) the whole document	1-19
A	US 5 583 362 A (MAEGAWA SHIGETO) 10 December 1996 (1996-12-10) figure 30	1,4
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*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)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>*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</p> <p>*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</p> <p>*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</p> <p>*Z* document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 15 October 2002		Date of mailing of the international search report 23/10/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2220 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax. (+31-70) 340-3016		Authorized officer Nesso, S

Form PCT/ISA210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP 02/07028

## C (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 567 959 A (MINEJI AKIRA) 22 October 1996 (1996-10-22) figure 8D -----	1, 4

Form PCT/IS021D (continuation of second sheet) (July 1992)

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
 Information on patent family members

 International Application No.  
 PCT/EP 02/07028

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5844278	A	01-12-1998	JP	8139325 A	31-05-1996
			KR	170468 B1	01-02-1999
WO 0030181	A	25-05-2000	DE	19853268 A1	31-05-2000
			CN	1333923 T	30-01-2002
			WO	0030181 A2	25-05-2000
			EP	1138085 A2	04-10-2001
			TW	457722 B	01-10-2001
			US	2002014669 A1	07-02-2002
US 5391506	A	21-02-1995	JP	5218415 A	27-08-1993
			JP	5218416 A	27-08-1993
			JP	5343679 A	24-12-1993
US 5583362	A	10-12-1996	JP	7135325 A	23-05-1995
			DE	4433086 A1	30-03-1995
			KR	220039 B1	01-09-1999
			US	5578513 A	26-11-1996
US 5567959	A	22-10-1996	JP	2734962 B2	02-04-1998
			JP	7193251 A	28-07-1995

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1999)

## INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 02/07028

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 H01L21/336 H01L29/78		
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RESEARCHIERTE GEBIETE Researchierter Mindestprüfsatz (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 H01L		
Researchierte aber nicht zum Mindestprüfsatz gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beiz., Anspruch Nr.
A	US 5 844 278 A (MIZUNO TOMOHISA ET AL) 1. Dezember 1998 (1998-12-01) Spalte 10, Zeile 53 - Spalte 11, Zeile 54; Abbildungen 11, 12	1, 2, 4, 7-9, 12
A	WO 00 30181 A (WIEDER ARMIN ; INFINEON TECHNOLOGIES AG (DE); WIDMANN HELGA HF (DE)) 25. Mai 2000 (2000-05-25) Seite 7, Zeile 7 - Seite 9, Zeile 30; Abbildung 6	1, 4
A	US 5 391 506 A (KUNITOMO HIROYASU ET AL) 21. Februar 1995 (1995-02-21) das ganze Dokument	1-19
A	US 5 583 362 A (MAEGAWA SHIGETO) 10. Dezember 1996 (1996-12-10) Abbildung 30	1, 4
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind die Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorie von angegebenen Veröffentlichungen : ** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung befragt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Demonstration, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist ** Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebraucht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschusses der internationalen Recherche 15. Oktober 2002		Abmeldedatum des internationalen Recherchenberichts 23/10/2002
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5518 Patentkanal 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax. (+31-70) 340-2016		Bevollmächtigter Beauftragter Nesso, S

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1999)

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 02/07028

C:(Fortsetzung) ALS WESSENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Blatt. Anspruch Nr.
A	US 5 567 959 A (MINEJI AKIRA) 22. Oktober 1996 (1996-10-22) Abbildung 8D -----	1,4

Formblatt PCT/ISA210 (Fortsetzung von Blatt 2) (Juli 1992)

## INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Abkürzungen

PCT/EP 02/07028

Im Recherchebericht angeführtes Patentsdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5844278 A	01-12-1998	JP 8139325 A KR 170468 B1	31-05-1996 01-02-1999
WO 0030181 A	25-05-2000	DE 19853268 A1 CN 1333923 T WO 0030181 A2 EP 1138085 A2 TW 457722 B US 2002014669 A1	31-05-2000 30-01-2002 25-05-2000 04-10-2001 01-10-2001 07-02-2002
US 5391506 A	21-02-1995	JP 5218415 A JP 5218416 A JP 5343679 A	27-08-1993 27-08-1993 24-12-1993
US 5583362 A	10-12-1996	JP 7135325 A DE 4433086 A1 KR 220039 B1 US 5578513 A	23-05-1995 30-03-1995 01-09-1999 26-11-1996
US 5567959 A	22-10-1996	JP 2734962 B2 JP 7193251 A	02-04-1998 28-07-1995

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup> F I テーマコード(参考)  
H O 1 L 29/58 G

(72)発明者 リヒター, フランク  
ドイツ国 0 1 1 0 8 ドレスデン, アルテ モーリッツブルガー シュトラッセ. 5 9

(72)発明者 テムラー, ディートマー  
ドイツ国 0 1 1 0 9 ドレスデン, プートブーザー ヴェーク 1 4

(72)発明者 ヴッヒ-グラーゼン, アンドレアス  
ドイツ国 0 1 4 6 5 ランゲブリック, アー. リヒター-シュトラッセ. 1 2

Fターム(参考) 4M104 AA01 BB01 CC05 FF01 FF06 FF13 GG09 GG10 GG14  
5F110 AA06 AA07 AA30 CC10 DD05 EE09 EE14 EE15 EE22 EE27  
EE45 FF02 FF12 FF23 FF36 GG02 GG12 GG22 HM02 NN62  
QQ19  
5F140 AA21 AA22 AA30 AA39 AC36 BA01 BA05 BB05 BB06 BC15  
BD18 BE07 BF01 BF04 BF11 BF15 BF18 BF42 BF44 BF47  
BG27 BG28 BG38 BG40 CB04 CE07