

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4076862号
(P4076862)

(45) 発行日 平成20年4月16日(2008.4.16)

(24) 登録日 平成20年2月8日(2008.2.8)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 29/78 (2006.01)	HO 1 L 29/78 3 O 1 G
HO 1 L 21/28 (2006.01)	HO 1 L 21/28 E
HO 1 L 29/423 (2006.01)	HO 1 L 29/58 G
HO 1 L 29/49 (2006.01)	HO 1 L 21/28 3 O 1 R
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2002-574109 (P2002-574109)
 (86) (22) 出願日 平成14年2月6日(2002.2.6)
 (65) 公表番号 特表2004-532516 (P2004-532516A)
 (43) 公表日 平成16年10月21日(2004.10.21)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/003556
 (87) 国際公開番号 W02002/075791
 (87) 国際公開日 平成14年9月26日(2002.9.26)
 審査請求日 平成17年2月3日(2005.2.3)
 (31) 優先権主張番号 09/810,348
 (32) 優先日 平成13年3月19日(2001.3.19)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

前置審査

(73) 特許権者 591016172
 アドバンスド・マイクロ・デバイス・
 インコーポレイテッド
 ADVANCED MICRO DEVI
 CES INCORPORATED
 アメリカ合衆国、94088-3453
 カリフォルニア州、サニイペイル、ピィ・
 オウ・ボックス・3453、ワン・エイ・
 エム・ディ・プレイス、メイル・ストップ
 ・68 (番地なし)
 (74) 代理人 100099324
 弁理士 鈴木 正剛
 (74) 代理人 100111615
 弁理士 佐野 良太

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ウエハ上に金属ゲートを形成する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウエハ上に金属ゲートを形成する方法であって、
 基板の上にゲート酸化物を形成する過程を有し、
 前記ゲート酸化物の上に T i N 層を形成する過程を有し、
 前記 T i N 層の表面領域において、エッチング選択性が高くなるように前記 T i N 層内に金属種を注入する過程を有し、
 前記 T i N 層上に、タングステン 層を形成する過程を有し、
 前記 タングステン 層をエッチングして金属ゲートを形成する過程を有し、前記エッチングは、前記 T i N 層の前記表面領域上でストップし、
 更に、前記 T i N 層に注入される前記金属種は、アルミニウム又はタンタル であり、
 前記 タングステン 層のエッチングは、C l₂ / S F₆ / N₂ 工程を用いてなされる、方法。

【請求項 2】

前記アルミニウム又はタンタルは、前記 T i N 層内に、20-40 E10イオン / c m² のドーズ量で注入される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記アルミニウム又はタンタルは、前記 T i N 層内に、1000eV未満で注入される、請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記注入は、100eVでなされる、請求項 3 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0001】

本発明は、2001年4月3日に出願された米国出願番号第09/824,218号(代理人整理番号50432-112)において開示されたものと類似する発明を含む。

【技術分野】

【0002】

本発明は、半導体プロセスに関し、さらに詳しくは金属ゲート電極の形成に関する。

【背景技術】

【0003】

集積回路回路(IC)業界では、金属酸化物半導体(Metal-Oxide semiconductor: MOS)トランジスタは通常、ポリシリコン・ゲート電極を使って形成されてきた。ポリシリコン材料は、耐熱性があるので(すなわち、ポリシリコンは、後の高温工程に対する耐性に優れている)、MOSゲート電極として使用されることが好ましかった。ポリシリコンは、高温工程中でも強靱であるため、ソース領域およびドレイン領域とともに、高温でアニーリングできる。さらに、ポリシリコンは、チャンネル領域内へのドーパ原子のイオン注入を阻止できることが利点である。ポリシリコンのイオン注入阻止能により、ゲートのパターン形成が完了後におけるソース構造とドレイン構造との自己整合性が容易に得られるようになっている。

【0004】

しかし、ポリシリコン・ゲート電極には多少の難点がある。例えば、ポリシリコン・ゲート電極は、半導体材料から形成され、該材料は、ほとんどの金属材料よりも固有抵抗が高いことによってダメージを受ける。このため、ポリシリコン・ゲート電極は、金属材料から作られるゲートに比べてかなり低速度で動作するおそれがある。固有抵抗の高さを部分的に補うため、ポリシリコン材料は、動作速度を許容可能な水準まで上昇させるために、広範囲に費用のかかるシリコン化合物プロセス(silicide process)を必要とすることが多い。

【0005】

このため、金ポリシリコン・ゲートに置き換えるものとして属ゲートが検討されている。金属ゲートは、ポリシリコン・ゲートの製造工程と同様の方法で製造される。図1Aに、金属ゲート構造の典型的な層構造を示す。最初に、ゲート酸化物層12が、基盤10の上に堆積される。障壁層14は、例えば、窒化チタン(TiN)から作られ、ゲート酸化物層12の上に形成される。障壁層14は、主として、トランジスタ構造の閾値電圧を決定する適切な仕事関数(working function)特性が得られるように選択される。障壁層はまた、後に形成される金属ゲートの粘着性を助ける。TiNは、物理蒸着法(PVD)など、従来の方法によって堆積できる。Ta₂N₅, TaSi_xN_y, WNなどの代替的材料もこの目的に使用できる。

【0006】

ついで、金属ゲート層16が障壁層14の上に形成される。金属ゲート層16の材料としてタンゲステンを示したが、他の材料を使用してもよい。タンゲステンは、物理蒸着法などの従来の方法によって堆積される。

【0007】

金属ゲート層16上にはSi₃N₄反射防止膜(Anti-Reflective Coating: ARC)18が形成される。ついで、このARC層18の上にキャップ層20が形成される。キャップ層20は、例えば、窒化シリコン(Si₃N₄)を含んでよい。反射防止膜18とキャップ層20は、ゲートを形成するのに使用される反応性イオン・エッチング加工の前に、ゲートのパターン形成を助ける。反射防止膜18, 20により、リソグラフィ工程における解像度が高められる。

【0008】

層12から20を基板10の上に堆積した後、ここで金属ゲートがエッチングされる。

10

20

30

40

50

これは、従来のパターン形成技術とエッチング技術によって達成する。タングステン層は通常、 SF_6/N_2 または $SF_6/Cl_2/N_2$ などのフッ素含有化学物質でエッチングされ、 WF_6 が主な生成物 (product) 活性種である。後者の化学物質は優れた特性をもたらした。後者の場合、最良の特性をもたらすように、適切な SF_6/Cl_2 比を選択できる。配合は、必要に応じて、 SF_6 よりも Cl_2 を多く含有してもよい。ゲート酸化物に損傷を与えることなく、タングステンをウエハ全体から除去するためには、エッチング液は、障壁層14のTiNに対し、十分な選択性を有することが好ましい。

このため、TiNは理想的には、タングステンのエッチングの間、エッチ・ストップ層として働く。理想的なエッチング工程を図1Bに示す。これは、異方性反応性イオン・エッチング工程による金属ゲート電極のパターン形成を示し、障壁層14においてTiNの上で止まる。しかし、この図は、TiNが実際には不十分なエッチ・ストップ層であることが判明しているため、理想的な図に過ぎない。図1Cに示すように、タングステンがウエハの残りから除去されるとき、ウエハのある部分ではTiNが完全にエッチングされて (図1Cの参照番号22で示す)、化学エッチングがゲート酸化物12を侵食する。

TiNは、 Cl_2 を含有するタングステン化学エッチングでエッチングされやすいので、このような現象が生じる。この結果、ゲート酸化物が、W化学エッチングからのFに晒されるか、またはTiNエッチングの過程で、 Cl ベースのTiN化学エッチングに晒されて、ともに結果的に、ゲート酸化物にダメージを与える。タングステン種 (species) からの光放射などによる終点モニタを使用して、Wフィルムが除去された時点でWエッチングの進行をストップしても、W膜の除去によるこの問題の解決が信頼できるものとはならない。終点を検出している間でもTiN薄膜のエッチングは急速に進行するからである。

このため、W終点が検出されたときに、たとえゲート酸化物に対して選択的なTiNエッチングが使用される場合でも、Wエッチング工程自体の間におけるTiNの侵食が、この方式を実際に信頼性の低いものにする。単にTiNの膜厚自体を増加することは、応力が増加して剥離の可能性を招くこと、および/またはシート抵抗が増加することから、非現実的である。タングステンのエッチング中に、TiNを完全にエッチングで除去することは、ゲート酸化物の劣化と歩留まりの減少を招く。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

TiNを種々のエッチ・ストップ材料に置き換えると、TiNの仕事関数に有害な影響を及ぼす可能性があり、また、これらのエッチ・ストップ材料は、TiNに望ましい粘着特性を示さないおそれがある。しかしながら、金属ゲートの仕事関数に有害な影響を及ぼさずに、適切にエッチ・ストップ層上でストップしてウエハ全域のゲート酸化物を保護する $Cl_2/SF_6/N_2$ 工程を用いて、タングステンのエッチングを可能するという改良された構造が要求されている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記その他の要求は、ウエハ上に金属ゲートを形成する方法を提供する本発明の実施例によって満足され、この方法は、基板上にゲート酸化物を形成する過程と、前記ゲート酸化物の上に第1金属層を形成する過程とからなる。第1金属層の少なくとも表面領域のエッチング選択性が大きくなる。第2金属層は、第1金属層の上に形成される。ついで、第2金属層がエッチングされて、金属ゲートを形成し、エッチングは、第1金属層の表面領域の上でストップする。

【0011】

本発明のある特定の実施例では、第1金属層はTiNからなり、エッチング選択比は、TiN内に金属種 (metal species) を注入することによって大きくなる。本発明のある特定の実施例では、この金属種は、W化学エッチング剤の性質に依存して、アルミニウムまたはタンタルからなる。W化学エッチング剤がFを豊富に含有する場合には、 AlF_3 蒸気圧が低いことから、エッチ・ストップ層として、アルミニウムを使用できる。

10

20

30

40

50

他方、W化学エッチング剤がClを豊富に含有する場合には、 TaF_5 、 WF_6 および $TiCl_4$ とは逆に、 $TaCl_5$ の蒸気圧が大幅に低いことから、この場合も結果としてエッチング速度が実質的に減速され、Wの除去が検出される時点でエッチングを終了することができる。TiNの表面領域は、注入された金属種を含有しており、金属種を含有していないTiNの領域に比べて、エッチング選択性が高い。このため、エッチング選択性は新たに層を追加することなく、かつ、TiNの仕事関数に大きな影響を及ぼすことなく改良される。

従って、タングステンのエッチングは、TiN層まで進んでこの層の上でストップし、これにより、エッチ・ストップ層の下にあるゲート酸化物と、第1金属層のTiNとを確実に保護する。同様の方式は、例えば、 TaN 、 $TaSiN$ またはWNが下層の金属ゲートとして使用されるときにも使用できる。これは、WエッチングのF成分が、ゲート酸化物のみならず、これらの材料を侵食しやすいからである。アルミニウムを注入した層を使用すると、 HBr 、 O_2 または N_2 などの適切な添加剤を入れた Cl_2 ベースのエッチングに切り換える機会を提供することになり、この場合、これらの材料のエッチング速度はかなり減速され、結果的に、ゲート酸化物材料の選択性が大きくなる。

【0012】

上記の要求は、本発明の別の実施例によっても満足され、これは、ゲート酸化物と、ゲート酸化物の上の第1金属層とからなる金属ゲート構造を提供する。第1金属層は、第1金属層の残りの領域よりもエッチング選択性が大きい表面領域を有する。第2金属層は、第1金属層の上にある。本発明のある特定の実施例では、第1金属層はTiNを含み、第2金属層はタングステンを含む。ある特定の実施例では、TiNは表面領域内に金属を注入し、この金属は一部の実施例ではタンタルからなり、他の実施例ではアルミニウムからなる。

【0013】

上記の必要性はまた、本発明のさらなる実施例によっても満足され、これは、下部領域と、金属不純物を入れた表面領域とを有するTiN層からなる金属ゲート構造を提供する。表面領域は、下部領域よりも、エッチング選択性が高い。タングステン・ゲートは、TiN層の上に設けられる。

【0014】

本発明の上記その他の特性、側面および利点は、添付図面と併せて、本発明の下記の詳細な説明からより明らかになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明は、金属ゲート構造の形成に関わる問題、特に、ウエハ全域におけるゲート酸化物の劣化を起こすおそれのある金属ゲートのエッチングに関わる問題に対処し、これらを解決する。これらおよびその他の問題は、一部分は、金属ゲートで現在使用されるTiNのエッチング選択性を大きくする本発明によって解決される。これは、本発明の実施例では、アルミニウムまたはタンタルなどの金属種を、TiNの表面領域に注入することによって達成される。金属ゲートのタングステンまたはその他の金属をエッチングするに際して、エッチング選択性が大きくなっている表面領域を有するTiNは、従来のTiNよりも、エッチングを適切にストップする。これは、エッチングがTiNを貫通して、ウエハ全域にわたりゲート酸化物が劣化するのを防止する。

TiNのエッチング選択性を大きくするように注入が採用されるので、別途にエッチ・ストップ層を追加することは不要で、従ってスタックの高さも実質的に変化しない。電氣的制約により、ゲート構造を形成するために、注入等の改変が行われていないTiN膜にある程度の厚みを持たせることが要求される場合、これによる、注入領域の膜厚が制限されることを補償するために、TiN層を従来よりも若干厚くすることが必要となる場合もある。改良されたTiN層は、十分なエッチ・ストップ機能を提供し、注入された金属種は、TiNの仕事関数に有害な影響を及ぼさない。注入された活性種はそれ自体、W化学エッチングに使用される以外の化学物質でエッチングが可能でなければならない。例えば

10

20

30

40

50

、A1は、Clベースの化学物質でエッチングでき、Taは、短いFベースのブレイクスルー(breakthrough)または長いClベースの過程によって除去できる。

【0016】

図2は、本発明の実施例による形成中の金属ゲート構造の一部分を表す。基板30は、従来の方法によりゲート酸化物層32を具備して設けられる。ゲート酸化物層32は、本発明の実施例では約15から30の膜厚を有する。第1金属層34は、ゲート酸化物層32の上に形成される。第1金属層34は、本発明のある特定の実施例ではTiNから構成できるが、他の金属を使用することもできる。TiNは、例えば、物理蒸着法などの従来の方法により堆積される。第1金属層34の膜厚は、本発明の実施例では約100から約200の間とすることができる。第1金属層34は、障壁層の役割を果たし、ある特定の実施例では粘着層の役割を果たす。従来技術では、TiN金属層が、エッチ・ストップ層の機能を果たした。しかし、未処理のTiNは、載置する金属ゲート層のエッチング中に、ウエハ全域に及ぶ下層のゲート酸化物を保護できないので、この機能が不十分であることが判明した。

10

【0017】

タングステンのエッチング中のエッチ・ストップ機能を改良し、ウエハ全域に及ぶ下層のゲート酸化物を保護するために、第1金属層34は、層34の少なくとも表面領域のエッチング選択性を改良するように処理される。図3に示すように、本発明は、金属不純物38を第1金属層34の少なくとも表面領域37の中に導入する。注入エネルギーに依存して、表面領域37は、第1金属層34を完全に貫通するほど伸びることができる。図に示すような、本発明の他の実施例では、表面領域37は、第1金属層34の一部分にしか伸びていない。このような実施例では、第1金属層34の下部領域35は、不純物をほとんどまたは全く含有しない。

20

【0018】

蒸気圧表およびその他の考慮要件をベースに、第1金属層34のTiNに導入される金属種38は、1つまたは複数の異なる金属とすることができる。金属種の候補には、アルミニウム、タンタル、銅および金が含まれる。これらの物質のうち、銅と金はトランジスタに有害な影響を与えるので、アルミニウムとタンタルが好ましい。アルミニウムは、通常の陰極温度(50)で安定した不揮発性フッ化物 AlF_3 を形成し、F含有のW化学エッチングを十分にストップできる。

30

塩化タンタルは、 TaF_5 および WF_6 に比べて蒸気圧が大幅に低く、 Cl_2 を豊富に含む $SF_6/Cl_2/N_2$ のタングステンの化学エッチングでは、エッチング速度をかなり低下できる。アルミニウムとタンタルは、第1金属層34では典型的な金属種として示されているが、他の材料または材料の組み合わせも、本発明の適用範囲を逸脱することなく使用できる。

【0019】

本発明のある特定の実施例では、イオン注入工程を使用して、第1金属層34の表面領域37内に金属種38を導入する。アルミニウムまたはタンタルの金属種の典型的なイオン注入工程では、約20-40 E10イオン/ cm^2 の間のビーム電流密度を使用する。ある特定の典型的な実施例では、1000 eV未満などの低い電力でイオンが注入される。典型的な電力は約100 eVである。これらの工程パラメータは典型的なものに過ぎず、第1金属層34の材料、注入される金属種38と、必要なエッチング選択性などと、当業者には既知の他のパラメータとに依存して変化する可能性がある。

40

【0020】

第1金属層34の表面領域37のエッチング選択性を大きくするための注入の使用は、金属ゲート・スタックの高さには影響を与えずに、第1金属層34のエッチ・ストップ機能を高め、第1金属層34におけるTiNの仕事関数にそれほど影響を与えない。

【0021】

図4を参照して、金属ゲート構造の残りが、第1金属層34の上に設けられる。これは、例えば、PVDにより堆積されたタングステンによって形成される金属ゲートを含む。

50

タングステンは、約500から約1,000の間の厚さまで、第2金属層38として堆積できる。タングステンは典型的な材料として記載されるが、他の金属または金属合金も、第2金属層38に使用できる。

【0022】

SiRN ARCなどの反射防止膜40が、第2金属層38に施される。ついで、キャップ層42が、ARC層40の上に形成される。ARC層40は約300から約1,000の間とすることができる。キャップ層42は、例えば、窒化シリコン(SiN)とすることができ、約300から約1,000の間とすることができる。層40とキャップ層42の反射防止膜は、金属ゲート構造のパターン形成を助ける。

【0023】

レジスト・マスクの形成とパターン形成後、金属ゲートがエッチングされ、その結果を図5に示す。反応性イオン・エッチング工程(異方性エッチング)が実施される。従来の方法のように、第2金属層38内のタングステンは、Cl₂/SF₆/N₂工程によってエッチングされるのが好ましく、これは現在、最良のタングステン特性を提供する。しかし、このような工程は、金属種38の注入前に、第1金属層34などの従来技術に係るTiN層上でストップすることが難しい。ウエハの一部におけるTiNが完全にエッチングされるといふ望ましくない現象が起こると、ゲート酸化物の劣化を招くことになる。

しかし、本発明により提供されるように、表面領域37内では、第1金属層34のTiNの改良されたエッチング選択性によって、ゲート酸化物層32に達してしまうような、意図に反するエッチングを防ぐことができる。このため、第1金属層34の表面領域37に達するまで、エッチング工程が進行する。注入種としてアルミニウムが使用される場合には、通常陰極温度(50)で安定した不揮発性であるAlF₃に富む層が形成されるので、エッチングが実際にストップする。

また、Cl₂を豊富に含むCl₂/SF₆/N₂タングステンの化学エッチング剤を使用するとともに注入種としてタンタルが使用される場合には、TaF₅またはWF₆に比べて、TaCl₅の蒸気圧が大幅に低いことから、エッチング速度がかなり減速する。これにより、下層のTiNの侵食が発生する前に、Wエッチングを終了できる。これによって、第1金属層34のTiNがエッチングにエッチングされてゲート酸化物層32内のゲート酸化物が劣化してしまうことが防止される。

【0024】

図6に示すように、ここでは異なる化学エッチングが使用されて、金属ゲートの第2金属層38の下部を除く領域内で、ゲート酸化物32上の第1金属層34を除去する。言い換えれば、第1金属層34は、金属ゲート構造内をのぞき、ウエハ全域でエッチングされる。しかし、エッチングは、ゲート酸化物の劣化を防ぐように正確に制御できる。第1金属層34のTiNをエッチングする適切な化学エッチングは、当業者には周知であり、適切に選択できる。

【0025】

図7は、キャップ層42と反射防止膜40が従来のエッチング技術によって除去された後の図6の金属ゲート構造を示す。これは、ゲート酸化物を有する金属ゲート構造、金属不純物が注入されたTiNのPVD層および金属ゲート層を残す。エッチング選択性が向上したTiN層は、金属ゲートのエッチング中、ウエハ全域のゲート酸化物を保護し、歩留まりを向上させる働きをする。同時に、金属ゲート・スタックの高さは変わらず、TiNの仕事関数も有害な影響を受けない。

本発明を詳細に説明し図に示してきたが、これは図示および例示目的であって、制限するものと解釈せず、本発明の範囲は、添付請求の範囲の請求項によってのみ限定されることを明確に理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1A】従来技術に係る金属ゲートのパターン形成前の金属ゲート・スタックの説明図

10

20

30

40

50

【図 1 B】従来技術による理想的なエッチング工程後の金属ゲートの説明図。

【図 1 C】従来技術の方法による実際のエッチング工程後の金属ゲートで、劣化したゲート酸化物の領域の説明図。

【図 2】本発明の一実施形態に係る金属ゲート形成中の金属ゲート構造の一部分の断面図。

【図 3】本発明の一実施形態に係る金属ゲート構造の第 1 金属層の表面領域の中にイオンを注入した後の図 2 の構造の説明図。

【図 4】本発明の一実施形態に係る金属ゲートと反射防止膜とを堆積後の図 3 の構造の説明図。

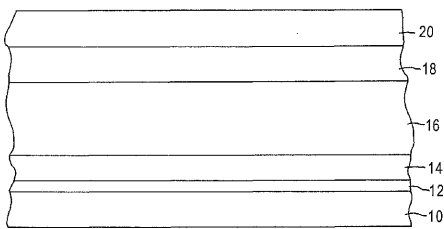
【図 5】本発明の一実施形態に係る金属ゲートと第 1 金属層とをエッチングするためにエッチングが実施された後の図 4 の構造の説明図。

【図 6】本発明の一実施形態に係る、第 1 金属層がウエハから除去された後の図 5 の金属ゲート構造の説明図。

【図 7】本発明の一実施形態により反射防止膜が除去された後の図 6 の金属ゲート構造の説明図。

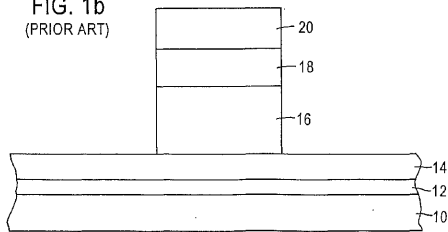
【図 1 a】

FIG. 1a
(PRIOR ART)



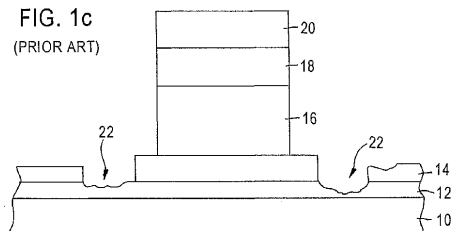
【図 1 b】

FIG. 1b
(PRIOR ART)



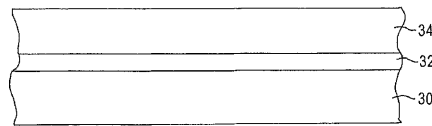
【図 1 c】

FIG. 1c
(PRIOR ART)



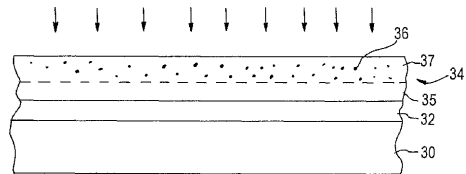
【図 2】

FIG. 2



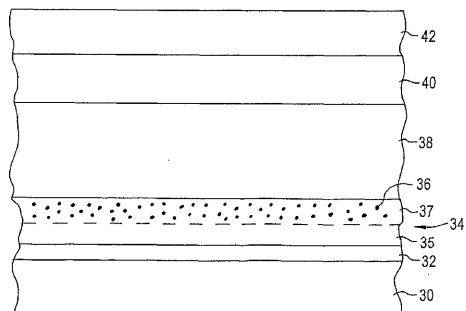
【図 3】

FIG. 3



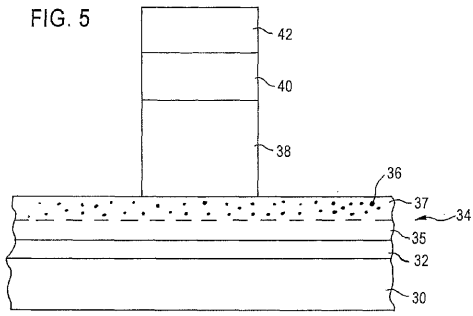
【図 4】

FIG. 4



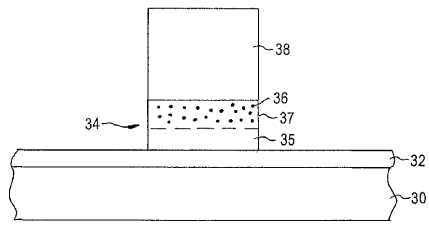
【 図 5 】

FIG. 5



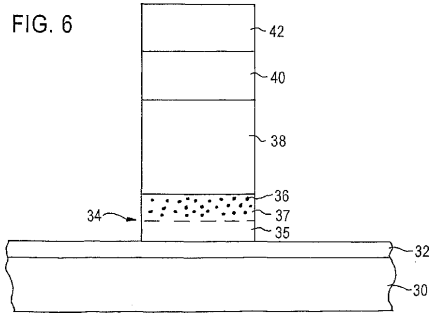
【 図 7 】

FIG. 7



【 図 6 】

FIG. 6



フロントページの続き

(74)代理人 100108604

弁理士 村松 義人

(72)発明者 ポール アール . ベセル

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94087、サニーベール、ヨークタウン ドライブ 1087

(72)発明者 スリカンテスワラ ダクシナ - マーシー

アメリカ合衆国、テキサス州 78759、オースティン、アパートメント 1423、ジョリービル ロード 10926

審査官 松嶋 秀忠

(56)参考文献 特開昭62-054960(JP,A)

特開2000-183339(JP,A)

特開平05-114573(JP,A)

特開平05-275541(JP,A)

特開昭59-113645(JP,A)

特開平10-247641(JP,A)

特開2000-133633(JP,A)

J.C.Hu et al., Feasibility of Using W/TiN as Metal Gate for Conventional 0.13 μ m CMOS Technology and beyond, IEDM'97, 1997年, pp.825-828

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/78

H01L 21/28

H01L 21/3065

H01L 29/423

H01L 29/49