

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5437237号
(P5437237)

(45) 発行日 平成26年3月12日(2014.3.12)

(24) 登録日 平成25年12月20日(2013.12.20)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A

請求項の数 18 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2010-513313 (P2010-513313)
 (86) (22) 出願日 平成20年6月2日 (2008.6.2)
 (65) 公表番号 特表2010-530643 (P2010-530643A)
 (43) 公表日 平成22年9月9日 (2010.9.9)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2008/065578
 (87) 國際公開番号 WO2008/157018
 (87) 國際公開日 平成20年12月24日 (2008.12.24)
 審査請求日 平成23年5月31日 (2011.5.31)
 (31) 優先権主張番号 11/820,334
 (32) 優先日 平成19年6月18日 (2007.6.18)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 592010081
 ラム・リサーチ コーポレーション
 LAM RESEARCH CORPORATION
 アメリカ合衆国、カリフォルニア 945
 38, フレモント, クッシング パークウ
 エイ 4650
 (74) 代理人 110000028
 特許業務法人明成国際特許事務所
 (72) 発明者 パンドゥムソボーン・タマラク
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州945
 38 フレモント, セネカ・パーク・ルー
 プ, 4985

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ディープシリコンエッチングにおけるマスクアンドカットの最小化

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコン層内に構造を形成するための方法であって、
 複数のマスク開口を伴うマスクを前記シリコン層の上に形成することと、
 前記マスクの上にポリマ層を堆積させることであって、
 C_4F_8 を含む水素フリー堆積ガスを流すことと、
 前記堆積ガスからプラズマを発生させることと、
 少なくとも 20 秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させることと、
 前記少なくとも 20 秒間の後に前記ポリマの堆積を停止させることと、
 を含む、ことと、

前記堆積ポリマ層を開口することであって、

開口ガスを流すことと、

前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマに対して前記複数のマスク開口の底
 面に堆積されたポリマを選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させること
 と、

前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させることと、

を含む、ことと、

前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通して前記シリコン層をエッチングすることと、
 を備え、

10

20

前記シリコン層の前記エッチングにより、前記堆積ポリマ層が完全に除去される、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記シリコン層をエッチングすることは、
エッチングガスを流すことと、
前記シリコン層をエッチングするプラズマを前記エッチングガスから発生させることと、
を含む、方法。

【請求項 3】

10

請求項 2 に記載の方法であって、
前記開口ガスは、前記エッチングガスと異なる、方法。

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の方法であって、
前記ポリマを堆積させること、前記堆積ポリマを開口すること、および前記シリコン層をエッチングすることは、1つのプラズマ処理チャンバ内において in - situ でなされる、方法。

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の方法であって、
前記マスクは、フォトレジストマスクである、方法。

20

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の方法であって、
前記堆積ガスは、主として C_4F_8 からなる、方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の方法であって、
前記堆積ポリマ層は、前記複数のマスク開口の側面において少なくとも 200 nm の厚さである、方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法であって、
前記複数のマスク開口の側面に堆積された前記少なくとも 200 nm の厚さのポリマは、アンダカットを解消する、方法。

30

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記ポリマを堆積させること、前記堆積ポリマを開口すること、および前記シリコン層をエッチングすることは、1つのプラズマ処理チャンバ内において in - situ でなされる、方法。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記マスクは、フォトレジストマスクである、方法。

【請求項 11】

40

請求項 1 に記載の方法であって、
前記堆積ガスは、主として C_4F_8 からなる、方法。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、
前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を除去することを備える方法。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記堆積ポリマ層は、前記複数のマスク開口の側面において少なくとも 200 nm の厚さである、方法。

【請求項 14】

50

請求項1 3に記載の方法であって、
前記複数のマスク開口の側面に堆積された前記少なくとも200nmの厚さのポリマは
、アンダカットを解消する、方法。

【請求項15】

シリコン層内に構造を形成するための方法であって、
複数のマスク開口を伴うマスクを前記シリコン層の上に形成することと、
前記シリコン層をプラズマ処理チャンバ内に置くことと、
ポリマ層を前記マスクの上に堆積させることであって、
主としてC₄F₈からなる水素フリー堆積ガスを前記プラズマ処理チャンバに流し込む
ことと、

10

前記堆積ガスからプラズマを発生させることと、
少なくとも200nmの厚さの層を形成するために、少なくとも20秒間にわたって
前記プラズマからポリマを堆積させることと、
前記少なくとも20秒間の後に、前記ポリマの堆積を停止させることと、
を含む、ことと、
前記堆積ポリマ層を開口することであって、

開口ガスを前記プラズマ処理チャンバに流し込むことと、
前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマに対して前記複数のマスク開口の底
面に堆積されたポリマを選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させること
と、

20

前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させることと、
を含む、ことと、

前記シリコン層を前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通してエッチングすることであ
って、

前記開口ガスと異なるエッティングガスを流すことと、
前記シリコン層をエッティングするプラズマを前記エッティングガスから発生させること
であって、前記堆積ポリマ層は、前記フォトレジストの下の前記シリコン層のアンダカッ
トを防ぐ、ことと、
を含む、ことと、

30

前記シリコン層を前記プラズマ処理チャンバから取り出すことと、を備え、
前記シリコン層の前記エッティングにより、前記堆積ポリマ層が完全に除去される、方法
。

【請求項16】

請求項1 5に記載の方法であって、
前記マスクは、フォトレジストマスクである、方法。

【請求項17】

開口を伴うマスクの下のシリコン層内に構造をエッティングするための装置であって、
プラズマ処理チャンバであって、

プラズマ処理チャンバの外周部を形成するチャンバ壁と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部内において基板を支えるための基板サポートと、
前記プラズマ処理チャンバの外周部内における圧力を調整するための圧力調整器と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部に電力を提供するための上側電極と、
下側電極と、

40

前記上側電極に電気的に接続された第1のRF電力源と、
前記下側電極に電気的に接続された第2のRF電力源と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部内にガスを提供するためのガス入口と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部からガスを排出させるためのガス出口と、を含む
、プラズマ処理チャンバと、

前記ガス入口に流体接続されたガス源であって、

50

水素フリー C₄F₈堆積ガス源と、
開口ガス源と、
エッ칭ガス源と、を含む、ガス源と、
前記ガス源、前記第1のRF電力源、および前記第2のRF電力源に制御式に接続されたコントローラであって、
少なくとも1つのプロセッサと、
コンピュータ可読媒体と、を含むコントローラと、を備え、
前記コンピュータ可読媒体は、
前記マスクの上にポリマ層を堆積させるためのコンピュータ可読コードと、
前記堆積ポリマ層を開口するためのコンピュータ可読コードと、
前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通して前記シリコン層をエッ칭するためのコンピュータ可読コードと、を含み、
前記マスクの上に前記ポリマ層を堆積させるための前記コンピュータ可読コードは、
C₄F₈を含む水素フリー堆積ガスを、前記水素フリー C₄F₈堆積ガス源から、前記プラズマ処理チャンバに流し込むためのコンピュータ可読コードと、
前記堆積ガスからプラズマを発生させるためのコンピュータ可読コードと、
少なくとも20秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させるためのコンピュータ可読コードと、
前記少なくとも20秒間の後に、前記ポリマの堆積を停止させるためのコンピュータ可読コードと、を含み、
前記堆積ポリマ層を開口するための前記コンピュータ可読コードは、
開口ガスを、前記開口ガス源から、前記プラズマ処理チャンバに流し込むためのコンピュータ可読コードと、
前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマに対して、前記複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを、選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させるためのコンピュータ可読コードと、
前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させるためのコンピュータ可読コードと、を含み、
前記シリコン層をエッ칭するための前記コンピュータ可読コードは、
前記シリコン層の前記エッ칭により、前記堆積ポリマ層を完全に除去するためのコンピュータ可読コードを含む、装置。

【請求項18】
請求項1ないし14のいずれかに記載の方法であって、
前記複数のマスク開口の前記側面の前記堆積ポリマ層は、アンダカットを解消する、方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【0001】
本発明は、半導体デバイスの形成に関するものである。
【背景技術】
【0002】
半導体ウエハ処理時は、周知のパターン化プロセスおよびエッ칭プロセスを使用して、ウエハ内に半導体デバイスの構造が定められる。これらのプロセスでは、フォトレジスト(PR)材料がウエハ上に堆積され、次いで、レチクルによるフィルタリングを経た光に曝される。レチクルは、縦じて、レチクルを通した光の伝搬を阻む典型的な構造の形態でパターン化されたガラス板である。
【0003】
レチクルを通過した後、光は、フォトレジスト材料の表面に接触する。光は、現像液によるフォトレジスト材料の部分的除去が可能になるように、フォトレジスト材料の化学組成を変化させる。ポジ型フォトレジスト材料の場合は、露光領域が除去され、ネガ型フォ

10

20

30

40

50

トレジスト材料の場合は、非露光領域が除去される。その後、ウエハは、フォトレジスト材料によって保護されなくなった領域から下位の材料を除去するためにエッチングされ、そして、ウエハ内に所望の構造を定める。

【0004】

様々な世代のフォトレジストが知られている。深紫外線(DUV)フォトレジストは、 248 nm の光によって露光される。理解を促すため、図1Aは、シリコンエッチング層108の上のフォトレジストマスク112の概略断面図である。フォトレジストマスク112は、マスク開口122を有する。シリコンエッチング層108は、1枚もしくは2枚以上の層を介在させて基板104の上にあってもよいし、またはそれ自体がシリコン基板であってもよい。図1Bは、シリコンエッチング層108内に構造をエッチングされた後における、フォトレジストマスク112およびシリコンエッチング層108の概略断面図である。エッチングプロセスは、マスクアンダカット116を発生させ、結果得られるシリコンラインを当初のマスクよりも薄くする。アンダカットは、エッチングが深いほど深刻になることが判明している。10

【発明の概要】

【0005】

以上を実現するため、そして本発明の目的にしたがって、シリコン層内に構造を形成するための方法が提供される。シリコン層の上に、複数のマスク開口を伴うマスクが形成される。 C_4F_8 を含む水素フリー堆積ガスを流すこと、堆積ガスからプラズマを発生させること、少なくとも20秒間にわたってプラズマからポリマを堆積させること、および少なくとも20秒間の後にポリマの堆積を停止させることによって、マスクの上にポリマ層が堆積される。開口ガスを流すこと、複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマについて選択的に除去するプラズマを開口ガスから発生させること、および複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに開口を停止させることによって、堆積ポリマ層は、開口される。シリコン層は、マスクおよび堆積ポリマ層を通してエッチングされる。20

また、以上を実現するために、一形態としてシリコン層内に構造を形成するための方法が提供される。

この方法は、複数のマスク開口を伴うマスクを前記シリコン層の上に形成することと、前記マスクの上にポリマ層を堆積させることであって、

C_4F_8 を含む水素フリー堆積ガスを流すことと、

前記堆積ガスからプラズマを発生させることと、

少なくとも20秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させることと、

前記少なくとも20秒間の後に前記ポリマの堆積を停止させることと、

を含む、ことと、

前記堆積ポリマ層を開口することであって、

開口ガスを流すことと、

前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマに対して前記複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させることと、40

前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させることと、

を含む、ことと、

前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通して前記シリコン層をエッチングすることと、を備え、

前記シリコン層の前記エッチングにより、前記堆積ポリマ層が完全に除去される、方法である。

また、以上を実現するために、他の一形態としてシリコン層内に構造を形成するための方法が提供される。

この方法は、複数のマスク開口を伴うマスクを前記シリコン層の上に形成することと、50

前記シリコン層をプラズマ処理チャンバ内に置くことと、
 ポリマ層を前記マスクの上に堆積させることであって、
主として C_4F_8 からなる水素フリー堆積ガスを前記プラズマ処理チャンバに流し込むこと、
前記堆積ガスからプラズマを発生させることと、
少なくとも 200 nm の厚さの層を形成するために、少なくとも 20 秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させることと、
前記少なくとも 20 秒間の後に、前記ポリマの堆積を停止させることと、
を含む、ことと、
前記堆積ポリマ層を開口することであって、
開口ガスを前記プラズマ処理チャンバに流し込むことと、
前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマに対して前記複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させることと、
前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させることと、
を含む、ことと、
前記シリコン層を前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通してエッチングすることであって、
前記開口ガスと異なるエッティングガスを流すことと、
前記シリコン層をエッティングするプラズマを前記エッティングガスから発生させることであって、前記堆積ポリマ層は、前記フォトレジストの下の前記シリコン層のアンダカットを防ぐ、ことと、
を含む、ことと、
前記シリコン層を前記プラズマ処理チャンバから取り出すことと、を備え、
前記シリコン層の前記エッティングにより、前記堆積ポリマ層が完全に除去される、方法である。
また、以上を実現するために、他の一形態として開口を伴うマスクの下のシリコン層内に構造をエッティングするための装置が提供される。
 この装置は、プラズマ処理チャンバであって、
プラズマ処理チャンバの外周部を形成するチャンバ壁と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部内において基板を支えるための基板サポートと、
前記プラズマ処理チャンバの外周部内における圧力を調整するための圧力調整器と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部に電力を提供するための上側電極と、
下側電極と、
前記上側電極に電気的に接続された第 1 の RF 電力源と、
前記下側電極に電気的に接続された第 2 の RF 電力源と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部内にガスを提供するためのガス入口と、
前記プラズマ処理チャンバの外周部からガスを排出させるためのガス出口と、
を含む、
、
、
前記ガス入口に流体接続されたガス源であって、
水素フリー C_4F_8 堆積ガス源と、
開口ガス源と、
エッティングガス源と、
を含む、ガス源と、
前記ガス源、前記第 1 の RF 電力源、および前記第 2 の RF 電力源に制御式に接続されたコントローラであって、
少なくとも 1 つのプロセッサと、
コンピュータ可読媒体と、
を含むコントローラと、
を備え、
前記コンピュータ可読媒体は、
前記マスクの上にポリマ層を堆積させるためのコンピュータ可読コードと、

10

20

30

40

50

前記堆積ポリマ層を開口するためのコンピュータ可読コードと、

前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通して前記シリコン層をエッティングするためのコンピュータ可読コードと、を含み、

前記マスクの上に前記ポリマ層を堆積させるための前記コンピュータ可読コードは、
 C_4F_8 を含む水素フリー堆積ガスを、前記水素フリー C_4F_8 堆積ガス源から、前記
プラズマ処理チャンバに流し込むためのコンピュータ可読コードと、

前記堆積ガスからプラズマを発生させるためのコンピュータ可読コードと、
少なくとも20秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させるためのコンピ
ュータ可読コードと、

前記少なくとも20秒間の後に、前記ポリマの堆積を停止させるためのコンピュー
タ可読コードと、を含み、

前記堆積ポリマ層を開口するための前記コンピュータ可読コードは、
開口ガスを、前記開口ガス源から、前記プラズマ処理チャンバに流し込むためのコ
ンピュータ可読コードと、

前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマに対して、前記複数のマスク開口
の底面に堆積されたポリマを、選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させ
るためのコンピュータ可読コードと、

前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させ
るためのコンピュータ可読コードと、を含み、

前記シリコン層をエッティングするための前記コンピュータ可読コードは、
前記シリコン層の前記エッティングにより、前記堆積ポリマ層を完全に除去するため
のコンピュータ可読コードを含む、装置である。

【0006】

本発明の別の一顕現では、シリコン層内に構造を形成するための方法が提供される。シリコン層の上に、複数のマスク開口を伴うマスクが形成される。シリコン層は、プラズマ処理チャンバ内に置かれる。主として C_4F_8 からなる水素フリー堆積ガスをプラズマ処理チャンバに流し込むこと、堆積ガスからプラズマを発生させること、少なくとも200nmの厚さの層を形成するために少なくとも20秒間にわたってプラズマからポリマを堆積させること、および少なくとも20秒間の後にポリマの堆積を停止させることによって、マスクの上にポリマ層が堆積される。開口ガスをプラズマ処理チャンバに流し込むこと、複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマについて選択的に除去するプラズマを開口ガスから発生させること、および複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに開口を停止させることによって、堆積ポリマ層は、開口される。開口ガスと異なるエッティングガスを流すこと、およびシリコン層をエッティングするプラズマをエッティングガスから発生させることであって、堆積ポリマ層は、フォトレジストの下のシリコン層のアンダカットを防ぐ、ことによって、シリコン層は、マスクおよび堆積ポリマ層を通してエッティングされる。シリコン層は、プラズマ処理チャンバから取り出される。

【0007】

本発明の別の一顕現では、開口を伴うマスクの下のシリコン層内に構造をエッティングするための装置が提供される。プラズマ処理チャンバが提供される。該プラズマ処理チャンバは、プラズマ処理チャンバの外周部を形成するチャンバ壁と、プラズマ処理チャンバの外周部内において基板を支えるための基板サポートと、プラズマ処理チャンバの外周部内における圧力を調整するための圧力調整器と、プラズマ処理チャンバの外周部に電力を提供するための上側電極と、電力を提供するための下側電極と、上側電極に電気的に接続された第1のRF電力源と、下側電極に電気的に接続された第2のRF電力源と、プラズマ処理チャンバの外周部内にガスを提供するためのガス入口と、プラズマ処理チャンバの外周部からガスを排出させるためのガス出口とを含む。ガス入口に、ガス源が流体接続されており、該ガス源は、水素フリー C_4F_8 堆積ガス源と、開口ガス源と、エッティングガス源とを含む。ガス源、第1のRF電力源、および第2のRF電力源に、コントローラが制御

10

20

30

40

50

式に接続されており、該コントローラは、少なくとも1つのプロセッサと、コンピュータ可読媒体とを含む。コンピュータ可読媒体は、マスクの上にポリマ層を堆積させるためのコンピュータ可読コードであって、 C_4F_8 を含む水素フリー堆積ガスを水素フリー C_4F_8 堆積ガス源からプラズマ処理チャンバに流し込むためのコンピュータ可読コードと、堆積ガスからプラズマを発生させるためのコンピュータ可読コードと、少なくとも20秒間にわたってプラズマからポリマを堆積させるためのコンピュータ可読コードと、少なくとも20秒間の後にポリマの堆積を停止させるためのコンピュータ可読コードとを含むコンピュータ可読コードと、堆積ポリマ層を開口するためのコンピュータ可読コードであって、開口ガスを開口ガス源からプラズマ処理チャンバに流し込むためのコンピュータ可読コードと、複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマについて選択的に除去するプラズマを開口ガスから発生させるためのコンピュータ可読コードと、複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに開口を停止させるためのコンピュータ可読コードとを含むコンピュータ可読コードと、マスクおよび堆積ポリマ層を通してシリコン層をエッチングするためのコンピュータ可読コードとを含む。

【0008】

本発明のこれらの特徴およびその他の特徴は、本発明の詳細な説明において、添付の図面との関連のもとでさらに詳しく後述される。

【0009】

本発明は、限定目的ではなく例示目的で添付の図面に示されている。図中、類似の参考符号は、類似の要素を示すものとする。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1A】先行技術にしたがって形成される構造の概略断面図である。

【図1B】先行技術にしたがって形成される構造の概略断面図である。

【図2】本発明の一実施形態において使用されえるプロセスのハイレベルフローチャートである。

【図3】本発明を実施するにあたって使用されえるプラズマ処理チャンバの概略図である。

【図4A】本発明の実施形態において使用されるコントローラを実装するのに適したコンピュータシステムを図示している。

【図4B】本発明の実施形態において使用されるコントローラを実装するのに適したコンピュータシステムを図示している。

【図5A】本発明の一実施形態にしたがって処理されるスタックの概略断面図である。

【図5B】本発明の一実施形態にしたがって処理されるスタックの概略断面図である。

【図5C】本発明の一実施形態にしたがって処理されるスタックの概略断面図である。

【図5D】本発明の一実施形態にしたがって処理されるスタックの概略断面図である。

【図6】水素フリー堆積についての、より詳細なフローチャートである。

【図7】堆積層を開口することについての、より詳細なフローチャートである。

【図8】シリコン層をエッチングすることについての、より詳細なフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明は、添付の図面に示されている幾つかの好ましい実施形態を参照にして詳細に説明される。以下の説明では、本発明の完全な理解を可能にするために、多くの詳細が特定されている。しかしながら、当業者に明らかのように、本発明は、これらの一部または全部の詳細を特定しなくても実施されれる。また、本発明を必要に不明瞭にするのを避けるために、周知のプロセス工程および/または構造の詳細な説明は省かれている。

【0012】

理解を促進するため、図2は、本発明の一実施形態において使用されえるプロセスのハイレベルフローチャートである。エッチングされるシリコン層の上に、マスクが形成され

10

20

30

40

50

る（工程 204）。シリコン層は、ポリシリコン、シリコンウエハなどの結晶シリコン、または非晶質シリコンであってよい。シリコン層は、総じて純粋なシリコンであってよく、ドーパントを含みえる。シリコン層は、その上面に自然に形成されれる薄いシリコン酸化物層を有してよいが、層自体は、シリコン酸化物でもシリコン窒化物でもない。水素フリー堆積ガスを使用して、マスクの上にポリマが堆積される（工程 208）。このような水素フリー堆積ガスでは、水素フリー堆積ガスを構成しているどの分子も、一切水素を有していない。堆積層は、開口される（工程 212）。シリコン層は、エッティングされる（工程 216）。

【0013】

実施例

10

本発明の一実装形態の一実施例において、図3は、本発明の一実装形態において使用されれる処理ツールを図示している。図3は、プラズマ処理ツール301を含むプラズマ処理システム300の概略図である。プラズマ処理ツール301は、誘導結合プラズマエッティングツールであり、プラズマ処理チャンバ304を中に有するプラズマリアクタ302を含む。トランス結合電力（TCP）コントローラ350およびバイアス電力コントローラ355は、それぞれ、TCP電力供給351およびバイアス電力供給356を制御し、プラズマチャンバ304内に形成されるプラズマ324に影響を及ぼす。

【0014】

TCP電力コントローラ350は、13.56MHzの高周波信号を供給するように構成されたTCP電力供給351に対して設定点を設定する。高周波信号は、TCP整合回路網352による調整を経て、プラズマチャンバ304の近くに位置するTCPコイル353に供給される。TCPコイル353からプラズマチャンバ304へのエネルギーの引き渡しを可能にしつつTCPコイル353をプラズマチャンバ304から隔てるために、RF透明窓354が提供される。

20

【0015】

バイアス電力コントローラ355は、RF信号を供給するように構成されたバイアス電極供給356に対して設定点を設定する。RF信号は、バイアス整合回路網357による調整を経て、プラズマチャンバ304内に位置するチャック電極308に供給され、処理されている半導体ウエハワーカピースなどの基板306を受け取るように適応された電極308の上方に、直流（DC）バイアスを形成する。

30

【0016】

ガス供給メカニズム、即ちガス源310は、プロセスに必要とされる適切なケミストリをプラズマチャンバ304の内部に供給するためにガスマニホールド317を通じて取り付けられた1つまたは2つ以上のガス源を含む。ガス排出メカニズム318は、圧力制御弁319および排出ポンプ320を含み、プラズマチャンバ304内から粒子を除去するとともにプラズマチャンバ304内を特定の圧力に維持する。

【0017】

温度コントローラ380は、冷却電力供給384を制御することによって、チャック電極308内に設けられた冷却再循環システムの温度を制御する。プラズマ処理システムは、また、電子制御回路370も含む。プラズマ処理システムは、また、終点検出器も有していてよい。

40

【0018】

図4Aおよび図4Bは、本発明の実施形態において使用される制御回路370用のコントローラを実装するのに適したコンピュータシステム400を図示している。図4Aは、コンピュータシステムとして可能な1つの物理的形態を示している。もちろん、コンピュータシステムは、集積回路、プリント回路基板、および小型携帯端末から巨大スーパーコンピュータに到る多くの物理的形態をとりえる。コンピュータシステム400は、モニタ402、ディスプレイ404、筐体406、ディスクドライブ408、キーボード410、およびマウス412を含む。ディスク414は、コンピュータシステム400との間でデータをやりとりするために使用されるコンピュータ可読媒体である。

50

【0019】

図4Bは、コンピュータシステム400のブロック図の一例である。システムバス420には、種々様々なサブシステムが取り付けられる。(1つまたは2つ以上の)プロセッサ422(中央演算処理装置、即ちCPUとも称される)は、メモリ424を含むストレージデバイスに接続される。メモリ424は、ランダムアクセスメモリ(RAM)および読み出し専用メモリ(ROM)を含む。当該分野において周知のように、ROMは、CPUに対してデータおよび命令を単方向的に伝送する働きをし、RAMは、通常、データおよび命令を双方向的に伝送するために使用される。これらのメモリは、いずれのタイプも、後述される任意の適切なコンピュータ可読媒体を含みえる。CPU422には、固定ディスク426も双方向的に接続され、これは、追加のデータストレージ容量を提供し、やはり、後述される任意のコンピュータ可読媒体を含みえる。固定ディスク426は、プログラムやデータなどを格納するために使用されてよく、通常は、一次ストレージより低速な二次ストレージ媒体(ハードディスクなど)である。なお、固定ディスク426内に保持される情報は、もし適切であれば、メモリ424内の仮想メモリとして標準的な形で組み入れられてよいことがわかる。取り外し可能ディスク414は、後述される任意のコンピュータ可読媒体の形態をとりえる。

【0020】

CPU422は、ディスプレイ404、キーボード410、マウス412、およびスピーカ430などの様々な入出力デバイスにも接続される。総じて、入出力デバイスは、ビデオディスプレイ、トラックボール、マウス、キーボード、マイクロフォン、タッチセンサ式ディスプレイ、トランスデューサカード読み取り装置、磁気テープもしくは紙テープ読み取り装置、タブレット、スタイルス、音声もしくは手書き文字認識装置、バイオメトリック読み取り装置、またはその他のコンピュータのうちの任意であってよい。CPU422は、ネットワークインターフェース440を使用して、別のコンピュータまたは通信ネットワークに随意に接続されてよい。このようなネットワークインターフェースがあれば、CPUは、上述された方法の工程を実施する過程において、ネットワークから情報を受信可能である、またはネットワークに情報を出力可能であると考えられる。さらに、本発明の方法の実施形態は、CPU422上のみで実行されるか、または処理の一部を共有するリモートCPUと連携してインターネットなどのネットワークを通じて実行されるかしてよい。

【0021】

また、本発明の実施形態は、さらに、様々なコンピュータ実行動作を実施するためのコンピュータコードを記録されたコンピュータ可読媒体を伴うコンピュータストレージ製品に関する。媒体およびコンピュータコードは、本発明の目的のために特別に設計および構成されたものか、またはコンピュータソフトウェア分野の当業者にとって周知で尚且つ利用可能なものであってよい。コンピュータ可読媒体の例は、ハードディスク、フロッピーディスク、および磁気テープなどの磁気媒体、CD-ROMおよびホログラフィックデバイスなどの光媒体、フロバティカルディスクなどの光磁気媒体、ならびに特定用途向け集積回路(ASSIC)、プログラム可能論理デバイス(PLD)、ROMデバイス、およびRAMデバイスなどプログラムコードの格納および実行のために特別に構成されたハードウェアデバイスを含むが、これらに限定されない。コンピュータコードの例は、コンパイラによって生成されるなどのマシンコード、およびインタープリタを使用してコンピュータによって実行される高水準コードを含むファイルを含む。コンピュータ可読媒体は、搬送波に組み込まれたコンピュータデータ信号によって伝送され尚且つプロセッサによって実行可能な一連の命令を表すコンピュータコードであってもよい。

【0022】

シリコン層の上に、マスクが形成される(工程204)。図5Aは、シリコンエッチング層504の概略断面図である。この例では、シリコンエッチング層は、結晶シリコンウェハであり、基板を形成している。この例では、マスク512は、フォトレジストマスクであり、堆積され、次いで、マスク512内に開口522を形成するべくパターン化され

ている。その他の例では、マスクは、その他の材料であってよく、例えばハードマスクを形成するために使用されるシリコン酸化物などであってよい。ハードマスクを形成するために、フォトレジストマスクが形成されてよい。ウェハは、プラズマ処理システム300内に置かれる。

【0023】

マスクの上に、水素フリー堆積層が形成される（工程208）。図5Bは、マスク512の上に堆積層516が形成された後の図である。図6は、水素フリー堆積層の形成についての、より詳細なフローチャートである。C₄F₈を含む水素フリー堆積ガスが、ガス源316からプラズマ処理ツール301に流し込まれる（工程604）。レシピ例では、堆積ガスは、純粋なC₄F₈からなる。この例では、堆積ガスは、100sccmのC₄F₈である。堆積ガスは、堆積プラズマに変換される（工程608）。この例では、堆積ガスをプラズマに変換するために、13.56MHzで900ワットの電力が上部電極に提供され、400KHzで-65ボルトが底部電極に提供される。堆積は、約30秒間にわたってなされる。次いで、ポリマ層の堆積は、停止される（工程612）。90ミリトルルの圧力が維持される。

【0024】

好ましくは、堆積は、少なくとも20秒間にわたってなされる。より好ましくは、堆積は、少なくとも25秒間にわたってなされる。最も好ましくは、堆積は、少なくとも30秒間にわたってなされる。好ましくは、堆積層は、側壁に少なくとも200nmの厚さで堆積される。より好ましくは、堆積層は、側壁に少なくとも300nmの厚さで堆積される。

【0025】

堆積ガスは、水素フリーでない場合の堆積と比べて特性を改善された堆積層を提供するために、水素フリー堆積である。この例では、堆積ガスは、結果得られる堆積層の特性が改善されるゆえに、純粋なC₄F₈である。

【0026】

堆積層は、開口される（工程212）。図5Cは、堆積層が開口された後の図である。この例では、開口プロセスは、水平面上にある部分の堆積層を除去し、堆積層によって形成された側壁520のみが残される。図7は、堆積層を開口することについての、より詳細なフローチャートである。ガス源316からプラズマ処理ツール301に、開口ガスが流し込まれる（工程704）。この例では、開口ガスは、30sccmのSF₆である。開口ガスは、開口プラズマに変換される（工程708）。この例では、開口ガスをプラズマに変換するために、13.56MHzで600ワットの電力が上部電極に提供され、400KHzで-150ボルトが底部電極に提供される。開口は、約15秒間にわたってなされる。開口プロセスは、次いで、停止される（工程712）。圧力は、30ミリトルルに設定される。

【0027】

その他の開口ガスは、CF₄とAr、またはO₂とAr、またはSF₆とArを含んでよい。

【0028】

シリコン層は、エッティングされる（工程216）。図5Dは、シリコンエッティングが実施された後の図である。シリコン層504内に、構造524がエッティングされている。この例では、堆積層は、エッティングによって完全に除去されている。その他の例では、堆積層の一部が残っていてよい。また、この例では、フォトレジストマスク512の一部も残っている。その他の例では、フォトレジストマスクは、エッティングによって完全に除去されていてよい。もし完全に除去されていないならば、堆積層およびマスクは、引き続き除去される。示されるように、この例は、アンダカットを低減するまたはより好ましくは解消することが予期せずして判明している。

【0029】

図8は、エッティングプロセスの一例についての、より詳細なフローチャートである。ガ

10

20

30

40

50

ス源 316 からプラズマ処理ツール 301 に、エッティングガスが流し込まれる（工程 804）。この例では、エッティングガスは、200 sccm の CF₄ である。エッティングガスは、エッティングプラズマに変換される（工程 808）。この例では、エッティングガスをプラズマに変換するために、13.56 MHz で 600 ワットの電力が上部電極に提供され、400 kHz で -200 ボルトが底部電極に提供される。エッティングは、約 20 秒間にわたってなされる。エッティングプロセスは、次いで、停止される（工程 812）。

【0030】

その他の例では、短期間のエッティング工程と堆積工程との組み合わせが使用されてよい。このような短期間の堆積工程は、堆積をなされるのが 10 秒未満である。複数のエッティングプロセスおよび堆積プロセスは、特に堆積が 10 秒を超えてなされる場合に、鉛直ではなく階段状のプロファイルを形成すると考えられる。10

【0031】

エッティングガスケミストリは、一部の例では開口ガスケミストリと同じであってよいが、パラメータの持つ 1 つまたは 2 つ以上の相違ゆえに、エッティングガスからのプラズマは、開口ガスからのプラズマとは異なる。エッティングガスケミストリが、シリコンのエッティングに使用される一方で、開口ガスは、ポリマ堆積層の開口に使用されるので、より好ましくは、エッティングガスケミストリは、開口ガスケミストリと異なる。

【0032】

好ましくは、シリコンの構造は、少なくとも 500 nm の深さを有する。より好ましくは、シリコンの構造は、少なくとも 1000 nm の深さを有する。好ましくは、シリコンの構造は、少なくとも 5 : 1 の深さ対幅のアスペクト比を有する。より好ましくは、シリコンの構造は、少なくとも 10 : 1 のアスペクト比を有する。20

【0033】

堆積時における水素の存在は、望ましくない種類のポリマを堆積させることが判明している。

【0034】

アンダカットを解消することに加えて、このプロセスは、エッティングプロファイルの制御を向上させるとともに、より迅速な処理を可能にすることが、予期せずして判明している。

【0035】

本発明は、堆積層を形成すること、堆積層を開口すること、およびシリコンをエッティングすることが、1 つのプラズマ処理チャンバ内において in-situ でなされることも可能にする。

【0036】

本発明は、幾つかの好ましい実施形態の観点から説明されているが、本発明の範囲に含まれるものとして、代替、置き換え、変更、および代わりとなる各種の等価の形態がある。また、本発明の方法および装置を実現する多くの代替方法があることも、留意されるべきである。したがって、以下の特許請求の範囲は、本発明の真の趣旨および範囲に含まれるものとして、このようなあらゆる代替、置き換え、変更、および代わりとなる各種の等価な形態を含むものと解釈されることを意図している。40

例えれば、本発明は以下の形態を含む。

[形態 1]

シリコン層内に構造を形成するための方法であって、

複数のマスク開口を伴うマスクを前記シリコン層の上に形成することと、

前記マスクの上にポリマ層を堆積させることであって、

C₄F₈ を含む水素フリー堆積ガスを流すことと、

前記堆積ガスからプラズマを発生させることと、

少なくとも 20 秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させることと、

前記少なくとも 20 秒間の後に前記ポリマの堆積を停止させることと、

を含む、ことと、

10

20

30

40

50

前記堆積ポリマ層を開口することであって、

開口ガスを流すことと、

前記複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマについて選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させることと、

前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させることと、

を含む、ことと、

前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通して前記シリコン層をエッティングすることと、
を備える方法。

10

[形態2]

形態1に記載の方法であって、

前記シリコン層をエッティングすることは、

エッティングガスを流すことと、

前記シリコン層をエッティングするプラズマを前記エッティングガスから発生させることと、

を含む、方法。

[形態3]

形態2に記載の方法であって、

前記開口ガスは、前記エッティングガスと異なる、方法。

20

[形態4]

形態1ないし3のいずれかに記載の方法であって、

前記ポリマを堆積させること、前記堆積ポリマを開口すること、および前記シリコン層をエッティングすることは、1つのプラズマ処理チャンバ内においてin-situでなされる、方法。

[形態5]

形態1ないし4のいずれかに記載の方法であって、

前記マスクは、フォトレジストマスクである、方法。

30

[形態6]

形態1ないし5のいずれかに記載の方法であって、

前記堆積ガスは、主としてC₄F₈からなる、方法。

[形態7]

形態1ないし6のいずれかに記載の方法であって、さらに、

前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を除去することを備える方法。

[形態8]

形態7に記載の方法であって、

前記堆積ポリマ層は、前記複数のマスク開口の側面において少なくとも200nmの厚さである、方法。

[形態9]

形態8に記載の方法であって、

前記複数のマスク開口の側面に堆積された前記少なくとも200nmの厚さのポリマは、アンダカットを解消する、方法。

40

[形態10]

形態1に記載の方法であって、

前記ポリマを堆積させること、前記堆積ポリマを開口すること、および前記シリコン層をエッティングすることは、1つのプラズマ処理チャンバ内においてin-situでなされる、方法。

[形態11]

形態1に記載の方法であって、

前記マスクは、フォトレジストマスクである、方法。

50

[形態12]形態1に記載の方法であって、前記堆積ガスは、主としてC₄F₈からなる、方法。[形態13]形態1に記載の方法であって、さらに、前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を除去することを備える方法。[形態14]形態1に記載の方法であって、前記堆積ポリマ層は、前記複数のマスク開口の側面において少なくとも200nmの厚さである。方法。

10

[形態15]形態14に記載の方法であって、前記複数のマスク開口の側面に堆積された前記少なくとも200nmの厚さのポリマは、アンダカットを解消する、方法。[形態16]シリコン層内に構造を形成するための方法であって、複数のマスク開口を伴うマスクを前記シリコン層の上に形成することと、前記シリコン層をプラズマ処理チャンバ内に置くことと、ポリマ層を前記マスクの上に堆積させることであって、主としてC₄F₈からなる水素フリー堆積ガスを前記プラズマ処理チャンバに流し込むことと、

20

前記堆積ガスからプラズマを発生させることと、少なくとも200nmの厚さの層を形成するために、少なくとも20秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させることと、前記少なくとも20秒間の後に、前記ポリマの堆積を停止させることと、を含む、ことと、前記堆積ポリマ層を開口することであって、開口ガスを前記プラズマ処理チャンバに流し込むことと、前記複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを前記複数のマスク開口の側面に堆積されたポリマについて選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させることと、

30

前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させることと、を含む、ことと、前記シリコン層を前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通してエッチングすることであって、前記開口ガスと異なるエッティングガスを流すことと、前記シリコン層をエッティングするプラズマを前記エッティングガスから発生させることであって、前記堆積ポリマ層は、前記フォトレジストの下の前記シリコン層のアンダカットを防ぐ、ことと、を含む、ことと、前記シリコン層を前記プラズマ処理チャンバから取り出すことと、を備える方法。

40

[形態17]形態16に記載の方法であって、前記マスクは、フォトレジストマスクである、方法。[形態18]形態16ないし17のいずれかに記載の方法であって、さらに、前記プラズマ処理チャンバ内において前記フォトレジストマスクおよび前記堆積ポリマ層を除去することを備える方法。

50

[形態 19]

開口を伴うマスクの下のシリコン層内に構造をエッティングするための装置であって、
 プラズマ処理チャンバであって、
 プラズマ処理チャンバの外周部を形成するチャンバ壁と、
 前記プラズマ処理チャンバの外周部内において基板を支えるための基板サポートと、
 前記プラズマ処理チャンバの外周部内における圧力を調整するための圧力調整器と、
 前記プラズマ処理チャンバの外周部に電力を提供するための上側電極と、
 下側電極と、
 前記上側電極に電気的に接続された第1のRF電力源と、
 前記下側電極に電気的に接続された第2のRF電力源と、
 前記プラズマ処理チャンバの外周部内にガスを提供するためのガス入口と、
 前記プラズマ処理チャンバの外周部からガスを排出させるためのガス出口と、を含む
 プラズマ処理チャンバと、
 前記ガス入口に流体接続されたガス源であって、
 水素フリーC₄F₈堆積ガス源と、
 開口ガス源と、
 エッティングガス源と、を含む、ガス源と、
 前記ガス源、前記第1のRF電力源、および前記第2のRF電力源に制御式に接続され
 たコントローラであって、
 少なくとも1つのプロセッサと、
 コンピュータ可読媒体と、を含むコントローラと、を備え、
 前記コンピュータ可読媒体は、
 前記マスクの上にポリマ層を堆積させるためのコンピュータ可読コードと、
 前記堆積ポリマ層を開口するためのコンピュータ可読コードと、
 前記マスクおよび前記堆積ポリマ層を通して前記シリコン層をエッティングするため
 のコンピュータ可読コードと、を含み、
 前記マスクの上に前記ポリマ層を堆積させるための前記コンピュータ可読コードは、
 C₄F₈を含む水素フリー堆積ガスを、前記水素フリーC₄F₈堆積ガス源から、前記
 プラズマ処理チャンバに流し込むためのコンピュータ可読コードと、
 前記堆積ガスからプラズマを発生させるためのコンピュータ可読コードと、
 少なくとも20秒間にわたって前記プラズマからポリマを堆積させるためのコンピ
 ュータ可読コードと、
 前記少なくとも20秒間の後に、前記ポリマの堆積を停止させるためのコンピュー
 タ可読コードと、を含み、
 前記堆積ポリマ層を開口するための前記コンピュータ可読コードは、
 開口ガスを、前記開口ガス源から、前記プラズマ処理チャンバに流し込むためのコ
 ンピュータ可読コードと、
 前記複数のマスク開口の底面に堆積されたポリマを、前記複数のマスク開口の側面
 に堆積されたポリマについて、選択的に除去するプラズマを、前記開口ガスから発生させ
 るためのコンピュータ可読コードと、
 前記複数のマスク構造の少なくとも一部が開口されたときに、前記開口を停止させ
 るためのコンピュータ可読コードと、を含む、コンピュータ可読媒体と、を含む、装置。

10

20

30

40

【図1A】

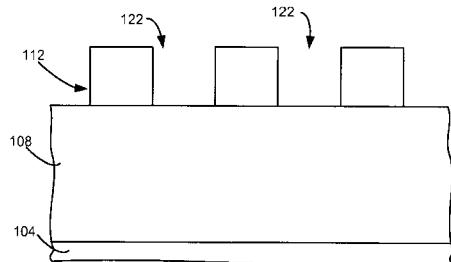


FIG. 1 A (先行技術)

【図1B】

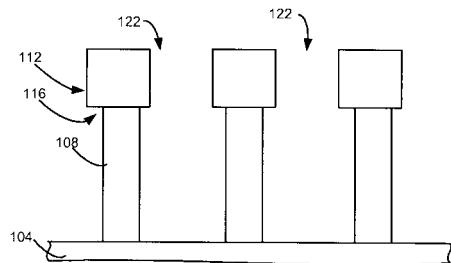


FIG. 1 B (先行技術)

【 図 3 】

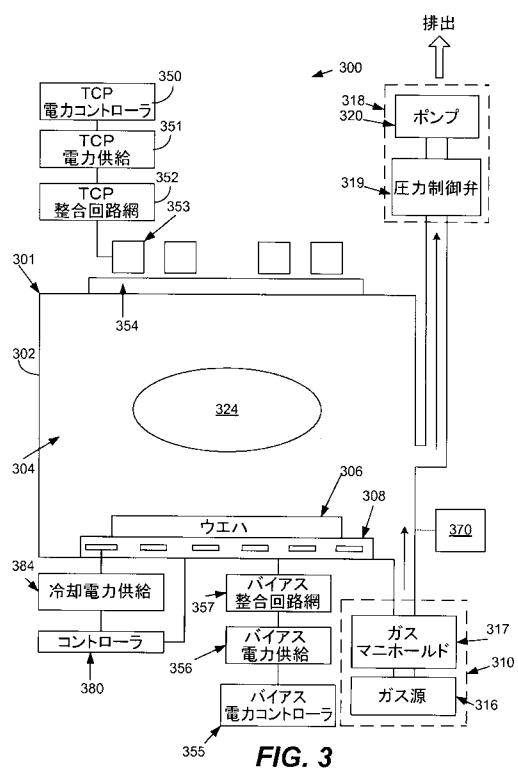


FIG. 3

【図2】

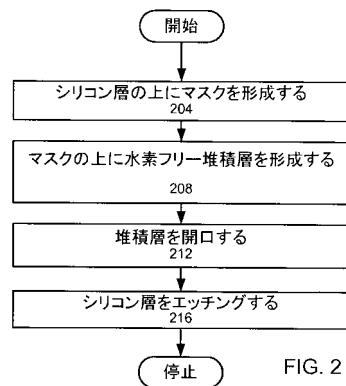


FIG. 2

【図4A】

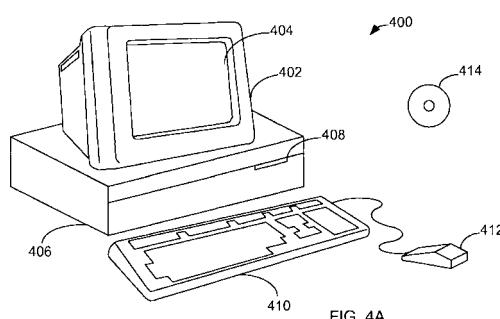


FIG. 4A

【図4B】

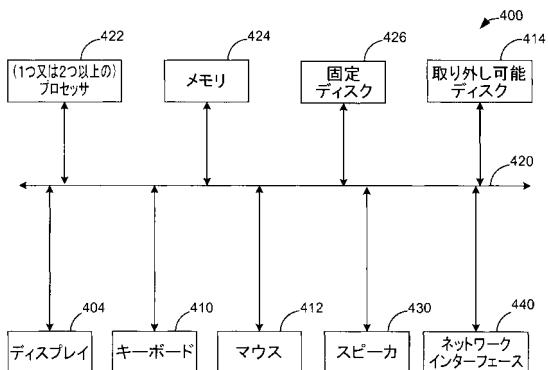


FIG. 4B

【図 5 A】

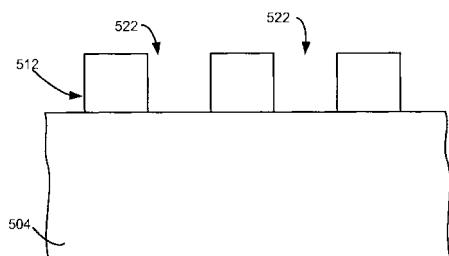


FIG. 5A

【図 5 C】

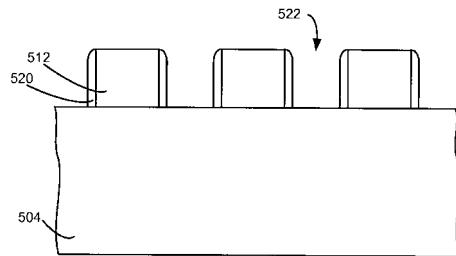


FIG. 5C

【図 5 B】

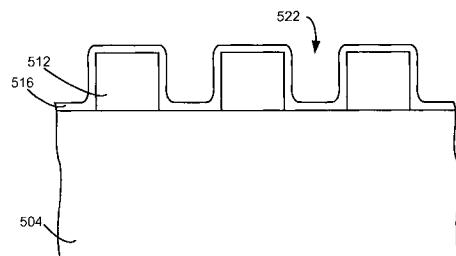


FIG. 5B

【図 5 D】

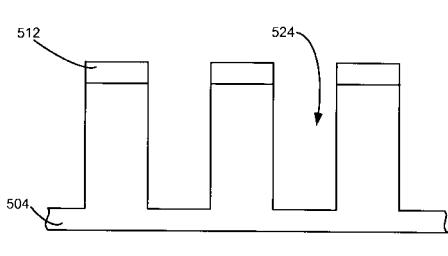
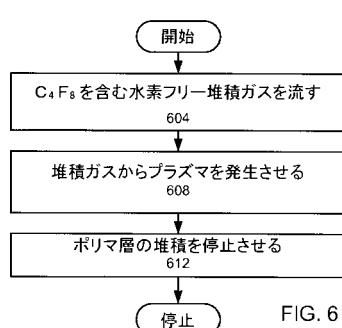
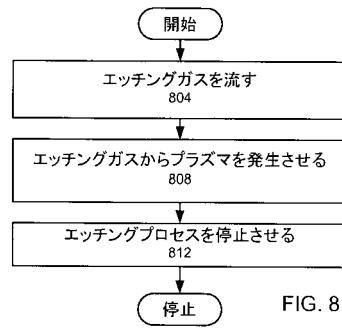


FIG. 5D

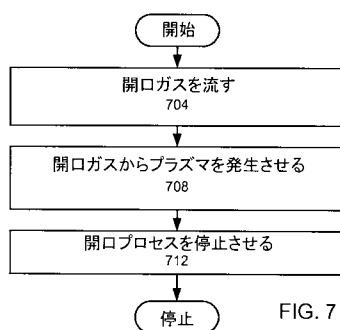
【図 6】



【図 8】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 チャン・パトリック

アメリカ合衆国 カリフォルニア州95377 トレイシー, ラルストン・ウェイ, 2862

(72)発明者 セト・ジャッキー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州94041 マウンテン・ビュー, グレンボロウ・ドライブ,
785

(72)発明者 サドジヤディ・エス・エム・レザ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州95070 サラトガ, キャロル・レーン, 20311

審査官 今井 淳一

(56)参考文献 特開平04-213821(JP,A)

特開2002-110654(JP,A)

特表2006-514783(JP,A)

特開2005-123550(JP,A)

特開2007-503720(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065