

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6817896号  
(P6817896)

(45) 発行日 令和3年1月20日(2021.1.20)

(24) 登録日 令和3年1月4日(2021.1.4)

(51) Int.Cl. F I  
**H O 1 L 21/304 (2006.01)** H O 1 L 21/304 6 2 2 D  
**B 2 4 B 37/00 (2012.01)** H O 1 L 21/304 6 2 2 R  
 B 2 4 B 37/00 K

請求項の数 17 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2017-104585 (P2017-104585)	(73) 特許権者	000000239
(22) 出願日	平成29年5月26日 (2017.5.26)		株式会社荏原製作所
(65) 公開番号	特開2018-200938 (P2018-200938A)		東京都大田区羽田旭町11番1号
(43) 公開日	平成30年12月20日 (2018.12.20)	(74) 代理人	100140109
審査請求日	令和1年9月24日 (2019.9.24)		弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100106208
			弁理士 宮前 徹
		(74) 代理人	100146710
			弁理士 鐘ヶ江 幸男
		(74) 代理人	100186613
			弁理士 渡邊 誠
		(72) 発明者	福永 明
			東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板研磨装置および基板研磨方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板を化学機械的に研磨する方法であって、  
 処理液を使用して基板を研磨するステップと、  
 基板の研磨に寄与する前記処理液の有効成分の濃度を変更するステップと、を有し、  
前記処理液の有効成分は、(1) 基板の被研磨層を酸化させる成分、(2) 基板の被研  
磨層を溶解させる成分、および(3) 基板の被研磨層を剥離させる成分、の少なくとも1  
つを有し、

前記方法は、基板の被研磨層の厚さを測定するステップを有し、

測定された基板の被研磨層の厚さに基づいて、前記処理液の有効成分の濃度を変更する

10

方法。

【請求項2】

請求項1に記載の方法であって、さらに、  
 前記処理液のpHを測定するステップを有し、  
 測定された処理液のpHに基づいて、前記処理液の有効成分の濃度を変更する、  
 方法。

【請求項3】

請求項1に記載の方法であって、  
 前記処理液は砥粒を含み、

20

前記処理液中の砥粒濃度を測定するステップを有し、  
測定された砥粒濃度に基づいて、前記処理液の有効成分の濃度を変更する、  
方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の方法であって、  
前記処理液を純水で希釈することで、前記処理液の有効成分の濃度を変更する、  
方法。

【請求項 5】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、  
前記処理液は酸化性成分を有し、  
前記処理液の酸化作用を抑制するための還元剤を添加することで実効的に前記処理液の  
酸化性成分の濃度を変更する、  
方法。

10

【請求項 6】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、  
前記処理液は、溶解性成分として酸を有し、  
前記処理液にアルカリ剤を添加することで、溶解性成分濃度を変更する、  
方法。

【請求項 7】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、  
前記処理液は、溶解性成分としてアルカリを有し、  
前記処理液に酸を添加することで、溶解性成分濃度を変更する、  
方法。

20

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の方法であって、  
基板の研磨中に処理液の温度を変更するステップを有する、  
方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、さらに、  
測定された基板の被研磨層の厚さに基づいて、前記処理液の温度を変更する、  
方法。

30

【請求項 10】

基板に形成された金属層を除去するための方法であって、  
基板とパッドとが接触していない状態において基板の金属層に酸化剤および/または錯  
体形成剤を断続的に供給することで、前記金属層の表面に脆弱反応層を形成するステップ  
と、  
処理液存在下で前記脆弱反応層にパッドを押圧し、前記脆弱反応層を研磨して除去する  
ステップと、を有する、  
方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の方法であって、さらに、  
純水の存在下で基板にパッドを押圧して基板を研磨するステップを有する、  
方法。

40

【請求項 12】

請求項 10 または 11 に記載の方法であって、  
パッド側から基板側に向けて、酸化剤および/または錯体形成剤を断続的に供給するス  
テップを有する、  
方法。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の方法であって、

50

パッド側から基板側に向けて、酸化剤および/または錯体形成剤を含む第1処理液を供給するステップと、

パッドの上方からパッドに向けて、前記第1処理液とは異なる成分を含む第2処理液を供給するステップと、を有する、  
方法。

【請求項14】

請求項13に記載の方法であって、  
前記第2処理液は還元剤を含む、  
方法。

【請求項15】

請求項10乃至14のいずれか一項に記載の方法であって、  
金属層の除去中に、酸化剤および/または錯体形成剤の供給量を変化させるステップを有する、  
方法。

10

【請求項16】

請求項10乃至15のいずれか一項に記載の方法であって、  
金属層の除去中に、基板にパッドを押圧している時間を変化させるステップを有する、  
方法。

【請求項17】

請求項10乃至15のいずれか一項に記載の方法であって、  
金属層は、アルミニウム、タングステン、銅、ルテニウム、およびコバルトを含むグループの少なくとも1つを含む、  
方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は基板研磨装置および基板研磨方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、処理対象物（例えば半導体基板などの基板、又は基板の表面に形成された各種の膜）に対して各種処理を行うために処理装置が用いられている。処理装置の一例としては、処理対象物の研磨処理等を行うためのCMP（Chemical Mechanical Polishing）装置が挙げられる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2005-235901号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

昨今の半導体デバイスの製造における各工程への要求精度は既に数nmのオーダーに達しており、CMPもその例外ではない。また、半導体集積回路の形成の高集積化に伴い、微細化、多層化がますます加速されている。微細化が実現された多層配線構造を形成する場合には、配線表面のわずかな段差であっても軽視できず、表面に形成された凹凸によりさまざまな欠陥が引き起こされ得る。そこで、半導体デバイスの製造過程の研磨においても、数nmのオーダーでの平坦化が求められ、原子層レベルで基板の研磨のコントロール性が求められる。

40

【課題を解決するための手段】

【0005】

[形態1] 形態1によれば、基板を化学機械的に研磨する方法が提供され、かかる方

50

法は、処理液を使用して基板を研磨するステップと、基板の研磨に寄与する前記処理液の有効成分の濃度を変更するステップと、を有する。

【0006】

〔形態2〕形態2によれば、形態1による方法において、前記処理液の有効成分は、(1)基板の被研磨層を酸化させる成分、(2)基板の被研磨層を溶解させる成分、および(3)基板の被研磨層を剥離させる成分、の少なくとも1つを有する。

【0007】

〔形態3〕形態3によれば、形態1または形態2による方法において、さらに、基板の被研磨層の厚さを測定するステップを有し、測定された基板の被研磨層の厚さに基づいて、前記処理液の有効成分の濃度を変更する。

10

【0008】

〔形態4〕形態4によれば、形態1または形態2による方法において、さらに、前記処理液のpHを測定するステップを有し、測定された処理液のpHに基づいて、前記処理液の有効成分の濃度を変更する。

【0009】

〔形態5〕形態5によれば、形態1または形態2による方法において、前記処理液は砥粒を含み、前記処理液中の砥粒濃度を測定するステップを有し、測定された砥粒濃度に基づいて、前記処理液の有効成分の濃度を変更する。

【0010】

〔形態6〕形態6によれば、形態1から形態5のいずれか1つの形態による方法において、前記処理液を純水で希釈することで、前記処理液の有効成分の濃度を変更する。

20

【0011】

〔形態7〕形態7によれば、形態1、2、4のいずれか1つの形態による方法において、前記処理液は酸化性成分を有し、前記処理液の酸化作用を抑制するための還元剤を添加することで実効的に前記処理液の酸化性成分の濃度を変更する。

【0012】

〔形態8〕形態8によれば、形態1、2、4のいずれか1つの形態による方法において、前記処理液は、溶解性成分として酸を有し、前記処理液にアルカリ剤を添加することで、溶解性成分濃度を変更する。

【0013】

〔形態9〕形態9によれば、形態1、2、4のいずれか1つの形態による方法において、前記処理液は、溶解性成分としてアルカリを有し、前記処理液に酸を添加することで、溶解性成分濃度を変更する。

30

【0014】

〔形態10〕形態10によれば、基板を化学機械的に研磨する方法が提供され、かかる方法は、処理液を使用して基板を研磨するステップと、基板の研磨中に処理液の温度を変更するステップと、を有する。

【0015】

〔形態11〕形態11によれば、形態10による方法において、さらに、基板の被研磨層の厚さを測定するステップを有し、測定された基板の被研磨層の厚さに基づいて、前記処理液の温度を変更する。

40

【0016】

〔形態12〕形態12によれば、同一種類の複数の基板を化学機械的に研磨する方法が提供され、かかる方法は、第1処理液を用いて第1基板を研磨するステップと、第2処理液を用いて第2基板を研磨するステップと、を有し、前記第2処理液は、基板の研磨に寄与する処理液の有効成分の濃度が前記第1処理液の濃度と異なる。

【0017】

〔形態13〕形態13によれば、基板に形成された金属層を除去するための方法が提供され、かかる方法は、基板の金属層に酸化剤および/または錯体形成剤を断続的に供給することで、前記金属層の表面に脆弱反応層を形成するステップと、処理液存在下で前記脆

50

弱反応層にパッドを押圧し、前記脆弱反応層を研磨して除去するステップと、を有する。

【0018】

〔形態14〕形態14によれば、形態13による方法において、さらに、純水の存在下で基板にパッドを押圧して基板を研磨するステップを有する。

【0019】

〔形態15〕形態15によれば、形態13または形態14による方法において、基板とパッドとが接触していない状態において、パッド上に酸化剤および/または錯体形成剤を供給した後に、基板とパッドとを接触させるステップを有する。

【0020】

〔形態16〕形態16によれば、形態13または形態14による方法において、パッド側から基板側に向けて、酸化剤および/または錯体形成剤を断続的に供給するステップを有する。

10

【0021】

〔形態17〕形態17によれば、形態16による方法において、パッド側から基板側に向けて、酸化剤および/または錯体形成剤を含む第1処理液を供給するステップと、パッドの上方からパッドに向けて、前記第1処理液とは異なる成分を含む第2処理液を供給するステップと、を有する。

【0022】

〔形態18〕形態18によれば、形態17による方法において、前記処理液は還元剤を含む。

20

【0023】

〔形態19〕形態19によれば、基板に形成された金属層を除去するための方法が提供され、基板の金属層に電解液を供給するステップと、基板の金属層に電解液を介して電流を供給するステップと、基板にパッドを押圧して基板を研磨するステップと、を有する。

【0024】

〔形態20〕形態20によれば、形態13から形態19のいずれか1つの形態による方法において、金属層の除去中に、酸化剤および/または錯体形成剤の供給量を変化させるステップを有する。

【0025】

〔形態21〕形態21によれば、形態19による方法において、基板の研磨中に、基板に供給される電流の大きさを変化させるステップを有する。

30

【0026】

〔形態22〕形態22によれば、形態13から形態21のいずれか1つの形態において、金属層の除去中に、基板にパッドを押圧している時間を変化させるステップを有する。

【0027】

〔形態23〕形態23によれば、形態13から形態21のいずれか1つの形態において、金属層は、アルミニウム、タングステン、銅、ルテニウム、およびコバルトを含むグループの少なくとも1つを含む。

【0028】

〔形態24〕形態24によれば、基板に形成されたシリコン酸化層を除去するための方法が提供され、かかる方法は、シリコン酸化層に吸着性界面活性剤を供給して、シリコン酸化層の表面に保護層を形成するステップと、処理液存在下で前記保護層にパッドを押圧し、前記保護層を研磨することでシリコン酸化層を除去するステップと、砥粒のパッドへの吸着を促進する添加剤を断続的にパッドに供給するステップと、を有する。

40

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】一実施形態による基板研磨装置を概略的に示す斜視図である。

【図2】一実施形態による基板研磨装置を概略的に示す側面図である。

【図3】一実施形態による基板研磨装置を概略的に示す側面図である。

【図4A】一実施形態による基板研磨装置を概略的に示す上面図である。

50

【図 4 B】図 4 A 中に示される矢印 4 B の方向からみた、反応液槽および基板を保持するトップリングの側面図である。

【図 5 A】一実施形態による基板研磨装置を概略的に示す上面図である。

【図 5 B】図 5 A 中に示される矢印 5 B の方向からみた、電解液槽および基板を保持するトップリングの側面図である。

【図 6】一実施形態による研磨方法の概略的なフローチャートである。

【図 7】一実施形態による、基板の表面に形成された金属層を除去方法の概略的なフローチャートである。

【図 8】一実施形態による基板の研磨による平坦化の例を示している。

【図 9】一実施形態による基板の研磨による平坦化の例を示している。

【図 10】一実施形態による基板の研磨による平坦化の例を示している。

【図 11】CMP を使用した銅配線埋め込みにおける平坦化工程の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下に、本発明に係る基板研磨装置および基板研磨方法の実施形態を添付図面とともに説明する。添付図面において、同一または類似の要素には同一または類似の参照符号が付され、各実施形態の説明において同一または類似の要素に関する重複する説明は省略することがある。また、各実施形態で示される特徴は、互いに矛盾しない限り他の実施形態にも適用可能である。

【0031】

図 1 は、一実施形態による基板研磨装置 300 を概略的に示す斜視図である。基板研磨装置 300 は、研磨テーブル 320 と、トップリング 330 と、を備える。研磨テーブル 320 は、図示していない駆動源によって回転駆動される。研磨テーブル 320 には、研磨パッド 310 が貼り付けられる。トップリング 330 は、基板を保持して研磨パッド 310 に押圧する。トップリング 330 は、図示していない駆動源によって回転駆動される。基板は、トップリング 330 に保持されて研磨パッド 310 に押圧されることによって研磨される。

【0032】

基板研磨装置 300 は、研磨パッド 310 に処理液又はドレッシング液を供給するための処理液供給ノズル 340 を備える。処理液は、例えば砥粒を含むスラリーである。ドレッシング液は、例えば純水である。一実施形態として、処理液供給ノズル 340 は、研磨パッド 310 の面に平行な方向に移動可能に構成することができる。そのため、基板の研磨中に、処理液を研磨パッド 310 上の任意の位置に供給することができる。たとえば、基板 WF の研磨中に、基板 WF を保持するトップリング 330 の移動に同期させて処理液供給ノズル 340 を移動させることができる。

【0033】

また、基板研磨装置 300 は、研磨パッド 310 のコンディショニングを行うためのドレッサ 350 を備える。また、基板研磨装置 300 は、液体、又は、液体と気体との混合流体、を研磨パッド 310 に向けて噴射するためのアトマイザ 360 を備える。液体は、例えば、純水である。気体は、例えば、窒素ガスである。ドレッサ 350 およびアトマイザ 360 は、任意の構造のものを採用することができる。また、アトマイザ 360 は無くてもよい。

【0034】

トップリング 330 は、トップリングシャフト 332 によって支持される。トップリング 330 は、図示していない駆動部によって、矢印 A B で示すように、トップリングシャフト 332 の軸心周りに回転可能に構成される。また、トップリングシャフト 332 は、図示しない駆動部により研磨パッド 310 の面に垂直な方向にトップリング 330 を移動可能に構成される。さらに、トップリングシャフト 332 は、揺動可能なアーム 400 (図 4 A 参照) に接続される。揺動可能なアーム 400 により、トップリング 330 は、研磨パッド 310 の面に平行な方向(たとえば、半径方向)に移動可能である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 5 】

研磨テーブル 3 2 0 は、テーブルシャフト 3 2 2 に支持される。研磨テーブル 3 2 0 は、図示していない駆動部によって、矢印 A C で示すように、テーブルシャフト 3 2 2 の軸心周りに回転するようになっている。研磨テーブル 3 2 0 上には、研磨パッド 3 1 0 が貼り付けられる。研磨パッド 3 1 0 は、任意のものを使用することができ、研磨対象である基板 W F の材質や、求められる研磨条件に応じて選択することができる。また、一実施形態において、研磨テーブル 3 2 0 は、研磨パッド 3 1 0 を冷却するための冷却機構を備えてもよい。研磨パッド 3 1 0 の温度を制御することで、研磨パッド 3 1 0 の剛性を制御することができる。たとえば、研磨パッド 3 1 0 を冷却して剛性を大きくすることで、研磨対象の基板 W F の表面の凹凸に対する研磨パッド 3 1 0 の選択性を高めることができる。冷却機構として、たとえば、研磨テーブル 3 2 0 にペルチェ素子を設けてもよく、また、冷却流体が通る流体通路を研磨テーブル 3 2 0 内に設けて、温度制御された冷却流体を研磨テーブル 3 2 0 内の流体通路を通すようにしてもよい。また、研磨パッド 3 1 0 の冷却機構として、前記研磨パッド 3 1 0 の表面に接触するパッド接触部材と、温度調整された液体をパッド接触部材内に供給する液体供給システムと、を有する冷却機構してもよい。ここで、液体として、温水および冷水を用い、それぞれのパッド接触部材への供給量を制御することで、パッド接触部材、ひいては研磨パッド 3 1 0 が所定温度になるように制御しても良い。なお、これら手法による研磨パッド 3 1 0 の温度制御については、基板研磨装置 3 0 0 に例えば放射温度計のような温度計測器を別途設け、本計測器により測定した温度信号を冷却機構にフィードバックさせることで、研磨パッド 3 1 0 表面を所定温度に制御することができる。

10

20

## 【 0 0 3 6 】

基板 W F は、トップリング 3 3 0 の研磨パッド 3 1 0 と対向する面に真空吸着によって保持される。研磨時には、処理液供給ノズル 3 4 0 から研磨パッド 3 1 0 の研磨面に処理液が供給される。また、研磨時には、研磨テーブル 3 2 0 及びトップリング 3 3 0 が回転駆動される。基板 W F は、トップリング 3 3 0 によって研磨パッド 3 1 0 の研磨面に押圧されることによって研磨される。

## 【 0 0 3 7 】

一実施形態において、基板研磨装置 3 0 0 は、基板 W F の研磨の終点を検知するための終点検知機構を備えることができる。終点検知機構は、公知の終点検知機構を含めて任意のものを採用することができる。たとえば、渦電流センサ、光学式センサ、ファイバースенса等を使用することができる。渦電流センサ、光学式センサ、ファイバースенсаは、たとえば、研磨テーブル 3 2 0 またはトップリング 3 3 0 に設けることができる。また、終点検知機構として、基板研磨装置 3 0 0 の駆動機構のトルク変動を測定して研磨の終点を検知することができる。研磨パッド 3 1 0 により基板 W F を研磨しているとき、基板 W F 上の研磨する層の研磨が終了し、下の層が現れるときに研磨パッド 3 1 0 と基板 W F の表面との間の摺動抵抗が変化する。かかる変化をトルク変動として検知することで基板 W F の研磨の終点検知を行うことができる。たとえば、揺動可能なアーム 4 0 0 の揺動トルクの変動や、トップリングシャフト 3 3 2 の回転トルクの変動を測定することで、研磨の終点を検知することができる。

30

40

## 【 0 0 3 8 】

一実施形態において、基板研磨装置 3 0 0 は、制御装置 9 0 0 を備え、基板研磨装置 3 0 0 の動作は制御装置 9 0 0 により制御される。制御装置 9 0 0 は、記憶装置、入出力装置、メモリ、CPU などのハードウェアを備える一般的な汎用コンピュータおよび専用コンピュータ等から構成することができる。制御装置 9 0 0 は、1つのハードウェアから構成してもよいし、複数のハードウェアから構成してもよい。

## 【 0 0 3 9 】

図 2 は、一実施形態による基板研磨装置 3 0 0 を概略的に示す側面図である。図 2 に示されるように、処理液供給ノズル 3 4 0 は、処理液供給ライン 5 0 0 A に接続される。図 2 に示されるように、処理液供給ライン 5 0 0 A は、複数の液体源 5 0 2 (第 1 液体源 5

50

02A～第N液体源502N)を備える。液体源502は、処理液である処理液や、純水、各種の調整剤などを保持するものとしてすることができる。液体源502の数は任意である。複数の液体源502は、図示しない各種弁を介してミキサ504に接続されている。ミキサ504では、複数の液体源502から供給された液体を混合することができる。例えば、第1液体源502Aに基準となる濃度の処理液を保持させ、第2液体源502Bに純水を保持させる。第1液体源からの処理液を第2液体源502Bからの純水と混合することで、所望の濃度に処理液を希釈することができる。また、液体源502として、砥粒濃度の異なる処理液、pH調整剤、酸化剤、還元剤、酸性成分、アルカリ性成分、電解液、錯体形成剤、界面活性剤などの処理液を調整するための液体を保持させ、ミキサ504で所望の成分を備える処理液を調整するようにすることができる。一実施形態として、ミキサ504は、温度計および温度調整機構を備えるものとしてもよい。温度計および温度調整機構を備えることで、処理液供給ノズル340から所望の温度の処理液を研磨パッド310上に供給することができる。なお、温度計および温度調整機構はミキサ504とは別に設けてもよい。

10

#### 【0040】

一実施形態として、図2に示されるように処理液供給ライン500Aは、ミキサ504の下流側にセンサ506を備える。センサ506は、ミキサ504で調整された処理液の各種成分の濃度などを検出するためのものである。たとえば、センサ506は、pHメータ、酸化還元電位計、処理液中の砥粒濃度を測定するパーティクルセンサ、などとしてすることができる。なお、一実施形態として、センサ506は、ミキサ504に設けてもよい。ミキサ504にセンサ506を設けることで、所望の濃度の処理液がミキサ504内で得られるように、各液体源502からの供給量を調整することができる。

20

#### 【0041】

図3は、一実施形態による基板研磨装置300を概略的に示す側面図である。図3に示される実施形態においては、基板研磨装置300は、処理液供給ライン500Bを備える。図3の実施形態において、処理液供給ライン500Bは、複数の液体源502、ミキサ504、センサ506を備える点については図2の実施形態と同様である。しかし、図3に示される実施形態においては、処理液は、テーブルシャフト322および研磨テーブル320を通る管路を通じて、研磨パッド310の表面に供給されるように構成される。具体的には、センサ506から管路がテーブルシャフト322および研磨テーブル320まで延びる。研磨テーブル320内で管路は分岐しており、分岐した各管路が研磨テーブル320の表面に出口開口342a, 342b, ~342nを画定する。出口開口342a~342nの位置および数は任意である。また、分岐した各管路には、図示しない電磁弁等が配置され、任意の出口開口342a~342nから処理液を供給可能に構成される。また、出口開口342a~342nに対応する位置において、研磨パッド310に貫通孔312a~312nが形成されており、研磨テーブル320の出口開口342a~342nおよび研磨パッド310の貫通孔312a~312nを介して、処理液を研磨パッド310の表面に供給することができる。たとえば、基板WFの研磨中に、基板WFが存在している位置における出口開口342a~342nおよび貫通孔312a~312nから処理液を供給することで、効率的に処理液を基板WFと研磨パッド310の接触面に供給することができる。なお、一実施形態として、図2に示される処理液供給ライン500Aおよび図3に示される処理液供給ライン500Bの両方を備える基板研磨装置300とすることもできる。その場合、処理液供給ライン500Aを介して供給される処理液と、処理液供給ライン500Bを介して供給される処理液の種類や所定の成分の濃度を異なるものとしてもよい。なお、図2、3は、図示の明瞭化のために、研磨テーブル320、トップリング330、処理液供給ノズル340、および処理液供給ライン500A、500B以外の構成は省略しているが、たとえば図1に示されるドレッサ350、アトマイザ360などの構成、あるいはその他の任意の構成を追加することができる。

30

40

#### 【0042】

図4Aは、一実施形態による基板研磨装置300を概略的に示す上面図である。図示の

50

基板研磨装置300は、図1に示される基板研磨装置300と同様に、研磨パッド310が貼り付けられた研磨テーブル320、基板WFを保持するトップリング330、トップリング330を揺動させるためのアーム400を備える。図4Aに示される基板研磨装置300は、さらに、反応液を保持するための反応液槽600を備える。図4Bは、図4A中に示される矢印4Bの方向からみた、反応液槽600および基板WFを保持するトップリング330の側面図である。なお、図4に示される基板研磨装置300において、反応液槽600は1つであるが、後述のように複数の反応液槽600を備えるように基板研磨装置300を構成してもよい。図4Bに示されるように、反応液槽600には反応液が保持される。反応液槽600は、温度制御機能を保持し、反応液を所定の温度に維持できるように構成される。図4Aに示されるように、アーム400は、トップリング330を揺動させて基板WFを研磨パッド310から退避させて、反応液槽600の位置まで基板WFを移動させて(図4Aの破線で示される)、基板WFを反応液に接触させることができる(図4B)。反応液は、基板WFの被研磨面の表面に脆弱な反応層を形成するための酸化剤、錯化剤などを含む液体とすることができる。たとえば、基板WFの被研磨面が酸化膜を含む場合、反応液は、KOH等のアルカリ剤を含むものとすることができる。また、基板WFの被研磨面がタングステンを含む場合は、反応液は、ヨウ素酸カリウムや過酸化水素等の酸化剤等を含むものとすることができる。また、基板WFの被研磨面が銅を含む場合は、反応液は、過酸化水素や過硫酸アンモニウム等の酸化剤とBTAや各種キレート剤(キナルジン酸等)のような表面に不溶性錯体を形成するための錯体形成剤等を含むものとすることができる。通常、半導体デバイス形成工程における平坦化工程では、上記除去対象の材料が複数混在し、それらの複数の材料を同時に研磨することで平坦化を実現することが行われる。そのため、上記の反応液成分は1つの反応液内に含有されていても良い。また、1つの溶液中に同時に含有することで反応液成分が劣化する場合は、反応液槽600を複数設けて各反応液槽600にそれぞれの反応液成分を保持させてもよい。その場合、各反応液槽600に基板WFを接触させることで反応層を形成させることができる。また、基板WFの被研磨面に上記のような材料が複数存在している状態で基板WFの平坦化を行う場合、各材料の除去速度に差を持たせる必要がある場合がある。この際は、各材料への反応層の形成量(反応層の厚さ)に差を持たせ、後述の研磨除去の工程にて除去する量に差を持たせることが可能である。反応層の形成量に差を持たせる方法としては、上記成分の濃度にてコントロールしても良い。また、反応層の形成反応を抑制するような抑制剤を含有させることで、反応層の形成量に差を持たせても良い。そのような抑制剤としては、例えば界面活性剤のような除去対象材料に吸着することで反応層の形成を抑制するタイプ、もしくは例えば酸化剤に対する還元剤のような反応成分自身を中和・相殺するタイプが挙げられる。また、基本的に反応層の形成は化学反応によるものが多いことから、例えば反応液の温度を制御することで、各材料への反応層形成量に差を持たせるようにしても良い。また、複数の反応液槽600を備える構成であれば、各反応液槽600の液温に差を持たせることで、反応層の形成量に差をもたせても良い。更に複数の反応液槽600を配置する場合は、各反応液槽600での基板WFの反応液への接触時間をコントロールすることで反応層形成量に差を持たせることも可能である。なお、通常、半導体デバイス形成工程における平坦化工程では、除去対象材料自身とその形成工程において段差を有することが多く、平坦化においては該段差の除去も同時に必要である。その際、反応層形成前後に、後述の保護層を形成することで、平坦化の効率を促進させることができる。その場合、例えば保護膜を形成するための薬液を含む別液槽を更に設け、基板研磨装置300において、反応液槽600と保護膜形成用の液槽との間でトップリング330を適宜揺動させることで、基板WFへの保護層の形成が可能となる。こうして、基板WFの表面に脆弱な反応層を形成した後に、基板WFを研磨パッド310に押圧して脆弱な反応層を除去するように研磨することができる。基板WFを反応液に接触させる工程、および基板WFの表面に形成された反応層を研磨除去する工程を繰り返し、所望の研磨を達成することができる。

【0043】

10

20

30

40

50

図5 Aは、一実施形態による基板研磨装置300を概略的に示す上面図である。図示の基板研磨装置300は、図1に示される基板研磨装置300と同様に、研磨パッド310が貼り付けられた研磨テーブル320、基板WFを保持するトップリング330、トップリング330を揺動させるためのアーム400を備える。図5 Aに示される基板研磨装置300は、さらに、電解液を保持するための電解液槽650を備える。図5 Bは、図5 A中に示される矢印5 Bの方向からみた、電解液槽650および基板WFを保持するトップリング330の側面図である。電解液槽650には電解液が保持される。電解液槽650は、温度制御機能を保持し、電解液を所定の温度に維持できるように構成される。図5 Aに示されるように、アーム400は、トップリング330を揺動させて基板WFを研磨パッド310から退避させて、電解液槽650の位置まで基板WFを移動させて(図5 Aの破線で示される)、基板WFを電解液に接触させることができる(図5 B)。電解液は、基板WFの被研磨面の表面に電気的作用を与えるための電解質および錯化剤などを含む液体とすることができる。たとえば、基板WFの被研磨面が銅を含む場合、電解液は、支持電解質としてたとえば硫酸カリウムのような無機系の中性塩や有機塩、pH調整剤としては各種無機酸・無機アルカリ及びその塩であり、たとえばアルカリ側ではKOHが挙げられる。また、錯体形成剤としてたとえばBTAやキレート剤(キナルジン酸等)を含むものとすることができる。また、電解反応による反応層形成の場合、副反応として電解エッチングが生じてしまう可能性もあることから、これを防止するようなエッチング抑制剤を導入しても良い。抑制剤としてはいわゆる腐食抑制剤があり、例えば窒素含有複素環化合物では、加工の対象となる銅等の金属と化合物を形成し、金属表面に保護膜を形成すること

10

20

#### 【0044】

図5 Bに示されるように、電解液槽650は、底部に対向電極652が配置される。対向電極652は、電源654のマイナス側の端子に接続される。図5 Bに示される実施形態における基板研磨装置300は、電源654のプラスの端子に接続される給電ピン656を備える。給電ピン656は、基板WFの表面の導電層(金属層)に接触させることができる。そのため、電解液槽650内の電解液を介して基板WFの表面の導電層に電流を与えて、導電層の表面に脆弱な反応層や電解酸化による酸化層を形成することができる。なお、酸化層については電解液中に錯体形成剤を導入することで最終的に反応層として形成させても良い。基板WFの導電層に与える電荷量を制御することで、形成される反応層を制御することができる。一実施形態として、クーロンメータにより基板WFの導電層に与えられる電荷量を測定することで、電荷量を制御することができる。基板WFの表面に脆弱な酸化層および錯体などからなる反応層を形成した後に、基板WFを研磨パッド310に押圧して脆弱な反応層を除去するように研磨することができる。基板WFを電解層に接触させて基板WFの表面に電流を与える工程、および基板WFの表面に形成された反応層を研磨除去する工程を繰り返し、所望の研磨を達成することができる。

30

#### 【0045】

以下に、本発明にかかる研磨方法の実施形態を説明する。一実施形態において、基板WFに対して化学機械的研磨(CMP)を行う。たとえば、半導体デバイスの製造過程で基板WFを平坦化するためにCMPが一般的に行われている。半導体デバイスの製造工程では、平坦化への要求がますます高まっており、たとえば数ナノメートルレベルの平坦性を実現することが望まれる。以下で説明する研磨方法は、上述の基板研磨装置300を用いて行うことができる。

40

#### 【0046】

図6は一実施形態による研磨方法の概略的なフローチャートである。一実施形態による研磨方法においては、従来から行われている一般的なCMPの研磨条件で基板WFの研磨を行う。研磨条件は、たとえば使用する処理液の種類や濃度、基板WFや研磨パッド310の回転数、基板WFと研磨パッド310との押圧力、研磨時間などである。かかる一般的なCMP研磨においては、基板WFの研磨による平坦性を確保しつつ迅速に研磨を行うように研磨条件が選択される。一実施形態において、一般的な研磨条件によりCMPを行

50

うことで研磨目標近くまで研磨したら、より精細に基板WFを平坦化するために、研磨条件を変更する。より具体的には、基板WFの研磨に寄与する処理液の有効成分の濃度を小さくすることができる。処理液の有効成分としては、(1)基板の被研磨層を酸化させる成分、(2)基板の被研磨層を溶解させる成分、および(3)基板の被研磨層を剥離させる成分、などが挙げられる。処理液の有効成分の濃度の変更は、上述の処理液供給ライン500Aや処理液供給ライン500Bの構成により実現することができる。たとえば、複数の液体源502に基準となる処理液、純水、各種成分を調整するための液体などを保持させ、各種成分の所望の量をミキサ504で混合して、処理液濃度を変更することができる。一例として、基準となる処理液と純水を混合することで、処理液中のあらゆる成分を希釈することができる。たとえば、基板WFの被研磨層が酸化膜を含む場合、pHを上げることにより酸化膜のSiO<sub>2</sub>をシラノール化させて脆弱化させるので、アルカリ剤濃度を低下させてもよい。基板WFの被研磨層が銅やタングステンのような金属を含む場合、これらの金属を酸化させたのち錯体化するなどして脆弱化させるので、酸化剤濃度を低下させてもよい。また、いずれの場合も最終的にはコロイダルシリカ等の砥粒によって、基板WFの表面に形成された脆弱層を吸着等の作用によって剥離させるので、砥粒濃度を低下させてもよい。

10

**【0047】**

一実施形態による研磨方法においては、基板の被研磨層の厚さを測定する。基板の被研磨層の厚さを測定することで、たとえば、上述の一般的なCMPにおいて研磨目標近くまで研磨した状態を検知することができ、また、最終的な研磨目標まで基板を研磨できたことを検知することができる。一実施形態として、基板の被研磨層の厚さを測定しながら、段階的に処理液の有効成分の濃度を変更してもよい。基板の被研磨層の厚さの測定は、上述した渦電流センサなどの各種の終点検知機構を使用することができる。

20

**【0048】**

一実施形態による研磨方法において、基板を研磨しているときに、処理液のpHを測定する。CMPにおいて、処理液のpHは研磨速度に影響を与える。そのため、処理液のpHをモニタリングしながら、測定されたpHに基づいて処理液の有効成分を変更することで、研磨速度を調整することができる。また、たとえば酸化剤として過酸化水素を使用する場合は、アルカリ側の方が酸化反応が進むので、pHを変更することで酸化剤の作用を調整することができる。そのため、処理液のpHモニタリングすることで、研磨反応に寄与する各成分の効果を調整することができる。

30

**【0049】**

一実施形態による研磨方法において、基板を研磨しているときに、処理液は砥粒を含み、処理液中の砥粒濃度を測定する。CMPにおいて、処理液中の砥粒濃度は研磨速度に影響を与える。そのため、処理液中の砥粒濃度をモニタリングしながら、測定された砥粒濃度に基づいて処理液の有効成分を変更することで、研磨速度を調整することができる。たとえば、原子層レベルでの研磨を実現するために、研磨される反応層を薄く形成する場合、必要以上の砥粒が研磨空間に存在すると、基板表面に機械的な傷、スクラッチが発生する可能性がある。そのようなスクラッチを回避するためにも砥粒濃度の監視は有効である。

40

**【0050】**

一実施形態による研磨方法において、処理液は、基板の被研磨層を酸化させる酸化性成分を含む。そして、処理液中の酸化作用を抑制するための還元剤を添加することで、実効的に処理液の酸化性成分の濃度を変更することができる。たとえば、銅配線を形成するためのダマシンプロセスにおける研磨の場合、銅層を研磨除去した後、バリア層を研磨除去する。引き続き、原子層オーダーの平坦化を行う場合、前工程に相当するバリア層の研磨に用いた処理液から酸化剤を取り除いたものを使用して研磨を行うことが考えられる。しかし、銅は残留する過酸化水素等の酸化剤のみならず処理液中の溶存酸素によってもある程度酸化が進むので、酸化還元電位計で電位をモニターしつつ亜硫酸塩等の還元剤を添加して酸化反応を制御することができる。

50

## 【0051】

一実施形態による研磨方法において、処理液は、溶解性成分として酸を含む。そして、処理液にアルカリ剤を添加することで処理液中の溶解性成分の濃度を変更することができる。たとえば、基板WFの被研磨層にタングステンを含む場合、研磨速度を十分なものとするために、酸化剤として酸化力の強いヨウ素酸カリウムを使用する場合がある。ヨウ素酸は低pHにおいて高い酸化力を発揮する。したがって、原子層オーダーの平坦化に際しては、通常のCMPにおいて使用する処理液に対してKOH等のアルカリ剤を添加してpHを高めることにより所望の研磨速度に落とすことができる。

## 【0052】

一実施形態による研磨方法において、処理液は、溶解性成分としてアルカリを含む。そして、処理液に酸を添加することで処理液中の溶解性成分の濃度を変更することができる。たとえば、基板WFの被研磨層が酸化膜を含む場合、pHを上げることにより酸化膜のSiO<sub>2</sub>をシラノール化させて脆弱化させるので、アルカリ剤濃度を低下させることで、研磨速度を小さくすることができる。

## 【0053】

一実施形態による研磨方法において、基板の研磨中に処理液の温度を変更する。処理液の温度はCMPの研磨速度に影響を与える。そのため、基板の研磨中に処理液の温度を変更することで、研磨速度を調整することができる。一実施形態による研磨方法において、処理液の温度の変更は、基板の被研磨層の厚さに基づいて行うことができる。

## 【0054】

上述の実施形態による研磨方法は、1つ基板を研磨する場合の方法であるが、複数の基板を連続的に研磨する場合にも適用することができる。たとえば、第1基板を研磨するときに第1処理液を用い、第2基板を研磨するときに第2処理液を用いることができる。このとき、第1処理液と第2処理液とは、有効成分の濃度が異なるものとすることができる。そして、有効成分の濃度の変更は、各基板の研磨結果に応じて変更することができる。たとえば、研磨後の基板の表面の層の厚さや平坦性を検査して、その検査結果や、基板を研磨しているときに使用した処理液の成分濃度などに基づいて、後続の基板の研磨処理の処理液を変更することができる。

## 【0055】

一実施形態による研磨方法において、基板の表面に形成された金属層を除去することができる。図7は、一実施形態による、基板の表面に形成された金属層を除去方法の概略的なフローチャートである。一実施形態による方法において、基板の表面の金属層に酸化剤および/または錯体形成剤を断続的に供給することで、金属層の表面に脆弱な反応層を形成する。酸化剤および/または錯体形成剤の供給は、上述の処理液供給ライン500Aを使用して処理液供給ノズル340から研磨パッド310および基板WFの表面に供給することができる。あるいは、上述の処理液供給ライン500Bを用いて、研磨パッド310の下から基板WFに向けて酸化剤および/または錯体形成剤を供給してもよい。処理液供給ライン500Aおよび処理液供給ライン500Bの両方を用いることもできる。さらに、一実施形態として、金属層の表面に脆弱な反応層を形成するために、図4A、Bとともに説明した反応液槽600に酸化剤および/または錯体形成剤を保持させ、図4Bに示されるように、基板WFを反応液槽600内の反応液に接触させるようにしてもよい。また、酸化剤および/または錯体形成剤の供給量は、基板の処理中に変更してもよい。たとえば、基板の処理中に酸化剤の供給を段階的に増加させるようにしてもよい。数ナノメートル程度の研磨除去を実現するためには、反応層は非常に薄く、原子層オーダーの厚さで形成することが望ましい。そのため、反応層を形成するための酸化剤および/または錯体形成剤は非常に希薄であり、たとえば、10μmol/Lの薬液などとなる。また、基板WFの内部へ薬液が浸透するのを抑制する観点から、酸化剤、錯体形成剤は分子量が大きいものが望ましい。また、形成される反応層は緻密であることが好ましい。また、基板WFの金属層に反応層を形成する前に、基板WFの表面を洗浄してもよい。これは、基板WFの表面に自然酸化膜や意図しない膜が形成されている場合があるので、これら取り除くた

10

20

30

40

50

めである。あるいは、基板WFの表面に形成された自然酸化膜を除去するために還元剤を用いてもよい。

【0056】

上述のように基板WFの表面の金属層に脆弱な反応層を形成したら、砥粒を含む処理液の存在下で研磨パッド310を反応層に押圧して反応層を研磨して除去する。このとき処理液の有効成分の濃度を上述の実施形態のように変更してもよい。基板WFの表面に反応層を形成する工程と、反応層を研磨除去する工程を繰り返して、所望の研磨を達成することができる。かかる実施形態においては、酸化剤および/または錯体形成剤の供給を断続的に行うことで、反応層の形成を断続的にし、研磨速度を精細に制御することができる。なお、本研磨除去においては、反応層のみを除去することが理想であることから、通常のCMPのような研磨速度は必要ではなく、例えば10nm/min以下の研磨速度であることが望ましい。同時に平坦化も必要であることから、通常のCMP以上に研磨パッドと基板WFとの接触をコントロールすることが必要であり、基板WFの除去対象材料表面の凹凸に対する研磨パッドの接触圧力の選択性が高い方が好ましい。例えば研磨条件としては、研磨圧力は小さい方が良く、好ましくは1psi以下、より好ましくは0.1psi以下が好ましい。また、ドレッシング条件等の調整による研磨パッド表面の平滑化や、研磨パッド310の冷却機構にて研磨パッド表面を冷却することなどにより研磨パッド310表面の剛性を増加させる方法でもよい。また、固定砥粒のような剛性の高い研磨パッドを使用してもよい。

10

【0057】

一実施形態による方法において、上述の反応層を研磨除去した後に、純水のみの存在下で、研磨パッド310を基板WFの表面に押圧して、基板を研磨することができる。かかる実施形態においては、研磨パッド310により基板WF上の脆弱な反応層を除去した後に、処理液中の砥粒が反応層の下の金属層にダメージを与えることを防止することができる。

20

【0058】

一実施形態による方法において、基板WFと研磨パッド310とが接触していない状態において、研磨パッド310上に酸化剤および/または錯体形成剤を供給する。基板WFと研磨パッド310が接触している状態だと、酸化剤および/または錯体形成剤が研磨パッド310ひいては基板WF上に均一に供給されない可能性がある。そこで、本実施形態においては、基板WFと研磨パッド310とが接触していない状態において、予め研磨パッド310上に酸化剤および/または錯体形成剤を供給することで、酸化剤および/または錯体形成剤を均一に供給することができる。より具体的には、トップリング330を研磨パッド310から引き上げた状態で、処理液供給ライン500Aまたは処理液供給ライン500Bを用いて酸化剤および/または錯体形成剤を研磨パッド310に供給することができる。なお、酸化剤および/または錯体形成剤を研磨パッド310に供給する際、研磨テーブル320を回転させてもよい。研磨テーブル320の回転による遠心力により、研磨パッド310面内に短時間に酸化剤および/または錯体形成剤を均一に行きわたらせることが可能である。

30

【0059】

一実施形態による方法において、基板の研磨の際の処理液の一部の成分を研磨パッド310の上方から供給し、処理液の一部の成分を研磨パッド310の下方から供給することができる。具体的には、上述の処理液供給ライン500Aから供給される処理液と、処理液供給ライン500Bから供給される処理液との成分を異なるものとすることができる。たとえば、基板WFの表面の金属膜を研磨する場合においては、金属の酸化が工程を律速する。したがって、原子層オーダーで研磨するためにはそれに必要なごく少量の酸化剤のみを供給することになる。ところが、通常のCMP装置での処理液供給方法であるパッド上方からすべての処理液成分を供給する方法では、基板WFの周縁部がまず最初に新鮮な処理液と接触するので、酸化剤量が少ないと周縁部のみが選択的に酸化され、基板WFの中央部の金属膜の研磨が行われなくなる。また、酸化膜の研磨においては砥粒による脆弱

40

50

層の剥離が研磨反応を律速することが多い。この場合は、砥粒量を減少させることで原子層オーダーの研磨を実現することになる。この場合も、パッド上方からすべての処理液成分を供給する方法では基板WFの周縁部がまず最初に新鮮な処理液と接触するので、有効な砥粒が周縁部での研磨によって消耗してしまい、基板WFの中央部の金属膜の研磨が行われなくなる。したがって、一例として、研磨反応を律速する成分を研磨パッド310の下方から供給し、それ以外の成分を従来通り研磨パッド310の上方から供給すると有効である。

#### 【0060】

一実施形態による基板WFの表面に形成された金属層を除去するための方法において、基板の金属層に電解液を供給する。そして、電解液を介して基板WFの金属層に電流を供給することで、金属層の表面に脆弱な反応層や電解酸化による酸化層を形成することができる。なお、酸化層については電解液中に錯体形成剤を導入することで最終的に反応層として形成されてもよい。このとき、電流の大きさおよび供給時間により、形成される反応層の厚さを制御することができる。また、基板WFの導電層に与える電荷量を制御することで、形成される反応層を制御することができる。一実施形態として、クーロンメータにより基板WFの導電層に与えられる電荷量を測定することで、電荷量を制御することができる。所望の反応層の厚さを実現するために、基板に供給される電流の大きさや供給時間を変更してもよい。本実施形態による方法は、たとえば、図5A、Bとともに説明した構成により実現することができる。本実施形態において、金属層に電気的な作用により反応層を形成したら、基板WFの表面に研磨パッド310を押圧して、反応層を研磨除去する。なお、本研磨除去においては、反応層のみを除去することが理想であることから、通常のCMPのような研磨速度は必要ではなく、例えば10nm/min以下の研磨速度であることが望ましい。同時に平坦化も必要であることから、通常のCMP以上に研磨パッドと基板WFとの接触をコントロールすることが必要であり、基板WFの除去対象材料表面の凹凸に対する研磨パッドの接触圧力の選択性が高い方が好ましい。例えば研磨条件としては、研磨圧力は小さい方が良く、好ましくは1psi以下、より好ましくは0.1psi以下が好ましい。また、ドレッシング条件等の調整による研磨パッド表面の平滑化や研磨パッド310の冷却機構にて研磨パッド310表面を冷却することなどにより研磨パッド310表面の剛性を増加させる方法でもよい。また、固定砥粒のような剛性の高い研磨パッドを使用してもよい。更に、処理液としては上述の砥粒等の有効成分を適宜調整したものを  
10  
20  
30

#### 【0061】

一実施形態による方法によれば、基板に形成されたシリコン酸化層を除去するための方法が提供される。かかる方法において、シリコン酸化層に吸着性界面活性剤を供給して、シリコン酸化層の表面に保護層を形成する。一実施形態として、吸着性界面活性剤の供給は、上述の処理液供給ライン500Aおよび/または処理液供給ライン500Bを使用することができる。本実施形態による方法において、保護層を形成した後に、処理液存在下で、基板WF上に形成された保護層に研磨パッド310を押圧して、保護層を研磨することでシリコン酸化層を研磨除去する。このとき、砥粒の研磨パッド310への吸着を促進する添加剤をパッドに供給することができる。たとえば、ピコリン酸を処理液に添加することで、砥粒であるセリア（酸化セリウム）の単位面積当たりの研磨パッド310への吸着量が増加することが知られている。そのため、このような添加剤を処理液に加えることで基板の研磨速度を制御することができる。  
40  
い。

#### 【0062】

上述してきた基板の研磨方法のいずれに実施形態においても、処理液の種類や各種成分の濃度、供給量、基板WFと研磨パッド310との間の押圧力、接触時間、トップリング330および研磨テーブル320の回転速度、などは任意に変更可能である。これらの処  
50

理条件は、1つの基板の処理中に変更してもよいし、複数の基板を処理するときに処理する基板ごとに変更してもよい。また、研磨対象となる基板は、任意である。研磨される金属層として、たとえば、アルミニウム、タングステン、銅、ルテニウム、コバルト、チタン、タンタル、およびそれらの任意の合金ないし化合物の少なくとも1つを含むものとすることができる。また、研磨される絶縁層としては、酸化シリコン層、窒化シリコン層、Low-k層、High-k層の少なくとも1つを含むものとするができる。

#### 【0063】

以下に、上述の実施形態による基板の研磨方法を使用した、基板を研磨する例を説明する。図8は、一実施形態による基板の研磨による平坦化の例を示している。図8(a)は基板表面に形成された除去対象層の初期状態を側面から見た図である。ここで、除去対象層は酸化シリコン層、窒化シリコン層、Low-k層、High-k層のような絶縁層、またはアルミニウム、タングステン、銅、ルテニウム、コバルト、チタン、タンタル、およびそれらの合金ないし化合物の少なくとも1つを含むものとするができる。かかる例において、基板WFの除去対象層は、凸部100および凹部102を備えている。一例として凸部100は、ナノメートルレベルの大きさである。図8は、除去対象層の凸部100を除去して、図8(d)に示される平坦な基板を得るための方法を示している。図8の例において、基板WFの表面に脆弱な反応層104を形成する(図8(b))。反応層は基板WFの凸部100および凹部102の両方に形成される。反応層104は、好ましくは、数レベルの原子層単位の厚さで形成される。反応層104の形成は、上述の任意の装置および方法を使用して行うことができる。次に、段差選択制のある除去技術により凸部100上に形成された反応層104を除去する(図8(c))。たとえば、上述の基板研磨装置300や触媒基準エッチング(CARE)法を用いて反応層104を除去することができる。反応層104の形成および反応層104の除去を繰り返すことで、基板WFの凸部100を除去し、平坦な基板WFを得ることができる(図8(d))。ここで、反応層104としては、除去対象層が酸化層の場合では、例えばpHを上げることによって基板WFのSiO<sub>2</sub>をシラノール化させて形成した脆弱化層であり、除去対象層がタングステンや銅のような金属層の場合では、酸化剤および/または錯体形成剤により形成された金属酸化物層もしくは錯体層である。基板研磨装置300での反応層104の研磨除去においては、凸部100上の反応層104のみを除去することが理想であることから、通常のCMPのような研磨速度は必要ではなく、例えば10nm/min以下の研磨速度であることが望ましい。同時に平坦化も必要であることから、通常のCMP以上に研磨パッド310と基板WFとの接触をコントロールすることが必要である。そのため、基板WFの除去対象材料表面の凹凸に対する研磨パッド310の接触圧力の選択性が高い方が好ましい。例えば研磨条件としては、研磨圧力は小さい方が良く、好ましくは1psi以下、より好ましくは0.1psi以下が好ましい。また、ドレッシング条件等の調整による研磨パッド310表面の平滑化や研磨パッド310表面を冷却して研磨パッド310表面の剛性を増加させてもよい。また、研磨処理液は、基板WF上の脆弱な反応層104を除去した後に、処理液中の砥粒が反応層104の下層(未反応層)にダメージを与えることを防止する観点から、例えば砥粒成分のみを含み、砥粒サイズも除去単位を小さくするため通常のCMPにおける砥粒サイズ以下、具体的には20nm以下と小さくした方がよい。また、砥粒濃度も研磨量の基板WF面内の均一性を損なわないレベルまで小さくしてもよい。更に、砥粒の表面への吸着や砥粒自身の凝集にはpHも関係していることからpH調整剤にて適宜調整してもよい。なお、上記は砥粒による反応層104の研磨除去の例であるが、反応層104が十分に脆弱である場合は、純水のみが存在下で、研磨パッド310を基板WFの表面に押圧して、基板を研磨してもよい。

#### 【0064】

図9は、一実施形態による基板の研磨による平坦化の例を示している。図9の例においても、図8の例と同様に、凸部100および凹部102を備える基板を平坦化する例を示している。図9(a)は基板表面に形成された除去対象層の初期状態を側面から見た図で

10

20

30

40

50

ある。一例として凸部100は、ナノメートルレベルの大きさである。図9の例においては、まず、基板WFの表面全体に保護層106を形成する(図9(b))。保護層106は、反応層104よりも研磨速度の研磨圧力への依存性が小さいものであることが望ましい。保護層106を形成したら、凸部100上の保護層106を研磨除去する(図9(c))。たとえば、上述の基板研磨装置300や研磨方法を用いて保護層106を研磨除去することができる。凸部100上の保護層106を除去したら、反応層104を形成する(図9(d))。この時、凸部100が露出し、凹部102は保護層106に覆われているので、反応層104は凸部100に形成されることになる。反応層104は、好ましくは、数レベルの原子層単位の厚さで形成される。反応層104の形成は、上述の任意の装置および方法を使用して行うことができる。反応層104を形成したら、反応層104のみを除去する(図9(e))。反応層104の除去は、上述の基板研磨装置300や触媒基準エッチング(CARE)法を用いて反応層104を除去することができる。また、保護層106がエッチング耐性のあるものであれば、反応層104をエッチングにより除去してもよい。上述の反応層104の形成および反応層104の除去を繰り返すことで、基板WFの凸部100を除去し、平坦な基板WFを得ることができる(図9(f))。図9の例では、保護層106を用いている。図9(a)に示されるような凸部100および凹部102を備える基板を、たとえばCMPなどでそのまま研磨すると、凸部100だけでなく凹部102も同時に研磨されることがある。そのため、図9の例においては、凹部102が研磨されないように保護層106を用いて凸部100を選択的に除去するようにしている。ここで、反応層104については図8の例と同様である。また、保護層106は特に凹凸差が小さいことにより凹凸部での研磨圧力差が小さい場合でも、凹部102の研磨速度の抑制に寄与する必要があることから、(1)研磨速度の研磨圧力に対する依存性が高いこと、(2)反応層の研磨速度より小さいこと、が求められる。例としては、いわゆる腐食抑制剤やレジスト、SOG等が候補であり、腐食抑制剤としてはベンゾトリアゾール及びその誘導体やインドール、2-エチルイミダゾール、ベンズイミダゾール、2-メルカプトベンズイミダゾール、3-アミノ-1,2,4-トリアゾール、3-アミノ-5メチル-4H-1,2,4-トリアゾール、5-アミノ-1H-テトラゾール、2-メルカプトベンゾチアゾール、2-メルカプトベンゾチアゾールナトリウム、2-メチルベンゾチアゾール、(2-ベンゾチアゾリルチオ)酢酸、3-(2-ベンゾチアゾリルチオ)プロピオン酸、2-メルカプト-2-チアゾリン、2-メルカプトベンズオキサゾール、2,5-ジメルカプト-1,3,4-チアジアゾール、5-メチル-1,3,4-チアジアゾール-2-チオール、5-アミノ-1,3,4-チアジアゾール-2-チオール、ピリジン、フェナジン、アクリジン、1-ヒドロキシピリジン-2-チオン、2-アミノピリジン、2-アミノピリミジン、トリチオシアヌル酸、2-ジブチルアミノ-4,6-ジメルカプト-s-トリアジン、2-アニリノ-4,6-ジメルカプト-s-トリアジン、6-アミノプリン、6-チオグアニン及びこれらの組合せからなる群より選ばれる1種類以上を挙げることができる。保護層106の形成方法としては、レジストやSOGについては別チャンバでのスピン塗布等により成膜することができる。腐食抑制剤については、図4で説明したように反応液槽600とは別途設置した保護膜形成用の液槽に基板WFを接触させて形成しても良い。また、保護層106の別の形成方法としては、図2および図3で示した反応層形成と同様の方法で形成しても良いが、反応層成分とのコンタミネーションの防止の観点からは、保護層106の研磨除去は、反応層104の研磨除去とは別の研磨テーブルにて実施する方がより確実である。また、基板研磨装置300での反応層104の研磨除去においては、反応層104のみを除去することが理想であることから、通常のCMPのような研磨速度は必要ではなく、例えば10nm/min以下の研磨速度であることが望ましい。同時に平坦化も必要であることから、通常のCMP以上に研磨パッド310と基板WFとの接触をコントロールすることが必要であり、基板WFの除去対象材料表面の凹凸に対する研磨パッド310の接触圧力の選択性が高い方が好ましい。例えば研磨条件としては、研磨圧力は小さい方が良く、好ましくは1psi以下、より好ましくは0.1psi以下が好ましい。また、ドレッシング条件等の調整による研磨パッド

10

20

30

40

50

310表面の平滑化や研磨パッド310表面を冷却して研磨パッド310表面の剛性を増加させてもよい。また、研磨処理液は、基板WF上の脆弱な反応層104を除去した後に、処理液中の砥粒が反応層104の下層（未反応層）にダメージを与えることを防止する観点から、例えば砥粒成分のみを含み、砥粒サイズも除去単位を小さくするため20nm以下と小さくした方がよい。また、砥粒濃度も研磨量の基板WF面内の均一性を損なわないレベルまで小さくしてもよい。更に、砥粒の表面への吸着や砥粒自身の凝集にはpHも関係していることからpH調整剤にて適宜調整してもよい。なお、上記は砥粒による反応層104の研磨除去の例であるが、反応層104が十分に脆弱である場合は、純水のみが存在下で、研磨パッド310を基板WFの表面に押圧して、基板を研磨してもよい。

#### 【0065】

図10は、一実施形態による基板の研磨による平坦化の例を示している。図10の例においても、図8の例と同様に、凸部100および凹部102を備える基板を平坦化する例を示している。図10(a)は基板表面に形成された除去対象層の初期状態を側面から見た図である。一例として凸部100は、ナノメートルレベルの大きさである。図10の例においては、まず、基板WFの表面全体に犠牲層108を形成する(図10(b))。犠牲層108は、除去対象である凸部100と同一の手法で反応層104を形成でき、除去対象である凸部100と同等の除去速度が得られるものであることが好ましい。犠牲層108を形成したら、犠牲層108の表面全体に反応層104を形成する(図10(c))。反応層104は、好ましくは、数レベルの原子層単位の厚さで形成される。反応層104の形成は、上述の任意の装置および方法を使用して行うことができる。反応層104を形成したら、反応層104のみを除去する(図10(d))。反応層104の除去は、上述の基板研磨装置300や触媒基準エッチング(CARE)法を用いて反応層104を除去することができる。上述の反応層104の形成および反応層104の除去を繰り返すことで、基板WFの凸部100を除去し、平坦な基板WFを得ることができる(図10(e))。図10の例では、犠牲層108を用いている。図10(a)に示されるような凸部100および凹部102を備える基板を、たとえばCMPなどでそのまま研磨すると、凸部100だけでなく凹部102も同時に研磨されることがある。そのため、図10の例においては、凹部102が研磨されないように犠牲層108を用いることで、凸部100と犠牲層108との研磨速度の選択性を合わせて、平坦化を行うようにしている。ここで、反応層104については図8の例と同様である。犠牲層108について、図10のような構造の除去対象層の場合では、除去対象層と同一手段で反応層104が形成できること、および/または除去対象層と同等の研磨速度の反応層が得られることが望ましい。但し、例えば幅広の凸形状のようなCMPでの平坦化が難しい(段差解消率が小さい)凸形状の解消においては、例えば犠牲層の研磨速度を除去対象層よりも同等以下にすることで、積極的に凸形状を解消させてもよい。犠牲層108の例としては、レジスト等の有機系材料やSOG等が挙げられ、これらについてはスピン塗布等による成膜が可能である。別チャンバにてCVD等他の成膜方法を用いても、上記の要求を満たしている材料であれば犠牲層108として採用可能である。また、除去対象層に含まれる材料を犠牲層108として使用してもよい。また、除去対象材料が後述の図11の銅配線の平坦化の例で示すように複数存在する場合、犠牲層108は全てを被覆するように形成しても良いが、たとえば銅配線のみは無電解めっき等の手法で特定の除去対象材料のみに犠牲層108を形成してもよい。ここで、犠牲層108の形成のタイミングについて、銅配線の平坦化の例に示す。図11はCMPによる銅配線埋め込みにおける平坦化工程の例である。通常配線埋め込みのために電解めっきにて形成された銅層110の余剰分をまず除去し(図11(a)から図11(c)の工程)、更に下層のバリアメタル112(銅層110の絶縁層114中への拡散防止が目的)を更に除去することで、最終的に配線部のみに銅を残す(図11(c)から図11(d)の工程)。ここで、電解めっき後の銅層110表面には下層に形成された配線溝の幅やメッキ条件に起因する凹凸が発生し、通常のCMPだけでは、このような凹凸形状の大きさによっては凹凸の完全な解消が困難であり、その結果、銅配線が過度に研磨されるいわゆるディッシングや、絶縁層が過剰研磨されるいわゆるエロージョン

10

20

30

40

50

が発生し(図11(d)参照)、ひいては配線高さのバラつきとなる。犠牲層108は本凹凸形状の影響を低減させるために形成するものであり、その形成タイミングとしては、図11に示される(a)研磨前(銅層形成後)、(b)銅層の研磨の途中段階(バリアメタル上の銅層除去直前)、(c)バリアメタル上の銅層除去後、が挙げられる。原子レベルの反応層形成及び除去による平坦化の観点からは、(b)または(c)のタイミングで犠牲層108を形成するのが良いと考えられる。たとえば、(b)のタイミングで犠牲層108を形成することで、銅層110の凸部の平坦化によるディッシングの抑制が可能であり、また(c)のタイミングで犠牲層108を形成することで、次のバリアメタル112除去時において、ディッシング部の銅の研磨速度、すなわちディッシングの進行を抑制できる。ここで、犠牲層108については、(b)または(c)のタイミングで異なっても良い。例えば(b)のタイミングでは、犠牲層108の研磨速度を銅層110よりも同等以下にすることで、積極的に凸形状を解消させてもよい。また、(c)のタイミングについて、(b)にてディッシング発生が抑制された状態である場合、犠牲層108、銅層110及び絶縁層114の研磨速度は同等であることが望ましい。なお、基板研磨装置300での反応層104の研磨除去においては、反応層104のみを除去することが理想であることから、通常のCMPのような研磨速度は必要ではなく、例えば10nm/min以下の研磨速度であることが望ましい。同時に平坦化も必要であることから、通常のCMP以上に研磨パッド310と基板WFとの接触をコントロールすることが必要であり、基板WFの除去対象材料表面の凹凸に対する研磨パッド310の接触圧力の選択性が高い方が好ましい。例えば研磨条件としては、研磨圧力は小さい方が良く、好ましくは1psi以下、より好ましくは0.1psi以下が好ましい。また、ドレッシング条件等の調整による研磨パッド310表面の平滑化や研磨パッド310表面を冷却することで研磨パッド310表面の剛性を増加させてもよい。また、研磨処理液は、基板WF上の脆弱な反応層104を除去した後に、処理液中の砥粒が反応層104の下層(未反応層)にダメージを与えることを防止する観点から、例えば砥粒成分のみを含み、砥粒サイズも除去単位を小さくするため20nm以下と小さくした方がよい。また、砥粒濃度も研磨量の基板WF面内の均一性を損なわないレベルまで小さくしてもよい。更に、砥粒の表面への吸着や砥粒自身の凝集にはpHも関係していることからpH調整剤にて適宜調整してもよい。なお、上記は砥粒による反応層104の研磨除去の例であるが、反応層が十分に脆弱である場合は、純水のみが存在下で、研磨パッド310を基板WFの表面に押圧して、基板を研磨してもよい。

#### 【0066】

以上、いくつかの例に基づいて本発明の実施形態について説明してきたが、上記した発明の実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得るとともに、本発明には、その均等物が含まれることはもちろんである。また、上述した課題の少なくとも一部を解決できる範囲、または、効果の少なくとも一部を奏する範囲において、特許請求の範囲および明細書に記載された各構成要素の任意の組み合わせ、または、省略が可能である。

#### 【符号の説明】

#### 【0067】

- 100 ... 凸部
- 102 ... 凹部
- 104 ... 反応層
- 106 ... 保護層
- 108 ... 犠牲層
- 300 ... 基板研磨装置
- 310 ... 研磨パッド
- 320 ... 研磨テーブル
- 330 ... トップリング

10

20

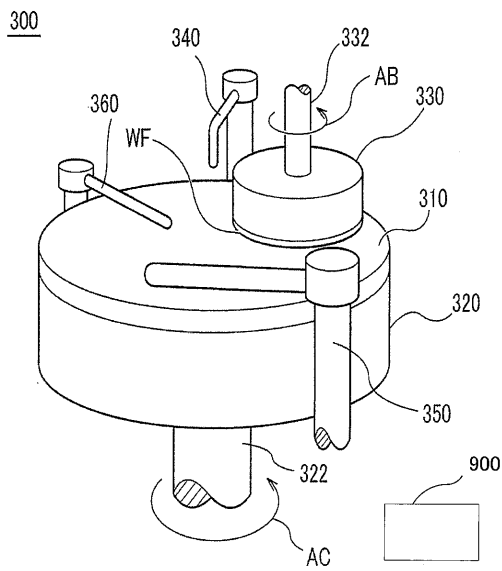
30

40

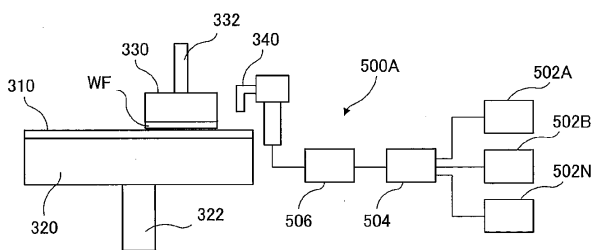
50

- 3 4 0 ... 処理液供給ノズル
- 4 0 0 ... アーム
- 5 0 2 ... 液体源
- 5 0 4 ... ミキサ
- 5 0 6 ... センサ
- 6 0 0 ... 反応液槽
- 6 5 0 ... 電解液槽
- 6 5 2 ... 対向電極
- 6 5 4 ... 電源
- 6 5 6 ... 給電ピン
- 9 0 0 ... 制御装置
- 3 1 2 a ... 貫通孔
- 3 4 2 a ... 出口開口
- 5 0 0 A ... 処理液供給ライン
- 5 0 0 B ... 処理液供給ライン
- W F ... 基板

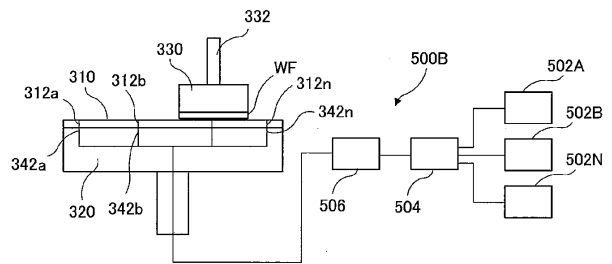
【 図 1 】



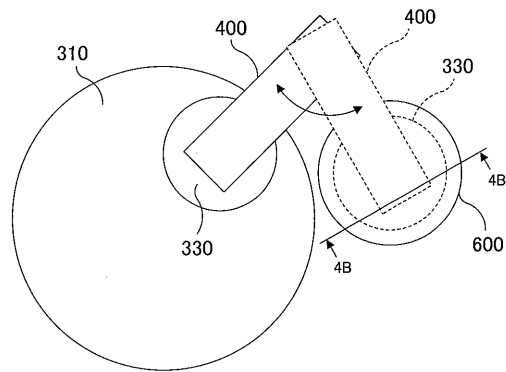
【 図 2 】



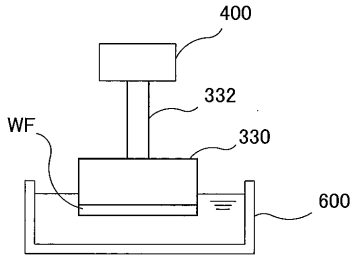
【 図 3 】



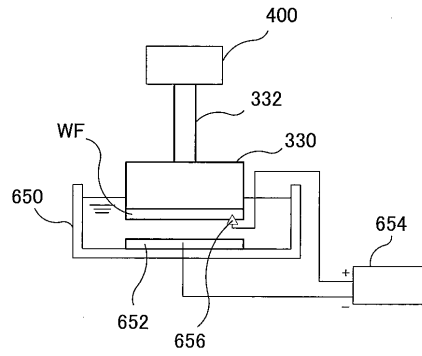
【 図 4 A 】



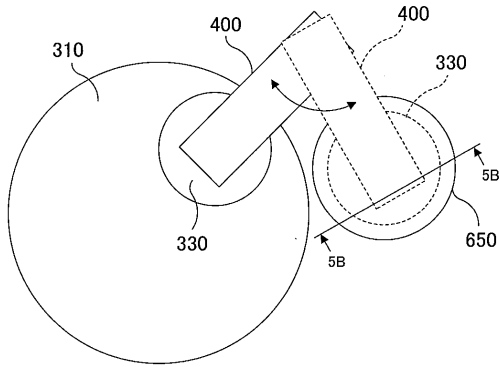
【図4B】



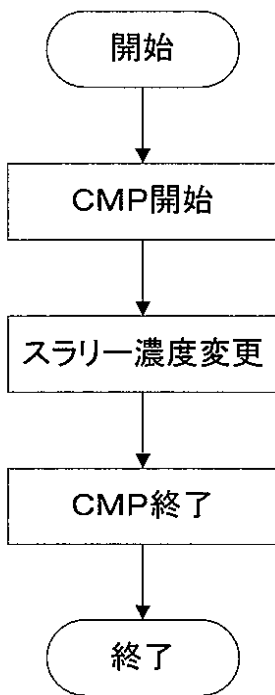
【図5B】



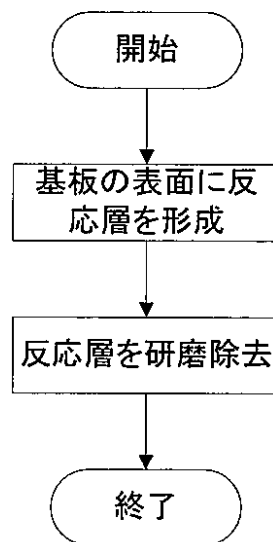
【図5A】



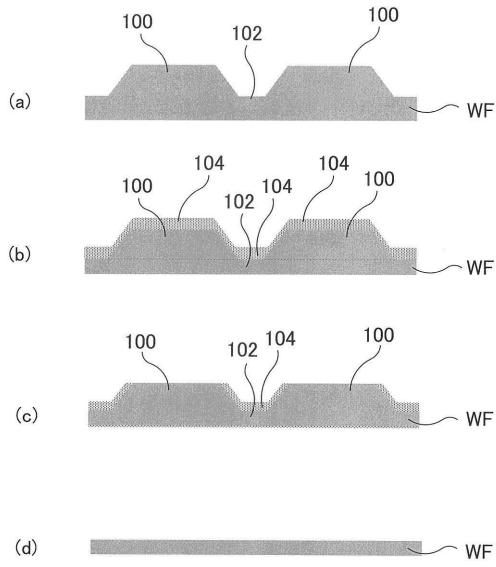
【図6】



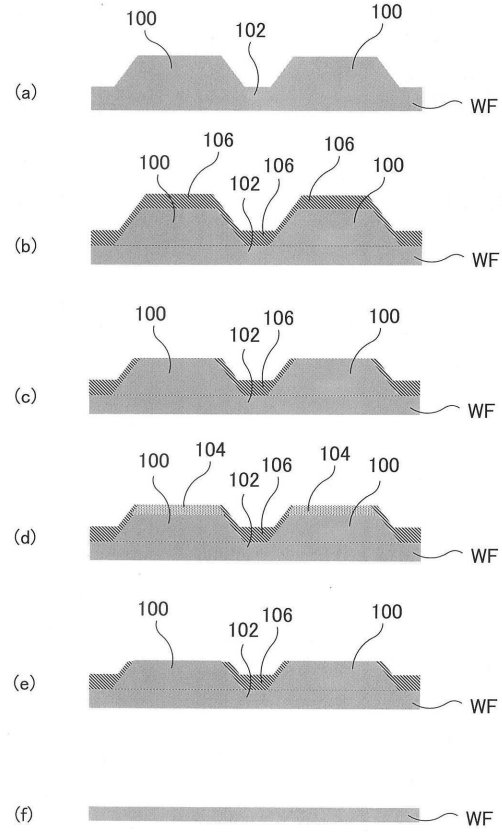
【図7】



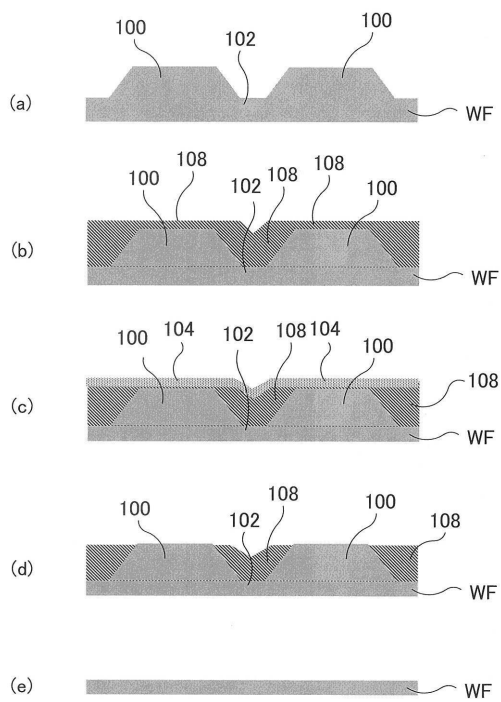
【図 8】



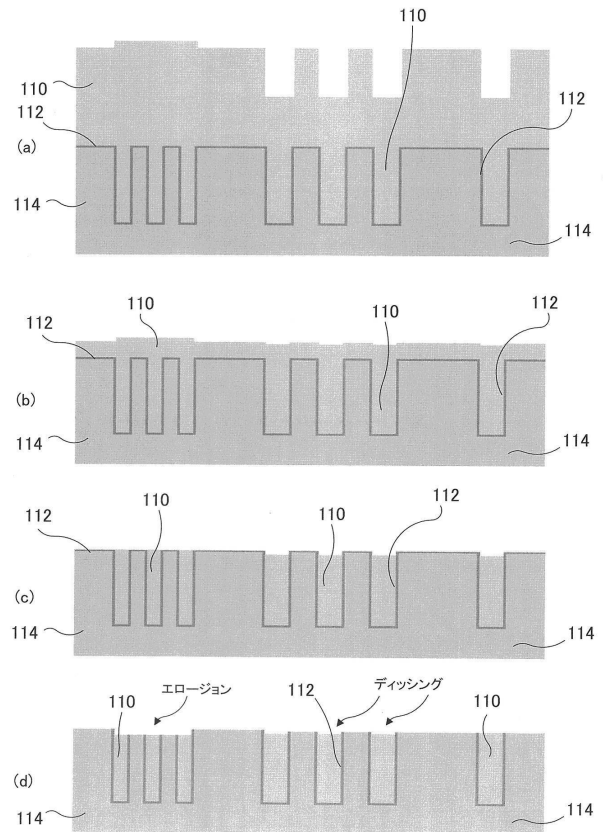
【図 9】



【図 10】



【図 11】



## フロントページの続き

- (72)発明者 渡辺 和英  
東京都大田区羽田旭町1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内
- (72)発明者 小島 巖貴  
東京都大田区羽田旭町1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内
- (72)発明者 辻村 学  
東京都大田区羽田旭町1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内

審査官 鈴木 孝章

- (56)参考文献 特開2008 - 277601 (JP, A)  
特開平09 - 298176 (JP, A)  
特開2001 - 144058 (JP, A)  
特開2004 - 351575 (JP, A)  
特開2004 - 048033 (JP, A)  
特開2013 - 219133 (JP, A)  
特開2004 - 172338 (JP, A)  
特開2002 - 093761 (JP, A)  
特開2009 - 267367 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/304  
B24B 37/00