

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年6月30日(30.06.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/104292 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/318 (2006.01) H01L 27/115 (2006.01)
H01L 21/31 (2006.01) H01L 29/788 (2006.01)
H01L 21/316 (2006.01) H01L 29/792 (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
H01L 21/8247 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/085247
- (22) 国際出願日: 2015年12月16日(16.12.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-262686 2014年12月25日(25.12.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立国際電気(HITACHI KOKU-SAI ELECTRIC INC.) [JP/JP]; 〒1018980 東京都千代田区外神田四丁目1-4番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中山 雅則(NAKAYAMA, Masanori); 〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地 株式会社日立国際電気内 Toyama (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

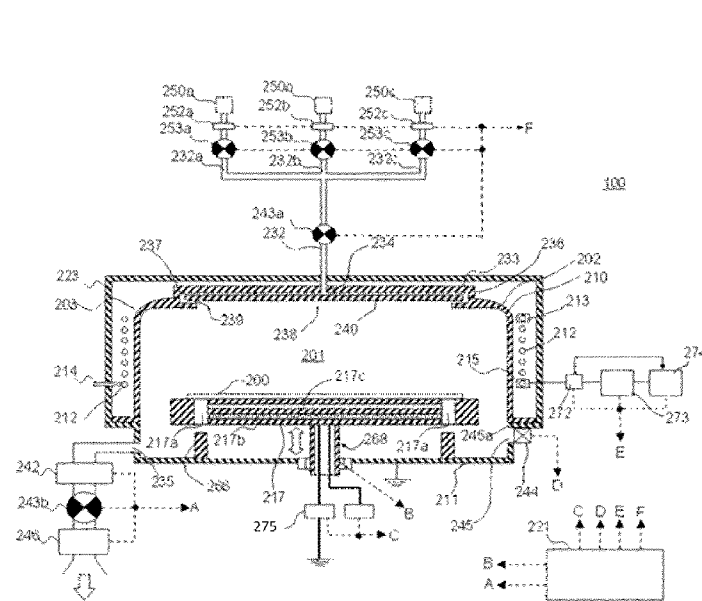
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING METHOD, RECORDING MEDIUM, AND SUBSTRATE PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置の製造方法、記録媒体及び基板処理装置



(57) Abstract: [Problem] To form a film having favorable step coverage, even on a surface having a structure with a high aspect ratio. [Solution] Provided is a technique that includes the following: a step for placing a substrate on a substrate placement stand; a step for supplying nitrogen containing gas into a substrate processing chamber; a step for applying high-frequency power to a coil and thereby starting, in a plasma generation space, plasma excitation of the nitrogen containing gas; and a step for nitriding the substrate surface using an active species that was generated by the plasma excitation and that includes a nitrogen element. In the step for nitriding the substrate surface, the pressure inside of the substrate processing chamber is within the range of 1Pa to 100Pa.

(57) 要約: [課題] アスペクト比の高い構造の表面においても良好なステップカバレッジを有する膜の形成を実現する。[解決手段] 基板載置台に基板を載置する工程と、基板処理室内に窒素含有ガスを供給する工程と、コイルに高周波電力を印加して、プラズマ生成空間において窒素含有ガスのプラズマ励起を開始する工程と、プラズマ励起によって発生した、窒素元素を含む活性種により基板の表面を窒化する工程と、を有し、基板表面を窒化する工程では、基板処理室内の圧力を1Pa

以上100Pa以下の範囲とする技術を提供する。

WO 2016/104292 A1

明 細 書

発明の名称：半導体装置の製造方法、記録媒体及び基板処理装置
技術分野

[0001] 本発明は、いわゆる誘導結合プラズマ（ICP：Inductively Coupled Plasma）方式でプラズマ化したガスを用いて基板を改質する技術に関する。

背景技術

[0002] 近年、フラッシュメモリ等の半導体装置は高集積化の傾向にある。それに伴い、パターンサイズが著しく微細化されている。これらのパターンを形成する際、製造工程の一工程として、基板に窒化処理や酸化処理等の所定の処理を行う工程が実施される場合がある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2014-75579号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記パターンを形成する方法の一つとして、回路間に溝を形成し、その表面にライナー膜や配線を形成する工程が存在する。この溝は近年の微細化に伴い、高いアスペクト比を有する構造となってきた。

[0005] ライナー膜等を形成するに際しては、溝の上部側面、中部側面、下部側面、底部においても膜厚にばらつきが無い良好なステップカバレッジの膜を形成することが求められている。良好なステップカバレッジの膜とすることで、半導体デバイスの特性を溝間で均一とすることができ、それにより半導体デバイスの特性ばらつきを抑制することができるためである。

[0006] この高いアスペクト比の溝を処理するために、ガスを加熱して処理することや、ガスをプラズマ状態として処理することが試みられたが、良好なステップカバレッジを有する膜を形成することは困難であった。

[0007] 本発明は、高いアスペクト比を有する構造の表面においても良好なステップカバレッジを有する窒化膜の形成を実現可能な技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様によれば、供給された窒素含有ガスがプラズマ励起されるプラズマ生成空間と、前記プラズマ生成空間に連通し基板処理時に基板が載置される基板処理空間と、を有する基板処理室と、前記プラズマ生成空間の外周に設けられ、コイルと前記コイルに接続されるインピーダンスマッチング回路により構成され、前記コイルと前記インピーダンスマッチング回路を合わせた電気長が印加される高周波電力の波長の整数倍の長さである誘導結合構造と、前記基板を前記コイルの下端より下の位置に載置するように構成された基板載置台と、を備えた基板処理装置を準備する工程と、前記基板載置台に前記基板を載置する工程と、前記基板処理室内に前記窒素含有ガスを供給する工程と、前記コイルに高周波電力を印加して、前記プラズマ生成空間において前記窒素含有ガスのプラズマ励起を開始する工程と、前記プラズマ励起によって発生した、窒素元素を含む活性種により前記基板の表面を窒化する工程と、を有し、前記基板表面を窒化する工程では、基板処理室内の圧力を1 Pa以上100 Pa以下の範囲とする、半導体装置の製造方法が提供される。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、高いアスペクト比を有する構造の表面においても良好なステップカバレッジを有する窒化膜の形成が実現可能な技術が提供される。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施形態に係る基板処理装置の断面図である。

[図2]本発明の実施形態に係る基板処理装置のプラズマ生成原理を説明する説明図である。

[図3]本発明の実施形態に係る制御部を説明する説明図である。

[図4]本発明の第一の実施形態に係る基板処理工程を示すフロー図である。

[図5]本発明の第一の実施形態に係る基板処理工程で処理される溝（トレンチ

) が形成された基板の説明図である。

[図6]本発明の第一の実施形態に係る基板処理工程で処理された溝（トレンチ）を説明した説明図である。

[図7]窒化膜厚と膜の均一性の圧力依存の関係を説明する説明図である。

[図8]本発明の第一の実施形態に係る基板処理工程で処理される溝（トレンチ）が形成された基板の説明図である。

発明を実施するための形態

[0011] <本発明の第一の実施形態>

(1) 基板処理装置の構成

本発明の第1実施形態に係る基板処理装置について、図1から図4を用いて以下に説明する。

[0012] (処理室)

処理装置100は、ウエハ200を誘導結合プラズマ（ICP：Inductively Coupled Plasma）方式のプラズマ処理を行う処理炉202を備えている。処理炉202には、処理室201を構成する処理容器203が設けられている。処理容器203は、第1の容器であるドーム型の上側容器210と、第2の容器である碗型の下側容器211とを備えている。上側容器210が下側容器211の上に被さることにより、処理室201が形成される。上側容器210は、例えば酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）または石英（ SiO_2 ）等の非金属材料で形成されており、下側容器211は、例えばアルミニウム（Al）で形成されている。

[0013] また、下側容器211の下部側壁には、ゲートバルブ244が設けられている。ゲートバルブ244は、開いているとき、搬送機構（図示せず）を用いて、搬入出口245を介して、処理室201内へウエハ200を搬入できる。または、搬送機構（図示せず）を用いて、搬入出口245を介して、処理室201外へとウエハ200を搬出することができるように構成されている。ゲートバルブ244は、閉まっているときには、処理室201内の気密性を保持する仕切弁となるように構成されている。

[0014] 処理室201は、後述するように周囲に共振コイル212が設けられているプラズマ生成空間201aと、プラズマ生成空間201aに連通し、ウエハ200が処理される基板処理空間201bを有する。プラズマ生成空間201aはプラズマが生成される空間であって、処理室内、共振コイル212の下端（一点鎖線）より上方の空間を言う。一方、基板処理空間201bは基板がプラズマで処理される空間であって、共振コイル212の下端より下方の空間を言う。

[0015] (サセプタ)

処理室201の底側中央には、ウエハ200を載置する基板載置部としてのサセプタ217が配置されている。サセプタ217は例えば窒化アルミニウム(A1N)、セラミックス、石英等の非金属材料から形成されており、ウエハ200上に形成される膜等の金属汚染を低減することができるように構成されている。

[0016] サセプタ217の内部には、加熱機構としてのヒータ217bが一体的に埋め込まれている。ヒータ217bは、電力が供給されると、ウエハ200表面を例えば25℃から700℃程度まで加熱することができるように構成されている。

[0017] サセプタ217は、下側容器211とは電氣的に絶縁されている。サセプタ217内部にはインピーダンス調整電極217cが装備されている。インピーダンス調整電極217cは、インピーダンス調整部としてのインピーダンス可変機構275を介して接地されている。インピーダンス可変機構275はコイルや可変コンデンサから構成されており、コイルのインダクタンス及び抵抗並びに可変コンデンサの容量値を制御することにより、インピーダンスを約0Ωから処理室201の寄生インピーダンス値の範囲内で変化させることができるように構成されている。これによって、インピーダンス調整電極217c及びサセプタ217を介して、ウエハ200の電位（バイアス電圧）を制御できる。

[0018] サセプタ217には、サセプタを昇降させるサセプタ昇降機構268が設

けられている。そしてサセプタ217には貫通孔217aが設けられ、一方、下側容器211の底面にはウエハ突上げピン266が設けられている。貫通孔217aとウエハ突上げピン266とは互いに対向する位置に、少なくとも各3箇所ずつ設けられている。サセプタ昇降機構268によりサセプタ217が下降させられたときには、ウエハ突上げピン266がサセプタ217とは非接触な状態で、貫通孔217aを突き抜けるように構成されている。また、サセプタ昇降機構268は、サセプタ217に載置されたウエハ200と共振コイル212の下端との距離が40mm~200mmの範囲となるように位置を調整可能である。

[0019] 主に、サセプタ217及びヒータ217b、電極217cにより、本実施形態に係る基板載置部が構成されている。

[0020] (ガス供給部)

処理室201の上方、つまり上側容器210の上部には、ガス供給ヘッド236が設けられている。ガス供給ヘッド236は、キャップ状の蓋体233と、ガス導入口234と、バッファ室237と、開口238と、遮蔽プレート240と、ガス吹出口239とを備え、反応ガス(処理ガスともいう)を処理室201内へ供給できるように構成されている。バッファ室237は、ガス導入口234より導入される反応ガスを分散する分散空間としての機能を持つ。

[0021] ガス導入口234には、窒素含有ガスとしての窒素(N_2)ガスを供給する窒素含有ガス供給管232aの下流端と、水素含有ガスとしての水素(H_2)ガスを供給する水素含有ガス供給管232bの下流端と、不活性ガスとしてのアルゴン(Ar)ガスを供給する不活性ガス供給管232cと、が合流するように接続されている。窒素含有ガス供給管232aには、上流側から順に、 N_2 ガス供給源250a、流量制御装置としてのマスフローコントローラ252a、開閉弁としてのバルブ253aが設けられている。水素含有ガス供給管232bには、上流側から順に、 H_2 ガス供給源250b、流量制御装置としてのマスフローコントローラ252b、開閉弁としてのバルブ253

bが設けられている。不活性ガス供給管232cには、上流側から順に、Arガス供給源250c、流量制御装置としてのマスフローコントローラ252c、開閉バルブとしての253cが設けられている。酸素含有ガス供給管232aと水素含有ガス供給管232bと不活性ガス供給管232cとが合流した下流側には、バルブ243aが設けられ、ガス導入口234の上流端に接続されている。バルブ253a、253b、253c、243aを開閉させることによって、マスフローコントローラ252a、252b、252cによりそれぞれのガスの流量を調整しつつ、ガス供給管232a、232b、232cを介して、窒素含有ガス、水素ガス含有ガス、不活性ガス等の反応ガスを処理室201内へ供給し、基板の窒化処理を行うように構成されている。

[0022] なお、基板の酸化処理を行う場合には、窒素含有ガスに代えて、酸素含有ガスとしての酸素(O₂)ガスを酸素含有ガス供給管232aから供給するように構成する。また、不活性ガスとしては、Arガスのほかにも、ヘリウム(He)ガス、ネオン(Ne)ガス等の希ガスを用いても良い。

[0023] 主に、ガス供給ヘッド236(蓋体233、ガス導入口234、バッファ室237、開口238、遮蔽プレート240、ガス吹出口239)、窒素含有ガス供給管232a、水素含有ガス供給管232b、不活性ガス供給管232c、マスフローコントローラ252a、252b、252c、バルブ253a、253b、253c、243aにより、本実施形態に係るガス供給部が構成されている。

[0024] また、ガス供給ヘッド236(蓋体233、ガス導入口234、バッファ室237、開口238、遮蔽プレート240、ガス吹出口239)、窒素含有ガス供給管232aマスフローコントローラ252aバルブ253a、243aにより、本実施形態に係る窒素含有ガス供給系が構成されている。

[0025] さらに、ガス供給ヘッド236(蓋体233、ガス導入口234、バッファ室237、開口238、遮蔽プレート240、ガス吹出口239)、水素含有ガス供給管232b、マスフローコントローラ252b、バルブ253

b, 243aにより、本実施形態に係る水素ガス供給系が構成されている。

[0026] さらに、ガス供給ヘッド236（蓋体233、ガス導入口234、バッファ室237、開口238、遮蔽プレート240、ガス吹出口239）、不活性ガス供給管232c、マスフローコントローラ252c、バルブ253c、243aにより、本実施形態に係る不活性ガス供給系が構成されている。

[0027] 尚、ガス供給部として、N₂ガス供給源250a、H₂ガス供給源250b、Arガス供給源250cを含めても良い。また、窒素含有ガス供給系としてN₂ガス供給源250aを含めても良い。また、水素含有ガス供給系としてH₂ガス供給源250bを含めても良い。また、不活性ガス供給系としてArガス供給源250cを含めても良い。

[0028] （排気部）

下側容器211の側壁には、処理室201内から反応ガスを排気するガス排気口235が設けられている。ガス排気口235には、ガス排気管231の上流端が接続されている。ガス排気管231には、上流側から順に圧力調整器（圧力調整部）としてのAPC（Auto Pressure Controller）242、開閉弁としてのバルブ243b、真空排気装置としての真空ポンプ246が設けられている。

[0029] 主に、ガス排気口235、ガス排気管231、APC242、バルブ243bにより、本実施形態に係る排気部が構成されている。尚、真空ポンプ246を排気部に含めても良い。

[0030] （プラズマ生成部）

処理室201の外周部、すなわち上側容器210の側壁の外側には、処理室201を囲うように、第1の電極としての、螺旋状の共振コイル212が設けられている。共振コイル212には、RFセンサ272、高周波電源273と周波数整合器274が接続される。

[0031] 高周波電源273は、共振コイル212に高周波電力を供給するものである。RFセンサ272は高周波電源273の出力側に設けられている。RFセンサ272は、供給される高周波の進行波や反射波の情報をモニタするも

のである。周波数整合器 274 は、RF センサ 272 でモニタされた反射波の情報に基づいて、反射波が最小となるよう、高周波電源 273 を制御するものである。

[0032] 共振コイル 212 は、所定の波長の定在波を形成するため、一定波長モードで共振するように巻径、巻回ピッチ、巻数が設定される。すなわち、共振コイル 212 の電氣的長さは、高周波電源 273 から供給される電力の所定周波数における 1 波長の整数倍（1 倍、2 倍、…）に相当する長さに設定される。例えば、13.56 MHz の場合、1 波長の長さは約 2.2 メートル、27.12 MHz の場合、1 波長の長さは約 1.1 メートル、54.24 MHz の場合、1 波長の長さは約 0.55 メートルになる。共振コイル 212 は、絶縁性材料にて平板状に形成され且つベースプレートの上端面に鉛直に立設された複数のサポートによって支持される。

[0033] 共振コイル 212 の両端は電氣的に接地されるが、共振コイル 212 の少なくとも一端は、装置の最初の設置の際又は処理条件の変更の際に当該共振コイルの電氣的長さを微調整するため、可動タップ 213 を介して接地される。図 1 中の符号 214 は他方の固定グランドを示す。さらに、装置の最初の設置の際又は処理条件の変更の際に共振コイル 212 のインピーダンスを微調整するため、共振コイル 212 の接地された両端の間には、可動タップ 215 によって給電部が構成される。

[0034] すなわち、共振コイル 212 は、電氣的に接地されたグランド部を両端に備え且つ高周波電源 273 から電力供給される給電部を各グランド部の間に備えている。しかも、少なくとも一方のグランド部は、位置調整可能な可変式グランド部とされ、そして、給電部は、位置調整可能な可変式給電部とされる。共振コイル 212 が可変式グランド部及び可変式給電部を備えている場合には、後述するように、処理室 201 の共振周波数及び負荷インピーダンスを調整するにあたり、より一層簡便に調整することができる。プラズマの生成原理については後述する。

[0035] 高周波電源 273 の出力側には RF センサ 272 が設置され、進行波、反

射波等をモニタしている。RFセンサ272によってモニタされた反射波電力は、周波数整合器274に入力される。周波数整合器274は、反射波が最小となるよう周波数を制御する。

[0036] 主に、共振コイル212、RFセンサ272、周波数整合器274により、本実施形態に係るプラズマ生成部が構成されている。尚、プラズマ生成部として高周波電源273を含めても良い。

[0037] ここで、本実施形態に係る装置のプラズマ生成原理および生成されるプラズマの性質について図2を用いて説明する。

[0038] 共振コイル212は、所定の波長の定在波を形成するため、全波長モードで共振する様に巻径、巻回ピッチ、巻数が設定される。すなわち、共振コイル212の電氣的長さは、高周波電源273から与えられる電力の所定周波数における1波長の整数倍（1倍、2倍、…）に設定される。

[0039] 具体的には、印加する電力や発生させる磁界強度または適用する装置の外形などを勘案し、共振コイル212は、例えば、800kHzから50MHz、0.5KWから5KWの高周波電力によって0.01ガウスから10ガウス程度の磁場を発生し得る様に、50mm²から300mm²の有効断面積であって且つ200mmから500mmのコイル直径とされ、プラズマ生成空間201aを形成する部屋の外周側に2から60回程度巻回される。なお、共振コイル212を構成する素材としては、銅パイプ、銅の薄板、アルミニウムパイプ、アルミニウム薄板、ポリマーベルトに銅またはアルミニウムを蒸着した素材などが使用される。

[0040] また、共振コイル212の一端または両端は、当該共振コイルの電氣的長さを設置の際に微調整し、共振特性を高周波電源273と略等しくするため、通常は可動タップを介して接地される。更に、位相及び逆位相電流が共振コイル212の電氣的中点に関して対称に流れる様に、共振コイル212の一端（若しくは他端または両端）には、コイル及びシールドから成る波形調整回路が挿入される。波形調整回路は、共振コイル212の端部を電氣的に非接続状態とするか又は電氣的に等価の状態に設定することにより開路に構

成する。また、共振コイル 2 1 2 の端部は、チョーク直列抵抗によって非接地とし、固定基準電位に直流接続されてもよい。

[0041] 遮蔽板 2 2 3 は、共振コイル 2 1 2 の外側の電界を遮蔽すると共に、共振回路を構成するのに必要な容量成分（C成分）を共振コイル 2 1 2 との間に形成するために設けられる。遮蔽板 2 2 3 は、一般的には、アルミニウム合金、銅または銅合金などの導電性材料を使用して円筒状に構成される。遮蔽板 2 2 3 は、共振コイル 2 1 2 の外周から、例えば 5 ~ 1 5 0 mm 程度隔てて配置される。そして、通常、遮蔽板 2 2 3 は共振コイル 2 1 2 の両端と電位が等しくなる様に接地されるが、共振コイル 2 1 2 の共振周波数を正確に設定するため、遮蔽板 2 2 3 の一端または両端は、タップ位置を調整可能とする。あるいは、共振周波数を正確に設定するために、共振コイル 2 1 2 と遮蔽板 2 2 3 の間にトリミングキャパシタンスを挿入しても良い。

[0042] 高周波電源 2 7 3 は、発振周波数および出力を規定するための高周波発振回路およびプリアンプを含む電源制御手段（コントロール回路）と、所定の出力に増幅するための増幅器（出力回路）とを備えている。電源制御手段は、操作パネルを通じて予め設定された周波数および電力に関する出力条件に基づいて増幅器を制御し、増幅器は、上記の共振コイル 2 1 2 に伝送線路を介して一定の高周波電力を供給する。

[0043] ところで、共振コイル 2 1 2 によって構成されるプラズマ発生回路は R L C の並列共振回路で構成される。高周波電源 2 7 3 の波長と共振コイル 2 1 2 の電氣的長さが同じ場合、共振コイル 2 1 2 の共振条件は、共振コイル 2 1 2 の容量成分や誘導成分によって作り出されるリアクタンス成分が相殺され、純抵抗になることである。しかしながら、上記プラズマ発生回路においては、プラズマを発生させた場合、共振コイル 2 1 2 の電圧部とプラズマとの間の容量結合、プラズマ生成空間 2 0 1 a とプラズマの間の誘導結合の変動や、プラズマの励起状態により、実際の共振周波数が僅かながら変動する。

[0044] そこで、本実施形態においては、プラズマ発生時の共振コイル 2 1 2 にお

ける共振のずれを電源側で補償するため、周波数整合器 274 は、プラズマが発生した際の共振コイル 212 からの反射波電力を検出して出力を補完する機能を有する。斯かる構成により、本発明の共振装置では、共振コイル 212 において一層正確に定在波を形成でき、容量結合の極めて少ないプラズマを発生させ得る。

[0045] すなわち、上記の周波数整合器 274 は、プラズマが発生した際の前記の共振コイル 212 からの反射波電力を検出し、反射波電力が最小となる様に前記の所定周波数を増加または減少させる。具体的には、周波数整合器 274 には、予め設定された発振周波数を補正する周波数制御回路が構成される。また、増幅器の出力側には、伝送線路における反射波電力を検出し、その電圧信号を周波数制御回路にフィードバックする RF センサ 272 が介装される。

[0046] 周波数制御回路は、反射波パワーメータからの電圧信号が入力され且つ当該電圧信号を周波数信号にデジタル変換する A/D コンバータ、変換された反射波に相当する周波数信号の値と予め設定記憶された発振周波数の値とを加減算処理する演算処理回路、加減算処理して得られた周波数の値を電圧信号にアナログ変換する D/A コンバータ、および、D/A コンバータからの印加電圧に応じて発振する電圧制御発振器によって構成される。従って、周波数制御回路は、プラズマ点灯前は共振コイル 212 の無負荷共振周波数で発振し、プラズマ点灯後は反射電力が最小となる様に前記所定周波数を増加または減少させた周波数を発振し、結果的には、伝送線路における反射波がゼロとなる様に周波数信号を増幅器に与える。

[0047] 本実施形態においては、プラズマ生成空間 201a の内部を所定の範囲内の圧力まで減圧した後、前記の真空度を維持しつつプラズマ生成空間 201a にプラズマ用ガス（本実施形態において窒化処理を行う場合には窒素含有ガス、酸化処理を行う場合には酸素含有ガス）を供給する。そして、高周波電源 273 から共振コイル 212 に例えば 27.12 MHz の高周波電力を供給すると、プラズマ生成空間 201a の内部に誘導電界が生じ、その結果

、供給されたガスがプラズマ生成空間201aにおいてプラズマ状態となる。

[0048] 本発明の共振装置においては、プラズマ発生時およびプラズマ生成条件の変動時の共振コイル212の共振点のずれに応じて、正確に共振する周波数の高周波を出力するため、共振コイル212で一層正確に定在波を形成できる。すなわち、図2に示す様に、共振コイル212においては、プラズマを含む当該共振器の実際の共振周波数の送電により、位相電圧と逆位相電圧が常に相殺される状態の定在波が形成され、コイルの電気的中点（電圧がゼロのノード）に最も高い位相電流が生起される。従って、上記の電気的中点において励起された誘導プラズマは、処理室壁や基板載置台との容量結合が殆どなく、プラズマ生成空間201a中には、電気的ポテンシャルの極めて低いドーナツ状のプラズマを形成できる。

[0049] （制御部）

図3に示すように、制御部としてのコントローラ221は、CPU（Central Processing Unit）221a、RAM（Random Access Memory）221b、記憶装置221c、I/Oポート221dを備えたコンピュータとして構成されている。RAM221b、記憶装置221c、I/Oポート221dは、内部バス221eを介して、CPU221aとデータ交換可能なように構成されている。コントローラ221には、入出力装置225として、例えばタッチパネル、マウス、キーボード、操作端末等が接続されていてもよい。また、コントローラ221には、表示部として、例えばディスプレイ等が接続されていてもよい。

[0050] 記憶装置221cは、例えばフラッシュメモリ、HDD（Hard Disk Drive）、CD-ROM等で構成されている。記憶装置221c内には、基板処理装置100の動作を制御する制御プログラムや、基板処理の手順や条件などが記載されたプロセスレシピ等が、読み出し可能に格納されている。なお、プロセスレシピは、後述する基板処理工程における各手順をコントローラ221に実行させ、所定の結果を得ることが出来るように組

み合わされたものであり、プログラムとして機能する。以下、このプロセスレシピや制御プログラム等を総称して、単にプログラムともいう。なお、本明細書においてプログラムという言葉を用いた場合は、プロセスレシピ単体のみを含む場合、制御プログラム単体のみを含む場合、または、その両方を含む場合がある。また、RAM 221 bは、CPU 221 aによって読み出されたプログラムやデータ等が一時的に保持されるメモリ領域（ワークエリア）として構成されている。

[0051] I/Oポート 221 dは、上述のマスフローコントローラ 252 a～252 c、バルブ 253 a～253 c、243 a、243 b、ゲートバルブ 244、APCバルブ 242、真空ポンプ 246、ヒータ 217 b、RFセンサ 272、高周波電源 273、周波数整合器 274、サセプタ昇降機構 268、インピーダンス可変機構 275等に接続されている。

[0052] CPU 221 aは、記憶装置 221 cから制御プログラムを読み出して実行すると共に、入出力装置 225からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置 221 cからプロセスレシピを読み出すように構成されている。そして、図1に示すように、CPU 221 aは、読み出したプロセスレシピの内容に沿うように、I/Oポート 221 d及び信号線Aを通じてAPCバルブ 242の開度調整動作、バルブ 243 bの開閉動作、及び真空ポンプ 246の起動・停止を、信号線Bを通じてサセプタ昇降機構 268の昇降動作を、信号線Cを通じて温度センサに基づくヒータ 217 bへの供給電力量調整動作（温度調整動作）やインピーダンス可変機構 275によるインピーダンス値調整動作を、信号線Dを通じてゲートバルブ 244の開閉動作を、信号線Eを通じてRFセンサ 272、周波数整合器 274及び高周波電源 273の動作を、信号線Fを通じてマスフローコントローラ 252 a～252 cによる各種ガスの流量調整動作、及びバルブ 253 a～253 c、243 aの開閉動作を、それぞれ制御するように構成されている。

[0053] コントローラ 221は、外部記憶装置（例えば、磁気テープ、フレキシブルディスクやハードディスク等の磁気ディスク、CDやDVD等の光ディス

ク、MOなどの光磁気ディスク、USBメモリやメモリカード等の半導体メモリ) 226に格納された上述のプログラムをコンピュータにインストールすることにより構成することができる。記憶装置221cや外部記憶装置226は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体として構成されている。以下、これらを総称して、単に記録媒体ともいう。本明細書において、記録媒体という言葉を用いた場合は、記憶装置221c単体のみを含む場合、外部記憶装置226単体のみを含む場合、または、その両方を含む場合がある。なお、コンピュータへのプログラムの提供は、外部記憶装置226を用いず、インターネットや専用回線等の通信手段を用いてもよい。

[0054] (2) 基板処理工程

次に、本実施形態に係る基板処理工程について、主に図4を用いて説明する。本実施形態に係る基板処理工程は、例えばフラッシュメモリ等の半導体デバイスの製造工程の一工程として、上述の処理装置100により実施される。なお以下の説明において、処理装置100を構成する各部の動作は、コントローラ221により制御される。

[0055] 本実施形態に係る基板処理工程で処理されるウエハ200は表面にシリコン層を有しており、例えば図5に示すように、アスペクト比の高い凹凸部(溝)を有するトレンチ301が予め形成されている。ここで、本実施形態における高いアスペクト比(トレンチの幅に対する深さの比)とは10倍以上、少なくとも2倍以上であることをいう。トレンチ301は、例えばウエハ200上に所定のパターンを施したマスク層302を形成し、ウエハ200表面を所定深さまでエッチングすることで形成される。

[0056] 本実施形態においては、トレンチ301の内壁のシリコン層に対して窒化処理(窒化膜形成または窒素ドーズ)を行う。その際、トレンチの側部301bの上部と下部(底部側の側壁部)の窒化膜の厚さの差を小さくするように、又は、トレンチ301の底部301aとトレンチの側部301bの窒化膜の厚さの比率であるステップカバレッジを良好にするように(つまり左記比率を小さくするように)、処理装置を制御するものである。以下、図4の

フローチャートを用いて、当該窒化処理の工程について詳述する。

[0057] (基板搬入工程S110)

まずは、上記のウエハ200を処理室201内に搬入する。具体的には、サセプタ昇降機構268がウエハ200の搬送位置までサセプタ217を下降させて、サセプタ217の貫通孔217aにウエハ突上げピン266を貫通させる。その結果、ウエハ突上げピン266が、サセプタ217表面よりも所定の高さ分だけ突出した状態となる。

[0058] 続いて、ゲートバルブ244を開き、図中省略の搬送機構を用いて処理室201に隣接する真空搬送室(図示せず)から処理室201内にウエハ200を搬入する。搬入されたウエハ200は、サセプタ217の表面から突出したウエハ突上げピン266上に水平姿勢で支持される。処理室201内にウエハ200を搬入したら、搬送機構を処理室201外へ退避させ、ゲートバルブ244を閉じて処理室201内を密閉する。続いて、サセプタ昇降機構268が、共振コイル212の下端203aと搬入出口245の上端245aの間の所定の位置となるよう、サセプタ217を上昇させる。その結果、ウエハ200はサセプタ217の上面に支持される。また、サセプタ217に載置されたウエハ200と共振コイル212の下端との距離は、例えば40mm~200mmの範囲の所定の距離となるように位置を調整することにより、窒化膜の膜厚や、パーティクル発生量を調整することができる。なお、基板搬入工程S110は、処理室201内を不活性ガス等でパージしながら行ってもよい。

[0059] (昇温・真空排気工程S120)

続いて、処理室201内に搬入されたウエハ200の昇温を行う。ヒータ217bは予め加熱されており、ヒータ217bが埋め込まれたサセプタ217上に、搬入されたウエハ200を保持することで、例えば100℃以上、望ましくは650℃以上900℃以下の所定値にウエハ200を加熱する。100℃未満では成膜レートが維持できない可能性がある。また、良質な窒化膜を形成するためには、650℃以上900℃以下の高温で窒化処理を

行うことが望ましい。ここでは、ウエハ200の温度が700℃となるよう加熱する。また、ウエハ200の昇温を行う間、真空ポンプ246によりガス排気管231を介して処理室201内を真空排気し、処理室201内の圧力を1 Pa以上500 Pa以下の範囲内の所定値とする。例えば200 Paに調整される。真空ポンプ246は、少なくとも後述の基板搬出工程S160が終了するまで作動させておく。

[0060] (反応ガス供給工程S130)

次に、反応ガスとしてのN₂ガスの供給を開始する。具体的には、バルブ253aを開け、マスフローコントローラ252aにて流量制御しながら、バッファ室237を介して処理室201内へのN₂ガスの供給を開始する。このとき、N₂ガスの流量を、例えば100 sccm以上1000 sccm以下の範囲内の所定値、より好ましくは200 sccmとする。また、処理室201内の圧力が、例えば1 Pa以上100 Pa以下の範囲内、好ましくは3 Pa以上10 Pa以下の所定圧力となるように、APC242の開度を調整して処理室201内を排気する。本実施形態では特に5 Paとなるように調整する。このように、処理室201内を適度に排気しつつ、後述のプラズマ処理工程S140の終了時までN₂ガスの供給を継続する。

[0061] (プラズマ処理工程S140)

処理室201内の圧力が安定したら、共振コイル212に対して、高周波電源273から高周波電力の印加を開始する。本実施形態では、27.12 MHzの高周波電力を、例えば5.0 kW以下、好ましくは3.5 kW以下、より好ましくは2.0 kWの電力で供給する。本実施形態では、特に1.0 kWの電力で供給する。

[0062] これにより、プラズマ生成空間201a内に高周波電界が形成され、係る電界で、プラズマ生成空間の共振コイル212の電気的中点に相当する高さ位置にドーナツ状の誘導プラズマが励起される。プラズマ状のN₂ガスは解離し、窒素元素(N)を含むラジカル(窒素ラジカル)やイオン(窒素イオン)等の窒素活性種又は反応種が生成される。

- [0063] 前述したように、位相電圧と逆位相電圧が常に相殺される状態の定在波が形成され、コイルの電気的中点（電圧がゼロのノード）に最も高い位相電流が生起される。従って、上記の電気的中点において励起された誘導プラズマは、処理室壁や基板載置台との容量結合が殆どなく、プラズマ生成空間201a中には、電気的ポテンシャルの極めて低いドーナツ状のプラズマを形成できる。
- [0064] さらに、上述の様に、高周波電源273に付設された電源制御手段がプラズマの容量結合や誘導結合の変動による共振コイル212における共振点のずれを補償し、一層正確に定在波を形成するため、容量結合が殆どなく、より確実に電気的ポテンシャルの極めて低いプラズマをプラズマ生成空間中に形成できる。
- [0065] 電気的ポテンシャルが極めて低いプラズマが生成されることから、プラズマ生成空間201aの壁や、基板載置台上にシースが発生を防ぐことができる。したがって、プラズマ中のイオンは加速されない。
- [0066] 基板処理空間201bで基板載置台217上に保持されているウエハ200には、プラズマ生成空間201aで生成された窒素活性種や反応種（例えば窒素ラジカルや、加速されない状態のイオン）が溝301内に均一に供給される。供給されたラジカルやイオンは側壁301a及び301bと均一に反応し、シリコン層をステップカバレッジの良好なシリコン窒化膜に改質する。更には、加速されたイオンによるイオンアタックの発生を防止できるので、イオンによるウエハダメージを抑制することができる。
- [0067] また、イオンの加速が防止されるため、プラズマ生成空間201aの周壁に対するスパッタリング作用がなく、プラズマ生成空間201aの周壁に損傷を与えることもない。その結果、装置の寿命を向上させることが出来、しかも、プラズマ生成空間201a等の部材成分がプラズマ中に混入してウエハを汚染するという不具合も防止し得る。
- [0068] また、高周波電源273に付設された電源制御手段が共振コイル212で発生するインピーダンスの不整合による反射波電力を高周波電源273側で

補償し、実効負荷電力の低下を補完するため、共振コイル212に対して常に初期のレベルの高周波電力を確実に供給でき、プラズマを安定させることが出来る。従って、基板処理空間で保持されたウエハを一定のレートで且つ均一に処理できる。

[0069] その後、所定の処理時間、例えば10秒から300秒が経過したら、高周波電源273からの電力の出力を停止して、処理室201内におけるプラズマ放電を停止する。また、バルブ253aを閉めて、N₂ガスの処理室201内への供給を停止する。以上により、プラズマ処理工程S140が終了する。

[0070] このようにすることで、トレンチ301の底部301aに形成される窒化膜の厚さと、側部301bに形成される窒化膜の厚さを近づけることが可能となる。即ち、ステップカバレッジの良好な膜を形成することができる。

[0071] (真空排気工程S150)

所定の処理時間が経過してN₂ガスの供給を停止したら、ガス排気管231を用いて処理室201内を真空排気する。これにより、処理室201内のN₂ガスや、N₂ガスが反応した排ガス等を処理室201外へと排気する。その後、APC242の開度を調整し、処理室201内の圧力を処理室201に隣接する真空搬送室(ウエハ200の搬出先。図示せず)と同じ圧力(例えば100Pa)に調整する。

[0072] (基板搬出工程S160)

処理室201内が所定の圧力となったら、サセプタ217をウエハ200の搬送位置まで下降させ、ウエハ突上げピン266上にウエハ200を支持させる。そして、ゲートバルブ244を開き、図中省略の搬送機構を用いてウエハ200を処理室201外へ搬出する。このとき、処理室201内を不活性ガス等でパージしながらウエハ200の搬出を行ってもよい。以上により、本実施形態に係る基板処理工程を終了する。

[0073] 図6は、本発明の実施形態に係る基板処理工程で、シリコン層を有するトレンチに窒化膜を形成した例を示す図である。左図(Overview)は

、深さdが2.0 μm 、幅Wが0.2 μm のトレンチを拡大した図である。右図は、本発明の実施形態で窒化処理した際のトレンチのUpper、Middle、Lower、Conner、Bottomを拡大した図である。右図における数値は、窒化処理で形成された膜の膜厚を表示している。

[0074] 右図に記載のように、本発明によって形成された窒化膜は、Upperが1.8 nm、Middleが1.8 nm、Lowerが1.7 nm、Connerが1.8 nm、Bottomが1.8 nmの膜厚であることがわかる。これは、ほぼ均一なステップカバレッジ特性を示している。これによって、半導体デバイスの特性が均一化し、性能のバラつきを低減することが可能となる。

[0075] 図7に、本実施形態により窒化処理を行った時のシリコン基板上での膜厚と面内均一性の値をエリプソメーターで測定した結果を示す。測定結果が示す通り、本実施形態による窒化処理においては、反応ガス（ N_2 ガス）雰囲気下である処理室内の圧力が1～100 Paの範囲となる圧力領域において、シリコン基板上に2.0 nm以上の窒化膜を均一性良く成膜できることが確認できる。なお、処理室内の圧力が1 Pa未満の圧力領域では成膜レートが急速に低下し、実用的な窒化膜厚（例えば2.0 nm）を実現することができない。また、処理室内の圧力が100 Paを超える圧力領域では、圧力の増大と共に窒化膜の面内均一性の悪化が顕著であり、従来技術に比べて良好な面内均一性（均一性10%以下）を維持することができない。また本実施形態では、特に3～10 Paの範囲において、高い成膜レートと良好な膜厚均一性と実現することができることを確認した。3～10 Paの圧力領域では、良好な面内均一性を満たすとともに、成膜レートを最大になるため、窒化処理を行う際、特に好適である。

[0076] 処理室内の圧力が1～100 Paのような低圧力の条件下で窒化処理等の改質処理を行う場合に、このような高い成膜レートと良好な膜厚均一性を示すことは改質処理の一般的な傾向ではなく、本発明の実施形態のように構成された共振コイル212を用いてプラズマ処理を行う場合特有のものである

。発明者は本発明の実施形態におけるこのような顕著な傾向を、実験により見出した。従って、本発明の実施形態では、窒化処理時の処理室内の圧力（プロセス圧力）を、圧力が低下するのに伴って成膜レートと膜厚均一性が向上する範囲、より好ましくは、1～100 Paの範囲、更に好ましくは3～10 Paの範囲として窒化処理を行う。

[0077] なお、前記した実施形態では、窒素（ N_2 ）ガスを用いて窒化処理を行う例について記したが、窒素含有ガスとしてアンモニア（ NH_3 ）ガス、又は N_2 ガスと NH_3 ガスの混合ガスを使用することもできる。更にこれらのガスに、水素（ H_2 ）ガスや不活性ガスとしての希ガス（Ar、He、Ne等）を添加した混合ガスを用いることもできる。 H_2 ガスを添加した混合ガスを用いる場合、一例として、供給するガスの全流量や処理室201内の圧力は N_2 ガス単独の場合と同じとし、 N_2 ガスと H_2 ガスの流量を1：1となるように供給する。

[0078] また、上述の実施形態においては、トレンチ301の内壁のシリコン層に対して窒化処理を行う例について説明したが、ウエハ200上に形成されたゲート絶縁膜や金属膜等種々の膜を処理対象とすることもできる。また、窒化処理されるシリコン層は、単結晶シリコンやポリシリコン、アモルファスシリコン等種々のシリコンでもよい。さらに、シリコン層以外にも、他のシリコン含有膜や金属含有膜、High-k膜の窒化処理を行うこともできる。

[0079] （3）本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、以下に示す1つまたは複数の効果を奏する。

[0080] （a） 本実施形態のように構成された共振コイルを用いて、低圧力条件下で処理ガスのプラズマを生成し、当該プラズマで基板表面を処理することにより、高アスペクト比を有する基板表面に対しても良好なステップカバレッジを有する窒化膜を形成することができる。

[0081] （b） 特に、本実施形態のように構成されたICP方式の基板処理装置を用いて、プラズマ生成及び基板処理時のプロセス圧力を1 Pa以上100 P

a以下、より好ましくは3 Pa以上10 Pa以下の範囲とすることで、高い成膜レートと良好なステップカバレッジを実現することができる。単に処理室内圧力を低くすることによって本効果が得られるものではなく、本実施形態のように構成されたICP方式の基板処理装置を用いた場合に顕著である。

[0082] (c) 基板処理空間201bで基板載置台217上に保持されているウエハ200には、窒素ラジカルと加速されない状態のイオンが溝301内にゆるやかに且つ均一に供給される。供給されたラジカル及びイオンは側壁301a及び301bと均一に反応し、シリコン層をステップカバレッジの高いシリコン窒化膜に改質する。更には、加速によるイオンアタックを防止できるので、イオンによるウエハダメージを抑制することができる。

[0083] (d) イオンの加速が防止されるため、プラズマ生成空間の周壁に対するスパッタリング作用がなく、プラズマ生成空間の周壁に損傷を与えることもない。その結果、装置の寿命を向上させることが出来、しかも、プラズマ生成空間等の部材成分がプラズマ中に混入してウエハを汚染するという不具合も防止し得る。

[0084] (e) 高周波電源273に付設された周波数整合器等の電源制御手段が共振コイル212で発生するインピーダンスの不整合による反射波電力を高周波電源273側で補償し、実効負荷電力の低下を補完するため、共振コイル212に対して常に初期のレベルの高周波電力を確実に供給でき、プラズマを安定させることが出来る。従って、基板処理空間で保持されたウエハを一定のレートで且つ均一に処理できる。

[0085] (f) 基板を650℃以上まで加熱して処理することにより、より高品質な膜を形成することが可能となる。

[0086] (g) 本実施形態によれば、溝の側部及び底部が酸化されるよう、サセプタ昇降機構を制御して共振コイルと基板の位置を調整することができるので、良好なステップカバレッジを得るよう側部及び底部の膜厚が同等となるよう制御することが可能となる。

[0087] (h) また、本実施形態によれば、処理室201内に形成される電界は、トレンチ301のアスペクト比に応じた周波数を有する高周波電界である。よって、高密度のプラズマが得られ、トレンチ301の底部301aへ反応種の到達率が高まるほか、トレンチ301内部の処理効率が向上して、より微細で高速な処理が可能となる。

[0088] また、上述の実施形態においては、N₂ガスを用いた窒化処理について説明したが、上述の処理装置100を用いて、酸素含有ガスであるO₂ガスを用いた酸化処理を行うこともできる。以下、第二の実施形態として、O₂ガスを用いた酸化処理について説明する。

[0089] <第二の実施形態>

本実施形態においては、トレンチ301の内壁に対して酸化処理を行う。その際、トレンチ301の底部301aとトレンチの側部301bの酸化膜の厚さの比率であるステップカバレッジを良好にするよう、処理装置を制御するものである。なお、具体的な当該酸化処理の工程は、窒化処理の場合と同様、図4に示す通りであり、以下では、窒化処理の場合と特に異なる部分を中心に詳述する。

[0090] (反応ガス供給工程S130)

昇温・真空排気工程S120の後、反応ガス供給工程では、反応ガスとしてのO₂ガスの供給を開始する。具体的には、バルブ253aを開け、マスフローコントローラ252aにて流量制御しながら、バッファ室237を介して処理室201内へのO₂ガスの供給を開始する。このとき、O₂ガスの流量を、例えば100sccm以上1000sccm以下の範囲内の所定値とする。また、処理室201内の圧力が、例えば1Pa以上1000Pa以下の範囲内、好ましくは150Paとなるように、APC242の開度を調整して処理室201内を排気する。このように、処理室201内を適度に排気しつつ、プラズマ処理工程S140の終了時までO₂ガスの供給を継続する。

[0091] (プラズマ処理工程S140)

処理室201内の圧力が安定したら、共振コイル212に対して、高周波

電源 273 から高周波電力の印加を開始する。

- [0092] これにより、プラズマ生成空間 201 a 内に高周波電界が形成され、係る電界で、プラズマ生成空間の共振コイル 212 の電気的中点に相当する高さ位置にドーナツ状の誘導プラズマが励起される。プラズマ状の O_2 ガスは解離し、酸素 (O) を含むラジカル (酸素ラジカル) やイオン (酸素イオン) 等の酸素活性種又は反応種が生成される。
- [0093] 基板処理空間 201 b で基板載置台 217 上に保持されているウエハ 200 には、プラズマ生成空間 201 a で生成された酸素活性種や反応種 (例えば酸素ラジカルや、加速されない状態のイオン) が溝 301 内に均一に供給される。供給されたラジカル及びイオンは側壁 301 a 及び 301 b と均一に反応し、シリコン層をステップカバレッジの良好なシリコン酸化膜に改質する。
- [0094] その後、所定の処理時間、例えば 10 秒から 300 秒が経過したら、高周波電源 273 からの電力の出力を停止して、処理室 201 内におけるプラズマ放電を停止する。また、バルブ 253 a を閉めて、 O_2 ガスの処理室 201 内への供給を停止する。以上により、プラズマ処理工程 S140 が終了する。
- [0095] このようにすることで、トレンチ 301 の底部 301 a に形成される酸化膜の厚さと、側部 301 b に形成される酸化膜の厚さを近づけることが可能となる。即ち、ステップカバレッジの良好な膜を形成することができる。
- [0096] なお、本実施形態では、酸素 (O_2) ガスを用いて酸化処理を行う例について記したが、 O_2 ガスと水素 (H_2) ガスの混合ガスをプラズマ励起することで酸化処理を行うこともできる。 O_2 ガスと H_2 ガスの混合ガスがプラズマにより活性化されると、H 及び OH 等が生成される。この OH はシリコン含有層の表面を酸化し、酸化膜を形成する。またこの H は、シリコン含有層の表面に対する還元性に比べて、金属含有層の表面に対してより強い還元性を有している。従って、シリコン含有層と金属含有層が表面に露出したウエハ 200 等をこの混合ガスのプラズマを用いて処理する場合、シリコン含有層の

表面を選択的に酸化することができる。H₂ガスを添加した混合ガスを用いる場合、一例として、供給するガスの全流量や処理室201内の圧力はO₂ガス単独の場合と同じとし、O₂ガスとH₂ガスの流量を50sccm:950sccm(5:95)となるように供給する。

[0097] また、酸素含有ガスとしては、O₂ガスのほかに、一酸化窒素(NO)ガスや亜酸化窒素(N₂O)ガス、二酸化窒素(NO₂)等を使用することもできる。

[0098] 更にこれらのガスに、不活性ガスとしての希ガス(Ar、He、Ne等)を添加した混合ガスを用いることもできる。この希ガスはプラズマ励起が行われる際に、プラズマ放電の安定化に寄与する。

[0099] 本実施形態においては、1~1000Paの範囲、好ましくは150Paの反応ガス(O₂ガス)の圧力領域において、シリコン基板上に酸化膜を均一性良く成膜できる。

[0100] また、本実施形態においては図5のようにアスペクト比の高い凹凸部を有するトレンチ301が形成されたパターンを用いて説明した。それらのパターンを有する膜として、例えば立体的に積層されたフラッシュメモリの製造工程の一工程において、図8に記載のように既に形成されているフローティング電極603に対して本実施形態における酸化処理を行っても良い。

[0101] 図8について具体的に説明する。ウエハ200の表面に柱状絶縁体601が複数形成されている。図8においては二つの柱状絶縁体601が記載されているが、多数の柱状絶縁体が微細な間隔で周囲に隣接している。それらについては図示を省略する。

[0102] 柱状絶縁体601にはチャンネル層が形成されている。チャンネル層に合わせて、柱状絶縁体601の延伸方向と直交する方向に、ゲート絶縁膜602、フローティングゲート層603が順次積層される。この積層構造をフラッシュメモリの積層構造と呼ぶ。ここで柱状絶縁体601の延伸方向と直交する方向とは、ウエハ200の表面と並行な方向でもある。

[0103] フラッシュメモリの積層構造が延伸される方向には、他のパターンが形成

されており、例えば隣接する柱状絶縁体601に形成されたゲート絶縁膜602、フローティングゲート層603を有するフラッシュメモリの積層構造が形成されている。フラッシュメモリの積層構造先端と他のパターンとの間（ここでは向かい合うフローティングゲート層603の間）は狭空間が形成されている。一方、柱状絶縁体601の延伸方向側面には、柱状絶縁体601の延伸方向と直交する方向に積層されたフラッシュメモリの積層構造が複数並列に形成されている。フラッシュメモリの積層構造間においても微細化が施されている。

[0104] このような微細化3次元パターンにおいては、例えば積層構造先端700や、積層構造の側面の内ガスの供給方向に存在する側面701や、積層構造の側面の内ガスの供給方向と逆側の側面702、隣接する積層構造の側面703については、デバイスの性能の問題から均一に成膜することが要求されている。更には、積層構造間の溝704の底部分である底705も同様に、均一に成膜することが要求されている。

[0105] 微細化3次元パターンに対して従来のCVD装置で処理することが考えられるが、気相成長であるために、パターン上でいわゆるボイドやシームが発生してしまう。したがって、均一な膜処理をすることは困難であった。

[0106] 一方で本実施形態にかかる酸化処理においては、酸素活性種や反応種（例えば酸素ラジカルや、加速されない状態のイオン）酸素ラジカルと加速されない状態のイオンがトレンチ706内にゆるやかに且つ均一に供給されるため、供給されたラジカル及びイオンは積層構造先端700、側面701、側面702、側面703、底面705に均一に供給される。したがって、積層構造先端700、側面701、側面702、側面703、底面705のシリコン層を均一に酸化し、ステップカバレッジの高いシリコン酸化膜に改質することができる。言い換えれば、ステップカバレッジの良好なシリコン酸化膜を形成することができる。更には、加速によるイオンアタックを防止できるので、イオンによるウエハダメージを抑制することができる。

[0107] 特に図8のフラッシュメモリの積層構造においては、ポリシリコンで形成

されるフローティング電極603の先端を均一に酸化し、電荷蓄積層であるONO層の内、酸化シリコン層604aを基板面内で均一に形成することができる。

[0108] 以上、本実施形態における酸化処理を、立体的に積層されたフラッシュメモリの製造工程の一工程において、既に形成されているシリコン膜に対して適用する例について説明したが、同様の微細化された3次元パターンに対して、第一の実施形態における窒化処理を適用して、3次元パターン表面のシリコン層を窒化することもできる。

[0109] 本発明は、特許請求の範囲に記載した通りであり、さらに次に付記した事項を含む。

[0110] [付記1]

供給された窒素含有ガスがプラズマ状態となるプラズマ生成空間と、前記プラズマ生成空間に連通し基板処理時に基板が載置される基板処理空間と、を有する基板処理室と、前記プラズマ生成空間の外周に設けられ、コイルと前記コイルに接続されるインピーダンスマッチング回路により構成され、前記コイルと前記インピーダンスマッチング回路を合わせた電気長（電気的長さ）が印加される高周波電力の波長の整数倍の長さである誘導結合構造と、前記基板を前記コイルの下端より下の位置に載置するように構成された基板載置台と、を備えた基板処理装置を準備する工程と、前記基板載置台に前記基板を載置する工程と、前記基板処理室内に前記窒素含有ガスを供給する工程と、前記コイルに高周波電力を印加して、前記プラズマ生成空間において前記窒素含有ガスのプラズマ励起を開始する工程と、前記プラズマ励起によって発生した窒素元素を含む活性種（反応種）により前記基板の表面を窒化する工程と、を有し、前記基板表面を窒化する工程では、基板処理室内の圧力を1Pa以上100Pa以下の範囲とする、半導体装置の製造方法又は基板処理方法。

[0111] [付記2]

付記1に記載の方法において、前記基板は、表面にシリコン含有膜を有す

る。

[0112] [付記3]

付記1又は2に記載の方法において、前記基板は、表面に高アスペクト比（10倍以上）を有する構造（例えば溝構造）が形成された基板であり、前記基板の表面を窒化する工程では、前記高アスペクト比を有する構造の底面及び側面を少なくとも窒化する。

[0113] [付記4]

付記1乃至3のいずれかに記載の方法において、前記基板は、表面にシリコン含有膜、金属含有膜、High-k膜のいずれかを有する。

[0114] [付記5]

付記1に記載の方法において、前記基板表面を窒化する工程では、前記プロセス圧力を3Pa以上10Pa以下の範囲とする。

[0115] [付記6]

付記1に記載の方法において、前記基板載置台は、載置された前記基板を加熱するヒータを備え、前記基板表面を窒化する工程では、前記基板は前記ヒータにより100℃以上（望ましくは650℃以上900℃以下）まで加熱される。

[0116] [付記7]

付記1に記載の方法において、前記窒素含有ガスは、窒素（N₂）ガス、アンモニア（NH₃）ガス、又は窒素ガスとアンモニアガスの混合ガスである。

[0117] [付記8]

付記1に記載の方法において、前記基板載置台に前記基板を載置する工程の後、前記基板と前記コイルの下端との距離を40mm以上200mm以下の範囲の所定の距離となるように前記基板載置台の位置を調整する工程を有する。

[0118] [付記9]

供給された窒素含有ガスがプラズマ励起されるプラズマ生成空間と、前記プラズマ生成空間に連通し基板処理時に基板が載置される基板処理空間と、

を有する基板処理室と、前記プラズマ生成空間の外周に設けられ、コイルと前記コイルに接続されるインピーダンスマッチング回路により構成され、前記コイルと前記インピーダンスマッチング回路を合わせた電気長（電気的長さ）が印加される高周波電力の波長の整数倍の長さである誘導結合構造と、前記基板を前記コイルの下端より下の位置に載置するように構成された基板載置台と、を備えた基板処理装置において、前記基板載置台に前記基板を載置する手順と、前記基板処理室内に前記窒素含有ガスを供給する手順と、前記コイルに高周波電力を印加して、前記プラズマ生成空間において前記窒素含有ガスのプラズマ励起を開始する手順と、前記プラズマ励起によって発生した窒素元素を含む活性種（反応種）により前記基板の表面を窒化する手順と、をコンピュータに実行させ、前記基板表面を窒化する手順では基板処理室内の圧力を1 Pa以上100 Pa以下の範囲とするプログラム、又は該プログラムを記録したコンピュータが読み取り可能な記録媒体。

[0119] [付記10]

窒素含有ガスがプラズマ励起されるプラズマ生成空間と、前記プラズマ生成空間に連通し、処理される基板が載置される基板処理空間と、を有する基板処理室と、前記プラズマ生成空間の外周に設けられ、コイルと前記コイルに接続されるインピーダンスマッチング回路により構成され、前記コイルと前記インピーダンスマッチング回路を合わせた電気長（電気的長さ）が印加される高周波電力の波長の整数倍の長さである誘導結合構造と、前記基板を前記コイルの下端より下の位置に載置するように構成された基板載置台と、前記プラズマ生成空間に窒素含有ガスを供給するガス供給部と、前記基板処理室内を排気する排気部と、前記ガス供給部と前記排気部を制御して、前記誘導結合構造に高周波電力が印加される際、前記基板処理室内の圧力を100 Pa以下とするよう構成される制御部と、を有する基板処理装置。

[0120] [付記11]

付記10に記載の基板処理装置において、前記制御部は、前記基板処理室内の圧力を3 Pa以上10 Pa以下の範囲とするよう、前記ガス供給部と前

記排気部を制御するように構成される。

[0121] [付記 1 2]

付記 1 0 に記載の基板処理装置において、前記基板載置台は、載置された前記基板を加熱するヒータを備え、前記制御部は、前記処理される基板を 1 0 0 °C 以上（望ましくは 6 5 0 °C 以上）まで加熱するよう、前記ヒータを制御するよう構成される。

産業上の利用可能性

[0122] 本発明によれば、高いアスペクト比を有する構造の表面においても良好なステップカバレッジを有する窒化膜の形成が実現可能な技術が提供される。

符号の説明

[0123] 1 0 0 . . . 処理装置 2 0 0 . . . ウエハ 2 0 1 . . . 処理
室 2 0 1 a . . . プラズマ生成空間 2 1 7 . . . サセプタ 2
1 7 b . . . ヒータ 2 2 1 . . . コントローラ 2 3 6 . . . ガス
供給ヘッド

請求の範囲

- [請求項1] 供給された窒素含有ガスがプラズマ励起されるプラズマ生成空間と、前記プラズマ生成空間に連通し基板処理時に基板が載置される基板処理空間と、を有する基板処理室と、前記プラズマ生成空間の外周に設けられ、コイルと前記コイルに接続されるインピーダンスマッチング回路により構成され、前記コイルと前記インピーダンスマッチング回路を合わせた電気長が印加される高周波電力の波長の整数倍の長さである誘導結合構造と、前記基板を前記コイルの下端より下の位置に載置するように構成された基板載置台と、を備えた基板処理装置を準備する工程と、
- 前記基板載置台に前記基板を載置する工程と、
- 前記基板処理室内に前記窒素含有ガスを供給する工程と、
- 前記コイルに高周波電力を印加して、前記プラズマ生成空間において前記窒素含有ガスのプラズマ励起を開始する工程と、
- 前記プラズマ励起によって発生した窒素元素を含む活性種により前記基板の表面を窒化する工程と、を有し、
- 前記基板表面を窒化する工程では、基板処理室内の圧力を 1 Pa 以上 100 Pa 以下の範囲とする、半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の半導体装置の製造方法であって、
- 前記基板は、表面に10倍以上のアスペクト比を有する構造が形成された基板であり、
- 前記基板の表面を窒化する工程では、前記構造の底面及び側面を少なくとも窒化する。
- [請求項3] 請求項2に記載の半導体装置の製造方法であって、
- 前記基板は、表面にシリコン含有膜、金属含有膜及びHigh-k膜の少なくともいずれかを有する。
- [請求項4] 請求項1に記載の半導体装置の製造方法であって、
- 前記基板表面を窒化する工程では、前記基板処理室内の圧力を 3 Pa

以上 10 Pa 以下の範囲とする。

- [請求項5] 請求項1に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記基板載置台は、載置された前記基板を加熱するヒータを備え、前記基板表面を窒化する工程では、前記基板は前記ヒータにより650℃以上900℃以下の範囲の温度まで加熱される。
- [請求項6] 請求項1に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記窒素含有ガスは、窒素ガス、アンモニアガス、又は窒素ガスとアンモニアガスの混合ガスである。
- [請求項7] 請求項1に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記基板載置台に前記基板を載置する工程の後、前記基板と前記コイルの下端との距離を40mm以上200mm以下の範囲の所定の距離となるように前記基板載置台の位置を調整する工程を有する。
- [請求項8] 供給された窒素含有ガスがプラズマ励起されるプラズマ生成空間と、前記プラズマ生成空間に連通し基板処理時に基板が載置される基板処理空間と、を有する基板処理室と、前記プラズマ生成空間の外周に設けられ、コイルと前記コイルに接続されるインピーダンスマッチング回路により構成され、前記コイルと前記インピーダンスマッチング回路を合わせた電気長が印加される高周波電力の波長の整数倍の長さである誘導結合構造と、前記基板を前記コイルの下端より下の位置に載置するように構成された基板載置台と、を備えた基板処理装置において、
前記基板載置台に前記基板を載置する手順と、
前記基板処理室内に前記窒素含有ガスを供給する手順と、
前記コイルに高周波電力を印加して、前記プラズマ生成空間において前記窒素含有ガスのプラズマ励起を開始する手順と、
前記プラズマ励起によって発生した窒素元素を含む活性種により前記基板の表面を窒化する手順と、をコンピュータに実行させ、
前記基板表面を窒化する手順では基板処理室内の圧力を1 Pa以上1

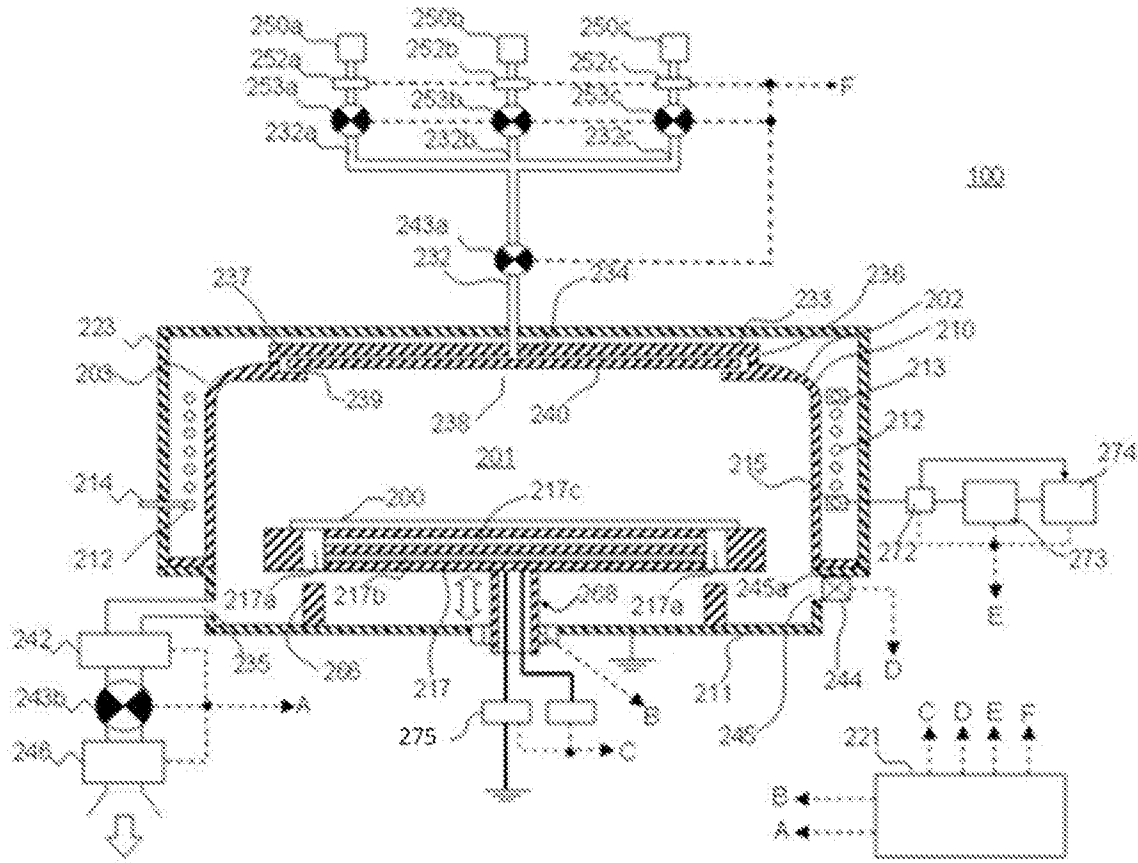
00Pa以下の範囲とするプログラムを記録したコンピュータが読み取り可能な記録媒体。

[請求項9] 窒素含有ガスがプラズマ励起されるプラズマ生成空間と、前記プラズマ生成空間に連通し、処理される基板が載置される基板処理空間と、を有する基板処理室と、
前記プラズマ生成空間の外周に設けられ、コイルと前記コイルに接続されるインピーダンスマッチング回路により構成され、前記コイルと前記インピーダンスマッチング回路を合わせた電気長が印加される高周波電力の波長の整数倍の長さである誘導結合構造と、
前記基板を前記コイルの下端より下の位置に載置するように構成された基板載置台と、
前記プラズマ生成空間に前記窒素含有ガスを供給するガス供給部と、
前記基板処理室内を排気する排気部と、
前記ガス供給部と前記排気部を制御して、前記誘導結合構造に高周波電力が印加される際、前記基板処理室内の圧力を1Pa以上100Pa以下の範囲とするよう構成される制御部と、を有する基板処理装置。

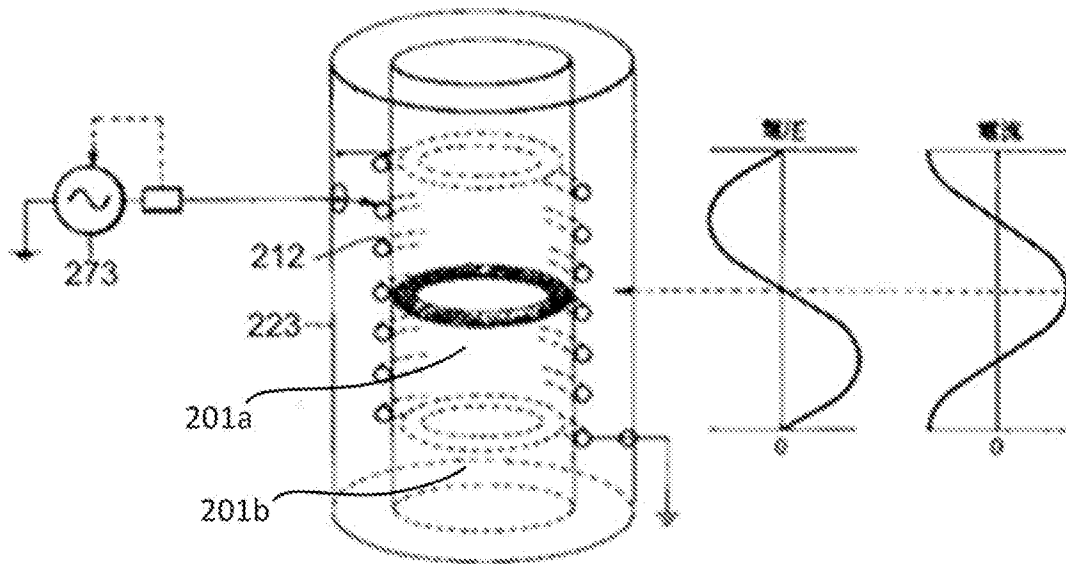
[請求項10] 請求項9に記載の基板処理装置であって、
前記制御部は、前記基板処理室内の圧力を3Pa以上10Pa以下の範囲とするよう前記ガス供給部と前記排気部を制御するように構成される。

[請求項11] 請求項9に記載の基板処理装置であって、
前記基板載置台は、載置された前記基板を加熱するヒータを備え、前記制御部は、前記処理される基板を650℃以上900℃以下の範囲の温度まで加熱するよう、前記ヒータを制御するよう構成される。

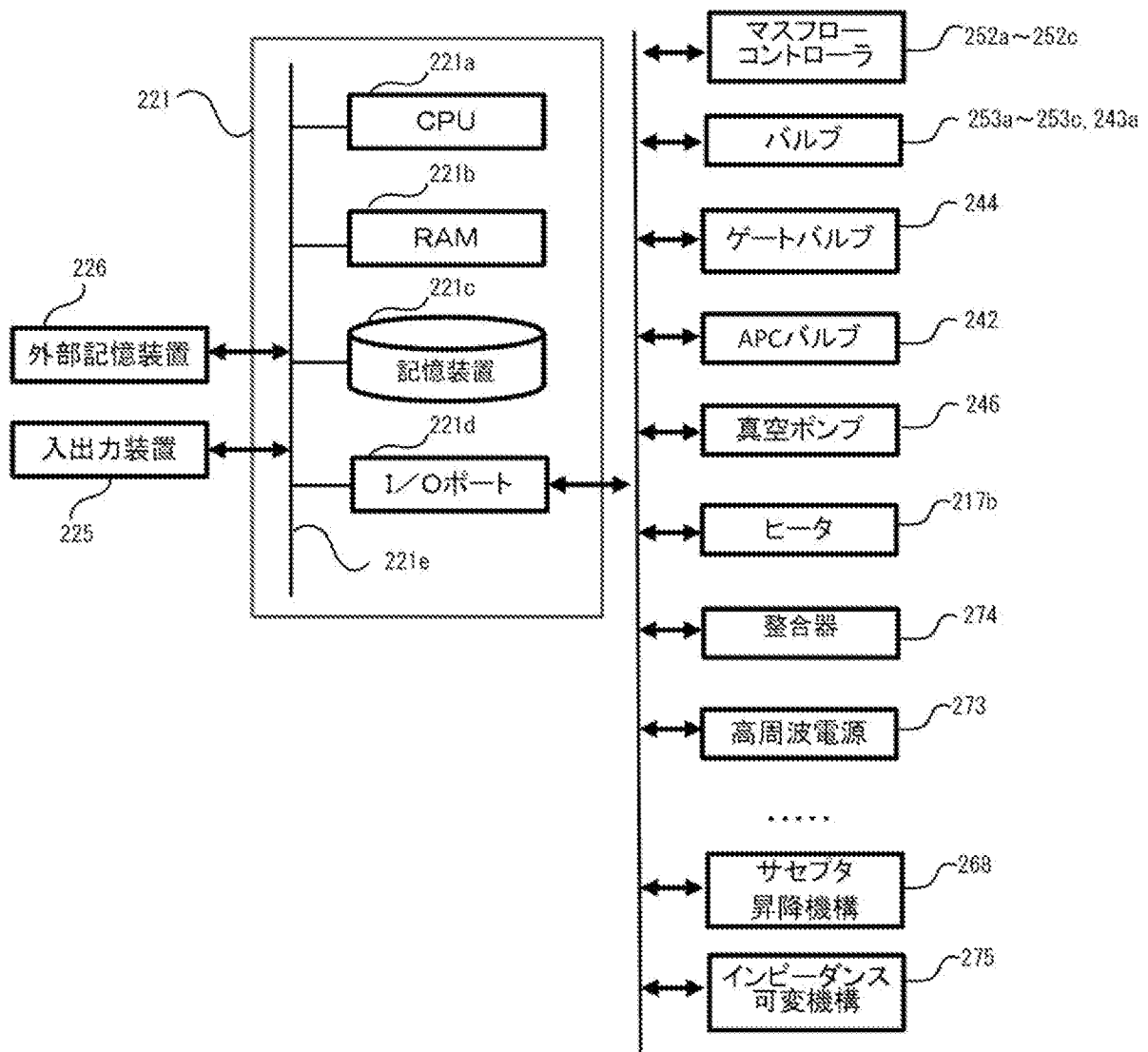
[図1]



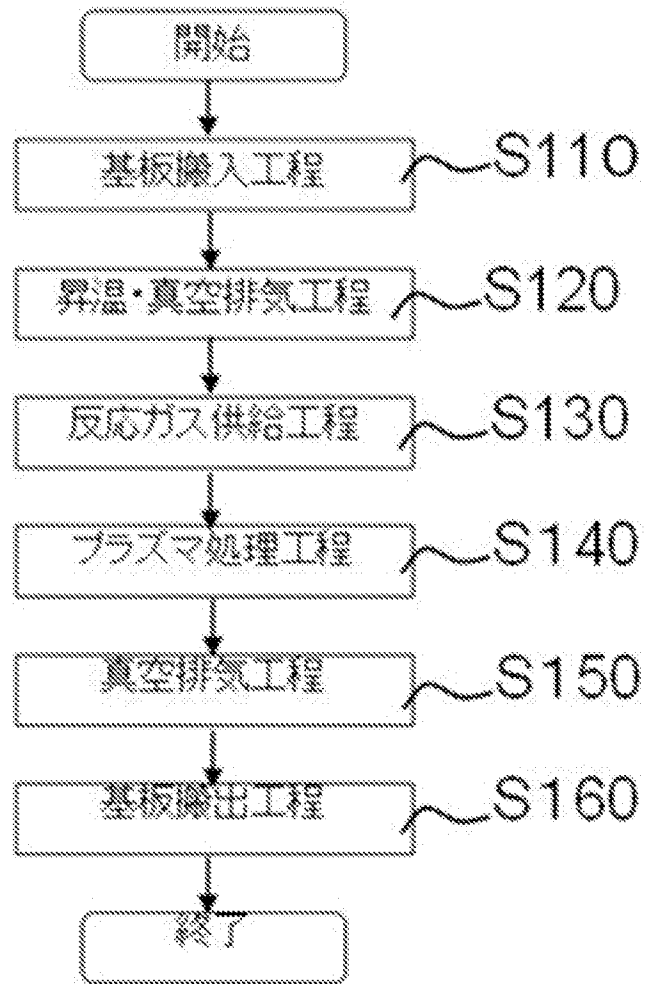
[図2]



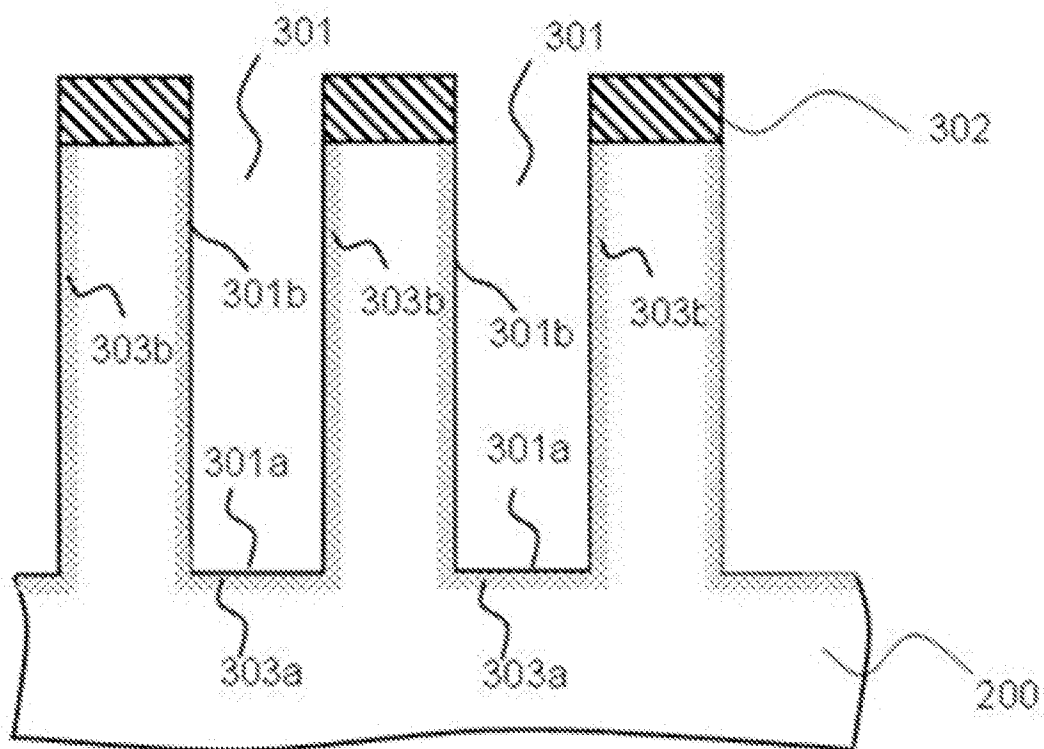
[図3]



[図4]

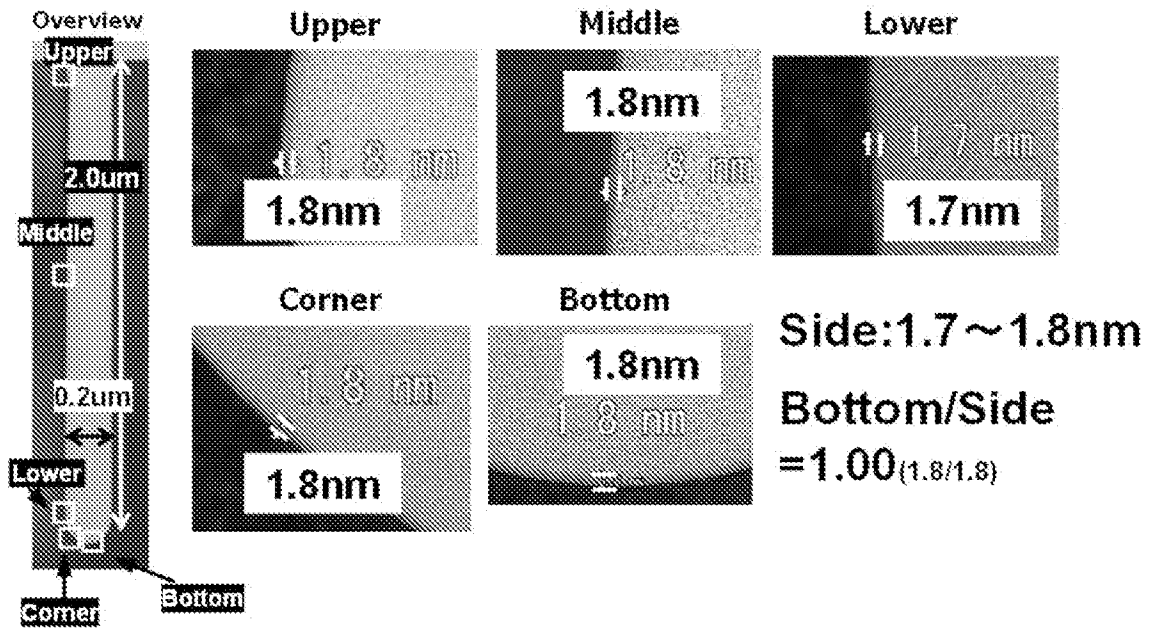


[図5]



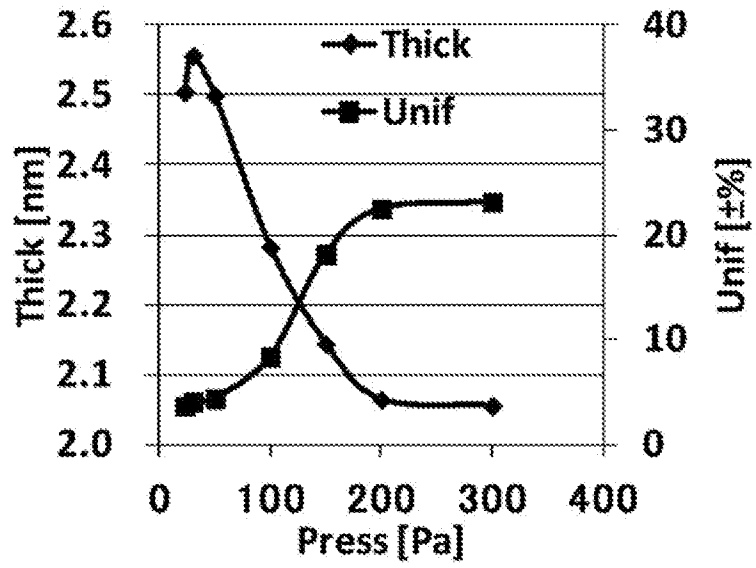
[図6]

窒化膜のカバレッジ特性

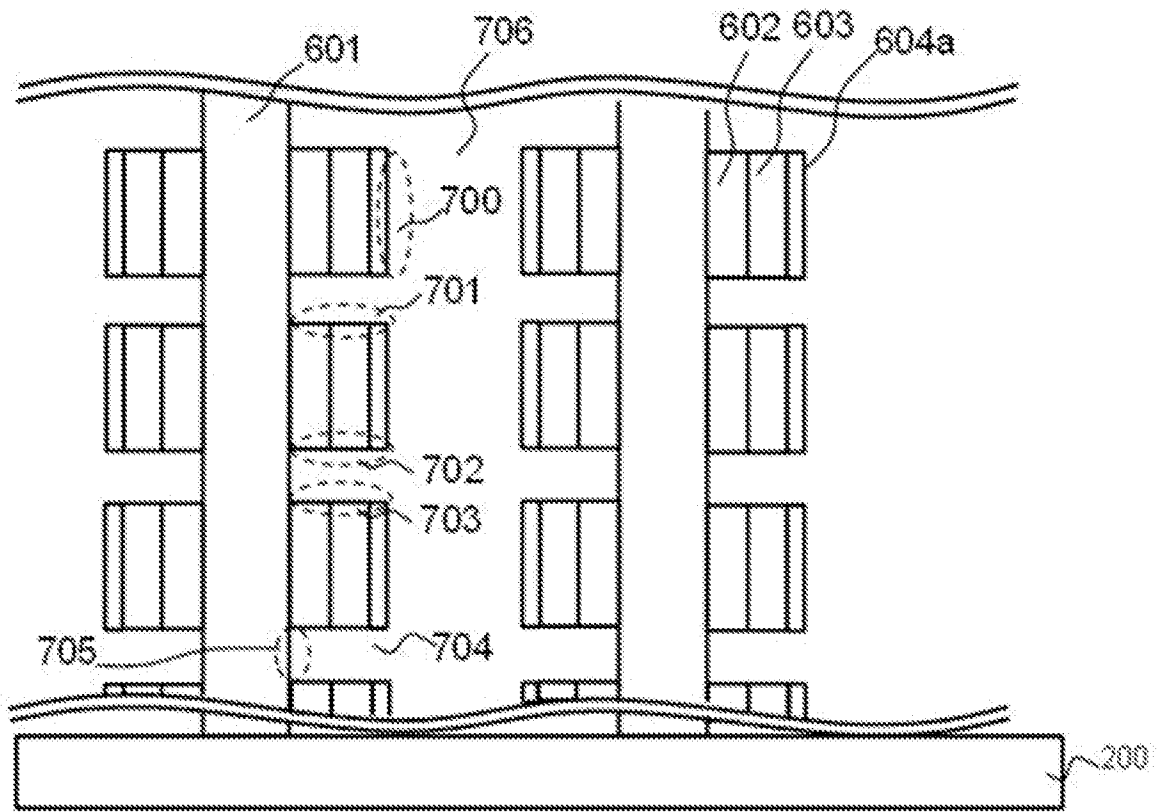


[図7]

窒化膜厚と均一性の圧力依存



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/085247

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/318(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/316(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L21/8247(2006.01)i, H01L27/115(2006.01)i, H01L29/788(2006.01)i, H01L29/792(2006.01)i, H05H1/46(2006.01)i
 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)
 H01L21/318, H01L21/31, H01L21/316, H01L21/336, H01L21/8247, H01L27/115, H01L29/788, H01L29/792, H05H1/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-075579 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 24 April 2014 (24.04.2014), paragraphs [0011] to [0127]; fig. 1 to 9 & US 2014/0106573 A1 paragraphs [0019] to [0159]; fig. 1 to 9 & KR 10-2014-0034705 A	1-11
Y	JP 2012-522399 A (Applied Materials Inc.), 20 September 2012 (20.09.2012), paragraphs [0023] to [0027]; fig. 2B & US 2010/0248435 A1 paragraphs [0021] to [0025]; fig. 2B & WO 2010/117703 A2 & TW 201036108 A	1-11

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 07 March 2016 (07.03.16)	Date of mailing of the international search report 15 March 2016 (15.03.16)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/085247

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-272547 A (Tokyo Electron Ltd.), 19 November 2009 (19.11.2009), paragraph [0046]; fig. 1 & US 2011/0073931 A1 paragraph [0099]; fig. 1 & WO 2009/136606 A1 & KR 10-2011-0010628 A & TW 201007840 A	1-11
Y	US 2014/0273517 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.), 18 September 2014 (18.09.2014), paragraphs [0006] to [0007], [0029] to [0041]; fig. 2, 3 & WO 2014/149656 A1 & TW 201445641 A & CN 105009259 A & KR 10-2015-0132529 A	1-11
Y	JP 2009-224755 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 01 October 2009 (01.10.2009), paragraphs [0061] to [0062]; fig. 5 & US 2009/0233430 A1 paragraphs [0102] to [0104]; fig. 5 & KR 10-2009-0089818 A	3
Y	JP 2011-165743 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 25 August 2011 (25.08.2011), paragraphs [0058], [0063], [0076] to [0078]; fig. 5, 7, 10 (Family: none)	5,11
Y	JP 2004-186402 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 02 July 2004 (02.07.2004), paragraphs [0027] to [0034]; fig. 1, 2 & US 2005/0202183 A1 paragraphs [0106] to [0113]; fig. 6, 7 & EP 1515362 A1 & TW 200415710 A & KR 10-2005-0012818 A	7
Y	US 5888414 A (APPLIED MATERIALS, INC.), 30 March 1999 (30.03.1999), column 9, line 63 to column 10, line 19; fig. 1 & JP 6-112166 A & EP 520519 A1 & KR 10-0265617 B & TW 399396 B	7
A	JP 11-162697 A (MC Electronics Kabushiki Kaisha), 18 June 1999 (18.06.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/318(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/316(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L21/8247(2006.01)i, H01L27/115(2006.01)i, H01L29/788(2006.01)i, H01L29/792(2006.01)i, H05H1/46(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/318, H01L21/31, H01L21/316, H01L21/336, H01L21/8247, H01L27/115, H01L29/788, H01L29/792, H05H1/46

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-075579 A (株式会社日立国際電気) 2014.04.24, 段落[0011]-[0127], 図1-9 & US 2014/0106573 A1, 段落[0019]-[0159], 図1-9 & KR 10-2014-0034705 A	1-11
Y	JP 2012-522399 A (アプライドマテリアルズ インコーポレイテッド) 2012.09.20, 段落[0023]-[0027], 図2B & US 2010/0248435 A1, 段落[0021]-[0025], 図2B & WO 2010/117703 A2 & TW 201036108 A	1-11

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- | | |
|--|---|
| 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの | 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの |
| 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの | 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの |
| 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) | 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日

07.03.2016

国際調査報告の発送日

15.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
長谷川 直也

50 4549

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2009-272547 A (東京エレクトロン株式会社) 2009.11.19, 段落[0046], 図1 & US 2011/0073931 A1, 段落[0099], 図1 & WO 2009/136606 A1 & KR 10-2011-0010628 A & TW 201007840 A	1-11
Y	US 2014/0273517 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 2014.09.18, 段落[0006]-[0007], [0029]-[0041], 図2, 3 & WO 2014/149656 A1 & TW 201445641 A & CN 105009259 A & KR 10-2015-0132529 A	1-11
Y	JP 2009-224755 A (株式会社日立国際電気) 2009.10.01, 段落[0061]-[0062], 図5 & US 2009/0233430 A1, 段落[0102]-[0104], 図5 & KR 10-2009-0089818 A	3
Y	JP 2011-165743 A (株式会社日立国際電気) 2011.08.25, 段落[0058], [0063], [0076]-[0078], 図5, 7, 10 (ファミリーなし)	5, 11
Y	JP 2004-186402 A (三菱重工業株式会社) 2004.07.02, 段落[0027]-[0034], 図1, 2 & US 2005/0202183 A1, 段落[0106]-[0113], 図6, 7 & EP 1515362 A1 & TW 200415710 A & KR 10-2005-0012818 A	7
Y	US 5888414 A (APPLIED MATERIALS, INC.) 1999.03.30, 第9欄第63行-第10欄第19行, 図1 & JP 6-112166 A & EP 520519 A1 & KR 10-0265617 B & TW 399396 B	7
A	JP 11-162697 A (エム・シー・エレクトロニクス株式会社) 1999.06.18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-11