

(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
2011年1月6日(06.01.2011)



(10) 国際公開番号
WO 2011/001778 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) B81C 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/059343
- (22) 国際出願日: 2010年6月2日(02.06.2010)
- (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 2009-157054 2009年7月1日(01.07.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 住友精密工業株式会社(SUMITOMO PRECISION PRODUCTS Co., Ltd.) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 笹倉 昌浩(SASAKURA, Masahiro) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP). 山本 孝(YAMAMOTO, Takashi) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 住友精密工業株式会社内 Hyogo

(JP). 野沢 善幸(NOZAWA, Yoshiyuki) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP). 永野 修次(NAGANO, Shuji) [JP/JP]; 〒1428558 東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内 Tokyo (JP). 迫田 薫(SAKODA, Kaoru) [JP/JP]; 〒1428558 東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内 Tokyo (JP). 羽坂 智(HASAKA, Satoshi) [JP/JP]; 〒1428558 東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 河野 広明(KOUNO, Hiroaki); 〒5300036 大阪府大阪市北区与力町4-8 末広センタービル7F Osaka (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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SILICON STRUCTURE, DEVICE FOR MANUFACTURING SAME, AND PROGRAM FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: シリコン構造体の製造方法及びその製造装置並びにその製造プログラム

[図6]

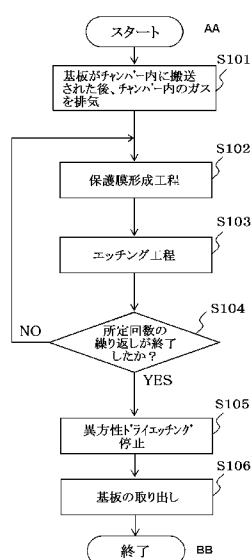


FIG. 6:
AA START
S101 DISCHARGE GAS WITHIN CHAMBER AFTER SUBSTRATE IS CARRIED INTO CHAMBER
S102 PROTECTIVE FILM FORMING STEP
S103 ETCHING STEP
S104 ARE PREDETERMINED NUMBER OF REPETITIONS COMPLETED ?
S105 STOP ANISOTROPIC DRY ETCHING
S106 TAKE OUT SUBSTRATE
BB END

(57) Abstract: A method for manufacturing a silicon structure comprises a step for etching a silicon region of an object to be processed that includes the silicon region by alternately repeating a first step for converting an etching gas containing iodine fluoride into plasma by applying high-frequency power and a second step for converting an organic deposit forming gas into plasma by applying high-frequency power. As a result, a silicon structure having high perpendicularity and a good sidewall shape can be obtained by anisotropic dry etching of silicon which exerts less influence on global warming.

(57) 要約: 本発明のシリコン構造体の製造方法は、高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第1工程と、高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第2工程とを交互に繰り返し行うことによって、シリコン領域を含む被処理物におけるシリコン領域をエッチングする工程とを有している。その結果、地球温暖化への影響を軽減したシリコンの異方性ドライエッチングによる、高い垂直性ととも良好な側壁形状を有するシリコン構造体を得られる。



PL, PT, RO, RS, RU, 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.

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

シリコン構造体の製造方法及びその製造装置並びにその製造プログラム 技術分野

[0001] 本発明は、シリコン構造体の製造方法及びその製造装置並びにその製造プログラムに関するものである。

背景技術

[0002] シリコンを用いたMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスが適用される技術分野は日進月歩で拡大しており、近年では、その技術がマイクロタービンやセンサーのみならず情報通信分野や医療分野へも適用されている。このMEMS技術を支える主要な要素技術の一つがシリコンの異方性ドライエッチングであり、この要素技術の発展がMEMS技術の発展を支えているといえる。

[0003] 従来、幾つか存在するシリコンの異方性ドライエッチングプロセスの中で、本願出願人を含む複数の企業がこれまで提案してきた代表的なプロセスは、エッチング工程と保護膜形成工程とが繰り返行われるプロセスである（例えば、特許文献1）。このプロセスのエッチング工程では、エッチングガスとして、主として六フッ化硫黄（ SF_6 ）が用いられてきた。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2002-239014号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 近年、シリコンの異方性ドライエッチングの技術は飛躍的に進歩してきたが、その一方で、これまでそのプロセスを実施するために産業界で使用されてきた温室効果ガスの影響が懸念され始めている。例えば、上述の六フッ化硫黄（ SF_6 ）は、いわゆる地球温暖化係数（GWP）が非常に高いため、こ

のガスに代替するガスを見出し、市場に送り出すことは、地球環境を考える上でも急務であるといえる。しかしながら、六フッ化硫黄（ SF_6 ）は、これまでシリコンの異方性ドライエッチング技術を支える基幹ガスとして用いられてきたため、市場の要求に耐えうる代替ガスを見出すことは容易ではない。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明は、六フッ化硫黄（ SF_6 ）に代わる温暖化係数の低いガスを用いて高い垂直性と良好な側壁形状を達成する、シリコンの異方性ドライエッチング技術の発展に大いに貢献するものである。
- [0007] 発明者らは、六フッ化硫黄（ SF_6 ）の代替ガスを選定するにあたり、六フッ化硫黄（ SF_6 ）単体のプラズマ化によるシリコンのエッチング特性に加えて、上述のエッチング工程と保護膜形成工程とが繰り返し行われるプロセスにおける有機堆積物形成ガスとの関係ないし相性についても着目した。発明者らが数多くの代替ガスの候補について鋭意研究を行った結果、地球温暖化係数（GWP）が殆ど無視できるほどに小さいガスが上述のエッチング工程と保護膜形成工程とが繰り返し行われるプロセスに適用し得ることが見出され、本発明が完成した。
- [0008] 本発明の1つのシリコン構造体の製造方法は、高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第1工程と、高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第2工程とを交互に繰り返し行うことによって、シリコン領域を含む被処理物におけるそのシリコン領域をエッチングする工程を有している。
- [0009] このシリコン構造体の製造方法によれば、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスが六フッ化硫黄（ SF_6 ）に代わって用いられる。その結果、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスがプラズマ化されるエッチング工程と有機堆積物形成ガスがプラズマ化される保護膜形成工程とが交互に繰り返し行われるプロセスにより、高い垂直性と良好な側壁形状を有するシリコン構造体が得られる。

- [0010] また、本発明のもう 1 つのシリコン構造体の製造方法は、誘電結合型プラズマエッチング装置を用いて誘導コイル（以下、単にコイルとも言う。）に高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第 1 工程と、その誘導コイルに高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第 2 工程とを交互に繰り返し行うとともに、前述の 1 工程の間、シリコン領域を含む被処理物が載置されるステージ電極に高周波電力を印加することによって、そのシリコン領域をエッチングする工程を有している。
- [0011] このシリコン構造体の製造方法によれば、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスが六フッ化硫黄（ SF_6 ）に代わって用いられる。その結果、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスが誘電結合型プラズマエッチング装置によってプラズマ化されるエッチング工程とその装置によって有機堆積物形成ガスがプラズマ化される保護膜形成工程とが交互に繰り返し行われるプロセスにより、高い垂直性と良好な側壁形状を有するシリコン構造体を得られる。
- [0012] また、本発明の 1 つのシリコン構造体の製造プログラムは、高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第 1 ステップと、高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第 2 ステップとを交互に繰り返し行うことによって、シリコン領域を含む被処理物におけるそのシリコン領域をエッチングするステップを有している。
- [0013] このシリコン構造体の製造プログラムによれば、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスが六フッ化硫黄（ SF_6 ）に代わって用いられる。その結果、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスがプラズマ化されるエッチングステップと有機堆積物形成ガスがプラズマ化される保護膜形成ステップとが交互に繰り返し行われることにより、高い垂直性と良好な側壁形状を有するシリコン構造体を得られる。
- [0014] また、本発明のもう 1 つのシリコン構造体の製造プログラムは、誘電結合型プラズマエッチング装置を用いて誘導コイルに高周波電力を印加すること

によりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第1ステップと、その誘導コイルに高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第2ステップとを交互に繰り返し行うとともに、前述の第1ステップの間、シリコン領域を含む被処理物が載置されるステージ電極に高周波電力を印加することによって、そのシリコン領域をエッチングするステップを有している。

[0015] このシリコン構造体の製造プログラムによれば、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスが六フッ化硫黄（ SF_6 ）に代わって用いられる。その結果、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスが誘電結合型プラズマエッチング装置によってプラズマ化されるエッチングステップとその装置によって有機堆積物形成ガスがプラズマ化される保護膜形成ステップとが交互に繰り返し行われることにより、高い垂直性と良好な側壁形状を有するシリコン構造体を得られる。

[0016] また、本発明の1つのシリコン構造体の製造装置は、上述のいずれかのシリコン構造体の製造プログラム又はそのいずれかのシリコン構造体の製造プログラムを記録した記録媒体によって制御される制御部を備えている。

発明の効果

[0017] 本発明の製造方法、製造装置、又は製造プログラムによれば、フッ化ヨウ素を含むエッチングガスがプラズマ化されるエッチング工程と有機堆積物形成ガスがプラズマ化される保護膜形成工程とが交互に繰り返し行われることにより、高い垂直性と良好な側壁形状を有するシリコン構造体を得られる。また、フッ化ヨウ素は、地球温暖化係数（GWP）が六フッ化硫黄（ SF_6 ）と比較して殆ど無視できるほどに小さいガス（実質的に、GWPが0（ゼロ））であることから、地球温暖化抑制にも大きく貢献し得る。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の1つの実施形態におけるシリコン構造体の製造装置の構成を示す断面図である。

[図2]本発明の1つの実施形態における最終的なシリコン構造体の一部を示す

模式図である。

[図3]本発明の１つの実施形態におけるシリコン構造体１０の一部の断面ＳＥＭ（走査電子顕微鏡）写真である。

[図4A]本発明の１つの実施形態における保護膜形成工程における保護膜形成ガスの流量の時間変化を示す図である。

[図4B]本発明の１つの実施形態におけるエッチング工程におけるエッチングガスの流量の時間変化を示す図である。

[図4C]本発明の１つの実施形態における保護膜形成工程における誘導コイル印加電力及びエッチング工程における誘導コイル印加電力の時間変化を示す図である。

[図4D]本発明の１つの実施形態における保護膜形成工程におけるステージ電極への印加電力及びエッチング工程におけるステージ電極への印加電力の時間変化を示す図である。

[図4E]本発明の１つの実施形態における保護膜形成工程におけるチャンバー内圧力及びエッチング工程におけるチャンバー内圧力の時間変化を示す図である。

[図5]好ましくない一例としてのシリコン構造体の一部の断面ＳＥＭ（走査電子顕微鏡）写真である。

[図6]本発明の１つの実施形態におけるシリコン構造体の製造フローチャートである。

[図7]本発明の他の実施形態におけるシリコン構造体３０の一部の断面ＳＥＭ（走査電子顕微鏡）写真である。

[図8]本発明の他の実施形態におけるシリコン構造体３０の一部（開口部付近）を拡大した断面ＳＥＭ（走査電子顕微鏡）写真である。

符号の説明

[0019]	１０， ３０	シリコン構造体
	１２	エッチングマスク
	１４	側壁

1 7	残渣
2 0	チャンバー
2 1	ステージ
2 2 a, 2 2 b	ガスポンベ
2 3 a, 2 3 b	ガス流量調整器
2 4	誘導コイル
2 5	第 1 高周波電源
2 6	第 2 高周波電源
2 7	真空ポンプ
2 8	排気流量調整器
2 9	制御部
6 0	コンピュータ
1 0 0	シリコン構造体の製造装置

発明を実施するための形態

[0020] つぎに、本発明の実施形態を、添付する図面に基づいて詳細に述べる。尚、この説明に際し、全図にわたり、特に言及がない限り、共通する部分には共通する参照符号が付されている。また、図中、本実施形態の要素は必ずしもスケール通りに示されていない。また、各図面を見やすくするために、一部の符号が省略され得る。また、特に言及がない限り、以下の各種ガスの流量は、標準状態の流量を示す。

[0021] <第 1 の実施形態>

図 1 は、本実施形態のシリコン構造体の製造装置 1 0 0（以下、単に製造装置 1 0 0 ともいう）の装置構成の一例を示す断面図である。また、図 2 は、本実施形態の最終的なシリコン構造体の一部を示す模式図である。なお、本実施形態において、被処理物であるシリコン基板 W は単結晶シリコン基板であるが、これに限定されない。例えば、多結晶シリコン基板やアモルファスシリコン基板であっても本実施形態は適用され得る。同様に、多結晶シリコン層やアモルファスシリコン層を一部に有する被処理物（例えば、基板）

に対しても本実施形態は適用され得る。

[0022] まず、図 1 に示すシリコン構造体の製造装置 100 の構成について説明する。エッチング対象となるシリコン基板 W（以下、単に基板 W ともいう。）は、チャンバー 20 の下部側に設けられたステージ 21 に載置される。チャンバー 20 には、エッチングガス、有機堆積物形成ガス（以下、保護膜形成ガスともいう）から選ばれる少なくとも一種類のガスが、各ポンプ 22 a, 22 b からそれぞれガス流量調整器 23 a, 23 b を通して供給される。これらのガスは、第 1 高周波電源 25 により高周波電力を印加された誘導コイル 24 によりプラズマ化される。その後、第 2 高周波電源 26 を用いてステージ 21 に高周波電力が印加されることにより、これらの生成されたプラズマはシリコン基板 W に引き込まれる。ここで、本実施形態では、ステージ 21 に対してパルス状、換言すれば、印加のオン状態とオフ状態が所定間隔で繰り返し現れる状況で電力が印加される。また、このチャンバー 20 内を減圧し、かつプロセス後に生成されるガスを排気するため、チャンバー 20 には真空ポンプ 27 が排気流量調整器 28 を介して接続されている。尚、このチャンバー 20 からの排気流量は排気流量調整器 28 により変更される。上述のガス流量調整器 23 a, 23 b、第 1 高周波電源 25、パルス状の印加が可能な第 2 高周波電源 26、及び排気流量調整器 28 は、制御部 29 により制御される。なお、チャンバー 20 内の圧力を計測する公知の圧力計は図示されていない。

[0023] 次に、本実施形態のシリコン構造体 10 の製造工程について説明する。なお、本実施形態の最終的なシリコン構造体 10 は、幅が約 $3\ \mu\text{m}$ であって深さが約 $43\ \mu\text{m}$ のトレンチ構造を備えている。図 3 は、前述のシリコン構造体 10 の一部の断面 SEM（走査電子顕微鏡）写真である。図 3 に示すように、本実施形態では良好な異方性ドライエッチングが行われたことが確認できる。

[0024] また、図 4 A は、本実施形態の保護膜形成工程における保護膜形成ガスの流量の時間変化を示す図である。また、図 4 B は、本実施形態のエッチング

工程におけるエッチングガスの流量の時間変化を示す図である。また、図 4 C は、本実施形態の保護膜形成工程における誘導コイル印加電力及びエッチング工程における誘導コイル印加電力の時間変化を示す図である。また、図 4 D は、本実施形態の保護膜形成工程におけるステージ電極への印加電力（基板印加電力とも言う）及びエッチング工程におけるステージ電極への印加電力の時間変化を示す図である。加えて、図 4 E は、本実施形態の保護膜形成工程におけるチャンバー内圧力及びエッチング工程におけるチャンバー内圧力の時間変化を示す図である。なお、各図中における保護膜形成工程とエッチング工程とを判別し易くするために、保護膜形成工程期間を表す「D」と、エッチング工程期間を表す「E」が示されている。また、図 4 A 乃至図 4 E は、言うまでもなく、繰り返される保護膜形成工程又はエッチング工程の一部の時間帯のみを示している。

[0025] ここで、本実施形態のシリコンの異方性ドライエッチングは、保護膜形成ガスが導入される保護膜形成工程とエッチングガスが導入されるエッチング工程とを順次繰り返す方法を採用する。本実施形態の保護膜形成ガスは C_4F_8 であり、エッチングガスは IF_5 である。なお、本実施形態では、公知のフォトリソグラフィ技術を用いてエッチングマスク 12 としてのレジスト膜のパターニングが行われたシリコン基板 W が用いられる。

[0026] 本実施形態のシリコン構造体 10 の製造工程では、最初に、保護膜形成工程において、一単位処理時間である 2 秒間に、保護膜形成ガスが 200 sccm (200 mL/min. ともいう。以下の各流量において同じ。) で供給され、チャンバー 20 内の圧力は 8 Pa に制御される。誘導コイル 24 には、 13.56 MHz の高周波電力が 2600 W （便宜上、第 2 の高周波電力としても良い。）印加されるが、ステージ 21 には電力が印加されない。一方、つづくエッチング工程では、一単位処理時間である 9 秒間に、エッチングガスが 200 sccm で供給され、チャンバー 20 内の圧力は 15 Pa に制御される。誘導コイル 24 には 13.56 MHz の高周波電力が 2600 W （便宜上、第 1 の高周波電力としても良い。）印加されるとともに、ス

ページ 21 には 13.56 MHz の高周波電力が 80 W（便宜上、第 3 の高周波電力としても良い。）印加される。図 4 A 乃至図 4 E に示すように、上述の保護膜形成工程及びエッチング工程が、所定の時間（本実施形態では約 50 分間）、継続して繰り返されることにより、図 3 に示すシリコン構造体 10 が形成される。

[0027] なお、本実施形態の異方性ドライエッチング条件によるエッチング速度は、約 $0.9 \mu\text{m}/\text{min}$.（マイクロメートル／分）である。また、本実施形態における側壁 14 の荒さ（図 2 の長さ L）は、約 $0.05 \mu\text{m}$ 以下である。

[0028] ところで、本実施形態では、エッチング工程において、地球温暖化係数（GWP）が殆ど無視できるほどに小さい（実質的に、GWP が 0（ゼロ）の）五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）が用いられている。従って、上述のとおり、深さが約 $43 \mu\text{m}$ であってアスペクト比が約 14 のトレンチ構造を有するシリコン構造体 10 の形成のために排出される温室効果ガスの総量は顕著に抑制される。

[0029] さらに、発明者らの調査により、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）をエッチングガスとして本実施形態のプロセスを行った場合、六フッ化硫黄（ SF_6 ）を用いたときと比較して保護膜形成工程の時間が短くても良好なトレンチの形状が得られることが明らかとなった。具体的には、上述のエッチング工程の時間の長さを 1 としたときに、保護膜形成工程の時間の長さが 0.11 以上 0.33 以下とすることにより、例えば図 3 に示すような良好な、すなわち高い垂直性と良好な側壁形状を有するシリコン構造体が形成され得る。ここで、保護膜形成工程の時間の長さが 0.11 未満になると、特にエッチングされたトレンチ構造の側壁 14 の表面上に形成された保護膜の一部が消耗ないし消失することによって、側壁 14 から水平方向へのエッチングが進行してしまう可能性が高まる。逆に、保護膜形成工程の時間の長さが 0.33 を超えると、トレンチ構造の底面に形成される保護膜がエッチング工程において除去され切らなくなることによって、その底面に図 5 に示すような残渣 17 が

形成される可能性が高まる。

[0030] 他方、本実施形態のプロセスの保護膜形成ガス流量及びエッチング速度が略同じである六フッ化硫黄（ SF_6 ）をエッチングガスとしたプロセスの場合、エッチング工程の時間の長さを１としたときに、保護膜形成工程の時間の長さが０．３３よりも大きく、かつ０．６６以下である。

[0031] 従って、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）をエッチングガスとして採用すれば、六フッ化硫黄（ SF_6 ）をエッチングガスとして採用する場合と比較して、地球温暖化係数（GWP）が高い保護膜形成ガスの使用量も低減することができる。なお、未だ詳しいメカニズムは判明していないが、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）を採用した場合、エッチング過程において被処理物（例えば、シリコン基板W）の表面上に形成されるI（ヨウ素）を含んだ何らかの堆積物が保護膜形成の一端を担っていることが考えられる。

[0032] ところで、上述の製造装置１００に備えられている制御部２９は、コンピュータ６０に接続されている。コンピュータ６０は、上述の異方性ドライエッチングプロセスを実行するためのシリコン構造体１０の製造プログラムにより、上述のプロセスを監視し、又は統合的に制御する。以下に、具体的な製造フローチャートを示しながら、シリコン構造体１０の製造プログラムを説明する。尚、本実施形態では、上述の製造プログラムがコンピュータ６０内のハードディスクドライブ、又はコンピュータ６０に設けられた光ディスクドライブ等に挿入される光ディスク等の公知の記録媒体に保存されているが、この製造プログラムの保存先はこれに限定されない。また、この製造プログラムは、ローカルエリアネットワークやインターネット回線等の公知の技術を介して上述の各プロセスを監視し、又は制御することもできる。

[0033] 図６は、本実施形態のシリコン構造体１０の製造フローチャートである。

[0034] 図６に示すとおり、本実施形態のシリコン構造体１０の製造プログラムが実行されると、まず、ステップＳ１０１において、シリコン基板Wがチャンバー２０内に搬送された後、チャンバー２０内のガスが排気される。その後、ステップＳ１０２～ステップＳ１０４において、チャンバー２０内でシリ

コン基板Wが既述の条件により異方性ドライエッチングが行われる。

[0035] 具体的には、まず、ステップS 1 0 2において、本実施形態の保護膜形成工程を行うステップが実行される。次に、本実施形態のエッチング工程を行うステップが実行される（ステップS 1 0 3）。

[0036] その後、本実施形態のプログラムは、ステップS 1 0 4に示すように、上述の保護膜形成工程を行うステップ（ステップS 1 0 2）とエッチング工程を行うステップ（ステップS 1 0 3）の各工程を当初設定されていた回数が繰り返して実行されたか否かを判断する。その結果、当初設定されていた回数が繰り返して実行された場合は、本実施形態のプログラムは異方性ドライエッチングを停止する（ステップS 1 0 5）。他方、当初設定されていた回数が繰り返して実行されていない場合は、保護膜形成工程及びエッチング工程を再度行うステップが実行される（ステップS 1 0 2，ステップS 1 0 3）。

[0037] 異方性ドライエッチングが停止した後、本実施形態のプログラムは、ステップS 1 0 5に示すように、シリコン基板Wが取り出される状態にし（ステップS 1 0 6）、その後、本実施形態のプログラムが終了する。なお、このとき、チャンバー20が大気圧に回復した後にチャンバー内から直接基板Wが取り出されても良いが、チャンバー20に接続し得るローダー／アンローダー（図示されていない）を介して基板Wが取り出されてもよい。

[0038] 本実施形態のシリコン構造体10の製造プログラムは、上述のとおり、エッチング工程及び保護膜形成工程における各条件等を統合的に制御する。本実施形態の製造プログラムが実行される結果、高い垂直性とともにより良好な側壁形状を有するシリコン構造体が形成される。

[0039] <第2の実施形態>

本実施形態では、開口幅が約50 μm となるように形成されたエッチングマスクを備えたシリコン基板が、第1の実施形態の異方性ドライエッチングプロセス条件と同じ条件でエッチングされた。図7は、本実施形態におけるシリコン構造体30の一部の断面SEM写真である。また、図8は、本実施

形態におけるシリコン構造体 30 の一部（開口部付近）を拡大した断面 SEM 写真である。

- [0040] その結果、図 7 に示すように、幅が約 $50\ \mu\text{m}$ であって深さが約 $20\ \mu\text{m}$ のトレンチ構造を備えるシリコン構造体 30 が得られる。なお、本実施形態の異方性ドライエッチング条件によるエッチング速度は、約 $2\ \mu\text{m}/\text{min}$ （マイクロメートル／分）である。また、本実施形態における側壁の荒さは、図 8 に示すように、約 $0.1\ \mu\text{m}$ である。
- [0041] ところで、上述の各実施形態では、エッチングガスとして五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）が用いられているが、これに限定されない。五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）の代わりに三フッ化ヨウ素（ IF_3 ）や七フッ化ヨウ素（ IF_7 ）も上述の実施形態に適用され得る。また、上述の実施形態では、保護膜形成ガスとして C_4F_8 が用いられているが、これに限定されない。 C_4F_8 の代わりに C_5F_8 や C_4F_6 も上述の実施形態に適用され得る。また、上記のエッチングガス及び保護膜形成ガスは、それぞれが単一ガスのみで構成される必要はない。例えば、エッチングガスは、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）の他に酸素ガスやアルゴンガスを含んでいても良く、保護膜形成ガスは、 C_4F_8 等の他に酸素ガスを含んでいても良い。但し、上記エッチングガスに六フッ化硫黄（ SF_6 ）は含まれない。
- [0042] また、上述の各実施形態では、エッチングされる対象がトレンチであったが、これに限定されない。その対象がホールであっても、本発明と実質的に同様の効果が奏される。さらに、上述の各実施形態では、開口幅が 1 種類（約 $3\ \mu\text{m}$ 又は約 $50\ \mu\text{m}$ ）であったが、これに限定されない。仮に、開口幅が 2 種類以上であっても本発明を適用することができる。
- [0043] また、上述の各実施形態では、まず保護膜形成工程が行われ、その後にエッチング工程が行われたが、この順序に限定されない。例えば、最初にエッチング工程が行われ、その後に保護膜形成工程が行われてもよい。一般的に、プラズマを最初に発生させる際、チャンバー内にプラズマ発生のための安定的な圧力を得るために、プラズマ化されるガスを数秒間ないし 10 秒間程

度、先行して導入しておく必要がある。そうすると、地球温暖化係数（GWP）の高い保護膜形成ガスを最初に導入するよりも、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）のような地球温暖化係数（GWP）の低いエッチングガスを導入した方が、地球環境を考える上で好ましいといえる。また、最初にエッチング工程が行われ、その後に保護膜形成工程が行われても、シリコン構造体の形状については、上述の実施形態とほぼ同様の効果が奏される。他方、保護膜形成工程を最初に行うことにより、エッチングガスのプラズマに曝露される前にエッチングマスク上に有機堆積物が堆積することになるため、マスク選択比の向上に寄与し得る。

[0044] また、本実施形態の異方性エッチングを停止する直前の工程がエッチング工程に限定されることもない。保護膜形成工程が異方性エッチングを停止する直前に実行されても本実施形態の効果と同様の効果が奏される。すなわち、図6で示すフローチャートに基づけば、ステップS102とステップS103とが繰り返された上で、最終工程としてステップS102が実行された後に、異方性エッチングが停止（ステップS105）するプログラムも本実施形態の1つの変形例として適用され得る。

[0045] 加えて、上述の各実施形態では、エッチング工程においてのみ、ステージ電極へ高周波電力が印加されているが、これに限定されない。例えば、エッチング工程に加えて、保護膜形成工程においてもステージ電極に対して高周波電力が印加され得る。保護膜形成工程において高周波電力が印加されることにより、エッチングされた領域の底面の保護膜の形成を抑制する場合があるため、むしろエッチング速度の向上に寄与し得る。

[0046] さらに、プラズマ生成手段として上述の各実施形態ではICP（Inductively Coupled Plasma）を用いたが、本発明はこれに限定されない。他の高密度プラズマ、例えば、CCP（Capacitively Coupled Plasma）やECR（Electron-Cyclotron Resonance Plasma）を用いても上述の実施形態の効果と同様の効果が奏され得る。以上、述べたとおり、本発明の

範囲内に存在する変形例もまた、特許請求の範囲に含まれるものである。

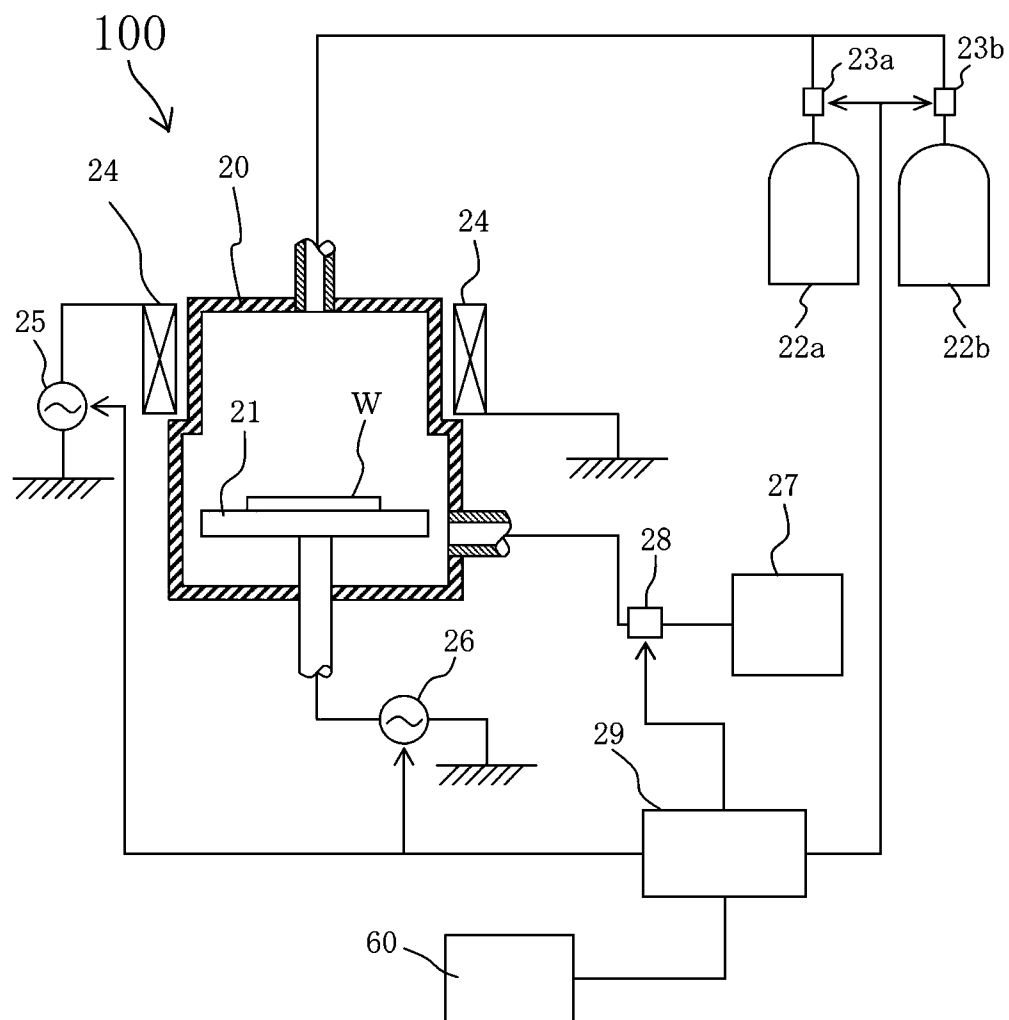
請求の範囲

- [請求項1] 高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第1工程と、高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第2工程とを交互に繰り返し行うことによって、シリコン領域を含む被処理物の前記シリコン領域をエッチングする工程を有する
シリコン構造体の製造方法。
- [請求項2] 誘電結合型プラズマエッチング装置を用いて誘導コイルに高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第1工程と、前記誘導コイルに高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第2工程とを交互に繰り返し行うとともに、前記第1工程の間、シリコン領域を含む被処理物が載置されるステージ電極に高周波電力を印加することによって、前記シリコン領域をエッチングする工程を有する
シリコン構造体の製造方法。
- [請求項3] 前記フッ化ヨウ素が、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）である
請求項1又は請求項2に記載のシリコン構造体の製造方法。
- [請求項4] 前記第1工程の時間の長さを1としたときに、前記第2工程の時間の長さが0.11以上0.33以下である
請求項1又は請求項2に記載のシリコン構造体の製造方法。
- [請求項5] 高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズマ化する第1ステップと、高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第2ステップとを交互に繰り返し行うことによって、シリコン領域を含む被処理物の前記シリコン領域をエッチングするステップを有する
シリコン構造体の製造プログラム。
- [請求項6] 誘電結合型プラズマエッチング装置を用いて誘導コイルに高周波電力を印加することによりフッ化ヨウ素を含むエッチングガスをプラズ

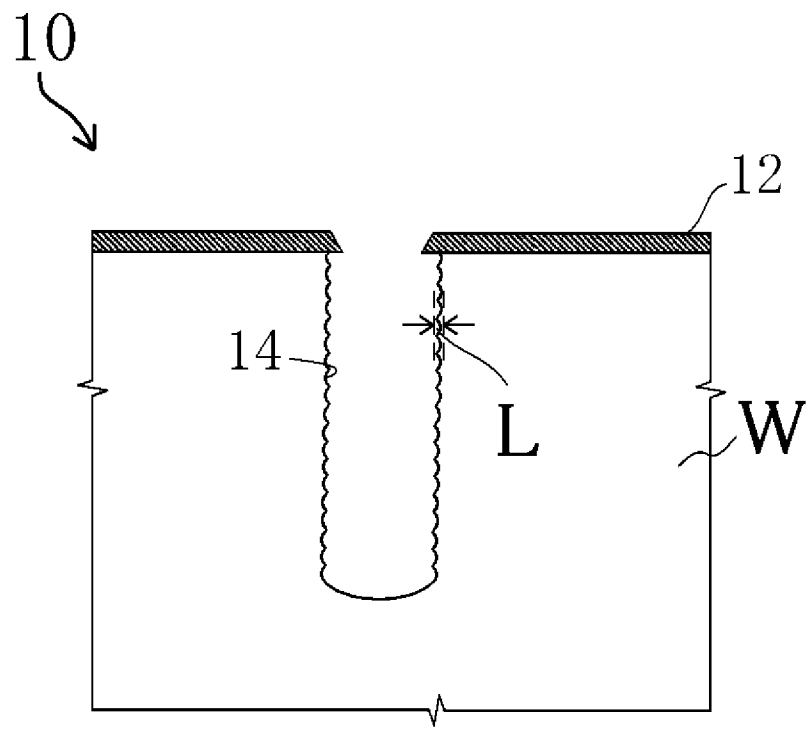
マ化する第1ステップと、前記誘導コイルに高周波電力を印加することにより有機堆積物形成ガスをプラズマ化する第2ステップとを交互に繰り返し行うとともに、前記第1ステップの間、シリコン領域を含む被処理物が載置されるステージ電極に高周波電力を印加することによって、前記シリコン領域をエッチングするステップを有するシリコン構造体の製造プログラム。

- [請求項7] 前記フッ化ヨウ素が、五フッ化ヨウ素 (IF_5) である
請求項5又は請求項6に記載のシリコン構造体の製造プログラム。
- [請求項8] 前記第1ステップの時間の長さを1としたときに、前記第2ステップの時間の長さが0.11以上0.33以下である
請求項5又は請求項6に記載のシリコン構造体の製造プログラム。
- [請求項9] 請求項5又は請求項6に記載の製造プログラムを記録した記録媒体。
。
- [請求項10] 請求項5又は請求項6に記載の製造プログラムにより制御される制御部を備えた
シリコン構造体の製造装置。
- [請求項11] 請求項9に記載の記録媒体により制御される制御部を備えた
シリコン構造体の製造装置。

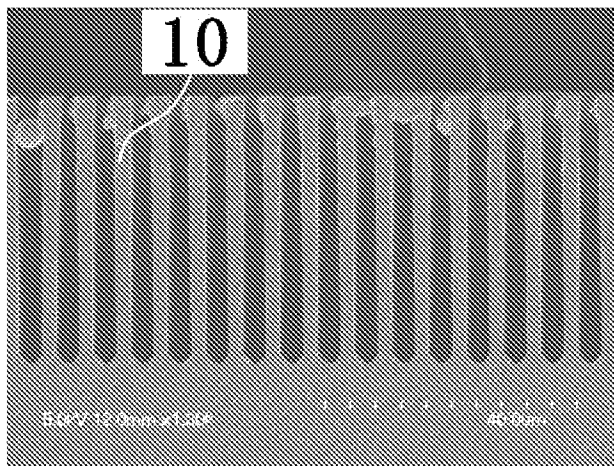
[図1]



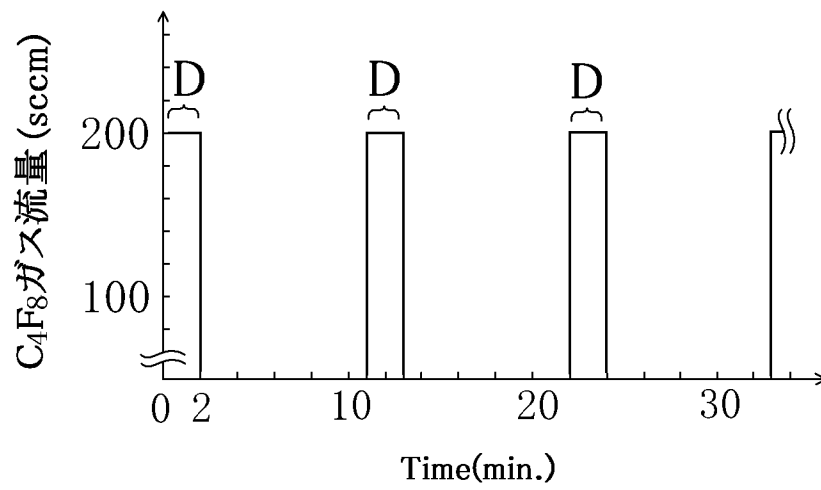
[図2]



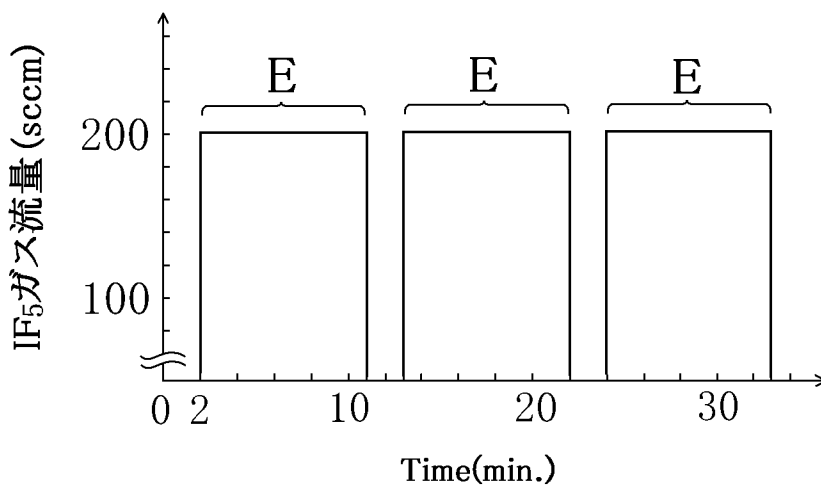
[図3]



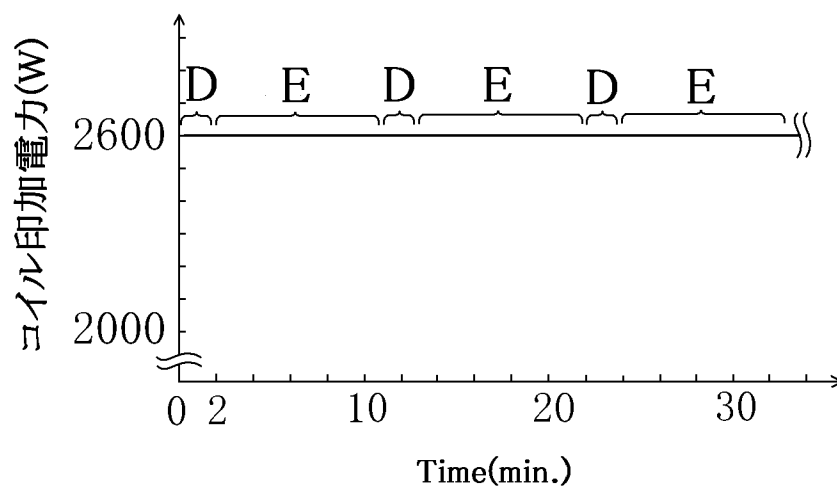
[図4A]



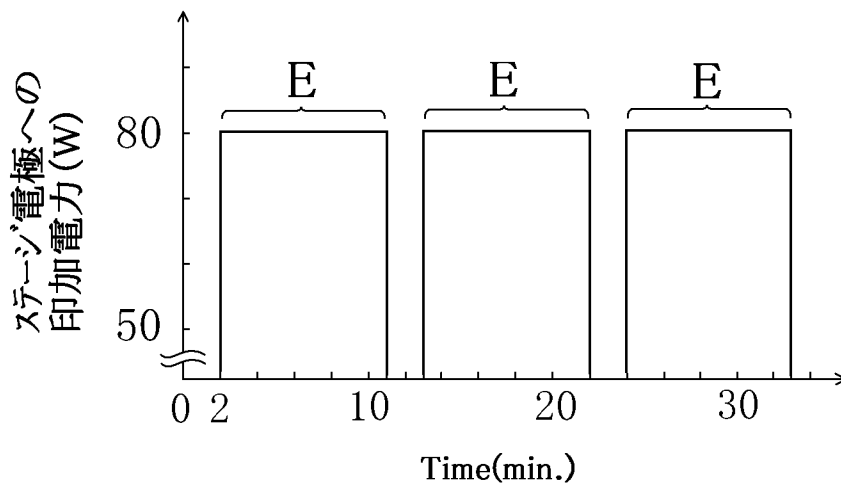
[図4B]



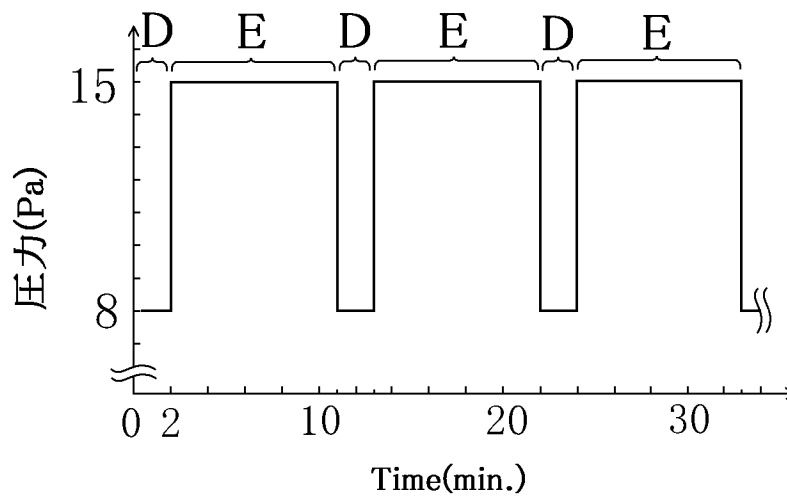
[図4C]



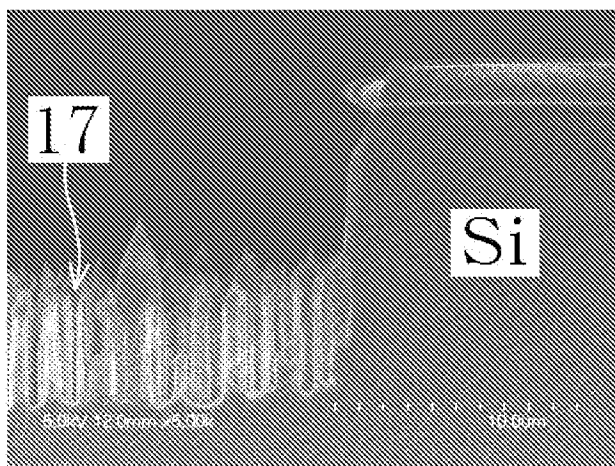
[図4D]



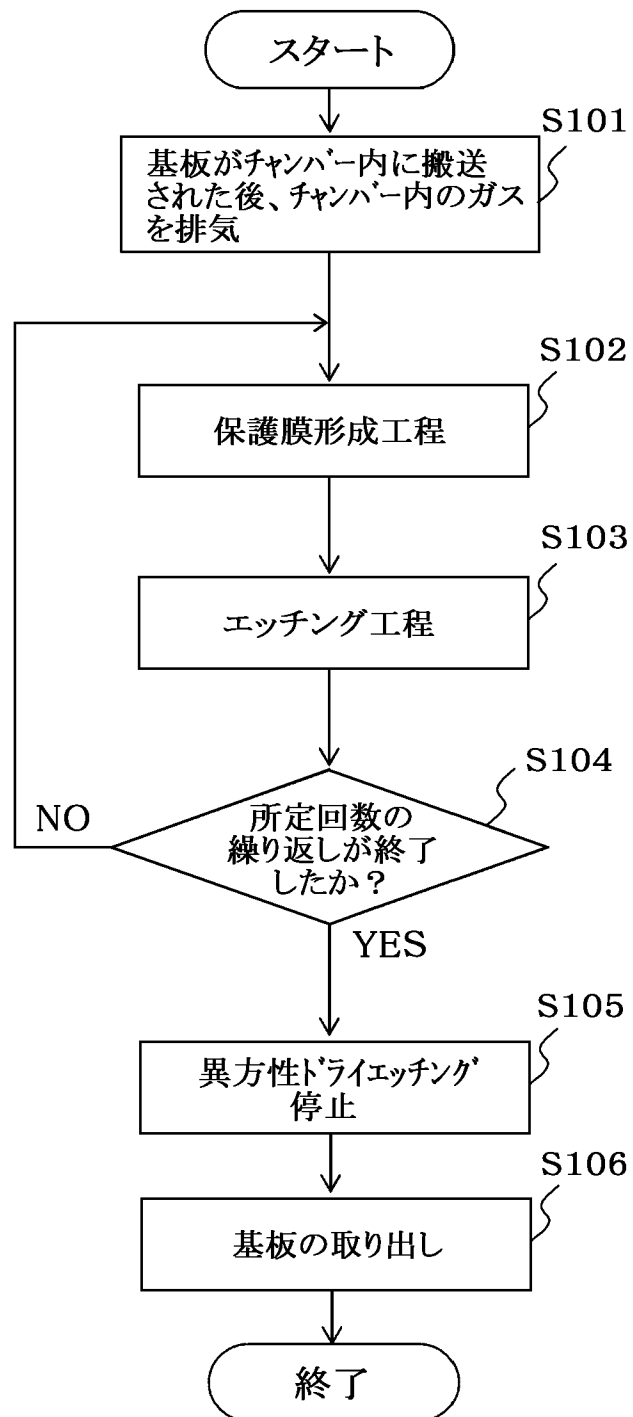
[図4E]



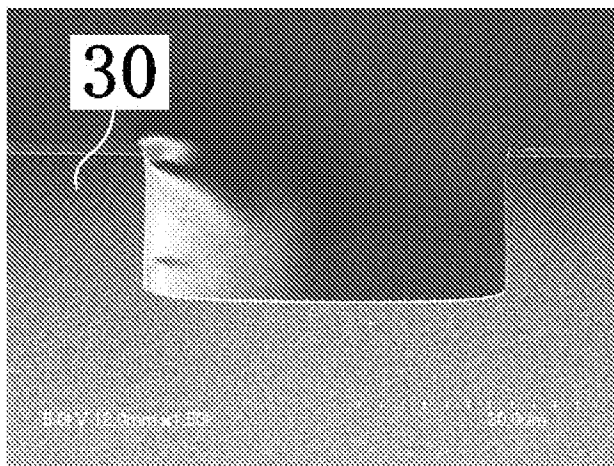
[図5]



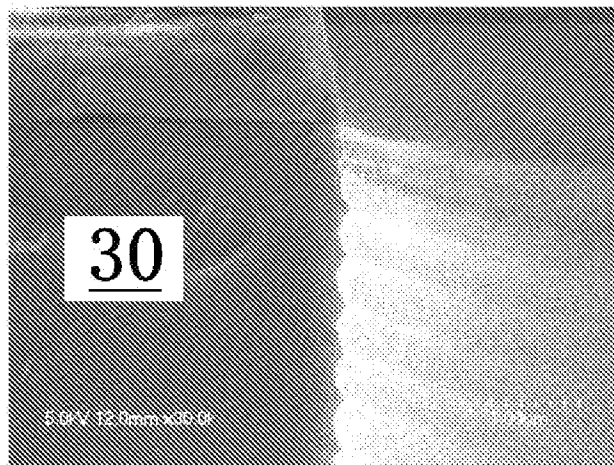
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/059343

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, B81C1/00(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)

H01L21/3065, B81C1/00

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 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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.
X <u>Y</u>	JP 2008-177209 A (Taiyo Nippon Sanso Corp.), 31 July 2008 (31.07.2008), paragraphs [0001] to [0007], [0022] to [0049] (Family: none)	1-3, 5-7, 9-11 <u>4, 8</u>
Y	JP 2002-239014 A (Sumitomo Precision Products Co., Ltd.), 27 August 2002 (27.08.2002), paragraphs [0026] to [0029] (Family: none)	4, 8
Y	JP 2007-027349 A (Sumitomo Precision Products Co., Ltd.), 01 February 2007 (01.02.2007), paragraph [0094] (Family: none)	4, 8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 July, 2010 (27.07.10)

Date of mailing of the international search report

10 August, 2010 (10.08.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. H01L21/3065(2006.01)i, B81C1/00(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（I P C））

Int.Cl. H01L21/3065, B81C1/00

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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
X	JP 2008-177209 A（太陽日酸株式会社）2008.07.31, 段落【0001】－【0007】、【0022】－【0049】（ファミリーなし）	1-3, 5-7, 9-11
<u>Y</u>		<u>4, 8</u>
Y	JP 2002-239014 A（住友精密工業株式会社）2002.08.27, 段落【0026】－【0029】（ファミリーなし）	4, 8
Y	JP 2007-027349 A（住友精密工業株式会社）2007.02.01, 段落【0094】（ファミリーなし）	4, 8

☐ 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	の日の後に公表された文献
「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
2 7 . 0 7 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日
1 0 . 0 8 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（I S A / 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）	4 R	3 3 3 9
長谷部 智寿		
電話番号 03-3581-1101 内線 3471		