

(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 2011/001779 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/JP2010/059344
- (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 2009-157061 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).
- (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, 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.
- (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, 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).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

[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3B]

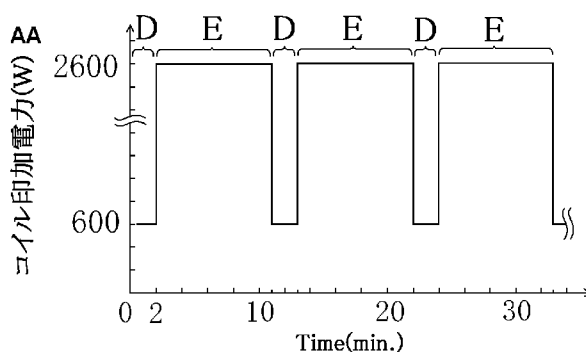


FIG. 3B:
AA POWER APPLIED TO COIL (W)

(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 first iodine fluoride as an etching gas into plasma by applying first high-frequency power and a second step for converting second iodine fluoride as a protective film forming gas into plasma by applying second high-frequency power lower than the first 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:

[続葉有]



WO 2011/001779 A1

本発明の１つのシリコン構造体の製造方法は、第１の高周波電力を印加することにより第１のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第１工程と、前述の第１の高周波電力よりも低い第２の高周波電力を印加することにより第２のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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、高い垂直性とともにより良好な側壁形状を有するシリコン構造体を得られる。

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。また、このプロセスの保護膜形成工程では、保護膜形成ガスとして、有機系の堆積膜を形成する、主としてフッ化炭素（特に、 C_4F_8 ）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 ）や C_4F_8 に代表されるフッ化炭素は、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 ）やフッ化炭素は、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 ）やフッ化炭素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 ）及びフッ化炭素の代替ガスを選定するにあたり、六フッ化硫黄（ SF_6 ）のプラズマ化によるシリコンのエッチング特性及びフッ化炭素のプラズマ化によるシリコン上に形成される保護膜の特性の調査分析を行った。加えて、発明者らは、特に各種デバイスの性能に直接影響する、シリコン構造体の異方性及び側壁の形状に着目し、数多くの代替ガスの候補について鋭意研究を行った。その結果、発明者らは、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、条件によってはそのガス単体であっても、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を見出した。
- [0008] 具体的には、未だ詳しいメカニズムは判明していないが、上述のガスを採用した場合、プラズマ化させる際に印加する電力を特定の範囲に設定することによって、被処理物（例えば、シリコン基板）の表面上に何らかの堆積物が形成され易いことが確認された。そこで発明者らは、上述の印加電力の差による堆積物の態様の変化を積極的に利用することにより、六フッ化硫黄（ SF_6 ）のみならず、地球温暖化係数（GWP）の高い保護膜形成のためのフッ化炭素ガスを使用することなく、シリコンの異方性エッチングが可能となることを見出した。本発明は上述の視点により創出された。

- [0009] 本発明の１つのシリコン構造体の製造方法は、第１の高周波電力を印加することにより第１のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第１工程と、前述の第１の高周波電力よりも低い第２の高周波電力を印加することにより第２のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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。
- [0010] このシリコン構造体の製造方法によれば、第１のフッ化ヨウ素が六フッ化硫黄（ SF_6 ）に代わって用いられるだけでなく、従来保護膜形成ガスとして用いられてきた C_4F_8 に代表されるフッ化炭素ガスも使用されない。その結果、第１のフッ化ヨウ素がプラズマ化されるエッチング工程と第２のフッ化ヨウ素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。
- [0011] 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。）に第１の高周波電力を印加することにより第１のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第１工程と、その誘導コイルに前述の第１の高周波電力よりも低い第２の高周波電力を印加することにより第２のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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、そのシリコン領域をエッチングする工程を有している。
- [0012] このシリコン構造体の製造方法によれば、第１のフッ化ヨウ素が六フッ化硫黄（ SF_6 ）に代わって用いられるだけでなく、従来保護膜形成ガスとして用いられてきた C_4F_8 に代表されるフッ化炭素ガスも使用されない。その結果、第１のフッ化ヨウ素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第２のフッ化ヨウ素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。

[0013] 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、第1の高周波電力を印加することにより第1のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第1ステップと、前述の第1の高周波電力よりも低い第2の高周波電力を印加することにより第2のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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。

[0014] このシリコン構造体の製造プログラムによれば、第1のフッ化ヨウ素が六フッ化硫黄 (SF_6) に代わって用いられるだけでなく、従来保護膜形成ガスとして用いられてきた C_4F_8 に代表されるフッ化炭素ガスも使用されない。その結果、第1のフッ化ヨウ素がプラズマ化されるエッチングステップと第2のフッ化ヨウ素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。

[0015] 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第1の高周波電力を印加することにより第1のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第1ステップと、その誘導コイルに前述の第1の高周波電力よりも低い第2の高周波電力を印加することにより第2のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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。

[0016] このシリコン構造体の製造プログラムによれば、第1のフッ化ヨウ素が六フッ化硫黄 (SF_6) に代わって用いられるだけでなく、従来保護膜形成ガスとして用いられてきた C_4F_8 に代表されるフッ化炭素ガスも使用されない。その結果、第1のフッ化ヨウ素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第2のフッ化ヨウ素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。

- [0017] 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

- [0018] 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、第1のフッ化ヨウ素がプラズマ化されるエッチング工程と第2のフッ化ヨウ素がプラズマ化される保護膜形成工程とが交互に繰り返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）が高い六フッ化硫黄（ SF_6 ）やフッ化炭素ガス（代表的には、 C_4F_8 ）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

- [0019] [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3A]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五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）ガスの流量及びエッチング工程における五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）ガスの流量の時間変化を示す図である。

[図3B]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3C]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3D]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4]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。

符号の説明

[0020]	1 0	シリコン構造体
	1 2	エッチングマスク
	1 4	側壁
	2 0	チャンバー
	2 1	ステージ
	2 2 a, 2 2 b	ガスポンペ
	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

[0021] 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。

[0022] 図1は、本実施形態のシリコン構造体の製造装置100（以下、単に製造装置100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。

[0023] 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、エッチングガスである第1のフッ化ヨウ素ガス、及び保護膜形成ガスである第2のフッ化ヨウ素ガスから選ばれる少なくとも一種類のガスが、各ボンベ22a、22bからそれぞれガス流量調整器23a、23b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。なお、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23a、23b、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。また、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。

- [0024] 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 $50\ \mu\text{m}$ であって深さが約 $25\ \mu\text{m}$ のトレンチ構造を備えている。
- [0025] 図 3 A は、本実施形態の保護膜形成工程における五フッ化ヨウ素 (IF_5) ガスの流量及びエッチング工程における五フッ化ヨウ素 (IF_5) ガスの流量の時間変化を示す図である。また、図 3 B 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 3 C 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 3 D 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 3 A 乃至図 3 D 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。
- [0026] 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、保護膜形成ガスである第 2 のフッ化ヨウ素ガスが導入される保護膜形成工程とエッチングガスである第 1 のフッ化ヨウ素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。本実施形態の第 1 のフッ化ヨウ素ガスである保護膜形成ガスと第 2 のフッ化ヨウ素ガスであるエッチングガスは、ともに五フッ化ヨウ素 (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なされたシリコン基板 W が用いられる。
- [0027] 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 $200\ \text{sccm}$ ($200\ \text{mL}/\text{min}$. と同じ。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600 W（第2の高周波電力）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（第1の高周波電力）印加されるとともに、ステージ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3A乃至図3D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10分間）、継続して繰り返されることにより、図2に示すシリコン構造体10が形成される。

[0028] 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2.5 $\mu\text{m}/\text{min}$.（マイクロメートル/分）である。

[0029] 上述のとおり、本実施形態では、保護膜形成工程及び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、図2に示す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。

[0030] 未だ詳しいメカニズムは判明していないが、上述の五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）を採用した場合、誘導コイル24への印加電力を特定の範囲に設定することによって、被処理物（例えば、シリコン基板W）の表面上に何らかの堆積物が形成されることが発明者らの調査によって確認された。すなわち、上述の印加電力の差による堆積物の態様の変化を積極的に利用することにより、上述のように、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）ガスのみを用いた場合であっても、保護膜形成工程とエッチング工程の両方を創り出すことが可能となる。具体的には、エッチング工程における誘導コイル24への印加電力よりも、保護膜形成工程における誘導コイル24への印加電力が低く設定される。

[0031] ここで、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）ガスをエッチング工程でプラズマ化する

場合、好ましいコイル印加電力は、1000W以上5000W以下である。このコイル印加電力が、1000W未満になれば、上述の堆積物によってエッチングが阻害されることにより、エッチングされたトレンチ等の構造の底面に残渣が生じる可能性が高くなる。一方、このコイル印加電力が、5000Wを超えると、エッチング装置に要する費用を含めてシリコン構造体の製造コストが上昇するためである。また、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）ガスを保護膜形成工程においてプラズマ化する場合、好ましいコイル印加電力は、3000W以上1000W未満である。このコイル印加電力が300W未満になれば、五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）ガスのプラズマ化が達成されない可能性が高まる。一方、このコイル印加電力が1000W以上になると、堆積物の生成よりもシリコンのエッチングに寄与してしまうためである。なお、発明者らによる分析の結果、現段階では、上述の何らかの堆積物は、I（ヨウ素）を含んだ何らかの物質であろうと考えられる。

[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4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4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S 1 0 2～ステップS 1 0 4において、チャンバー2 0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2 0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2 0に接続し得るローダー／アンローダー（図示されていない）装置を介して基板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1 0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、高い垂直性ととともに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] ところで、上述の実施形態では、エッチングガス（第1のフッ化ヨウ素ガス）及び保護膜形成ガス（第2のフッ化ヨウ素ガス）のいずれも五フッ化ヨウ素（ 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、エッチングガスと保護膜形成ガスとが同一のガスである必要はない。例えば、エッチングガスが五フッ化ヨウ素（ IF_5 ）であって、保護膜形成ガスが三フッ化ヨウ素（ IF_3 ）であっても、上述の実施形態の少なくとも一部の効果が奏される。加えて、複数種のフッ化ヨウ素ガスが混合されたエッチングガスや、複数種のフッ化ヨウ素ガスが混合された保護膜形成ガスも採用され得る。但し、プロセスの管理ないし排気ガスの管理の容易性の観点から言えば、エッチングガスと保護膜形成ガスとが同じであることが好ましい。

[0040] また、上述の実施形態では、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、上述の実施形態では、開口幅が１種類（ $50\ \mu\text{m}$ ）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。

[0041] また、上述の実施形態では、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上述の実施形態とほぼ同様の効果が奏される。但し、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保護膜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うる。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４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。

[0042] また、上述の実施形態では、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。

[0043] さらに、プラズマ生成手段として上述の実施形態では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（Capacitive-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] 第1の高周波電力を印加することにより第1のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第1工程と、前記第1の高周波電力よりも低い第2の高周波電力を印加することにより第2のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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第1の高周波電力を印加することにより第1のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第1工程と、前記誘導コイルに前記第1の高周波電力よりも低い第2の高周波電力を印加することにより第2のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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] 前記第1のフッ化ヨウ素及び前記第2のフッ化ヨウ素が、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の高周波電力は、1000W以上5000W以下であり、前記第2の高周波電力は、300W以上1000W未満である
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] 第1の高周波電力を印加することにより第1のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第1ステップと、前記第1の高周波電力よりも低い第2の高周波電力を印加することにより第2のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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第1の高周波電力を印加することにより第1のフッ化ヨウ素をエッチングガスとしてプラズマ化する第1ステップと、前記誘導コイルに前記第1の高周波電力よりも低い第2の高周波電力を印加することにより第2のフッ化ヨウ素を保護膜形成ガスとしてプラズマ化する第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] 前記第1のフッ化ヨウ素及び前記第2のフッ化ヨウ素が、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の高周波電力は、1000W以上5000W以下であり、前記第2の高周波電力は、300W以上1000W未満である

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。

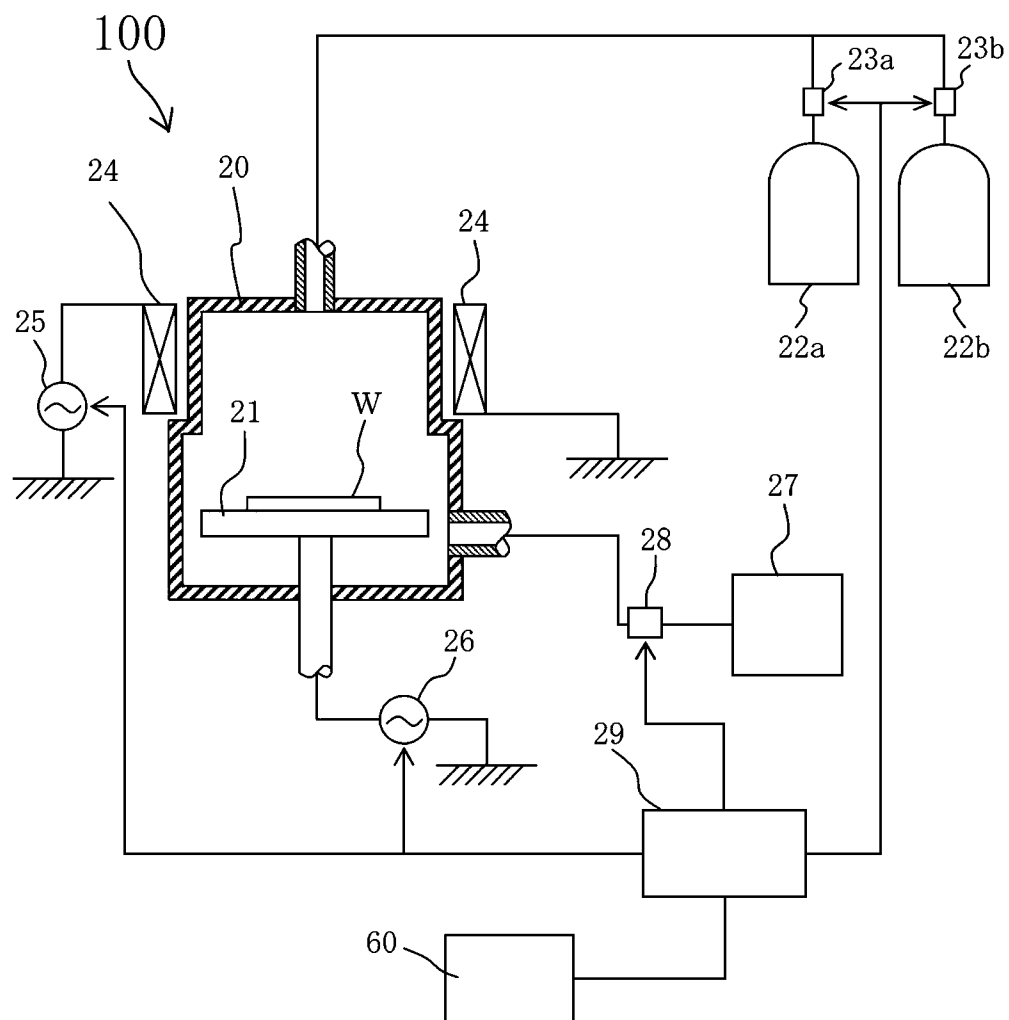
[請求項9] 請求項5又は請求項6に記載の製造プログラムを記録した記録媒体。

[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

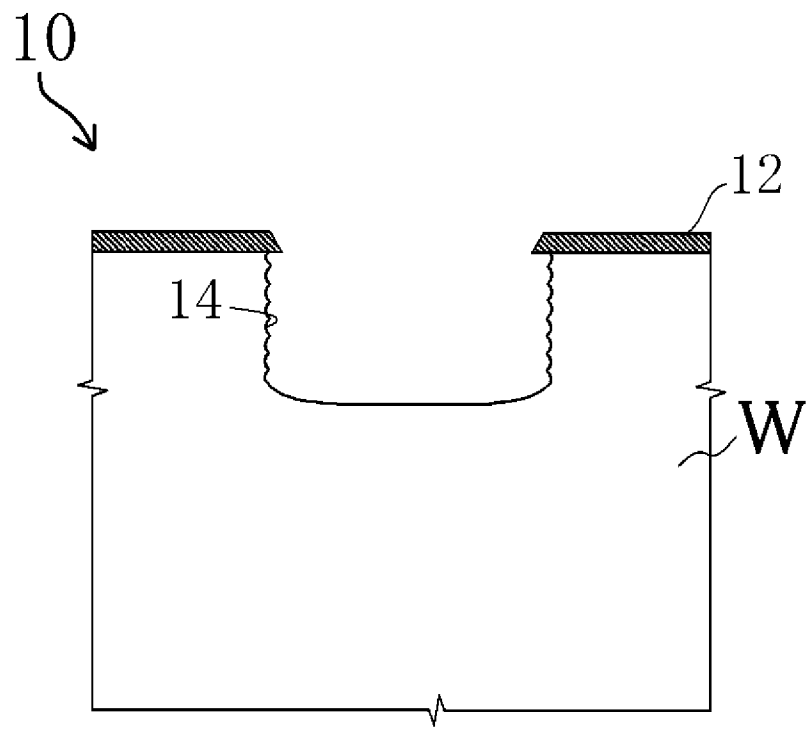
シリコン構造体の製造装置。

[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。

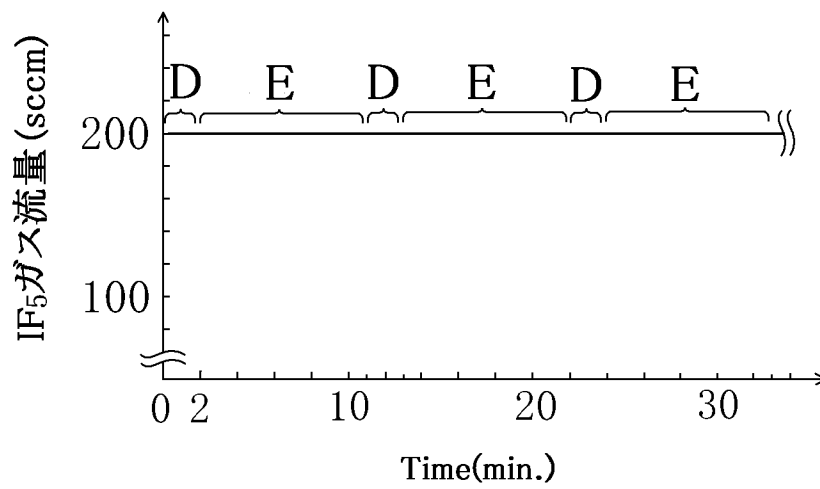
[図1]



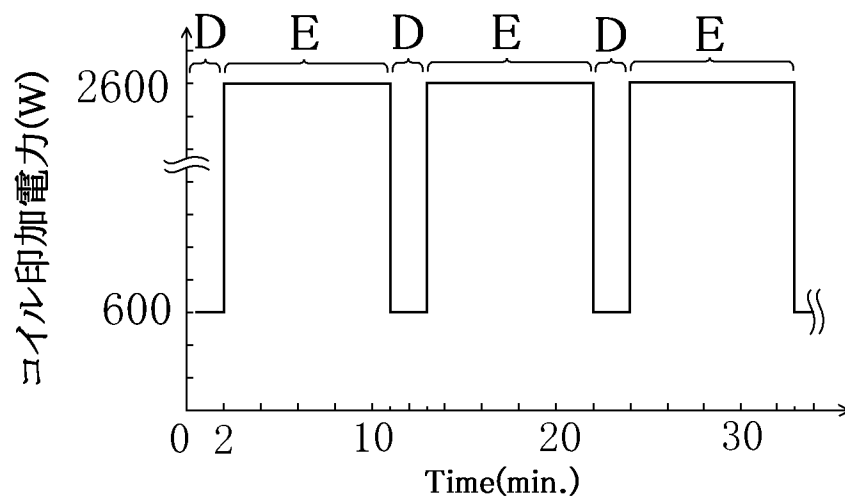
[図2]



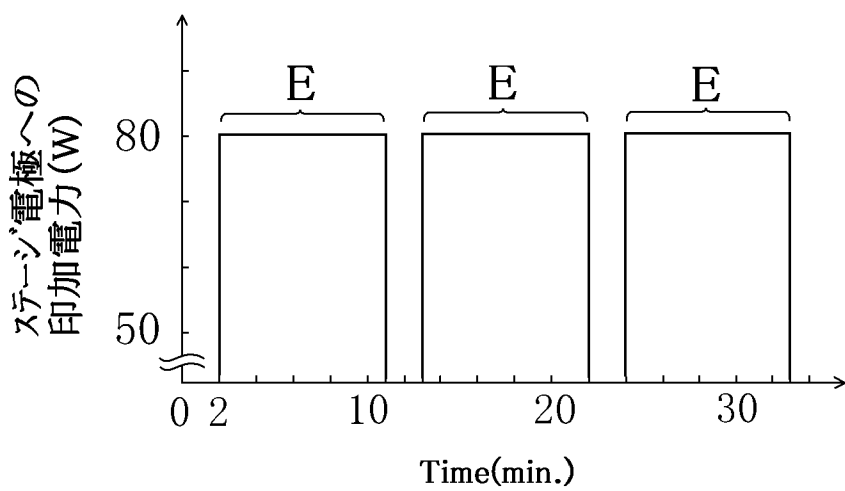
[図3A]



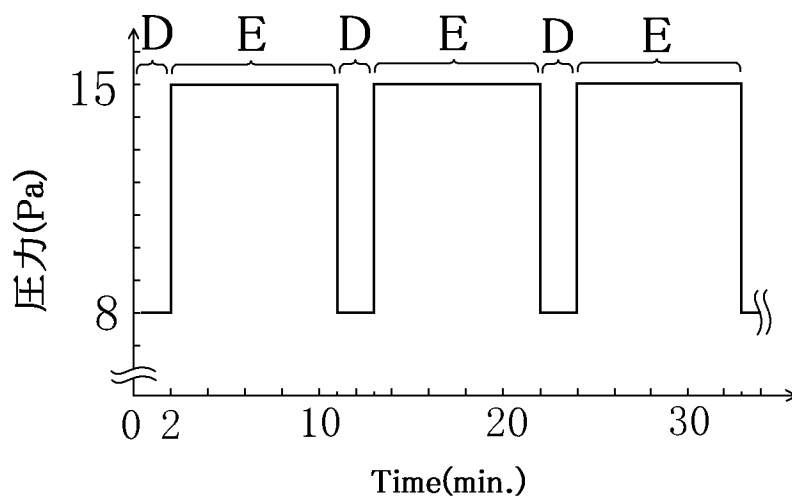
[図3B]



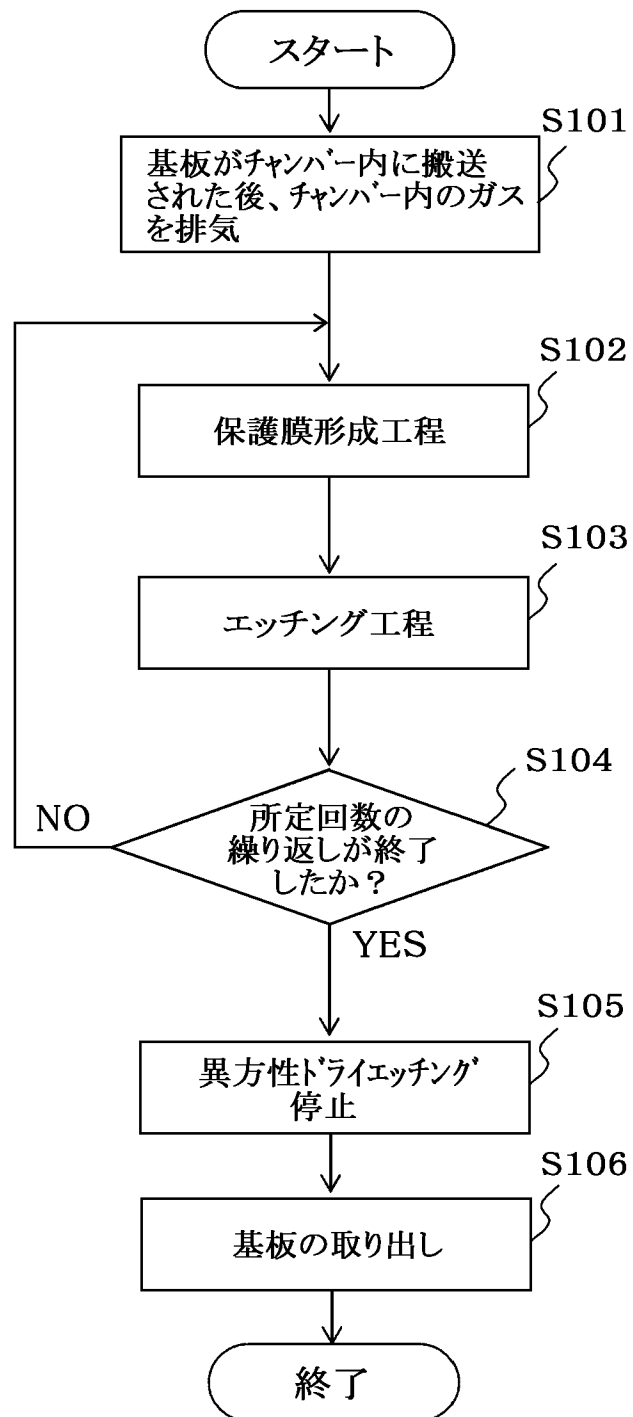
[図3C]



[図3D]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/059344

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	JP 2008-177209 A (Taiyo Nippon Sanso Corp.), 31 July 2008 (31.07.2008), paragraphs [0001] to [0006], [0024], [0025] (Family: none)	1-11

☐ 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】－【0006】、【0024】、【0025】（ファミリーなし）	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

「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

「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）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

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）

長谷部 智寿

電話番号 03-3581-1101 内線 3471

4 R

3 3 3 9