

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6271235号
(P6271235)

(45) 発行日 平成30年1月31日(2018.1.31)

(24) 登録日 平成30年1月12日(2018.1.12)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 8 C
HO 1 L 21/302 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 7 K
	HO 1 L 21/302 2 0 1 B

請求項の数 11 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2013-251146 (P2013-251146)	(73) 特許権者	000227294
(22) 出願日	平成25年12月4日(2013.12.4)		キヤノンアネルバ株式会社
(65) 公開番号	特開2014-160802 (P2014-160802A)		神奈川県川崎市麻生区栗木2-5-1
(43) 公開日	平成26年9月4日(2014.9.4)	(74) 代理人	100094112
審査請求日	平成28年10月5日(2016.10.5)		弁理士 岡部 譲
(31) 優先権主張番号	特願2013-11096 (P2013-11096)	(74) 代理人	100106183
(32) 優先日	平成25年1月24日(2013.1.24)		弁理士 吉澤 弘司
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100170601
			弁理士 川崎 孝
		(72) 発明者	中川 隆史
			神奈川県川崎市麻生区栗木2-5-1 キ
			ヤノンアネルバ株式会社内
		(72) 発明者	池田 真義
			神奈川県川崎市麻生区栗木2-5-1 キ
			ヤノンアネルバ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フィン F E T の製造方法およびデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フィン F E T の製造方法であって、

基板上に形成された半導体のフィンの側壁を、グリッドから引き出されたイオンビームによってイオンビームエッチングするイオンビームエッチング工程を有し、

前記イオンビームエッチング工程では、

前記基板を、前記イオンビームが前記基板法線方向に対して入射角 θ をなし、かつ前記イオンビームが前記フィンの側壁延在方向に沿う線の法線に対して入射角 θ をなすように、前記グリッドに対して傾けて位置させ、

前記基板上に形成されたフィンが延在する方向側から入射する前記イオンビームエッチング工程におけるイオンビームのエネルギー量が、他の方向側から入射するイオンビームのエネルギー量よりも大きくなるようにイオンビームエッチングを行うことを特徴とするフィン F E T の製造方法。

10

【請求項 2】

前記イオンビームエッチング工程において、前記基板をその面内方向に回転させ、

前記基板の回転速度を、前記基板上に形成されたフィンが延在する方向側に前記グリッドが位置する際に、他の方向側に前記グリッドが位置する場合よりも遅くすることを特徴とする請求項 1 に記載のフィン F E T の製造方法。

【請求項 3】

前記イオンビームエッチング工程において、前記基板をその面内方向に回転させ、

20

前記基板の回転は、前記基板の回転及び回転の停止を繰り返し、

前記基板の回転停止時間を、前記基板上に形成されたフィンが延在する方向側に前記グリッドが位置する際に、他の方向側に前記グリッドが位置する場合よりも長くすることを特徴とする請求項 1 に記載のフィン F E T の製造方法。

【請求項 4】

前記イオンビームエッチング工程において、前記基板をその面内方向に回転させ、

前記イオンビームを生成するプラズマ源に印加する電力を制御することによって前記イオンビーム中のイオン密度を、前記基板上に形成されたフィンの溝が延在する方向側に前記グリッドが位置する際に、他の方向側に前記グリッドが位置する場合よりも高くすることを特徴とする請求項 1 に記載のフィン F E T の製造方法。

10

【請求項 5】

前記イオンビームエッチング工程において、前記基板をその面内方向に回転させ、

前記グリッドは正の電圧が印加される第 1 電極、前記第 1 電極に対して負の電圧が印加される第 2 電極および接地電極を備え、

前記第 1 電極に印加する電圧を、前記基板上に形成されたフィンが延在する方向側に前記グリッドが位置する場合に、他の方向側に前記グリッドが位置する場合よりも高くすることを特徴とする請求項 1 に記載のフィン F E T の製造方法。

【請求項 6】

前記基板は、前記グリッドと前記基板が平行である状態に対して 20 度 ~ 80 度の傾きをもって回転させることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のフィン F E T の製造方法。

20

【請求項 7】

前記基板上に形成されたフィンが延在する方向側からイオンビームが入射する際の前記グリッドに対する前記基板の傾斜角度が、他の方向側からイオンビームが入射する際の前記グリッドに対する前記基板の傾斜角度よりも大きくすることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のフィン F E T の製造方法。

【請求項 8】

前記イオンビームエッチング工程の前に、フィンを形成する反応性イオンエッチングを行う反応性イオンエッチング工程を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のフィン F E T の製造方法。

30

【請求項 9】

基板上に形成された素子のフィンの側壁を、グリッドから引き出されたイオンビームによってイオンビームエッチングするイオンビームエッチング工程と、を有し、

前記イオンビームエッチング工程では、

前記基板を、前記イオンビームが前記基板法線方向に対して入射角 をなし、かつ前記イオンビームが前記フィンの側壁延在方向に沿う線の法線に対して入射角 をなすように、前記グリッドに対して傾けて位置させ、

前記基板上に形成された素子が延在する方向側から入射する前記イオンビームエッチング工程におけるイオンビームのエネルギー量が、他の方向側から入射するイオンビームのエネルギー量よりも大きくなるようにイオンビームエッチングを行うことを特徴とするデバイスの製造方法。

40

【請求項 10】

前記フィン F E T は、前記基板上の半導体膜に形成されたトレンチであり、前記フィンの側壁延在方向に垂直な方向の前記半導体膜及び前記トレンチの所定の領域にゲート誘電膜及びゲート電極が形成されたものであることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れか一項に記載のフィン F E T の製造方法。

【請求項 11】

前記第 2 電極と前記接地電極との間の電位差を制御することにより、静電レンズ効果を利用して、イオンビームの径を所定の範囲内に制御することを特徴とする請求項 5 に記載のフィン F E T の製造方法。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、MOSFETのデバイス構造に関する。

【背景技術】

【0002】

高性能で低コストである高周波LSIが市場から求められてきており、特にCMOSプロセスによって優れた高周波特性を持つMOSFETのデバイス構造が広く用いられている。

【0003】

一方でトランジスタの高集積化、半導体装置の小型化のために、トランジスタサイズの微細化が進むと、ゲート長の微細化による短チャネル効果に起因して、ゲート電圧でドレイン電流の制御が困難になり、パンチスルーと呼ばれる現象が生じる。この現象を抑制してゲートの制御性を高めるためには、チャネル部上面と下面とをゲート電極で挟み、チャネルを完全にゲート電極でコントロールすることが可能なマルチゲートを有するMOSFETを採用することが有効である。このマルチゲート構造を実現するに当たっては、従来のプレーナ型（平面型）MOSFETの製造方法では、チャネル部の下面にゲート電極を作るのが困難であるため、チャネル部を基板に垂直に立てたフィン（Fin）状のチャネル部の両面をゲート電極で挟み込む構造のマルチゲート型電界効果トランジスタが提案され、"フィンFET"構造として知られている（例えば、特許文献1、2）。

【0004】

フィンの製造方法としては、例えば特許文献1に示されるように、SiやSiGeなどから構成される半導体膜の所定の領域を、フォトレジスト（以下PRともいう）等を用いてエッチングし、エッチングされた領域間の凸部をフィンとすることにより形成される。

フィンの構造としては特許文献1に示されるI字型のフィンや、特許文献2に示されるU字型のフィンなど、種々の構造が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2009-182360号公報

【特許文献2】特開2011-181952号公報

【特許文献3】特開2006-209128号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

薄膜をエッチングしてフィンを形成する場合、加工後のフィン側壁には一定のラフネスが存在する。このようなラフネスを有するフィンを用いた場合、各トランジスタ間の形状等に起因する特性のばらつきが問題となり得る。エッチングによる加工後の薄膜側壁のラフネスを低減する方法として特許文献3に開示される方法が知られている。特許文献3では所定の薄膜をエッチングする際に、該薄膜上に設けられたパターニングされているマスク膜の側壁をカーボン膜で被覆し、ラフネスを低減させた後に該薄膜のエッチングを行っている。

【0007】

しかし、側壁のラフネスを低減させるためには一定量以上のカーボン膜を側壁に堆積させる必要がある。このため、より高集積化が求められるフィンFETに適用する場合、パターニングされたマスク間の溝幅が小さくなり過ぎ、半導体膜のエッチングの困難化、形状精度および寸法精度の低下等の問題が生じ得る。

【0008】

本発明は上述した課題を契機として成されたものであり、フィンFETの製造においてフィンの形成後の側壁ラフネスをより簡便に低減し、デバイス特性を改善可能な製造方法

10

20

30

40

50

を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上述した課題を解決するために、本願発明は、フィンFETの製造方法であって、基板上に形成された半導体のフィンの側壁を、グリッドから引き出されたイオンビームによってイオンビームエッチングするイオンビームエッチング工程を有することを特徴とする。

【0010】

さらに本願発明は、基板上に形成された素子の側壁を、グリッドから引き出されたイオンビームによってイオンビームエッチングするイオンビームエッチング工程と、を有し、前記イオンビームエッチング工程は、前記基板を前記グリッドに対して傾けて位置させ、前記基板上に形成された素子が延在する方向側から入射する前記イオンビームエッチング工程におけるイオンビームのエネルギー量が、他の方向側から入射するイオンビームのエネルギー量よりも大きくなるようにイオンビームエッチングを行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明を用いることで、フィンの側壁に存在するラフネスを簡便に低減し、デバイス特性の改善が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明が適用可能なフィンFETを説明するための図である。

【図2】本発明が適用可能なフィンFETを説明するための図である。

【図3】本発明の一実施形態に係るIBE装置を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態に係るグリッドの構成及び機能を説明するための図である。

【図5】本発明に係る第1の実施形態を説明するための図である。

【図6A】イオンビームの入射角と、スパッタ率およびエッチングレートの関係を示す図である。

【図6B】基板に平行な面と基板に垂直な面の夫々の面におけるエッチングレートと、イオンビームの入射角の関係を示す図である。

【図7】本発明に係る第2の実施形態を説明するための図である。

【図8】本発明に係る第2の実施形態を説明するための図である。

【図9】本発明に係る第2の実施形態を説明するための図である。

【図10】本発明に係る第2の実施形態を説明するための図である。

【図11】本発明に係る第2の実施形態を説明するための図である。

【図12】本発明に係る第3の実施形態を説明するための図である。

【図13】本発明に係る第4の実施形態を説明するための図である。

【図14A】本発明に係る第4の実施形態を説明するための図である。

【図14B】本発明に係る第4の実施形態を説明するための図である。

【図15】本発明に係る第5の実施形態を説明するための図である。

【図16A】本発明に係る第5の実施形態を説明するための図である。

【図16B】本発明に係る第5の実施形態を説明するための図である。

【図17】本発明に係る第6の実施形態を説明するための図である。

【図18】本発明に係る第7の実施形態を説明するための図である。

【図19】本発明に係る第8の実施形態を説明するための図である。

【図20】本発明におけるイオンビームの入射角とフィンの延在方向との関係を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明するが、本発明は本実施形態に限定されず、その要旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。なお、以下で説明する図面において、同機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略すること

10

20

30

40

50

もある。

【0014】

(フィンFETの構造)

本発明が適用可能なフィンFETの構造およびその製造方法の一例を、図1を用いて説明する。図1はSi基板901上に絶縁膜902及び半導体膜903が形成され、半導体膜903にトレンチ904が形成されている。トレンチ904の形成方法としては、半導体膜903上にフォトレジスト(以下PRという)を形成し、リソグラフィにより所定のパターンを形成した後に、該パターンを半導体膜903に転写することで形成される。その後PRを除去することで、半導体膜903上のパターンニングされたPRが設けられていた領域にフィンFが形成される。半導体膜903のエッチングには反応性イオンエッチングが好適に用いられる。

10

絶縁膜902はSiO₂やSiNなどから構成され、半導体膜903はSi、GeまたはSiGeなどから構成される。

【0015】

その後、図2に示すように、フィンF、半導体膜903およびトレンチ904の所定の領域にゲート誘電膜905およびゲート電極906が形成される。ゲート誘電膜905およびゲート電極906については、まず半導体膜903の全面にゲート誘電膜905およびゲート電極906を形成し、所定の領域に対してPRを用いたリソグラフィによりエッチングすることで得られる。ゲート誘電膜905としてはTa₂O₅、TiO₂又は他の高K(high-k)誘電体(例えばPZTやBSTなど)が用いられる。ゲート電極906としては多結晶SiやW、Taまたは金属窒化膜などが用いられる。

20

【0016】

(第1の実施形態)

上述したフィンFETの製造において、トレンチ904の側壁(即ちフィンFの側壁)には一定のラフネスが存在する。特にPRに起因する、フィンF側壁の基板面内方向に存在するラインエッジラフネス(以下LERという)は側壁の平坦性を大きく損なうため、除去されることが望ましい。本発明では形成されたフィンFの側壁にイオンビームを照射することでこのラフネスを低減する。

【0017】

図3に本発明に好適に用いられるイオンビームエッチング(以下IBEという)装置100の概略図を示す。IBE装置100は処理空間1とプラズマ源としてのプラズマ生成部2で構成されている。処理空間1には排気ポンプ3が設置されている。プラズマ生成部2にはベルジャ4、ガス導入部5、RFアンテナ6、整合器7、電磁石8が設置されており、処理空間1とプラズマ生成部2との境界にはグリッド9が設置されている。

30

【0018】

グリッド9は複数枚の電極から構成される。本発明では例えば図4に示すような3枚の電極によってグリッド9が構成されている。ベルジャ4側から順に第1電極70、第2電極71、第3電極72となっている。第1電極70には正の電圧が印加され、第2電極71には第1電極70に対して負の電圧が印加されることで、電位差によってイオンが加速される。第3電極72は接地されている接地電極である。第2電極71と第3電極72との電位差を制御することにより、静電レンズ効果を用いてイオンビームの径を所定の数値範囲内に制御することができる。イオンビームはニュートライザー13により中和される。

40

このグリッド9はプロセスガスに対して耐性を持つ材質が好ましい。グリッドの材質としてモリブデンやチタン、炭化チタン、パイロリティックグラファイトが挙げられる。またグリッド9をこれ以外の材質で形成し、その表面にモリブデンやチタン、炭化チタンをコーティングしたもので良い。

【0019】

処理空間1内には基板ホルダ10があり、該基板ホルダ10には不図示のESC電極が接続される。このESC電極によって、基板ホルダ10に載置された基板11が静電吸引着

50

により固定される。また、他の基板固定手段としては、クランプ支持など種々の固定手段を用いることができる。ガス導入部5からプロセスガスを導入し、RFアンテナ6に高周波を印加することでプラズマ生成部2内にエッチングガスのプラズマを発生させることができる。そしてグリッド9に直流電圧を印加し、プラズマ生成部2内のイオンをビームとして引き出し、基板11に照射することで基板11の処理が行われる。引き出されたイオンビームは、ニュートライザー13により電氣的に中和され、基板11に照射される。

【0020】

基板ホルダ10は、基板11をその面内方向に回転(自転)することができる。基板ホルダ10は、基板11の回転速度、基板11の回転回数、およびグリッド9に対する基板ホルダ10の傾きを制御するための回転制御手段と基板11の回転位置を検出する手段を備えている。

10

また、該基板ホルダ10には、グリッド9に対する基板ホルダ10の傾きを検出できる手段が備わっていてもよい。本実施形態では、基板ホルダ10の内部に位置検出手段としての位置センサ14(不図示)が設けられており、基板11の回転位置を検出することができる。本実施形態では位置センサ14としてロータリーエンコーダを用いている。位置センサ14としては、上述のロータリーエンコーダのように回転する基板11の回転位置を検出できるものであればいずれの構成を用いても良い。

【0021】

なお、本実施形態では、位置センサ14等のセンサによって基板11や基板ホルダ10の回転位置を直接検出することによって基板ホルダ10に保持された基板11の回転位置を検出しているが、基板11の回転位置を検出できればいずれの構成を用いても良い。例えば、基板ホルダ10の回転速度や回転時間から計算により求めるなどの方法により、基板11の回転位置を間接的に求めても良い。

20

【0022】

本発明では、基板11の回転位置は、基板11のオリフラやノッチを検出することで求められる。もしくは基板11に付されたアライメントマークやパターンの配列を検出することで回転位置をより精度よく求めることができる。基板ホルダ10は、イオンビームに対して任意に傾斜することができる。

【0023】

次に本実施形態に係るIBE装置100を用いて、フィンF側壁のラフネスを低減させる方法について図5を用いて説明する。図5は図1に示した基板の一部を拡大したものである。絶縁膜902上に形成されたフィンFの側壁にはLERが存在しており、側壁が基板面内方向に波打った形状となっている。本実施形態ではフィンFの形成後にフィンFの側壁に対してイオンビーム(以下IBという)を照射してラフネスを低減させる。

30

【0024】

このとき、IBは基板法線方向に対して一定の傾斜角 θ を設けて基板11に入射させる必要がある。LERは側壁の基板面内方向に波打っており、稜線は主として基板法線方向に伸びているため、基板法線方向よりIBを入射させると側壁のラフネスに効率的にIBを照射できないためである。また側壁にIBを照射している間はフィンFの上部およびトレンチ904の底部のエッチングが進行し、形状精度が劣化してしまう点からも、側壁に効率的にIBを照射させることが望ましい。

40

【0025】

ここで図6AにIBの入射角とスパッタ率の関係を示す。図6Aは200eVのエネルギーでArイオンをSiに入射させた際の計算値を示すものである。図6Aにおいて横軸は基板に対するIBの傾斜角を表している。なお横軸について、基板法線方向からIBが入射する場合を0度と規定している。破線は、IBを所定の角度 θ から入射させた場合のスパッタ率と、0度方向から入射させた場合のスパッタ率との比を示している。実線は、IBを所定の角度 θ から入射させた場合のエッチングレートと、0度方向から入射させた場合のエッチングレートとの比を示している。

【0026】

50

図6Bは、基板11に対するIBの傾斜角度を変えたときの、基板11と平行な面におけるエッチングレート（例えばトレンチ904の底部）と、基板11に対して垂直な面におけるエッチングレート（例えば側壁FS）とを比較するための図である。破線が基板11に対して垂直な面を、実線が基板11と平行な面のエッチングレートを表している。図6Bからわかるように、基板11に対するIBの傾斜角度が大きいほど、基板11に平行な面におけるエッチングレートが減少し、代わりに基板11に垂直な面におけるエッチングレートが上昇していることがわかる。これらの実線と破線が交差する45度の角度をもってIBを基板11に入射することで、側壁FSを効率的に処理することが可能となる。

【0027】

上述したように、半導体膜903を加工してフィンFを形成した後に、フィンFの側壁にIBを照射してラフネスを低減させることで、フィンFの側壁のラフネスを容易に低減することが可能となる。またラフネスに起因する各トランジスタのしきい値電圧 V_t のばらつきを低減し、歩留まりを改善することが可能となる。

【0028】

（第2の実施形態）

第1の実施形態と異なる第2の実施形態について説明する。なお、以降の他の実施形態の説明において、第1の実施形態と同様のものについてはその説明を省略することもある。

【0029】

図7は、図1で示されるフィンFを上部から見たときの様子を示したものである。図中の破線ILは、基板面内方向且つフィンFの延在方向に沿う線であり、理想的にはフィンFの側壁は破線ILと平行に形成されることが望ましい。破線に比べてフィンFの側壁FSは、波打つようにラフネスを有している。

第1実施形態ではこのような側壁FSのラフネスの低減において、基板法線方向に対するIBの入射角のみについて検討したが、本実施形態ではこれに加え、基板面内方向における、破線ILの法線に対するIBの入射角についても考慮し、より効率的に側壁FSのIB処理を行う。

なお、入射角については、基板に入射するIBを、基板に対して平行な面に投影し、該投影されたIBと、基板面内方向であり且つフィンFの延在方向に沿う破線ILの法線との角度によって求めることができる。

【0030】

入射角についても、上述した入射角同様に図6A、図6Bに示される関係が成り立つ。本実施形態では、図6A、図6Bに示される関係および、ラフネスが破線ILに沿って存在する関係を利用して効率的に側壁FSのラフネスを低減するものである。側壁FSにラフネスが存在している状態は、側壁FSに破線ILに対して局所的に傾きを有する面が複数存在している状態といえる。図6Bでは入射角について基板11と平行な面は、入射角について破線ILと平行な面に対応し、入射角について基板11に対して垂直な面は、入射角について破線ILに対して垂直な（または傾きを有する）面に対応する。図6Bに示すように、入射角は、平坦な面（すなわち、破線ILと平行な面）に対するエッチング量を小さくし、傾斜する面（すなわち、破線ILに対して傾きを有する面）をより効率的にエッチングするため、平坦な面に対する入射角を45度以上とすることが好ましい。図6Bによれば、45度である場合、側壁FSにおけるラフネス（即ち側壁FSに対して垂直方向の高さを有する凹凸）は、側壁FSに対して選択的にエッチングされるためである。

【0031】

また、図6Aにおいて入射角を入射角に読み替えると、所定の入射角を持って入射したIBに対して、入射角が60度付近である場合に最もエッチングレート比およびスパッタ比率が大きくなる。入射角がおおよそ70度以上である場合、側壁FSにおいて破線ILと平行である平坦な面に対してはIBの入射によるエッチング量は小さくなる

10

20

30

40

50

。しかし破線 I L に対して傾きを有する面においては、入射する I B の角度が 70 度よりも小さくなるためエッチング量が大きくなる。例えば、破線 I L の法線に対する I B の入射角 が 70 度のとき、破線 I L に対して I B の入射方向に 10 度傾いている面に対して入射する I B の角度は 60 度となる。この結果、破線 I L に対して傾きを有する面が優先的にエッチングされ、I B の照射量に応じてより平坦になっていく。すなわち、破線 I L と平行な面のエッチング速度よりも破線 I L に対して傾きを有する面のエッチング速度が速くなる所定の入射角 でエッチングを行うことがより望ましい。このような構成によって、破線 I L に対して傾きを有する面のエッチングがより早く進行するため、側壁 F S を破線 I L に平行な状態に自然と近付けることができる。さらに、一方の方向から I B を入射させたのちに、他の方向から同様に入射角 の I B を入射させることで、より側壁 F S を平坦に加工することができる。

10

【0032】

上述したように、入射角 が大きい I B を側壁 F S に照射することで効率的に側壁 F S のラフネスを低減することができる。次に、このようなプロセスを達成可能な I B E 装置について説明する。

【0033】

本実施形態に係る I B E 装置 100 は、基板ホルダ 10 に載置した基板 11 をグリッド 9 に対して傾けて位置させ、基板ホルダ 10 の回転速度を変化させながら I B E を行うことで、入射角 75 度以上の I B の側壁 F S への入射量を増加させることを特徴とする。

20

【0034】

図 8 を参照して、本実施形態の I B E 装置 100 に備えられ、基板ホルダ 10 の回転速度およびその他関連する装置の各構成要素を制御する制御装置 20 について説明する。図 8 は本実施形態における制御装置を示すブロック図である。

【0035】

図 8 に示すように、本実施形態の制御装置 20 は、例えば、一般的なコンピュータと各種のドライバを備える。すなわち、制御装置 20 は、種々の演算、制御、判別などの処理動作を実行する CPU (不図示) と、この CPU によって実行される様々な制御プログラムなどを格納する ROM や HDD (不図示) などを有する。また、制御装置 20 は、上記 CPU の処理動作中のデータや入力データなどを一時的に格納する RAM、フラッシュメモリまたは SRAM 等の不揮発性メモリなど (不図示) を有する。このような構成において、制御装置 20 は、上記 ROM などに格納された所定のプログラム又は上位装置の指令に従って I B E を実行する。その指令に従って放電時間、放電電力、グリッドへの印加電圧、プロセス圧力、および基板ホルダ 10 の回転および傾斜などの各種プロセス条件がコントロールされる。また、I B E 装置 100 内の圧力を計測する圧力計 (不図示) や、基板の回転位置を検出する位置検出手段としての位置センサ 14 などのセンサの出力値も取得可能であり、装置の状態に応じた制御も可能である。

30

【0036】

また、制御装置 20 は、位置センサ 14 の検出した回転位置に応じて、基板 11 の回転速度を制御する回転制御手段としてホルダ回転制御部 21 を備える。ホルダ回転制御部 21 は、目標速度算出部 21 a と、駆動信号生成部 21 b と、を備え、基板 11 の回転位置とグリッド 9 との位置関係に基づいて、基板 11 の回転位置に応じて基板ホルダ 10 の回転部の回転を制御して基板 11 の回転速度を制御する機能を有する。制御装置 20 は、位置センサ 14 から、基板 11 の回転位置に関する情報を受信するように構成されている。制御装置 20 が上記回転位置に関する情報を受信すると、目標速度算出部 21 a は、基板 11 の回転位置を検知する位置センサ 14 から出力される基板 11 の現在の回転位置の値に基づいて、当該位置における目標回転速度を算出する。この目標回転速度の値は、例えば、基板 11 の回転位置と、目標回転速度との対応関係を予めマップとして保持しておくことで、演算可能である。駆動信号生成部 21 b は、目標速度算出部 21 a により算出された目標回転速度に基づき、当該目標回転速度とするための駆動信号を生成し、回転駆動

40

50

機構 30 に出力する。制御装置 20 は、駆動信号生成部 21b にて生成された上記駆動信号を回転駆動機構 30 に送信するように構成されている。

【0037】

なお、図 8 の例では、回転駆動機構 30 は、基板ホルダ 10 を駆動するモータなどのホルダ回転駆動部 31 と、目標値と位置センサ 14 から出力される実値（回転位置や回転速度）との偏差に基づきホルダ回転駆動部 31 の操作値を決定するフィードバック制御部 32 と、を備え、サーボ機構により基板ホルダ 10 を駆動する。しかし、フィードバック制御は本発明の必須の構成ではなく、モータも DC モータ、AC モータのいずれであってもよい。回転駆動機構 30 は、制御装置 20 から受信した駆動信号に基づいて、ホルダ回転駆動部 31 を駆動し、基板ホルダ 10 を回転させる。

10

【0038】

次に、図 3 に示す本実施形態の IBE 装置 100 の制御および、この装置を用いて実施する IBE 方法について説明する。

まず図 1 に示すような、フィン F が形成された基板を用意する。基板 11 を、不図示の搬送手段、例えば隣接する真空搬送チャンバに備えられたハンドリング・ロボットにより、基板搬送口 16 を通じて処理空間 1 内の基板ホルダ 10 に載置する。あるいは、フィン F の形成を本実施形態に係る IBE 装置 100 を用いて行ってもよい。

【0039】

載置された基板 11 は、ノッチやオリフラを用いて基板の回転開始位置が検出される。

または基板 11 に付されたアライメントマークを光学カメラ等で読み取ることで回転開始位置を検出する。回転開始位置は、基板 11 を基板ホルダ 10 に載置する前に検出しても良いし、基板 11 を基板ホルダ 10 に載置した後に検出しても良い。基板 11 の回転開始位置を検出した結果に基づき、その後の IBE におけるグリッド 9 と基板 11 の位置関係に応じた基板 11 の回転速度の制御が行われる。

20

【0040】

次に、プラズマ生成部 2 の内部にガス導入部 5 から Ar 等の放電用ガスを導入する。放電用ガスとしては Ar 以外にも He や Ne、Kr、Xe などの不活性ガスが用いられる。

あるいは、フィン F の下地である絶縁膜 902 に対して、側壁 FS を選択的にエッチングするために反応性ガスを用いてもよい。例えば、フィン F が Si から構成され、絶縁膜 902 が SiO₂ から構成される場合、放電用ガスである不活性ガスに酸素ガスあるいは窒素ガスを添加することで、側壁 FS を選択的にエッチングすることが可能となる。

30

なお、IB によるフィン F へのイオンの打ち込みを低減するためには、なるべく原子半径の大きな原子を用いた方がよい。従って不活性ガスとしては Kr や Xe などの不活性ガスを用いることが好ましい。

【0041】

その後、放電用電源 12 から高周波電力を供給し、プラズマ生成部 2 で放電を行う。そして、グリッド 9 に電圧を印加し、プラズマ生成部 2 よりイオンを引き出してイオンビームを形成する。グリッド 9 により引き出されたイオンビームはニュートライザー 13 により中和され、電氣的に中性となる。中和されたイオンビームは基板ホルダ 10 上の基板 11 に照射され、IBE が行われる。

40

【0042】

基板ホルダ 10 に基板 11 を載置して ESC 電極を動作させると、基板は静電吸着によって固定される。基板ホルダ 10 に載置された基板 11 は、フィン F の側壁 FS の処理に適した傾斜、例えばグリッド 9 に対して 80 度に傾斜する。傾斜角度は、基板のパターン状況、プロセスガス、プロセス圧力及び、プラズマ密度等を考慮することにより所定の角度が決定される。

【0043】

基板 11 を載置した基板ホルダ 10 がグリッド 9 に対して傾斜した後、基板ホルダ 10 は基板 11 の面内方向に回転を開始する。位置センサ 14 が基板 11 の回転位置を検出し、該検出された回転位置に応じたホルダ回転制御部 21 の制御により、位置センサ 14 が

50

検出した回転位置に応じて、基板 11 の回転速度を制御する。

【0044】

以下に、基板 11 の回転速度の制御についてさらに詳しく説明する。図 9 は、本実施形態のグリッド 9 と基板 11 の位置関係および基板 11 の位相を説明するための図である。

また図 10 は、本実施形態に係る I B E 方法における基板の回転速度の制御マップを示す説明図である。

【0045】

図 9 および図 10 を用いて本実施形態におけるグリッド 9 と基板 11 の回転位置関係を説明する。基板 11 は回転可能な基板ホルダ 10 の上に載置され、I B E 中に、基板ホルダ 10 をグリッド 9 に対して傾斜させる。本発明では図 9 に示すように、基板の回転位相（回転角）は、ノッチ 15 を基点として考えて 0 度とする。そしてノッチ 15 から基板 11 の中心を通過して、ノッチ 15 の反対側の位置 180 度と定義する。また 0 度から反時計回りに 90 度および 270 度を定義する。このとき、フィン F は 0 度から 180 度の方向に延びるように形成されているとする。

10

【0046】

本実施形態に係る装置を用いた I B E 方法の一例では図 10、および下記式 (1) に示すように、基板の回転位相 θ に対し、基板の回転速度 ω が正弦波となるように、回転速度を制御する。

【0047】

$$\omega = A \sin(2(\theta - \phi)) + B \quad \dots (1)$$

$$A = a \cdot B \quad \dots (2)$$

20

【0048】

すなわち、本発明の回転制御手段としてのホルダ回転制御部 21 は、上記式 (1) に基づいて、基板 11 の回転角 θ の 2 倍周期の正弦波関数として回転速度を算出する。ここで、A は回転速度の振幅であり、式 (2) に示すように、基準速度 B に変動率 a を乗じたものである。 ω が変化する範囲において、 $\omega > 0$ となるように a は決定される。 ϕ は位相差であり、変動率 a と位相差 ϕ を変えることによって、基板面内のイオンビーム入射角毎のエッチング量及びテーパ角度の分布を最適化することができる。なお、基板の回転位相の範囲は 0 度 $< \theta < 360$ 度である。

【0049】

基板 11 の回転角 θ の 2 倍周期の正弦波関数として回転速度を算出する理由としては、図 1 および図 2 に示されるフィン F の場合、ゲートによって分離されるソース領域とドレイン領域の各々の方向から側壁 F S に I B を入射させ、側壁 F S の全面を均一に処理するためである。ソース領域もしくはドレイン領域の一方の側からの I B のみで側壁 F S を均一に処理可能な場合は、回転角 θ の 1 倍周期の正弦波関数として回転速度を算出してもよい。

30

【0050】

図 10 の例では、基準速度 B を ω_0 に設定し、変動率 a を 0 以上の任意の数値とし、位相差 ϕ を 90 度とした時の基板回転位相 θ に対する基板回転速度 ω を示している。この場合、基板 11 のノッチ 15 が 0 度および 180 度の位置にある時に基板回転数（回転速度）が最も遅くなることを意味する。

40

【0051】

ここで、回転速度を回転位相によって変化させることによる具体的な作用及び効果を、図 7 を用いて説明する。

【0052】

上記の図 7 の説明において、破線 I L の法線に対する傾斜角 α が大きいときに、効率的に側壁 F S の平坦化処理を行えることを説明した。本実施形態によれば、フィン F が延びる方向（破線 I L の延在方向）の側にグリッド 9 が位置する場合（即ち、フィン F が延在する方向から I B が入射する場合）に、基板ホルダ 10 の回転速度が最も遅くなる。一方で、破線 I L の延在方向と垂直な方向の側にグリッド 9 が位置する場合に、基板ホルダ 1

50

0の回転速度が最も速くなる。

【0053】

このため、側壁FSの平坦化にあまり寄与しない、傾斜角θが小さいIBの入射を低減し、これに対して側壁FSの平坦化に大きく寄与する傾斜角θが大きいIBの入射を増加させることが可能となる。この結果、不必要な側壁FSのエッチングが抑制され、より寸法精度、形状精度を向上させた側壁FSの処理が可能となる。

また、基板11の回転位相が0度および180度のときに基板ホルダ10の回転速度を最も遅くすることで、0度方向および180度方向の各々の側から入射するIBによって側壁FSが均一に加工される。

【0054】

本実施形態では、図10に示す制御マップを制御装置20が有するROM等のメモリに予め格納しておけば良い。このように、上記制御マップを予めメモリに格納しておくことによって、目標速度算出部21aは、位置センサ14から基板11の回転位置に関する情報を受信すると、上記メモリに格納された図10に示す制御マップを参照し、現在の基板11の回転角θに対応する回転速度を抽出し、目標回転速度を取得し、該取得された目標回転速度を駆動信号生成部21bに出力する。

【0055】

基板ホルダ10の回転速度の変化は、図10に示す正弦関数のように連続的に変化しなくても良い。例えば図11に示すように、基板11の回転角度θが0度～45度、135度～225度、315度～360度の範囲で基板の回転速度を第1の速度とし、45度～135度、225度～315度の範囲で基板の回転速度を第1の速度よりも速い第2の速度とする、2つの値を用いた回転速度変化でも良い。また、より側壁の平坦化への寄与が大きいIBのみを側壁FSに入射させるために、回転角度θが0度～30度、150度～210度、330度～360度の範囲で基板の回転速度を第1の速度とし、30度～150度、210度～330度の範囲で基板の回転速度を第1の速度よりも速い第2の速度とする、2つの値を用いた回転速度変化でも良い。

もしくは回転角度θが0度および180度のときに基板11の回転速度が最も遅くなり、θが90度および270度のときに基板11の回転速度が最も速くなるように段階的に回転速度を変化させても良い。

【0056】

また、このようにフィンFの延在する方向側からのIBを積極的に基板に入射させることで、フィンFの互いの間隔が狭い場合にも、隣接するフィンの影の影響を低減して、側壁FSの全面にIBを照射することが可能となる。

【0057】

フィンFの側壁FSをIBで処理するにあたって、IBが安定的にグリッド9から引き出され、基板11の回転が安定してから側壁FSの処理が開始されることが望ましい。このため、基板11の処理開始前に不図示の遮蔽板などでIBが基板11に入射しない状態にしておき、基板11の回転やIBが安定してから遮蔽板を開放して処理を開始してもよい。

【0058】

(第3の実施形態)

第2の実施形態では、フィンFが延びる方向側から入射するIBの量を他の方向側からのIBの量よりも多くなるように基板ホルダ10の回転速度を制御していた。また基板ホルダ10の回転は連続回転であった。これに対して本実施形態では該基板ホルダ10の回転方式を非連続パルス回転としている。

図12は、本実施形態に係る、非連続で基板ホルダ10を回転する場合について、基板回転の回転停止時間を制御する場合の説明図である。

【0059】

基板11(基板ホルダ10)の回転を非連続的(クロック状)に行う場合は、ホルダ回転制御部21は、回転停止時間sを図12に示すように制御する。すなわち、ホルダ回転

10

20

30

40

50

制御部 21 は、例えば、基板 11 が所定の複数の回転角でその回転を停止し、それ以外の回転角では一定の角速度（回転速度）で基板ホルダ 10 の回転部が回転するように該基板ホルダ 10 の回転を制御する。このような制御により、基板 11 が非連続的に回転するように基板 11 の回転速度は制御される。なお、基板ホルダ 10 の回転部の回転速度は上述のように一定であって良いし、変化させても良い。ここで、縦軸に回転速度（角速度）を、横軸に時間 t をとる場合の、角速度が 0 になっている時間を、“回転停止時間 s ” と呼ぶことにする。すなわち、回転停止時間 s とは、基板ホルダ 10 を非連続に回転させる場合の、基板ホルダ 10 の回転を停止している時間を指す。 s_0 は、基準回転停止時間である。

【0060】

本実施形態においても、第 2 の実施形態と同様に、グリッド 9 に対して基板ホルダに載置した基板を傾けて位置させること及びフィン F が延びる方向側からの I B の照射量を他の方向側からの I B の照射量に対して大きくすることが本質的な特徴である。即ち、フィン F が延びる方向側にグリッド 9 が位置したときに基板の回転停止時間を長くすることで、第 2 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0061】

本実施形態では、基板 11（基板ホルダ 10）を一回転させる間に、フィン F が延びる方向側（基板 11 の回転位置が 0 度および 180 度）の回転停止時間を長くするために回転停止時間を正弦的に 2 周期変調させている。

ここで形状の均一性を良好にするために、基板 11 を中心として対称な回転位置（例えば 0 度と 180 度）の回転停止時間を等しくすることが好ましい。

【0062】

（第 4 の実施形態）

第 2 の実施形態では、基板ホルダ 10 の回転速度を制御する形態について説明したが、本実施形態では電源 12 から RF アンテナ 6 に供給される電力を制御することによって、基板への I B の照射量を制御し、フィン F の側壁 F S のトリミングを効率的に行う。

I B E において、基板 11 への I B の照射量（即ちイオンビーム中のイオン密度）は、プラズマ生成部 2 において形成されるプラズマのプラズマ密度と関係する。従って RF アンテナ 6 に供給される電力を変化させることで、プラズマ生成部 2 のプラズマ密度を変化させることが可能となる。これにより基板 11 の角度位相に応じて基板 11 への I B の照射量（エネルギー量）を変化させることができる。

【0063】

本実施形態においても、第 2 の実施形態と同様に、グリッド 9 に対して基板ホルダ 10 に載置した基板 11 を斜向かいに位置させること及び、I B E 工程におけるフィン F が延在する方向側から基板 11 に入射する I B の照射量を、フィン F が延在する方向側から基板 11 に入射する I B の照射量よりも大きくすることが本質的な特徴である。

【0064】

図 13 は、本実施形態に係る制御装置 20 のブロック図である。本実施形態では、制御装置 20 は、位置センサ 14 の検出した回転位置に応じて、プラズマ生成手段へのパワー（電力）を制御する電力制御手段としてのパワー制御部 60 を備える。パワー制御部 60 は、目標パワー算出部 60 a と、出力信号生成部 60 b と、を備え、基板 11 の回転位置とグリッド 9 との位置関係に基づいて、プラズマ生成手段へのパワー（電力）を制御する機能を有する。

【0065】

制御装置 20 は、位置センサ 14 から、基板ホルダ 10 の回転位置に関する情報を受信するように構成されている。制御装置 20 が上記回転位置に関する情報を受信すると、目標パワー算出部 60 a は、基板ホルダ 10 の回転位置を検知する位置センサ 14 から入力する基板ホルダ 10 の現在の回転位置の値に基づいて、当該位置における目標パワー（目標電力）を算出する。この目標パワーの値は、例えば、基板ホルダ 10 の回転位置と、目標パワーと、の対応関係を予めマップとして制御装置 20 が備えるメモリ等に保持してお

10

20

30

40

50

くことで、演算可能である。出力信号生成部 60b は、目標パワー算出部 60a により算出された目標パワーに基づき、当該目標パワーとするための出力信号を生成し、電源 12 に出力する。制御装置 20 は、出力信号生成部 60b にて生成された上記出力信号を電源 12 に送信するように構成されている。

【0066】

なお、図 13 の例では、電源 12 は、プラズマ生成手段としての RF アンテナ 6 に電力を供給するパワー出力部 12b と、目標値と位置センサ 14 から出力される実値（回転位置や回転速度）との偏差に基づきパワー出力部 12b の操作値を決定するフィードバック制御部 12a と、を備える。しかし、フィードバック制御は本発明の必須の構成ではない。

本実施形態においても、第 2 の実施形態と同様に、基板ホルダの回転方式は、連続回転であっても良いし、非連続パルス回転であっても良い。

【0067】

図 14A は、本実施形態に係る、RF アンテナ 6（プラズマ生成手段）への供給電力を制御する場合の、連続で基板（基板ホルダ）を回転する場合についての説明図であり、図 14B は、本実施形態に係る、RF アンテナ 6（プラズマ生成手段）への供給電力を制御する場合の、非連続で基板（基板ホルダ）を回転する場合についての説明図である。非連続で基板を回転する場合については RF アンテナ 6（プラズマ生成手段）への供給電力を一定とし、回転停止時間を変化させることで回転角 に応じた IB 照射量の制御を行っても良い。

【0068】

図 14A に係る実施形態では、パワー制御部 60 は、式 (1) と同様の 2 倍周期正弦波関数を用いて、基板 11 の回転角 に応じた放電用パワーを算出することができる。

すなわち、パワー制御部 60 は、基板 11（基板ホルダ 10）が 1 回転する間に、RF アンテナ 6（プラズマ生成手段）への供給電力を 2 周期変調させるように出力信号を生成する。この時、RF アンテナ 6（プラズマ生成手段）への供給電力は滑らかに連続的に変化させても良いし、幅を持たせて段階的に変化させても良い。パワー制御部 60 は、図 14A、図 14B に示すように、パターンの溝が延在する方向側にグリッド 9 が対向する回転角 = 0 度および 180 度のときに供給されるパワー（電力）を最大値にすることにより、基板 11 への IB 入射量が最大になり、上記の回転角以外のとき、パワーを小さくすることにより、基板 11 への IB 入射量が少なくなるように、電源 12 を制御すれば良い。

【0069】

このように本実施形態では、基板ホルダに載置した基板をグリッド 9 に対して傾けて位置させること及びフィン F が延在する方向側からの IB 照射量（エネルギー量）が大きくなるように、RF アンテナ 6 への供給電力を制御することで本発明の効果を得ることができる。また、形状の均一性を良好にするためには、基板 11 を中心として対称な回転位置（例えば 0 度と 180 度）における印加電圧を等しくすることが好ましい。

【0070】

（第 5 の実施形態）

第 4 の実施形態では、プラズマ生成手段である RF アンテナ 6 への供給電力を制御することによってフィン F の側壁 FS を効率的に加工する方法について述べたが、本実施形態ではビーム引き出し電圧を変化させることで、側壁 FS の加工を効率的に行う。IBE では、プラズマ生成部 2 においてプラズマが形成された後にグリッド 9 に印加された電圧によって、プラズマ生成部 2 のイオンが引き出されてビームが形成される。ここでプラズマ生成部 2 から引き出された IB のエネルギーはビーム引き出し電圧に依存するため、該電圧を基板の回転位相に併せて変化させることで、側壁 FS の加工を効率的に行う。

【0071】

以下に図 4 を用いて本実施形態におけるビーム引き出し電圧について説明する。

通常基板ホルダ 10 及び第 3 電極 72 は接地電位となっている。このため、IB 中の各

10

20

30

40

50

イオンのエネルギーは第1電極70に印加された正の電圧によって決定される。従って、本実施形態においては、第1電極に印加された電圧がビーム引き出し電圧となる。以下、この第1電極70に印加された電圧を変化させることによって、ビーム引き出し電圧を変化させた場合の実施の形態を説明する。

【0072】

本実施形態においても、いずれの実施形態と同様に、ビーム引出し電圧を変化させることで、IBE工程におけるフィンFが延在する方向側から基板に入射するIBの照射量(エネルギー量)を、フィンFが延在する方向側から基板に入射するIBの照射量(エネルギー量)よりも大きくすることが本質的な特徴である。

【0073】

図15は本実施形態にかかる制御装置20のブロック図である。本実施形態では、制御装置20は、位置センサ14の検出した回転位置に応じて、第1電極70に印加する電圧(ビーム引き出し電圧)を制御する電圧制御手段としての印加電圧制御部80を備える。

印加電圧制御部80は、目標電圧算出部80aと、出力信号生成部80bと、を備え、基板11の回転位相とグリッド9との位置関係に基づいて、第1電極70への印加電圧を制御する機能を有する。

【0074】

制御装置20は、位置センサ14から、基板ホルダ10の回転位置に関する情報を受信するように構成されている。制御装置20が上記回転位置に関する情報を受信すると、目標電圧算出部80aは、基板ホルダ10の回転位相を検知する位置センサ14から入力する基板ホルダ10の現在の回転位相の値に基づいて、当該位置における目標電圧を算出する。この目標電圧の値は、例えば、基板ホルダ10の回転位置と、目標電圧と、の対応関係を予めマップとして制御装置20が備えるメモリ等に保持しておくことで、演算可能である。出力信号生成部80bは、目標電圧算出部80aにより算出された目標パワーに基づき、当該目標電圧とするための出力信号を生成し、第1電極用電源73に出力する。制御装置20は、出力信号生成部80bにて生成された上記出力信号を第1電極用電源73に送信するように構成されている。

【0075】

なお、図15の例では、第1電極用電源73は、第1電極70に電圧を印加する印加電圧出力部73bと、目標値と位置センサ14から出力される実値(回転位置や回転速度)との偏差に基づき印加電圧出力部73bの操作値を決定するフィードバック制御部73aと、を備える。しかし、フィードバック制御は本発明の必須の構成ではない。

本実施形態においても、第1の実施形態と同様に、基板ホルダの回転方式は、連続回転であっても良いし、第2の実施形態と同様に、非連続パルス回転であっても良い。

【0076】

図16Aは、本実施形態に係る、ビーム引き出し電圧(すなわち、第1電極70への印加電圧)を制御する場合の、連続で基板(基板ホルダ)を回転する場合についての説明図であり、図16Bは、本実施形態に係る、ビーム引き出し電圧を制御する場合の、非連続で基板(基板ホルダ)を回転する場合についての説明図である。非連続で基板を回転する場合についてはビーム引き出し電圧を一定とし、回転停止時間を変化させることで回転角に応じたIB照射量の制御を行っても良い。

【0077】

図16Aに係る実施形態では、印加電圧制御部80は、式(1)と同様の2倍周期正弦波関数を用いて、基板11の回転角に応じた印加電圧を算出することができる。すなわち、印加電圧制御部80は、基板11(基板ホルダ10)が1回転(1周期)する間に、ビーム引き出し電圧を2周期変調させるように出力信号を生成する。この時、ビーム引き出し電圧は滑らかに連続的に変化させても良いし、幅を持たせて段階的に変化させても良い。例えば、印加電圧制御部80は、図16Bに示すように、第1の状態である回転角=0度および180度のときに第1電極70へ印加される電圧を最大値にすることによりIBのエネルギーが最大になる。一方でフィンFが延在しない方向側にグリッド9が位置

10

20

30

40

50

する際の電圧を小さくすることでIBのエネルギーが小さくなる。IBのエネルギーを小さくするにあたっては、ビーム引き出し電圧（グリッド9に印加する電圧）をゼロとし、基板11へのイオンビームの照射を停止してもよい。

【0078】

このように本実施形態では、基板ホルダに載置した基板をグリッド9に対して傾けて位置させること及びフィンFが延在する方向側からのIBエネルギーが大きくなるように、第1電極用電源73から第1電極70に印加される電圧を印加電圧制御部80によって制御することで、本発明の効果を得ることができる。また、形状の均一性を良好にするためには、基板11を中心として対称な回転位置（例えば0度と180度）における供給電力を等しくすることが好ましい。

10

【0079】

本実施形態においては、第1電極70に印加する電圧を変化させることでビーム引き出し電圧を変化させたが、他の方法でビーム引き出し電圧を変化させても良い。例えば第3電極72を第1電極70より低い正の電圧を印加し、第3電極72に印加する電圧を変化させることでビーム引き出し電圧を変化させても良い。また基板ホルダ10に印加する電圧を変化させることで、基板11にIBが入射する際のエネルギーを変化させても良い。

また、本実施形態において、グリッド9は必ず3枚の電極から構成されている必要はない。これは、上述したように本実施形態の本質は、IBのエネルギーを、基板11の回転位相に応じて変化させることにあるからである。

【0080】

（第6の実施形態）

本実施形態では、第1の実施形態における基板11の回転速度に併せて、グリッド9に対する基板11の傾斜角度を変化させる。本実施形態は、特にフィンFの間隔が狭く、隣接するフィンの影の影響で側壁FSの全面にIBを照射することが困難な場合に有効である。以下で本実施形態の詳細について図17を用いて説明する。

20

図17は基板11の回転速度が、その回転位置に応じて変化している様子を示している。加えて、グリッド9に対する基板11の傾斜角度が50度を基準として、20度~80度の範囲で変化している。は好ましくは、基板11の回転速度が最も遅くなる状態で最も大きくなり、基板11の回転速度が最も速くなる状態で最も小さくなる。このような制御を行うことで、基板11のフィンFに沿ってIBが入射する際は、フィンFの側壁FSを効率的に処理し、一方のIBが入射し難い状態においてはIBを垂直に近い角度から入射させることで隣接するフィンの影の影響を抑えつつ側壁FSの処理を行うことが可能となる。

30

【0081】

（第7の実施形態）

上述した実施形態では、基板位相に対して、基板11に入射するIBの照射量（エネルギー量）が正弦関数で変化する場合を主に示した。これに対して本実施形態では、フィンFが延在する方向にグリッド9が位置する状態でのみ基板回転を停止させる。

図18は基板11の回転停止時間が、回転位置に応じて変化している様子を示す。フィンFが延在する方向である0度および180度の方向にグリッド9が位置したときのみ基板回転が停止し、一定時間IBを照射した後にまた回転を行う。実際のフィンFの側壁FSは基板に対して一定の傾斜角を有し、また基板に入射するIBにも発散が存在するため本実施形態を実施した場合にも、側壁FSに対してイオンビームが照射される。

40

【0082】

フィンFが延在する方向にグリッド9が位置したときのみ基板11の回転を停止させることに加え、第4の実施形態や第5の実施形態で述べたような、イオンビームの照射量やイオンビーム電圧の変化を組み合わせてもよい。この場合、フィンFが延在する方向にグリッド9が位置したときのみ、基板11に入射するイオンビームのエネルギー量を大きくし、それ以外の場合はイオンビームのエネルギー量を小さくする。

【0083】

50

(第8の実施形態)

図19を用いて本実施形態に係る発明を説明する。図19は基板11の回転停止時間が回転位置に応じて変化し、さらにグリッド9における第2電極に印加される電圧も変化している様子を示している。第7の実施形態では、フィンFが延在する方向にグリッド9が位置したときのみ基板11の回転を停止させて基板11にイオンビームを照射した。本実施形態ではこれに加え、フィンFが延在する方向にグリッド9が位置しないときは、基板11へのイオンビームの入射を抑制している点を特徴とする。

【0084】

本実施形態ではグリッド9の第2電極71の電圧を制御することで基板11へのIBの照射量の制御を行う。プラズマ生成部2で生成された正イオンは、第1電極70と第2電極71の間に形成された電位差によって加速されて基板に向かう。第1電極70の電圧が第2電極71の電圧よりも低い場合、正イオンは第2電極71から第1電極70に向かう方向に力を受けるため、グリッド9の通過が制限される。

10

【0085】

本実施形態はこの作用を利用し、フィンFが延在する方向にグリッド9が位置したときは第2電極71の電圧を第1電極70よりも低くしてイオンを基板11に向けて加速し、フィンFが延在する方向にグリッド9が位置しないときは第2電極71の電圧を第1電極70よりも高くしてイオンをプラズマ生成部2に閉じ込める。

本実施形態によれば、TMR素子側壁に形成された再付着膜に入射し難いイオンビームを基板11に照射しないため、IBE工程における素子形状や寸法制度の劣化を低減することが可能となる。

20

【0086】

なお、第4の実施形態基板における基板11に入射するIBのエネルギー量については、第1電極70に流れる電流を測ることで確認できる。プラズマ生成部2で生成されたプラズマのうち一部は第1電極70に流入し、第1電極70に電流が流れる。第1電極70に流れる電流はプラズマ生成部2で生成されるプラズマの量に比例するため、第1電極70に流れる電流を見ることで基板に入射するIBのエネルギー量を測ることができる。

【0087】

いずれの実施形態もIBE工程におけるIBのエネルギー量は、基板11にイオンビームを照射している時間Tと、第1電極70に印加している電圧Vと、第1電極70に流れる電流Iの積である電力 $W = V \cdot I \cdot T$ を求めることで計ることができる。

30

またフィンFが延在している方向の側から基板11に入射するIBのエネルギー量と、フィンFが延在しない方向(フィンFが延在している方向の中間方向)の側から基板11に入射するIBのエネルギー量についても電力Wを求めることで比較できる。フィンFが0度から180度の方向にそって形成された図17に示すパターンの場合、グリッド9が基板位相の0度~45度、135度~225度、315度~360度の方向に位置する場合のIBE工程における電力の合計と、45度~135度、225度~315度の方向に位置する場合のIBE工程における電力の合計を求めることで比較可能である。

【0088】

以上の本発明の一実施形態では、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。また必要に応じて適宜、各実施形態を組み合わせることも可能である。例えば、第2の実施形態に第4の実施形態を組み合わせ、基板11の回転位相に応じた基板ホルダ10の回転速度の制御に加え、RFアンテナ6に供給される電力を制御してもよい。

40

【0089】

上述した各々の実施形態において、フィンFが延在する方向側からのイオンビーム照射量と、他の方向の側からのイオンビーム照射量との比較について、図20を用いて説明する。

まず図20に示すように、グリッド9より引き出されたIBを基板11の表面を含む面に投影させた線分Pを考える。次に、該投影された線分PをフィンFが延在する方向Dと

50

、方向Dの中間方向であるMDの成分に分解し、該投影された線分の成分は方向Dと方向MDのどちらが大きいかを比較して行うことができる。

本実施形態では基板上の角度を設定しているため、0度から180度に向かう方向と180度から0度に向かう方向とがフィンFが延在する方向Dである。そして方向Dの中間である、90度から270度に向かう方向と270度から90度に向かう方向とが方向MDとなる。

【0090】

また上述した各実施形態では、I字型のフィンの製造における側壁の処理について説明した。しかしフィンの形状はこれに限らず、例えば特許文献2に示されるようなU字型のフィンなど、種々の形状のフィンに本発明は適用可能である。

10

【0091】

フィンが延在する方向もフィンの配列によって適宜変更され得る。上述した各実施形態では、フィンが0度から180度の方向に沿って配列していた。しかし、これ以外にも、例えば特開2011-233594号公報に開示されているように、四方にフィンが延びている基板に対しても適用可能である。この場合、基板の回転位相に対するIBの照射量(エネルギー量)を4周期変調させるように制御することで、フィンの側壁を効率的に加工することができる。

【0092】

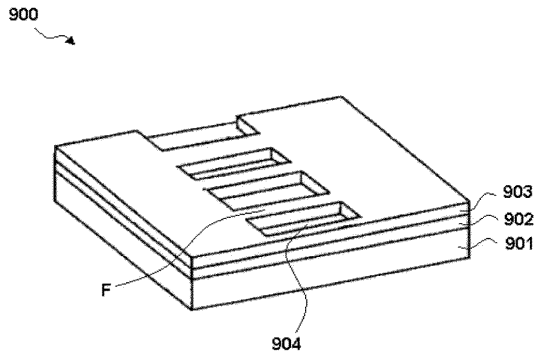
本発明の一実施形態は、例示したフィンFETの製造のみならず、HDD用磁気ヘッド、HDD用磁気記録媒体、磁気センサ、発行素子、圧電素子、相変化素子、抵抗変化素子など、様々なデバイスに対して利用可能である。これらのデバイスに対して所定のパターンを形成後に、その側壁に存在するラフネスを、デバイスが延在する方向側からイオンビームにより効率的に除去できるからである。

20

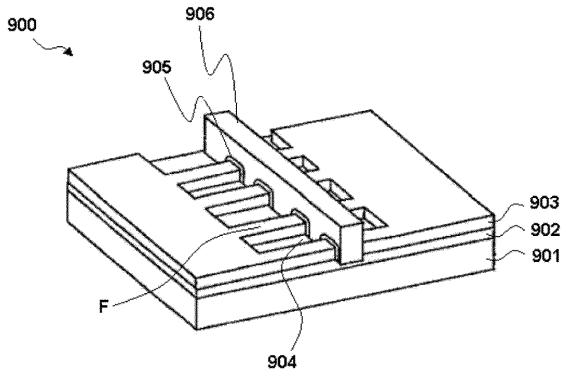
【0093】

また、本発明は、上述したフィンFの形成後の側壁FSの処理だけに限らず、他の工程における側壁FSの処理においても適用可能である。例えば、フィンF上にゲート誘電膜905およびゲート電極906を形成し、所定の領域におけるゲート誘電膜905およびゲート電極906を除去した後に、側壁FSに付着したゲート誘電膜905やゲート電極906の残渣を除去する際にも用いることができる。

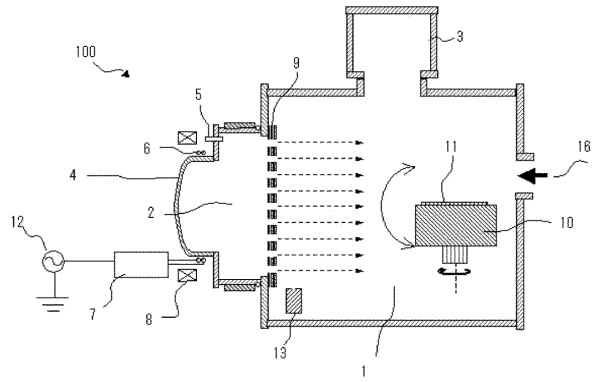
【図1】



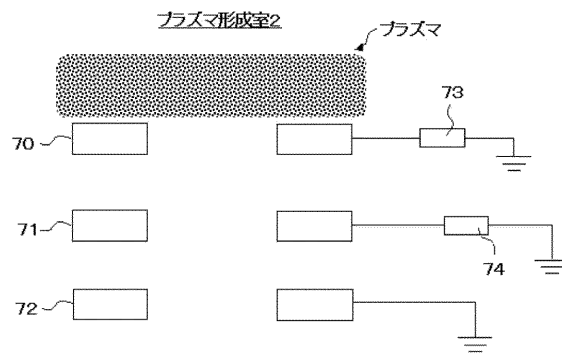
【図2】



【図3】

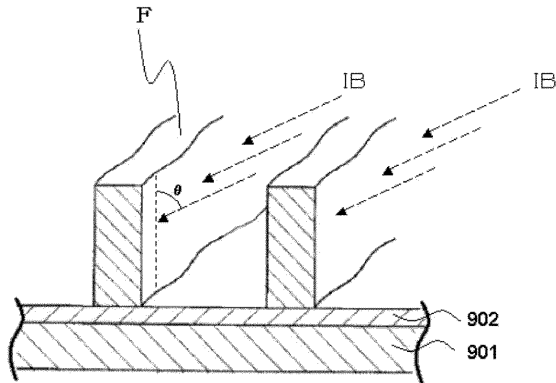


【図4】

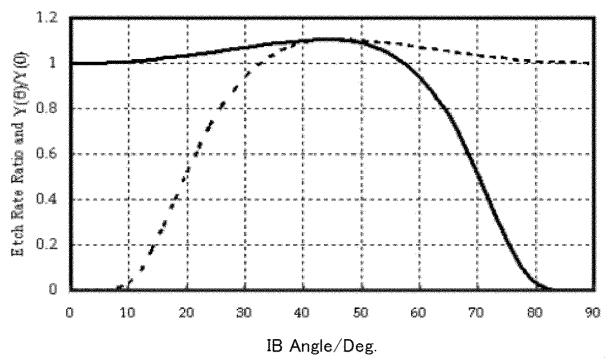


基板処理室1

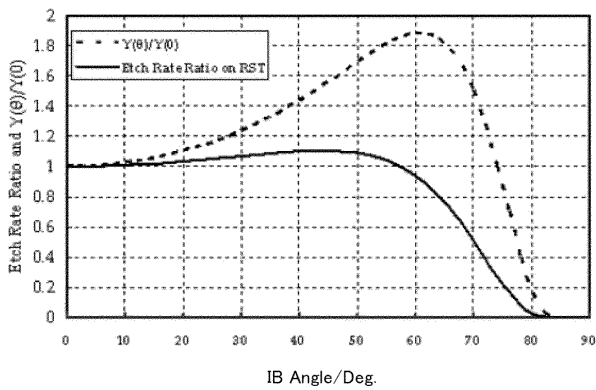
【図5】



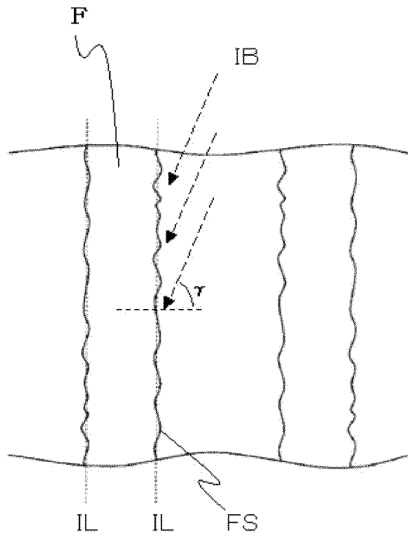
【図6B】



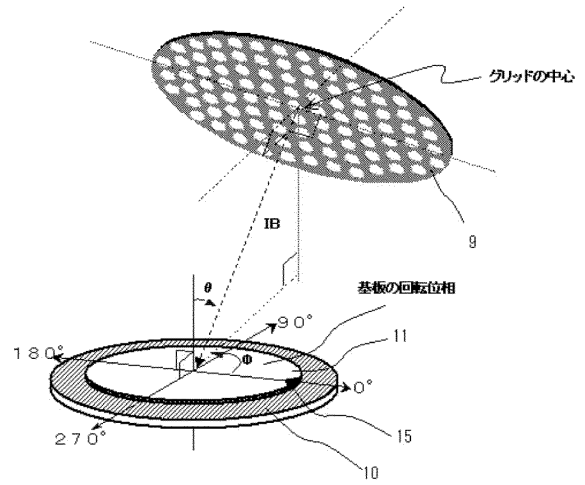
【図6A】



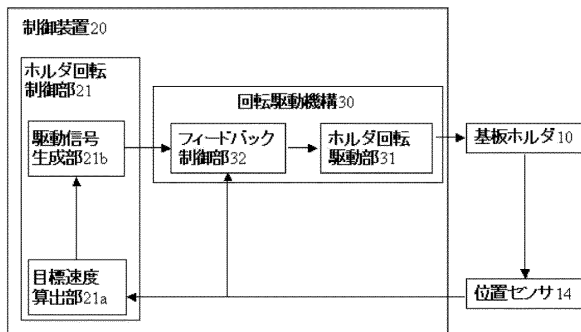
【図7】



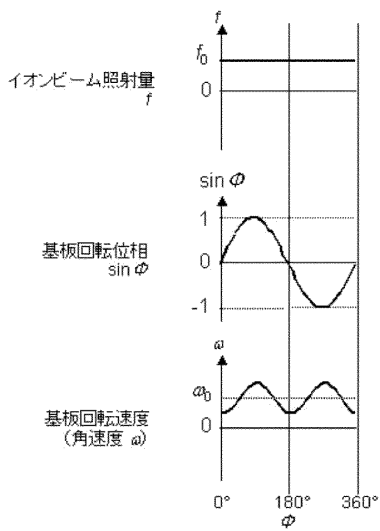
【図9】



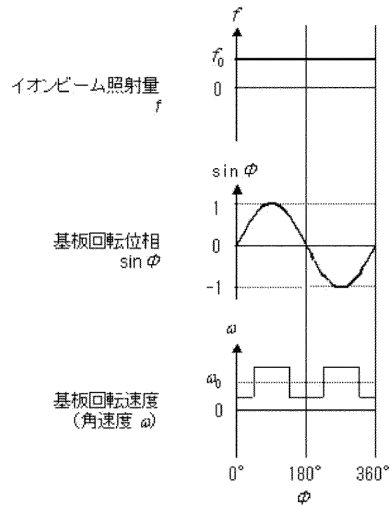
【図8】



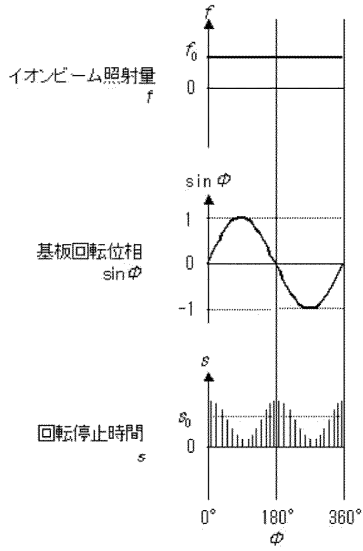
【図10】



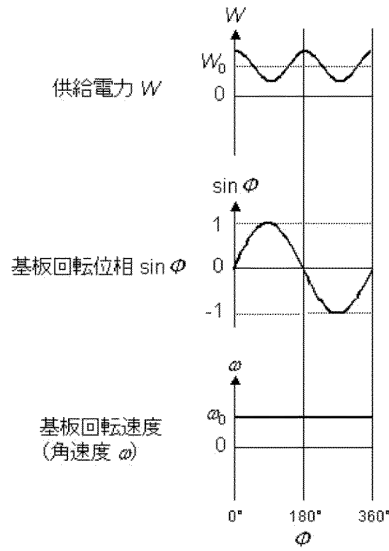
【図11】



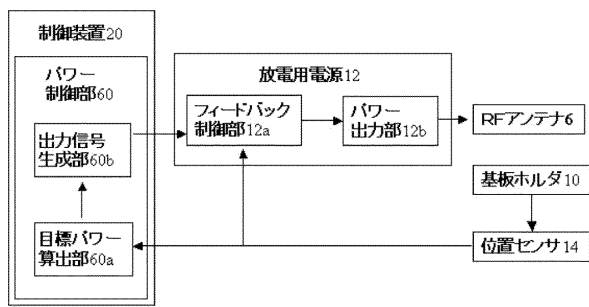
【図12】



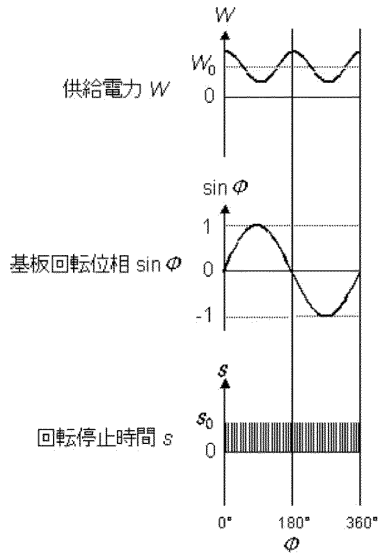
【図14A】



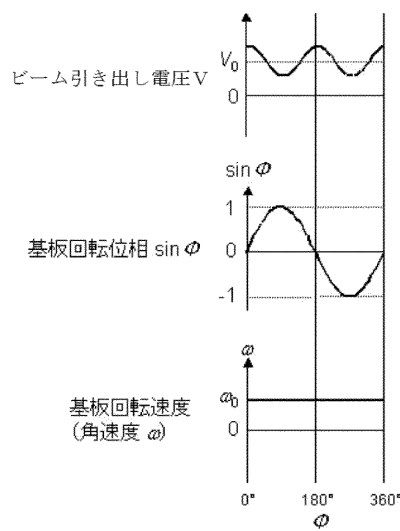
【図13】



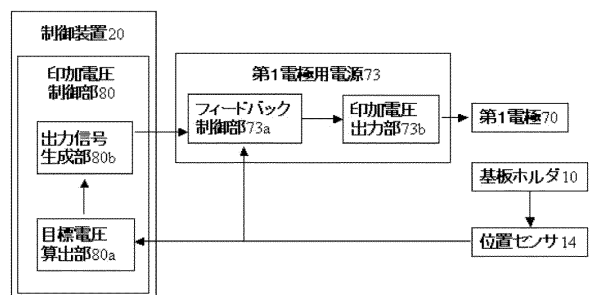
【図14B】



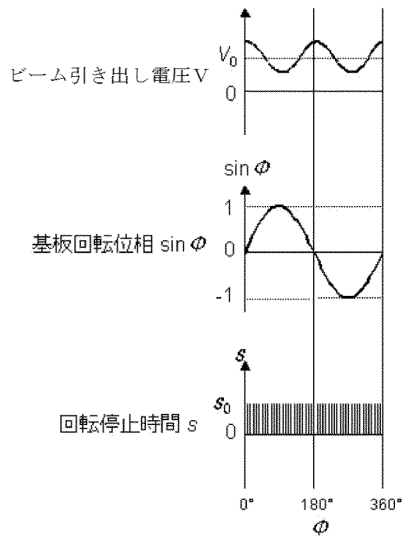
【図16A】



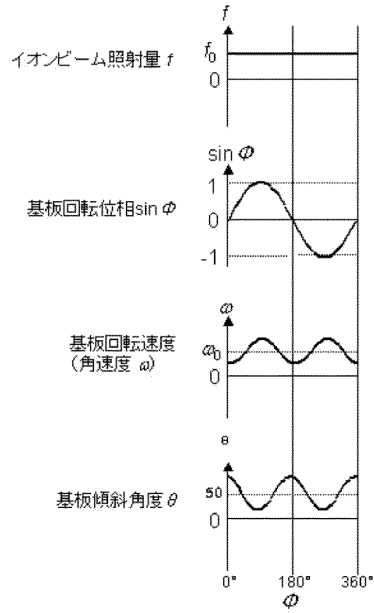
【図15】



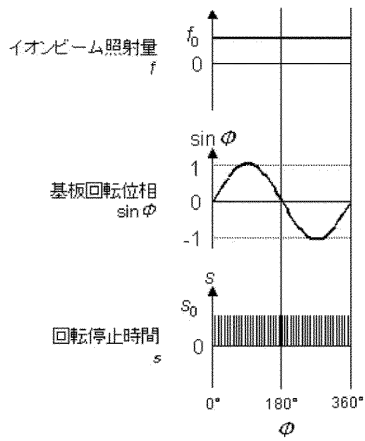
【図16B】



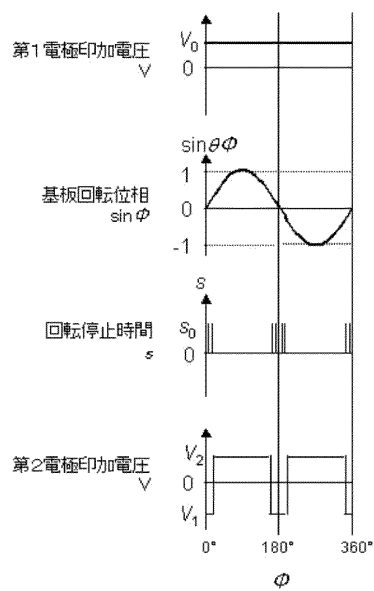
【図17】



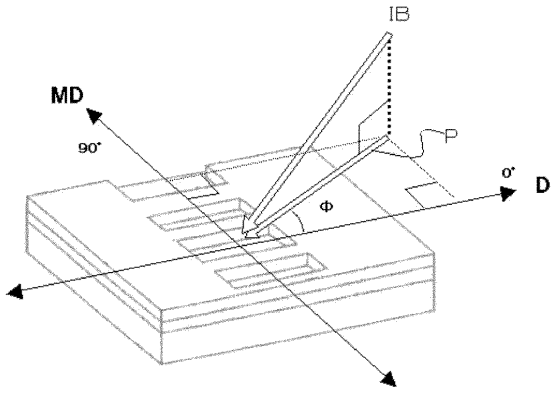
【図18】



【図19】



【 2 0 】



フロントページの続き

- (72)発明者 中川 行人
神奈川県川崎市麻生区栗木2 - 5 - 1 キヤノンアネルバ株式会社内
- (72)発明者 神谷 保志
神奈川県川崎市麻生区栗木2 - 5 - 1 キヤノンアネルバ株式会社内
- (72)発明者 小平 吉三
神奈川県川崎市麻生区栗木2 - 5 - 1 キヤノンアネルバ株式会社内

審査官 竹口 泰裕

- (56)参考文献 国際公開第2005/031838(WO, A1)
特開2012-142398(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L21/336、29/786