

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-517170

(P2015-517170A)

(43) 公表日 平成27年6月18日 (2015.6.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01J 37/317 (2006.01)	H01J 37/317	E 4K029
C23C 14/00 (2006.01)	C23C 14/00	5C030
H01J 27/02 (2006.01)	H01J 27/02	5C034
H01J 37/08 (2006.01)	H01J 37/08	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2014-555732 (P2014-555732)
 (86) (22) 出願日 平成25年2月1日 (2013.2.1)
 (85) 翻訳文提出日 平成26年9月29日 (2014.9.29)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/024267
 (87) 国際公開番号 W02013/116594
 (87) 国際公開日 平成25年8月8日 (2013.8.8)
 (31) 優先権主張番号 61/594, 542
 (32) 優先日 平成24年2月3日 (2012.2.3)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500373758
 シーゲイト テクノロジー エルエルシー
 アメリカ合衆国、95014 カリフォル
 ニア州、クパチーノ、サウス・デ・アンザ
 ・ブルバード、10200
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (72) 発明者 ピッチャー、フィリップ・ジョージ
 アメリカ合衆国、55379 ミネソタ州
 ・シャコピー、ステマー・リッジ・ロード
 ・ノース・ウェスト、16263
 Fターム (参考) 4K029 BA34 CA10
 5C030 DD01 DE04 DE10
 5C034 CC01 CC02 CC19

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 層を形成する方法

(57) 【要約】

多くの薄膜用途において、層がその上に形成されることになる表面は、電氣的に絶縁するものや導電するものもあるいくつかの異なる材料、および/またはいくつかの異なる微細構成を含み得る。そのような表面は表面の電荷効果に影響を及ぼし、それにより、荷電粒子を含む入来粒子ビームとの、異なった、かつおそらく未知の相互作用を引き起こす可能性がある。現在利用されているプロセスは、電子ビームをイオンビームと組合せることによってビームを構成する荷電粒子を補償するにすぎず、それによりゼロの正味電荷を有することを求める。

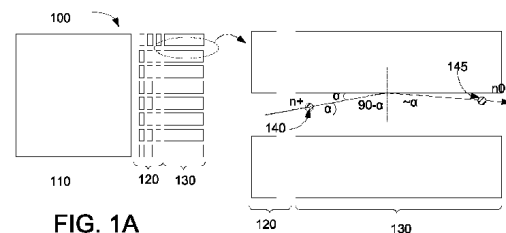


FIG. 1A

FIG. 1B

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

層を形成する方法であって、前記方法は、
その上への堆積に適合化された少なくとも 1 つの表面を有する基板を供給することと、
前駆イオンビームを供給することとを含み、前記前駆イオンビームはイオンを含み、さ
らに、

前記前駆イオンビームのイオンの少なくとも一部分を中性化して、中性粒子ビームを形
成することを含み、前記中性粒子ビームは中性粒子を含み、さらに、

基板の表面に向かって前記中性粒子ビームを送ることを含み、

前記中性粒子は 1 0 0 e V 以下の注入エネルギーを有し、前記粒子ビームの前記中性粒子
は、基板上に層を形成する、方法。

10

【請求項 2】

前記前駆イオンビームのイオンの少なくとも一部分を中性化するステップは、前記前駆
粒子ビームを金属表面に向かって送ることを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記前駆イオンビームのイオンの少なくとも一部分を中性化するステップは、前記前駆
イオンビームをイオン光学グリッドに向かって送り、変更された前駆粒子ビームを形成す
ることを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記イオン光学グリッドは 3 つの別個のグリッドを含み、第 3 のグリッドには、電氣的
にバイアスがかけられている、請求項 3 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記変更された前駆粒子ビームを高アスペクト比グリッドに向かって送ることをさらに
含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 6】

前記前駆イオンビームのイオンの少なくとも一部分を中性化するステップは、前記変更
された前駆粒子ビームを形成するための質量選択技術を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記変更された前駆粒子ビームを高アスペクト比グリッドに向かって送ることをさらに
含む、請求項 6 に記載の方法。

30

【請求項 8】

前記高アスペクト比グリッドには、電氣的にバイアスがかけられる、請求項 7 に記載の
方法。

【請求項 9】

粒子は炭素を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

層を形成する方法であって、前記方法は、
その上への堆積に適合化された少なくとも 1 つの表面を有する基板を供給することと、
前駆イオンビームを供給することとを含み、前記前駆イオンビームはイオンを含み、さ
らに、

40

前記前駆イオンビームをイオン光学グリッドに送ることによって、前記前駆イオンビー
ムのイオンの少なくとも一部分を中性化して、変更された前駆粒子ビームを形成するこ
とを含み、さらに、

前記変更された前駆粒子ビームを高アスペクト比グリッドに向かって送り、中性粒子ビ
ームを形成することと、

前記中性粒子ビームを基板の表面に向かって送ることとを含み、

前記中性粒子は 1 0 0 e V 以下の注入エネルギーを有し、前記粒子ビームの前記中性粒子
は、基板上に層を形成する、方法。

【請求項 11】

前記高アスペクト比グリッドには、電氣的にバイアスがかけられる、請求項 10 に記載

50

の方法。

【請求項 1 2】

粒子は炭素を含む、請求項 1 0 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記高アスペクト比グリッドに向かって送る前に、前記前駆イオンビームを、加速減速モジュールおよび / またはビーム整形モジュールに向かって送ることをさらに含む、請求項 1 0 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記前駆粒子ビームのイオンの少なくとも約 9 5 % が中性化されて、前記中性粒子ビームを形成する、請求項 1 0 に記載の方法。

10

【請求項 1 5】

層を形成する方法であって、前記方法は、

その上への堆積に適合化された少なくとも 1 つの表面を有する基板を供給することと、前駆イオンビームを供給することとを含み、前記前駆イオンビームはイオンを含み、さらに、

前記前駆イオンビームを質量選択技術に向かって送り、変更された前駆粒子ビームを形成することと、

前記変更された前駆粒子ビームを高アスペクト比グリッドに向かって送り、中性粒子ビームを形成することと、

前記中性粒子ビームを基板の表面に向かって送ることとを含み、

20

前記中性粒子は 1 0 0 e V 以下の注入エネルギーを有し、前記粒子ビームの前記中性粒子は、基板上に層を形成する、方法。

【請求項 1 6】

前記イオン源は、狭ビームイオン源である、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記高アスペクト比グリッドには、電氣的にバイアスがかけられる、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記前駆イオンビームのイオンおよび前記中性粒子ビームの前記中性粒子の両方が約 1 0 0 e V 以下の注入エネルギーを有する、請求項 1 5 に記載の方法。

30

【請求項 1 9】

前記前駆粒子ビームのイオンの少なくとも約 9 5 % が中性化されて、前記中性粒子ビームを形成する、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 2 0】

粒子は炭素を含む、請求項 1 5 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0 0 0 1】

背景

多くの薄膜用途において、層がその上に形成されることになる表面は、電氣的に絶縁するものや導電するものもあるいくつかの異なる材料、および / またはいくつかの異なる微細構成 (topography) を含み得る。そのような表面は表面の電荷効果に影響を及ぼし、それにより、荷電粒子を含む入来粒子ビームとの、異なった、かつおそらく未知の相互作用を引起す可能性がある。現在利用されているプロセスは、電子ビームをイオンビームと組合せることによってビームを構成する荷電粒子を補償するにすぎず、それによりゼロの正味電荷を有することを求める。

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 2】

概要

50

層を形成する方法であって、当該方法は、その上への堆積に適合化された少なくとも 1 つの表面を有する基板を供給することと、前駆イオンビームを供給することとを含み、前駆イオンビームはイオンを含み、さらに、前駆イオンビームのイオンの少なくとも一部分を中性化して、中性粒子ビームを形成することを含み、中性粒子ビームは中性粒子を含み、さらに、基板の表面に向かって中性粒子ビームを送ることを含み、中性粒子は 100 eV 以下の注入エネルギーを有し、粒子ビームの中性粒子は、基板上に層を形成する。

【0003】

層を形成する方法であって、当該方法は、その上への堆積に適合化された少なくとも 1 つの表面を有する基板を供給することと、前駆イオンビームを供給することとを含み、前駆イオンビームはイオンを含み、さらに、前駆イオンビームをイオン光学グリッドに送ることによって、前駆イオンビームのイオンの少なくとも一部分を中性化して、変更された前駆粒子ビームを形成することを含み、さらに、変更された前駆粒子ビームを高アスペクト比グリッドに向かって送り、中性粒子ビームを形成することと、中性粒子ビームを基板の表面に向かって送ることとを含み、中性粒子は 100 eV 以下の注入エネルギーを有し、粒子ビームの中性粒子は、基板上に層を形成する。

10

【0004】

層を形成する方法であって、当該方法は、その上への堆積に適合化された少なくとも 1 つの表面を有する基板を供給することと、前駆イオンビームを供給することとを含み、前駆イオンビームはイオンを含み、さらに、前駆イオンビームを質量選択技術に向かって送り、変更された前駆粒子ビームを形成することと、変更された前駆粒子ビームを高アスペクト比グリッドに向かって送り、中性粒子ビームを形成することと、中性粒子ビームを基板の表面に向かって送ることとを含み、中性粒子は 100 eV 以下の注入エネルギーを有し、粒子ビームの中性粒子は、基板上に層を形成する。

20

【0005】

本開示の上記の概要は、本開示の開示される各実施形態またはあらゆる実装例について説明するものとは意図されていない。以下の記載は、例示的な実施形態をより具体的に例証する。出願書類全体にわたるいくつかの場所において、実施例のリストによって案内が提供され、その実施例は多様な組合せで使用することができる。各インスタンスにおいて、列挙されるリストは、代表的なグループとして機能するだけであり、排他的なリストとして解釈されるべきではない。

30

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図 1 A】典型的なシステムの概略的な例示を示す図である。

【図 1 B】図 1 A に示されるシステムの一部のより接近した図である。

【図 2】特定の典型的なシステムにおけるイオン光学グリッドの第 3 のグリッドのバイアスに対するビーム広がり (°) のグラフである。

【図 3】典型的な開示されるシステムの概略図である。

【図 4】挿入および変位効果によってどのように表面注入が表面密度を変調することができるかを例示する図である。

【図 5】典型的な分子イオンのビーム拡大を示す図である。

40

【0007】

図は必ずしも縮尺通りではない。図で用いられる同じ数字は同じ構成要素を指す。しかしながら、所与の図の構成要素を参照するための数字の使用は、同じ数字が付されている別の図の構成要素を限定することを意図するものではないことが理解されるであろう。

【発明を実施するための形態】

【0008】

詳細な説明

以下の説明では、この文書の一部を形成し、例示のためにいくつかの具体的な実施形態を示す添付の図面の組を参照する。本開示の範囲または精神から逸脱することなく他の実施形態が企図され、なされ得ることが理解されるべきである。したがって、以下の詳細な

50

説明は限定的な意味に取られるべきではない。

【0009】

特に他に記載のない限り、明細書および請求項で用いられる特徴寸法、量、および物性を表わすすべての数字は「約」という用語によりすべての例において変更されると理解すべきである。したがって、特に反対の記載のない限り、上記の明細書および添付の請求項で述べる数値パラメータは、本明細書中に開示される教示を利用して当業者が得ようとする特性に依存して変動することができる概算値である。

【0010】

終点による数値範囲の記載は、その範囲内に包摂されるすべての数字を含み（たとえば、1～5は、1、1.5、2、2.75、3、3.80、4、および5を含む）、その範囲内の一切の範囲を含む。

10

【0011】

本明細書および添付の請求項で用いられる限りにおいて、内容がそうではないことを明示していない限り、「a」、「an」、および「the」という単数形は複数の参照対象を有する実施形態を包含する。本明細書および添付の請求項で用いられる限りにおいて、「または」という用語は、内容がそうではないことを明示していない限り、「および/または」を含むその意味で一般的に用いられる。

【0012】

「含む」、「含み」または同様の用語は、包含するが限定されないことを意味し、すなわち含んでいるが排他的ではないことを意味する。「上部(top)」および「底(bottom)」(または「上方(upper)」および「下方(lower)」のような他の語)が、関連する記載のために厳密に利用されるが、記載された要素が配置される部品の全体的な配向を示唆するものではないことに留意すべきである。

20

【0013】

ここで利用される限りにおいて、「層」とは、基板の表面上の材料、基板の界面における材料(つまり、表面に部分的に注入されるだけでなく、表面上にあるかのように露出した材料)、基板内の材料(つまり基板に注入され、基板の表面において露出していない材料)、またはその任意の組合せを指すことができる。したがって層の形成は、基板の大部分における材料の注入(典型的に、表面下わずか数ナノメートル以下の深さまで)、基板の表面における材料の注入(たとえば、基板に部分的に埋め込まれる)、基板の表面上への(または開示される方法によってすでに形成されている材料上への)材料の堆積、またはその組合せを含むことができる。層が形成されるにつれて、表面が基板から連続して上方に移動していることにも留意するべきである。ここで利用される限りにおいて、「膜」は、基板の表面上に存在する材料を指すことができる。層はしたがって、膜のみ、または基板内の膜および材料を含み得る。ここに開示される方法は、層を形成するために利用することができる。開示される方法を利用する層の形成は、表面改質、材料合成、構成上の変更、またはその組合せを含むことができる。層の形成は、ここに開示される限りにおいて、表面層原子に、または表面から数結合長内に制限され得るプロセス相互作用を含むことができる。開示される方法を利用した層の形成は、表面サブプランテーション(SSP)と称することもできる。

30

40

【0014】

表面ナノ工学技術を展開し向上させるための方法、プロセスおよびシステムがここに開示される。開示される方法は、たとえば中性粒子ビームを含む多様な方法および技術を用いた表面サブプランテーション(SSP)および界面工学を呈示する。開示される方法およびシステムでは、準単分子層から、表面から数結合長までの範囲の深さ規模において処理が生じる。用途は、表面から数ナノメートル延在する深さ規模での表面改質、材料合成および構成上の変更、エッチング、ならびに界面工学を含む。炭素および水素化炭素層の両方が具体的にここで議論されるが、開示される方法および考察は、準安定の表面組成物または表面層を含む他の材料に適用可能である。この明細書を読んだ当業者は、開示される方法は炭素および水素化炭素以外の材料に適用可能であると理解するであろう。

50

【 0 0 1 5 】

たとえばデータ記憶におけるスライダトランスデューサ技術、マイクロエレクトロニクス、またはバイオ医学用途などの多くの重要な薄膜用途において、表面は、サブミクロン未満からセンチメートルの範囲の規模で、電氣的に絶縁するものや半導体や導電するものもある（たとえば電氣的浮構造に接地され得る）いくつかの異なる材料を含み得る。エッジ付近に位置する膜微細構成および／または構造もあり得る。これらの要因のすべては、他のものと同様に、電荷効果に影響を及ぼし得る。絶縁および／または導電表面の電荷または差動電荷は、入射荷電粒子フラックス、エネルギー、および到来角分布に影響する可能性があり、それらのいずれかまたはすべてが表面ナノ工学プロセスにとって有害であり得る。

10

【 0 0 1 6 】

さらに、多くのイオンビームおよびプラズマベースのプロセスは、プラズマ表面相互作用を伴う。いずれかの表面がプラズマに接していると、シース境界を横断する荷電粒子のフラックス、エネルギー、および入射角分布に影響を及ぼす可能性があるシースが表面上に形成される。平坦で、均質であり、半無限の基板表面上の均一な入射荷電粒子フラックスにおいて、シース厚さは均一であり、その電界線は基板表面に垂直である。つまり、シースは、荷電粒子がそれを横切って流れるため、本質的に一次元である。シース電界の歪みは、材料界面に入射する粒子のフラックス、エネルギー、および角度分布に付随的に影響を及ぼす可能性がある。いくつかの要因は、プラズマシース歪みを引き起こす可能性がある。例は、絶縁材料と導電材料との間の界面を含むことができる。平面の形状においてすら、シース厚さの差は、界面のいずれかの側に生じたシース電位の差に起因する可能性がある（絶縁体は所与のプラズマ特徴について浮遊電位に到達し、たとえばバイアシング等によって導体電位を可変とすることができる）。界面の両端に結果として生じる電位差は、表面法線方向から電界を局所的に歪ませる可能性があり、したがってイオンが電界を横切って流れる。微細構成的特徴および基板／ウェハエッジも、プラズマシースを歪ませる可能性がある。歪みの程度は、微細構成的特徴の長さ規模に対するシース厚さの相対的な寸法に依存し、シース幅が、入射荷電粒子束、エネルギー、および角度分布の付随する歪みを有する特徴寸法に匹敵するかまたはそれより小さい場合に有意となる。

20

【 0 0 1 7 】

上記の問題、表面の電荷効果およびプラズマ表面相互作用により、本開示は、中性粒子ビームを利用して表面と相互作用する。中性ビームを使用することにより、プラズマシースとの相互作用をなくし（またはプラズマシースの形成を一層最小化し）、かつ基板および形成された層の表面上の電圧または電荷の生成を最小化するかもしれない一層妨げ得る。そのような電圧はある用途では問題となる可能性があることから、これは利点となり得る。たとえば、トンネル磁気抵抗効果（TMR）ヘッドは、製造中の電荷の形成によって不利益に影響を受ける可能性がある。さらに、層の形成中に電荷が表面上に形成されなければ、層を形成する粒子をより確実に制御することができる。これは、より均一な特性を有する層の製造をもたらすことができる。

30

【 0 0 1 8 】

従来の堆積、エッチング、および注入プロセスは、荷電プロセス粒子との静電的および／または電磁的相互作用を用いて、粒子の特徴および粒子輸送を制御する。基板において表面電荷を中性化するための方法は、電子ビーム照射によるビームパルス化およびフラッシュを含む。前者は、再結合後に表面電荷バランスを実現することによって、パルスと後者との間の電荷の表面拡散散逸に依存する。基板における電荷効果を低減するように試みるためのより一般的で、実行可能な先行技術の方法は、e⁻ビーム源によって、またはたとえばプラズマブリッジ中和器によって、（たとえば正イオンビームについて）電子をイオンビームに「結合する」ことによる。しかし、イオンと電子との再結合は、ビーム輸送中にはほとんど生じず、状況は、基板に到着する反対の電荷（粒子）の量を「釣合わせる」ものである。それゆえ、あらかじめ利用される中性化されたイオンビーム処理は、（上述した）プラズマビームによる処理との類似点を有する。結果的に、電荷効果は、

40

50

あらかじめ利用されるプロセスおよびシステムにおいて完全には排除されない場合がある。

【0019】

一方、開示される方法およびシステムは、中性粒子の高度に制御された低エネルギービームを利用する。中性粒子は、その後、真の中性粒子として基板と相互作用する。これは、上述した不利益な相互作用を排除するか、または少なくとも低減することができる。概して、開示される方法は、粒子が所望の特性を有する荷電粒子ビームを作成し、次いで、粒子の特性を不利益に変更することなく粒子を中性化しようとするものである。

【0020】

開示される方法は概して、基板を供給するステップと、前駆イオンビームを供給するステップと、中性粒子ビームを形成するステップと、中性粒子ビームを基板に向かって送り、層を形成するステップとを含むことができる。

10

【0021】

基板の供給

基板の供給は、たとえば、基板をシステム内に配置するか、構成するか、または他の方法で設置することによって行うことができる。層がその上に形成されることになる基板は、いずれかの種類の材料または構造とすることができる。いくつかの実施形態では、典型的な基板は、層形成がその上で行なわれることになる少なくとも1つの表面を有することができる。そのような表面は「層形成に適合化されている」と称することができる、少なくとも所望の表面上に層が形成されることになるように、処理室に単に配置されることを含むことができる。いくつかの実施形態では、基板は、その上にまたはその中に形成された構造または装置を含むことができる。ある実施形態では、ここに開示される方法を利用して、多様な構造上にオーバーコートを形成することができ、そのような実施形態では、オーバーコートがその上に形成されることになる装置は、基板と考えることができる。

20

【0022】

前駆イオンビーム

開示される方法は、前駆イオンビームを供給するか、作成するか、または他の方法で取得するステップも含む。前駆イオンビームは、所望の特性を有し得るイオンまたは荷電粒子を含む。イオンビームが中性化されると、中性粒子、元の荷電粒子またはイオンは、依然として所望の特性を有している。所望の特性は、たとえば、エネルギー、速度、角度の広がり分布、およびその組合せを含むことができる。いくつかの実施形態では、前駆イオンビーム中のイオンは、その中性化されたイオンビームが所望の特性を有するように選択された1つ以上の特性を有することができる。荷電粒子は、正または負のいずれかに帯電することができる。この明細書を読んだ当業者は、正に帯電したイオンに関して具体的に議論され得るより具体的に議論される概念を、負に帯電したイオンの使用に応用することができる。

30

【0023】

前駆イオンビームの供給は、市販の機器を利用することによって行われ得る。たとえば、広ビームイオン源または狭ビームイオン源の両方を利用することができる。前駆イオンビーム源の種類の例は、たとえば、誘導結合RFイオン源および直流(DC)広ビームイオン源を含むことができる。

40

【0024】

前駆イオンビームの中性化

前駆イオンビームが形成された後、次いで、前駆イオンビームが中性化される。(多ステップ様式で行われても行われなくてもよい)このステップは、前駆イオンビームのイオンを中性粒子ビームの中性粒子に変化させる。「前駆イオンビームのイオンを中性化する」という語句(および/または同様の語句)は、概してイオンのうち少なくともいくつかが中性化されたことを示唆する。したがって、ここで用いられる限りにおいて、中性化された粒子ビームという語句は、前駆イオンビームのイオンのうち少なくともいくつかが中性化されている粒子ビームを指す。それゆえ、中性化された粒子ビームは、部分的に中性

50

化された粒子ビームと、十分に中性化された粒子ビームとを含む。いくつかの実施形態では、実質的にすべてのイオンが中性化されている。いくつかの実施形態では、少なくとも約 5 % のイオンが中性化されている。いくつかの実施形態では、少なくとも約 20 % のイオンが中性化されている。いくつかの実施形態では、少なくとも約 50 % のイオンが中性化されている。いくつかの実施形態では、少なくとも約 75 % のイオンが中性化されている。いくつかの実施形態では、少なくとも約 95 % のイオンが中性化されている。いくつかの実施形態では、約 100 % のイオンが中性化されている。

【0025】

いくつかの実施形態では、表面中性化技術を用いて前駆イオンビームを中性化することができる。そのような表面中性化技術は、入射イオンビームのエネルギー特性および方向特性（「所望の特性」）を主として維持するように設定することができ、あらかじめ調整された前駆イオンビームから、高度に制御された中性粒子のビームを生成することが可能となる。

10

【0026】

たとえば、イオンを中性化する 1 つの方法は、荷電粒子のビームを表面、たとえば金属表面に送ることを含むことができる。たとえば共振またはオージェ効果によって、表面に接近するイオンを中性化することができる。イオンが斜入射で表面に密接に接近した場合、散乱プロセスの運動学により、非常に低い運動エネルギー損失で低角度（近正反射）前方散乱がもたらされることになり、エネルギーおよび指向性（つまり「所望の特性」）が入射イオンビームのそれに類似した中性粒子が生じる。そのようなかすり衝突を用いた前駆イオンビームの中性化は、表面粗さおよび表面汚染物質の存在などの要因によって、より困難になるかまたは機能できなくなる可能性がある。

20

【0027】

代替的に、高アスペクト比グリッドへの直接イオン注入によるプラズマ境界からのイオン抽出によって、中性粒子を前駆イオンビームから生成することができる。そのような場合、接地されたグリッドの高アスペクト比ホールを通してイオンが進行するにつれて、側壁相互作用によって中性化が生じる。先の方法は、そのような制御を試みているが、グリッドオリフィスとのプラズマメニスカス境界の不十分に制御された相互作用のために、かすり中性化衝突に対して限定された制御を示しており、メニスカスの表面から発するイオンの形状と、それによって指向性とを決定する。さらに、原料ガス圧力は、たとえばその広がったエネルギー分布によってビームの品質を緩和し、中性成分を減少させることができる高速イオンと低速中性との電荷交換衝突をもたらし得る。

30

【0028】

いくつかの実施形態では、開示されるシステムおよび方法はしたがって、イオン光学素子を利用して視斜角側壁衝突を制御し、それによって中性変換プロセスへのイオンに対する制御を向上させる。いくつかの実施形態では、4 グリッドシステムを利用することができる。たとえば、広ビームイオン源では、高アスペクト比グリッドは、開示される方法およびシステムにおける典型的に利用される 3 グリッドシステムを補足する第 4 のグリッドを形成することができる。

【0029】

典型的なシステムの概略図は、図 1 A に見ることができる。図 1 A に例証されるシステムは、広ビームイオン源システムの一例である。図 1 A に見られるシステム 100 は、（前駆イオンビームを供給するための）イオン源 110 を含む。イオン源 110 は、たとえば、広ビームイオン源または狭ビームイオン源を含むことができる。イオン源の具体的な例は、誘導結合 RF イオン源である。システムは、イオン、たとえばイオン光学グリッド 120 および高アスペクト比グリッド 130 を中性化するための構成要素を含むこともできる。イオン光学グリッド 120 は、たとえば一般に利用されるイオン光学システムを含むことができる。イオン光学グリッド 120 は、概して 3 組のグリッド、第 1 のグリッド、第 2 のグリッドおよび第 3 のグリッドを含み、第 1 のグリッドはイオン源に最も近く、第 3 のグリッドはイオン源から最も遠いものである。開示される方法またはシステムにお

40

50

いて利用されるイオン光学グリッド 120 では、第 3 のグリッドは電氣的にバイアスがかけられ、先行技術システムのように接地されていない。システム 100 は、高アスペクト比中性化グリッド 130 を含むこともできる。高アスペクト比中性化グリッドは、接地するかまたはバイアスをかけることができる。第 3 のグリッドのバイアス電位は、高アスペクト比中性化グリッドへのイオン注入角度を制御することができる。

【0030】

図 2 は、供給源、ビーム、ならびにグリッド形状およびバイアスパラメータの所与の組についての具体的な例示的な例を示し、たとえば第 3 のグリッドバイアス電位のイオン光学パラメータの変動をどのように用いて、高アスペクト比グリッド 130 へのイオンの注入の角度に有意に影響を及ぼすことができるかを示す。多くの要因がビームの最終的な広がりが限界を決定することが注目されるべきである。この特に例示的な例では、およそ 20 度の広がりを有する発散ビームをもたらすように操作される接地された第 3 のグリッド光学素子を有する 3 グリッドシステムに関して、第 3 のグリッドバイアスの大きなウィンドウは、ビーム広がりを低減するのに有効である。低ビーム広がり（約 5 度未満）をもたらすであろう第 3 のグリッドバイアスの比較的狭いウィンドウが存在し、高アスペクト比グリッドにおいて直接対応する視斜角側壁入射をもたらして、中性粒子ビームを生成する。

【0031】

イオン光学グリッドのバイアスがかけられた第 3 のグリッドは、高アスペクト比グリッド 130 に入るためにほとんど広がらない粒子のビームをもたらすように機能することができる。これは、荷電ビーム粒子に対するその静電界の作用によって行われる。付随的に、粒子は、より低い入射で高アスペクト比グリッドのプレートに達し、したがって、形成されたかまたは変更された時と同じままである（つまりそれらの「所望の特性」を保持する）。これは、所望の特性を有する粒子の、より制御されたビームをもたらすことから利点となり得る。

【0032】

前駆イオンビームがイオン光学グリッドを通り抜けると、変更された前駆イオンビームと称することができる。変更された前駆イオンビームは、次いで、高アスペクト比グリッドを通して送られることができる。前駆イオンビームおよび / または変更された前駆イオンビームは、他の構成要素を通して送られることができ、かつ / または、イオン光学グリッドを通して送られる前および / または送られた後で他の工程をそれに対して実行することができることが注目されるべきである。いくつかの実施形態ではシステムが 2 つ以上のイオン光学グリッドまたは異なるイオン光学素子を含むことができることも注目されるべきである。

【0033】

図 1 B は、イオン光学グリッド 120 の第 3 のグリッドおよび高アスペクト比中性化グリッド 130 の拡大した部分を示す。ビーム広がり（ ）および垂直線に対する側壁視射角（ $90^\circ -$ ）が図に見られる。図 1 B には、高アスペクト比中性化グリッド 130 の側壁に達する前、かつ側壁に達し、それによって中性（ n_0 ）粒子 145 になった後の、帯電した（ n^+ ）粒子 140 も例示されている。

【0034】

所与の広がりおよび直径を有するビームについては、グリッドのアスペクト比の形状上の留意点は、（壁に達する少量のビーム粒子および壁を通して輸送される間に粒子が壁と相互作用することになる回数に関する）壁とのビーム粒子の視斜角相互作用の所望の程度と、したがって高アスペクト比中性化グリッド 130 から出るときのビームの中性化（代替的にイオン化）の程度とに影響を及ぼすように設定することができる。

【0035】

中性粒子ビームを基板に送る

前駆イオンビームが中性化されて中性粒子ビームを形成した後、中性粒子ビームは次いで基板に送られる。一般に、イオンおよび最終的には中性粒子が基板と相互作用するように、イオン源、イオン光学グリッド、高アスペクト比グリッド、および任意に基板ホルダ

10

20

30

40

50

(または単に基板)などの構成要素をシステム内に構成することができる。この明細書を読んだ当業者は、そのようなシステムをどのように構成すべきかを理解するであろう。部分的に中性化されたビームについては、プロセスウインドウにおける堆積速度の適切な制御と共に、基板台への「投写」距離についての適切な検討が計器設計においてなされない場合、(プロセス制御の蓋然的な損失がある)ビームによってビーム広がりを示すことができることが注目されるべきである。

【0036】

層の形成

開示される方法を利用して、いずれかの材料の層を形成することができる。換言すると、表面層に挿入される中性粒子は、いずれかの同一性を有することができる。いくつかの実施形態では、開示される方法を利用して、炭素を含む層を形成することができる。いくつかの実施形態では、開示される方法を利用して、炭化水素(たとえば水素化炭素)として炭素を含む層を形成することができる。しかし、炭素および炭化水素は単に一例であり、開示される方法は、炭素および/または炭化水素層または膜の形成に限定されないことが理解されるべきである。

10

【0037】

ここで利用される限りにおいて、「層」とは、基板の表面上の材料、基板の界面における材料(つまり、表面に部分的に注入されるだけでなく、表面上にあるかのように露出した材料)、基板内の材料(つまり基板に注入され、基板の表面において露出していない材料)、またはそのいずれかの組合せを指すことができる。層の形成は、したがって、基板の大部分における材料の注入(典型的に、表面下わずか数ナノメートル以下の深さまで)、基板の表面における材料の注入(たとえば、基板に部分的に埋め込まれる)、基板の表面上への(または開示される方法によってすでに形成されている材料上への)材料の堆積、またはその組合せを含むことができる。層が形成されるにつれて、表面が基板から離れて連続的に上方に移動していることも注目されるべきである。ここで利用される限りにおいて、「膜」は、基板の表面上に存在する材料を指すことができる。層はしたがって、膜のみ、または膜および基板内の材料を含み得る。ここに開示される方法を利用して、層を形成することができる。開示される方法を利用した層の形成は、表面改質、材料合成、構成上の変更、またはその組合せを含むことができる。層の形成は、ここに開示される限りにおいて、表面層原子に、または表面から数結合長内に制限され得るプロセス相互作用を含むことができる。開示される方法を利用した層の形成は、SSPとも称することができる。

20

30

【0038】

中性粒子ビームを構成する材料は、形成される層の材料の構成要素となる。いくつかの実施形態では、中性粒子ビームからの材料が基板に挿入されることになり、その場合、中性粒子ビームからの材料と基板材料との混合物が形成されることになる。いくつかの実施形態では、(たとえば)炭素を含む層が形成される。他のいくつかの実施形態では、水素化炭素(炭素および水素の両方)を含む層が形成される。形成される層は、様々な厚さを有することができる。層の厚さは、当該語句がここで利用される限りにおいて、厚さの基準を指す。たとえば、厚さの基準は平均厚さを示してもよいし、層の厚さまたは平均厚さと関係付けることができる特性を与えてもよい。たとえば、ほぼ準単分子層(材料の単分子層未満)~約30の厚さであり得る。いくつかの実施形態では、層は約15~約25の厚さであり得る。いくつかの実施形態では、層は約15~約20の厚さであり得る。

40

【0039】

開示される方法を利用して、層の組成を設計することができる。たとえば、開示される方法を利用して、炭素を含む層を設計することができる(なお、炭素を含む層は一例として利用されるだけであり、複合工学はいずれの種類の材料でも企図することができる)。また、複合工学を利用して、炭素を含む層および/または水素化炭素を含む層を形成することができる。開示されるプロセスまたは方法を、炭素を含む層の堆積に適用することで

50

、層の sp^3 / sp^2 比を設計することが可能となる。「 sp^3 」および「 sp^2 」は、（たとえば）炭素原子が含み得る混成軌道の種類を指す。 sp^3 炭素原子は、4つの sp^3 軌道を含むことから、4つの他の炭素原子などの4つの他の原子に結合され、 sp^3 軌道は、たとえば別の炭素原子への非常に強い結合を形成する。 sp^2 炭素原子は、3つの sp^2 軌道を含むことから、3つの他の炭素原子などの3つの他の原子に結合され、 sp^2 軌道は、結合より弱い結合を形成する。磁気記録ヘッドおよび媒体において用いられる炭素オーバーコートを含む多数の用途では、炭素がより安定している（つまりより強い結合を含む）ことから、 sp^2 結合よりも多くの sp^3 結合を有する炭素が多くの場合所望であり得る。いくつかの実施形態では、開示されるプロセスまたは方法によって、より安定している、つまり sp^2 結合よりも多くの sp^3 結合を有する炭素を含む層の形成を可能にすることができる。そのような炭素層は、より高い熱弾力性、より良好な機械的特性、より良好な化学的特徴、またはその組合せを有することができる。

10

【0040】

上述のように、層は、基板の表面上の材料、基板の界面における材料（つまり、表面に部分的に注入されるだけでなく、表面上にあるかのように露出した材料）、基板内の材料（つまり基板に注入され、基板の表面において露出していない材料）、またはそのいずれかの組合せを指すことができる。実施形態では、ここに開示される方法は、核形成メカニズムに基づいて層を形成しない。核形成メカニズムは、連続した膜の最小厚さを基本的に限定する。

【0041】

20

いくつかの開示される方法は、注入の望ましくない効果を最小化するために低エネルギー粒子を処理するかまたは堆積することを含む。粒子のエネルギーについて説明するために、以下の構成物をここで利用することができる。接地されたビーム粒子源の典型的な場合には、入射粒子が単原子の単独荷電イオンであると仮定すると、バイアスされていない非荷電基板表面とのその相互作用の直前の粒子の入射エネルギー (V_{in}) は、ビーム電圧（またはスクリーンバイアス） V_b とプラズマ電位 V_p との和によって与えられる。このインスタンスでは、注入エネルギー (V_{imp}) は、記載された入射エネルギー (V_{in}) と同じである。単独荷電分子イオンまたはクラスタの場合については、基板表面における原子との相互作用後、分子軌道オーバーラップによって、その構成要素の原子種への分子（またはクラスタ）の完全なフラグメンテーションがもたらされると想定される。入射運動エネルギー ($V_b + V_p$) から分子またはクラスタ解離エネルギーを引いたものを、次いで、当初の入射分子またはクラスタ質量の質量分率 ($mass_{atomic\ component} / mass_{total\ molecule\ or\ cluster}$) に従って各原子「フラグメント」上で分割し、各フラグメントの V_{imp} を与える。

30

【0042】

表面へのイオン投影飛程を数結合長の最大値未満に制限するように、粒子の注入エネルギーを選択することができる（最大値が選択される）。粒子の注入エネルギーは、表面エネルギー障壁の侵入によって表面への粒子の取込みを可能とするために少なくとも十分であるように選択することもできる（最小値が選択される）。（基板への粒子の侵入を可能にするのに十分な）選択された最小エネルギーにより、層の成長は、典型的な核形成メカニズムによって行われない。注入粒子エネルギーの選ばれた範囲は、目標原子への運動エネルギー移動が、変位をもたらすのに不十分であるか、または平均して概ね1つもしくは2つの変位反応のみをもたらすか、または表面への、もしくは表面から数結合長内の距離への挿入を可能にするのに十分であるかのいずれかであるようなものである。

40

【0043】

粒子は、基板の表面に接触すると、より小さな粒子に分解され得る。そのようなインスタンスでは、粒子自体、そのような入射粒子のフラグメント、またはそのいくつかの組合せが、エネルギー、つまり100 eV以下の注入エネルギーを有し得る。注入エネルギーをここで論じる場合、そのようなエネルギーは、入射粒子、表面とのそれらの相互作用によって生じるそのような入射粒子のフラグメント、またはそのいずれかの組合せを指すことができ

50

ると理解されるべきである。いくつかの実施形態では、開示される方法は、数十電子ボルト (eV) の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態では、方法は、約 100 eV 未満の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態では、方法は、約 80 eV 以下の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態では、方法は、約 60 eV 以下の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態では、方法は、約 40 eV 以下の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態において、方法は、約 20 eV ~ 約 100 eV の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態では、方法は、約 20 eV ~ 約 80 eV の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態では、方法は、約 20 eV ~ 約 60 eV の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。いくつかの実施形態では、方法は、約 20 eV ~ 約 40 eV の注入エネルギーを有する粒子を利用することを含む。

10

20

30

40

50

【0044】

開示される方法は、表面移動度効果に依存する核形成の根本的な成長メカニズムを変更することができる。核形成に基づく方法は、約 20 eV 未満である入射エネルギーを利用するプロセスにおいて典型的である (たとえば、典型的なスパッタ堆積法は約 7 ~ 約 15 eV であり、蒸着法は約 1 eV 未満である)。開示される方法は、近傍表面領域への注入によって移動度を抑制する。注入領域は、極薄の変更された表面領域をもたらすために浅く保たれる。これを行うために、使用可能なビームフラックスで製造するのが実際には困難である低エネルギー入射粒子が利用される。従来の低エネルギー注入は、商業的に実施可能なビーム電流を実現するために KeV エネルギーを有する粒子を依然として利用する。利用される粒子は比較的大きな分子またはクラスターであり、したがってフラグメントは低エネルギーを有する。たとえばシリコンドーピング。ナノメートル規模の膜の機能工学については、このフラグメンテーションプロセスは十分な制御を可能にしない。開示される方法は、したがって、小分子上での分割による非常に低い入射エネルギーを利用して、制御可能な非常に低い注入エネルギー粒子を実現する。

【0045】

粒子エネルギー、ビーム電流、ビーム広がり、電荷状態、およびイオン質量のプロセス制御は、従来のプロセス技術においては典型的に静的である。しかし、選択されるビームパラメータの変動を用いて、たとえば、サンプル角度測定動作の有無に関わらず、界面、構成もしくは損傷中心濃度プロファイルを調整し得る。関連して、可変的にドーブした多層ナノストラクチャまたは選択的な深さまたは表面ドーピングは、たとえば潤滑油工学用途における膜成長中または膜成長後の質量フィルタパラメータの適切な切換によって実現され得る。

【0046】

任意のステップ

開示される方法は、他の任意のステップを含むこともできる。そのような任意のステップは、様々な技術を利用して低エネルギー処理技術を向上させることができる。そのような任意のステップは、上述の「所望の特性」をイオンに与えるために利用することもできる。そのような任意のステップを利用してイオン/中性粒子所望特性を与えるいくつかの実施形態では、それらは、イオンが高アスペクト比グリッドを通して送られる前に概ね行われる。イオンが中性化されると、制御と、したがって特性変更とが、不可能ではないまでも困難となる可能性がある。

【0047】

任意のステップの一例は、イオンの加速および/または減速であり、ここでは「イオン加速減速」手法と称することができる。そのような任意の方法および/またはステップは、粒子ビームが中性化される前に行うことができる。そのようなイオン加速減速手法は、角運動学的処理 ((ビーム軸に関する) 目標処理表面の角度測定の (角度) 配置による粒子ビームパラメータの調整されたリアルタイム変動) と併せた質量選択、ビーム調整、お

よび整形によって、プロセス現象の制御をもたらす要因、たとえばナノ物質および準安定の表面物質のエッチング、界面ナノ工学、ナノドーピング、表面ナノ工学を制御することができる。イオン加速減速手法は、低エネルギー（たとえば使用不可能に低いビーム電流）における低エネルギーイオンビーム輸送効果および不十分なイオン源性能特徴を回避して、プロセス制御を向上させることができる。イオンは高エネルギーで加速および調整され、次いで基板との衝突直前に衝撃エネルギーまで減速させることができる。しかし、低エネルギープロセスについての存在範囲は、極めて狭く、容易に損なわれる可能性がある。

【0048】

別の実施形態では、ビームを任意に整形し得る。ビームの整形は、たとえばイオン源において、またはたとえば質量選択後に生じることができる。いくつかの実施形態では、狭い矩形または線形状ビームが有利な形状であり得る。別の有利な局面は、中性粒子ビーム自身が静的であり、基板をビームに関して機械的に走査することができる点である。整形、静的な入射および独立した基板走査の両方は、運動角度測定 (kinogoniometric) 中性粒子処理における重要な局面である。

【0049】

典型的なシステム

方法およびシステムの両方がここに開示される。概して、開示されるシステムは、開示される方法ステップのうち1つ以上を実行する構成要素を取得することによって構成することができる。いくつかの実施形態では、開示されるシステムは、イオン源、イオン光学グリッド、および高アスペクト比グリッドを含むことができる。いくつかの実施形態では、システムは、任意の基板ホルダを含むこともできる。同様に、いくつかの開示されるシステムは、イオン加速減速、質量選択、ビーム整形、ビーム走査、ビームパルス化、またはその多様な組合せに影響を及ぼすための構成要素を任意に含むことができる。

【0050】

典型的な基本的要素を含むが、開示される方法を実行するために利用することができる典型的なシステムまたは開示されるシステムの詳細な構成要素を図3に見ることができる。図3に見られる典型的なシステム300は、たとえばガスおよび/または固体イオン源とすることができ、イオン衝撃電位（浮動状態）にバイアスをかける（+ve）ことができるイオン源310と、この場合イオン光学レンズとして例証される2つのイオン光学素子320aおよび320bと、高アスペクト比グリッド330とを含む。この典型的なシステムは、任意の構成要素：高電圧（HV）イオン抽出レンズ315、質量フィルタ325、ビーム減速および整形イオン光学アセンブリ327、および基板ホルダ340も含む。バイアスがかけられたビーム線345を用いて、システムを通るイオンの適切なビーム輸送を可能にすることができる。

【0051】

この開示されるシステムでは、空間電荷拡張から生じるビーム輸送障害を克服するために、所望の目標（基板）衝突電位にバイアスがかけられ、バイアスがかけられたビーム線345アセンブリを通じて輸送されるイオン源（310）から低エネルギーイオンが（315によって）抽出され、加速されて、ビーム輸送中に空間電荷拡張効果を制御する。（325による）質量フィルタリング後、イオンは（327によって）衝突電位まで減速され、制御された低広がり角ビームが高アスペクト比中性化装置（330）に注入される。前駆イオンビームのエネルギーおよび指向性を有効に保持する中性粒子（原子、分子、またはナノクラスタ）の結果として生ずるビームは、次いで基板（340）に送られる。イオン偏向板の任意の組を基板組立前に高アスペクト比中性化装置の後に位置させてもよい。そのようなイオン偏向板は、たとえば、いずれかのイオン化粒子をビーム経路から偏向させるように静電的に帯電されてもよい。

【0052】

利点 / 効果

開示される方法は、成長が進行するにつれて、処理効果を層の頂部の数結合長に連続的に限定するように努める。これは、（入射角が単に変更されても存在し得る）基板原子と

10

20

30

40

50

の注入粒子の非線形原子相互作用の影響を最小化するかまたは排除することができる。図4は、表面注入が挿入および変位効果によってどのように表面密度を変調することができるかを例示する。炭素を含む膜が形成されているいくつかの実施形態では、これはs p 3結合混成を調整することもできる。

【0053】

図4に見られるように、表面注入は、スパッタエッチング、表面エネルギー障壁の侵入およびイオン反射を含むいくつかのメカニズムによって複雑となり得る。これらの効果の算出推定値からプロセスエネルギーウィンドウを推定することができる。炭素または炭化水素基板表面に注入された炭素の場合については、サイズ効果が、侵入のための最小エネルギーを効果的に決定する。これは、衝突断面積の推定値から約20 ~ 25 eVであると推定される。これは、イオンビーム蒸着 (IBD) スパッタ堆積技術の高エネルギーテルに対応する典型的な原子変位エネルギーに近い。起こり得る表面原子放出メカニズムの研究から、たとえば垂直入射からの最大到着エネルギーを算出して、成長中の膜の過度なスパッタリングを回避し、スパッタリング係数のエネルギー依存性に基づいた予測と比較することができる。スパッタリングは、表面サブプランテーション (SSP) 技術についての (ある実施形態における) エネルギー上限を部分的に規定する。両方のモデルは、約40 ~ 42 eV未満の最小原子放出を予測する。実際には、スパッタリング歩留りのエネルギー依存性からの予測は、いくつかの実施形態においてプロセス上限について効果的な「ゼロ」スパッタリング損失推定値を設定すると、約60 eVでわずか約10%の表面スパッタリング損失を示す。他の実施形態では、より大きなスパッタリング損失、たとえばこの例では80 eVの注入エネルギーでおよそ30 ~ 40%が許容され得るか、または所望ですらあり得る。上述した具体的な値は炭素の場合に該当するが、考察はいずれの材料の注入にも該当することが注目されるべきである。

【0054】

開示される方法およびシステムは、2012年4月5日付けで提出され「層を形成する方法 ("METHODS OF FORMING LAYERS") 」と題された米国特許出願番号第13 / 440, 068号および2012年4月5日付けで提出され「層を形成する方法 ("METHODS OF FORMING LAYERS") 」と題された米国特許出願番号第13 / 440, 073号に開示されたものなどの、角運動学的処理技術のための適切なビーム電流を有する、制御された低エネルギーの、質量がフィルタリングされ、電荷比が制御された平行ビーム粒子源を有利に提供することができる。これら出願の開示を引用によってここに援用する。さらに、ここに開示される方法およびシステムは、たとえば、表面衝突プロセスを駆動して、表面、界面、および近傍表面領域の制御されたナノ工学を可能にするために有利であり得る。用途は、たとえばドーピング、欠陥形成、エッチング、応力制御、s p 3 / s p 2 比工学、および界面工学を含むことができる。

【0055】

角運動学的プロセスは、(ビーム軸に関する) 目標処理表面の角度測定配置による粒子ビームパラメータの調整されたリアルタイム変動を利用することができる。そのような方法は、たとえば、入射粒子が表面または準表面原子を識別し、それによって表面の原子間電位もしくは内部「バルク」原子間電位または双方によって目標原子または原子「鎖」と相互作用するかどうかを選択的に制御するのに役立つことができる。これは、さらには、所望の表面衝突もしくは表面衝突シーケンスが実現されるか、表面反応に対する電位障壁が克服されるか、または準表面の侵入が実現されるかどうかを決定し得る。たとえば、選択値に相関する入射粒子エネルギーの特定のプロファイルまたは衝突角度の範囲を用いて、たとえばドーピング濃度プロファイルもしくはたとえばs p 3 / s p 2 深さプロファイルにおいて注入原子の深さプロファイルを制御してもよいし、表面のエッチングプロセスを制御してもよい。角運動学的処理では、プロセス制御アルゴリズムに従ってプロセス制御変数を変動させて、たとえば粒子ビーム軸 (たとえばチルトまたは極角度等) を有する、基板の形状的配置に関する粒子ビームパラメータ (たとえばエネルギー、ビーム粒子密度等) またはその逆の変動を制御してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

狭イオンビームで基板表面上を典型的に静電気学的に走査し、均一なイオン線量をもたらす。これは、入来イオンの、目標原子との位置変動可能な角度位置合わせと、したがって、固定された基板位置および原子的に平滑な表面についても衝突運動学における変動とをもたらすことができる。さらに、ビーム走査は、静止基板上のイオン源におけるビームエネルギーおよびビームイオン電流の固定値についても、位置入射エネルギー、運動学的エネルギー交換変動、および位置変動可能なビーム電流密度を生じさせることができる。これらの効果の多くは、走査された中性粒子ビームにも該当する。ビーム整形方法と組合せられた機械走査技術は、スポット粒子ビームの走査によって引起されるいくつかの起こり得る角運動学的プロセス変動効果を改善することができる。例は、均一な強度のプロファイルのような細長い「スロット」に形成された粒子ビームと、基板領域に対する全体的な均一照射を実現するためにビーム軸に関して垂直または水平な軸に走査された基板とを含む。いくつかの走査システムは、より低速な横方向または縦方向の走査運動と共に基板の高速方位回転と組合せられた整形された静止ビームプロファイルを用いて、基板領域に対する粒子照射の均一な電界を実現し得る。そのような技術は、基板が傾けられても、ビーム走査技術とは対照的に基板電界に対する一定の入射領域の粒子密度処理を可能にすることができる。低エネルギーナノ工学イオンビーム処理では、空間電荷効果が特に悪化する。分子イオンについてもたらされるビーム拡大の一例が、所与の無電界ビームドリフト長およびビーム電流について図5に示される。ビーム走査によってもたらされる無電界ドリフト経路(F F D P)の長さの変動は、粒子入射角を変更するだけでなく、入射ビーム広がりに対する(可変経路長および空間電荷効果による)相当な変更ももたらすことができ、材料処理面全体にわたって一貫しない臨界の角運動学的プロセス変数に影響を及ぼす。これは、(一定のビーム電流での)位置変動可能な面粒子密度によってさらに複雑となる可能性がある。これらの効果は、一定のF F D Pおよび入射粒子面密度での基板の角度測定可変処理を可能にするように設計された基板動作を用いて、静的な、整形された粒子ビームによってある程度まで改善することができる。しかし、短いF F D Pに起因する低い、場合によっては非実用的に低いビーム電流密度および形状上の制約は、低エネルギーイオンビーム処理の商業的用途を抑制することができる。開示される方法およびシステムは、これらの空間電荷誘導制限を受けず、実行可能なビーム粒子(フラックス)密度での実行可能な低エネルギー粒子処理の鍵となり得る低エネルギー中性ビーム粒子処理を提供することができる。

10

20

30

【 0 0 5 7 】

開示される方法および処理は、表面からの第1の数原子層への層形成の「望ましくない効果」も最小化または限定し得る。ここに開示される方法および処理は、処理粒子(注入されているもの、堆積されているもの、または両方)の、下地の準表面との相互作用を、表面からわずか数結合長に制限するものと見なすことができる。成長が進行するにつれて、「数結合長」は(表面に向かって)連続的に移動する。ここに開示される方法および処理は、下地材料が不利益に影響を受けないように、処理粒子(堆積されているもの)からのエネルギーの、表面または近傍表面領域への交換または結合を制御するものと特徴付けることもできる。

40

【 0 0 5 8 】

ここに開示される方法およびプロセスは、代替的に、表面から30 以内までの原子の表面層への入射種の挿入を可能にするものと特徴付けることができる。いくつかの実施形態では、開示される方法およびプロセスは、表面から20 以内までの原子の表面層への入射種の挿入を可能にするものと特徴付けることができる。いくつかの実施形態では、開示される方法およびプロセスは、表面から15 以内までの原子の表面層への入射種の挿入を可能にするものと特徴付けることができる。いくつかの実施形態では、開示される方法およびプロセスは、表面から10 以内までの原子の表面層への入射種の挿入を可能にするものと特徴付けることができる。「表面から第1の数原子層」または表面からの特定の測定値(たとえば「表面から30 以内」という語句は、堆積/注入表面に最も近い

50

、近傍表面層の頂部原子層を指すことが意図されている。

【 0 0 5 9 】

開示される方法およびシステムを用いて回避するかまたは最小化することができる望ましくない効果は、たとえば損傷中心、またはより具体的には変位された原子と、欠陥生成および再結合と、空孔および反跳と、準表面層を有する堆積された層の界面にとって有意な規模の反跳混合と、層から所望の特性（たとえば炭素を含む膜における sp^3 中心）をアニールすることができる、堆積されたイオンからの運動エネルギーの熱放散と、スパッタリングと、入射粒子反射と、発熱と、層から所望の特性（たとえば炭素を含む層における sp^3 中心）をアニールすることができる欠陥中心移動による局所的な誘起歪の熱緩和を高めることができる注入（および固有）誘起欠陥と、そのいずれかの組合せと、を含むことができる。開示されるプロセスおよび方法は、そのような効果を回避するかまたは最小化することができるか、それらを表面から第 1 の数原子層に制限することができるか、またはその両方である。

10

【 0 0 6 0 】

入射高熱粒子は、既存の原子間の部位における挿入によって、および / または再結合しない反跳原子の生成によって既存の原子を変位させることによって、表面電位障壁に侵入して、原子密度の局所的な増大を引起すことができる。局所的な原子再構成および sp^3 結合混成が生じて、非平衡高熱の、かつ変位された粒子の存在と、結果として生じる局所化されたねじれ / 歪み（distortion/strain）とを吸収することができる。開示される方法は、表面の数結合長内に含まれる非常に薄い層においてこれを実現することができる。

20

【 0 0 6 1 】

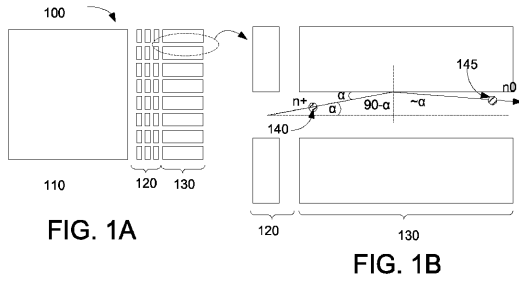
表面への粒子投影飛程を数結合長の最大値未満に制限するように、粒子の注入エネルギーを選択することができる（最大値が選択される）。粒子の注入エネルギーは、表面エネルギー障壁の侵入によって表面への粒子の取込みを可能とするために少なくとも十分であるように選択する（最小値を選択する）こともできる。（基板への粒子の侵入を可能にするのに十分な）選択された最小エネルギーにより、典型的な核形成メカニズムによって層の成長は行われない。注入粒子エネルギーの選択範囲は、目標原子への運動エネルギー移動が、変位をもたらすのに不十分であるか、または平均して概ね 1 つもしくは 2 つの変位反応しかもたらさないか、または表面への、もしくは表面から数結合長内の距離への挿入を可能にするのに十分であるかのいずれかであるようなものである。

30

【 0 0 6 2 】

このように、層を形成する方法の実施形態が開示される。上記の実装例および他の実装例は、添付の請求項の範囲内である。当業者は、開示されたもの以外の実施形態で本開示を実行することができると認識するであろう。開示された実施形態は、限定ではなく例示の目的で提示されている。

【図 1 A - 1 B】



【図 2】

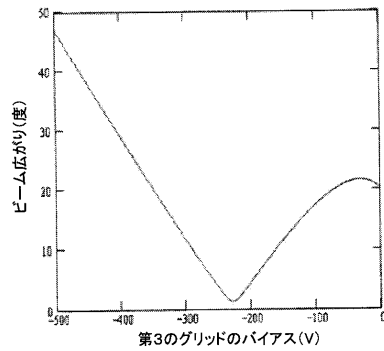
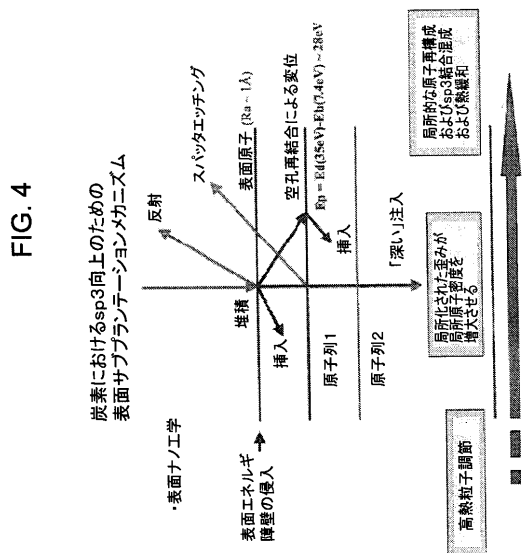
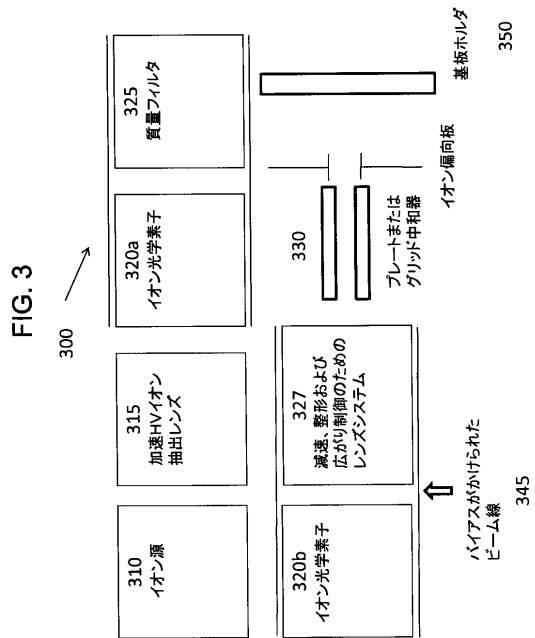


FIG. 2

【図 4】



【図 3】



【図 5】

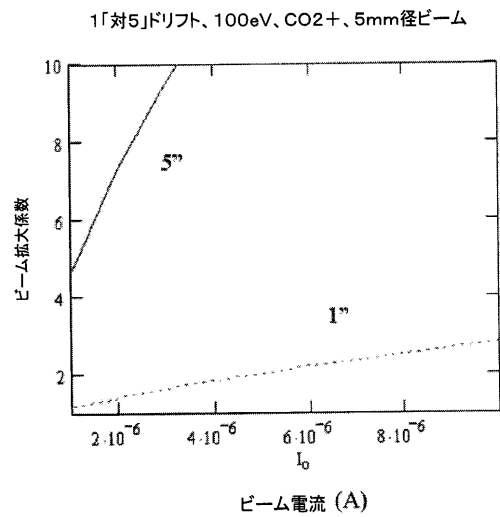


FIG. 5

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2013/024267

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. C23C14/00 C23C14/06 C23C14/22 H01J37/317 C23C14/48
ADD.

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)
C23C H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

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

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Pochon S ET AL: "Ion Beam Deposition", Oxford Instruments - White Papers, May 2010 (2010-05), pages 1-9, XP055056467, Oxford Instruments Plasma Technology, Bristol [GB] Retrieved from the Internet: URL:http://www.oxfordplasma.de/pla_news/wh _paper/Ion%20Beam%20Depn-White%20paper_May 2010.pdf [retrieved on 2013-03-14]	1,3,4,6
Y	the whole document	2,5,7-20
X	US 6 090 456 A (WU RICHARD L C [US] ET AL) 18 July 2000 (2000-07-18) column 4, lines 22-50; figure 1 column 5, lines 47-52 ----- -/-	1,3,9

☒ 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

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 March 2013

Date of mailing of the international search report

02/04/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoyer, Wolfgang

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2013/024267

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 02/078041 A2 (EBARA CORP [JP]; ICHIKI KATSUNORI [JP]; YAMAUCHI KAZUO [JP]; HIYAMA HI) 3 October 2002 (2002-10-03) page 2, lines 3-10 page 3, lines 8-24 page 6, line 7 - page 7, line 5; figures 2A, 2B page 8, lines 21-29; figure 1 page 11, lines 11-30; figure 4 page 12, lines 7-12 -----	2,5,7-20
A	WO 99/23685 A1 (APPLIED MATERIALS INC [US]; ENGLAND JONATHAN GERALD [GB]; HOLMES ANDRE) 14 May 1999 (1999-05-14) page 10, lines 19-22; figure 1 -----	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2013/024267

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6090456	A	18-07-2000	NONE	

WO 02078041	A2	03-10-2002	AU 2002239026 A1	08-10-2002
			JP 3912993 B2	09-05-2007
			JP 2002289399 A	04-10-2002
			US 2004070348 A1	15-04-2004
			WO 02078041 A2	03-10-2002

WO 9923685	A1	14-05-1999	EP 1027718 A1	16-08-2000
			EP 1235252 A2	28-08-2002
			JP 2001522128 A	13-11-2001
			US 6060715 A	09-05-2000
			WO 9923685 A1	14-05-1999

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC