

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7271501号
(P7271501)

(45)発行日 令和5年5月11日(2023.5.11)

(24)登録日 令和5年4月28日(2023.4.28)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 21/304 (2006.01)	H 0 1 L 21/304 6 1 1 Z
B 2 3 K 26/00 (2014.01)	B 2 3 K 26/00 M
B 2 3 K 26/53 (2014.01)	B 2 3 K 26/53

請求項の数 12 外国語出願 (全27頁)

(21)出願番号	特願2020-219346(P2020-219346)	(73)特許権者	511153080
(22)出願日	令和2年12月28日(2020.12.28)		ジルテクトラ ゲゼルシャフト ミット
(62)分割の表示	特願2018-534125(P2018-534125)		ベシュレンクテル ハフツング
原出願日	平成28年12月12日(2016.12.12)		ドイツ連邦共和国 0 1 0 9 9 ドレスデ
(65)公開番号	特開2021-61435(P2021-61435A)		ン マンフレート フォン アルデンネ リ
(43)公開日	令和3年4月15日(2021.4.15)		ンク 7
審査請求日	令和3年1月25日(2021.1.25)		Manfred - von - Ardenn
(31)優先権主張番号	102016000051.1		e - Ring 7 , 0 1 0 9 9 Dres
(32)優先日	平成28年1月5日(2016.1.5)	(74)代理人	den , Germany
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		100114890
			弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラ
			インハルト
		(74)代理人	100098501
			弁理士 森田 拓
		(74)代理人	100116403

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 固体状物における改質の平面生成のための装置及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

固体状物(1)の中に改質を生成する方法であって、前記固体状物の一部分(6)、特に前記固体状物の一層を前記固体状物(1)から分離するための亀裂を誘導する亀裂誘導領域(4)が、前記改質(2)によって準備されるようにする方法であり、前記方法は、

レーザー処理システム(8)に対して相対的に前記固体状物(1)を動かす工程と、

前記固体状物(1)の中にそれぞれ少なくとも1つの改質(2)を生成するために前記レーザー処理システム(8)によって複数のレーザービーム(10)を相次いで発光する工程と、

を少なくとも含み、

前記レーザー処理システム(8)は、レーザービーム(10)の定義された焦点合わせのためにおよび/またはレーザーエネルギーの調整のために、少なくとも1つのパラメータの関数として、好ましくは複数のパラメータの関数として、特に2つのパラメータの関数として、連続的に調整され、

1つのパラメータは、特に前記固体状物の内部における、特に前記固体状物の表面からある距離における、所定の位置でのまたは所定の領域における前記固体状物のドーピングの度合いであり、

前記ドーピングの度合いは、

(1)偏光解析測定、特に、後方反射を持つミューラーマトリクス偏光解析によって判定されるか、または、

(2) 伝導性測定、特に、校正がホール測定および 4 点測定によって実行される光学的に校正される伝導性測定によって判定され、前記固体状物の材料における導電性の相違が判定される、
方法。

【請求項 2】

第 1 のパラメータは、定義された改質 (2) を生成するためにレーザビーム (1 0) によって横切られるべき前記固体状物 (1) の領域における、前記固体状物 (1) の材料の平均屈折率または前記固体状物 (1) の材料の屈折率であり、

第 2 のパラメータは、定義された改質 (2) を生成するためにレーザビーム (1 0) によって横切られるべき前記固体状物 (1) の領域における、処理の深さである、
請求項 1 の方法。

10

【請求項 3】

前記第 1 のパラメータは、屈折率判定手段、特に分光反射手段によって決定され、および/または

前記第 2 のパラメータは、トポグラフィ判定手段、特に共焦点クロマティック距離センサによって決定される、

請求項 2 の方法。

【請求項 4】

前記パラメータ、特に前記第 1 のパラメータおよび前記第 2 のパラメータに関するデータは、データメモリ装置 (1 2) 内に供給されていて、少なくとも前記改質 (2) を生成する前に制御システム (1 4) に送られ、ここで、前記制御システム (1 4) は、生成すべき改質 (2) の各位置の関数としてレーザ処理システム (8) を調整する、
請求項 2 または 3 の方法。

20

【請求項 5】

前記制御システム (1 4) は、また、前記レーザ処理システム (8) を調整するために、距離パラメータに関するデータを処理し、ここで、前記距離パラメータは、前記レーザ処理システム (8) に対する前記各位置の距離を表し、前記改質 (2) の生成の時点で各改質 (2) の生成のための前記レーザビーム (1 0) が前記固体状物 (1) に導入され、前記距離のデータは、センサ装置 (1 6) によって検出される、

請求項 4 の方法。

30

【請求項 6】

前記レーザ処理システム (8) の調整は、それぞれセンサ手段、特に屈折率判定手段およびトポグラフィ判定手段による前記第 1 のパラメータおよび前記第 2 のパラメータの決定の関数として行われ、前記決定は、前記改質を生成するときに行う、

請求項 2 または 3 の方法。

【請求項 7】

固体状物 (1) から、少なくとも前記固体状物の一部分 (6) 、特に前記固体状物の一層を分離するための方法であって、

前記方法は、請求項 1 乃至 6 のいずれかの方法を少なくとも含み、

前記方法は、さらに、

改質の生成によって前記固体状物の一部分が分離されるように、前記固体状物 (1) の中に多くの改質 (2) を生成すること、または

前記固体状物 (1) の上に受理層 (2 6) を生成または配置すること、

を含み、ここで、前記受理層 (2 6) は、ポリマー材料、特にポリジメチルシロキサン (P D M S) またはエラストマーまたはエポキシ樹脂若しくはそれらの化合物を備えるかまたはこれらからなり、前記ポリマー材料は、前記固体状物 (1) 内に亀裂進展ストレスを特に機械的に作り出すために、前記受理層 (2 6) の熱処理によってガラス転移を受け、前記亀裂進展ストレスによって、前記亀裂誘導領域 (4) に沿って前記固体状物 (1) 内で亀裂が進展する、

方法。

40

50

【請求項 8】

前記受理層(26)は、重量に関して少なくとも殆どおよび好ましくは完全に、ポリマー材料からなり、前記ポリマー材料のガラス転移は、 -100 と 0 の間で、特に -85 と -10 の間または -80 と -20 の間または -65 と -40 の間または -60 と -50 の間で、起こり、

前記受理層(26)は、好ましくは高分子ハイブリッド材料からなり、前記高分子ハイブリッド材料は、高分子マトリクスを形成し、前記高分子マトリクスは、フィラーを含み、前記高分子マトリクスは、好ましくはポリジメチルシロキサン・マトリクスであり、かつ、前記高分子ハイブリッド材料内の前記高分子マトリクスの重量比は、 80% 乃至 99% 、特に好ましくは 90% 乃至 99% である、
請求項7の方法。

10

【請求項 9】

固体状物(1)の中に改質(2)を生成する装置(30)であって、前記固体状物の一部分(6)、特に前記固体状物の一層を前記固体状物(1)から分離するための亀裂を誘導する亀裂誘導領域(4)が、前記改質(2)によって準備されるようにする装置であり、前記装置は、少なくとも、

少なくとも1つの固体状物(1)を受理し、動かす受理装置(18)と、

複数のレーザービーム(10)を相次いで発光するレーザー処理システム(8)であって、前記レーザービーム(10)を焦点合わせして前記固体状物(1)の中の焦点位置に改質(2)を生成するレーザー処理システム(8)と、

20

制御システム(14)と、
を備え、

前記制御システム(14)は、少なくとも1つの第1のパラメータについてのおよび第2のパラメータについてのデータを処理し、前記レーザー処理システム(8)の焦点合わせおよび/またはレーザーエネルギーを、特に改質(2)毎に、前記データの関数として連続的に調整し、

1つのパラメータは、特に前記固体状物の内部における、特に前記固体状物の表面からある距離における、所定の位置でのまたは所定の領域における前記固体状物のドーピングの度合いであり、

前記ドーピングの度合いは、

30

(1)偏光解析測定、特に、後方反射を持つミューラーマトリクス偏光解析によって判定されるか、または、

(2)伝導性測定、特に、校正がホール測定および4点測定によって実行される光学的に校正される伝導性測定によって判定され、前記固体状物の材料における導電性の相違が判定される、

装置。

【請求項 10】

第1のパラメータは、定義された改質(2)を生成するためにレーザービーム(10)によって横切られるべき前記固体状物(1)の領域における、前記固体状物(1)の材料の平均屈折率または前記固体状物(1)の材料の屈折率であり、

40

第2のパラメータは、定義された改質(2)を生成するためにレーザービーム(10)によって横切られるべき前記固体状物(1)の領域における処理の深さであり、

ここで、前記固体状物の材料のドーピングの度合いである追加のまたは代替のパラメータは、後方散乱光の分析によって決定され、前記後方散乱光は、前記後方散乱光をトリガするために規定される入射光とは異なる波長または異なる波長領域を持ち、ここにおいて、ラマン機器が前記装置の一構成成分となり、前記ドーピングの度合いが前記ラマン機器によって決定され、1または複数のあるいは全てのパラメータが好ましくは共有の検出ヘッドによって、特に同時に検出される、

請求項9の装置。

【請求項 11】

50

チルトパラメータを決定するために距離センサ装置(16)が設けられ、前記チルトパラメータは、前記レーザ処理システムに対する前記固体状物(1)の傾きを表し、前記距離センサ装置(16)は、距離データを出力し、前記距離データはまた、前記レーザ処理システム(8)を調整するために前記制御システム(14)によって処理される、請求項9または10の装置。

【請求項12】

前記受理装置(18)を動かすために駆動装置(22)が設けられ、前記制御システム(14)は、前記受理装置(18)の移動速度および/またはレーザの焦点および/またはレーザエネルギーを、フィードフォワード処理において処理されているパラメータの関数として、調整する、請求項9または10の装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、固体状ディスクの製造すなわちウェハ製造の技術分野に属する。

【0002】

請求項1によると、本発明は固体状物において改質を生成するための方法に関し、請求項10によると、本発明は固体状物において改質を生成するための装置に関する。

【背景技術】

【0003】

冷間分割法(cold split method)は、インゴットすなわちプール(熔融物からの引き出し又は気相からの蒸着など、製造方法に依存する半導体インゴット)から半導体ディスク(ウェハ)を切り出すための新規な方法である(国際特許出願公開第WO2010072675号公報を参照)。冷間分割法においては、レーザー損傷層が、希望する裂け目箇所として、半導体インゴットの前面を通過して所望の深さにおいて適用される。良好な接着性を持つ独自のポリマーフィルムが適用され、徹底的に冷却される。半導体ウェハは、熱膨張係数の大きな相違によって引き起こされる機械的ストレスによる剥離によって、該インゴット又はプールから形成される。

20

【0004】

これは、内径鋸又はガイドされたワイヤ(ダイヤモンドチップ又は研磨用懸濁液/スラリー)を使用する伝統的なウェハ切断に対する代替技術である。これらの方法は、ウェハが薄切りされている間にワイヤがふらつくことにより厚みにムラが出る。このような厚さ変化の結果として、ウェハに膨らみや曲がりができる。これらのウェハの更なる加工業者である半導体製造業者は、これらの平面性の偏りを或る範囲でのみ受容していた。この理由により、分割された後、半導体ウェハは一連の表面処理によって処理されねばならない。これらの表面処理は、エッチング、ラッピング、及び機械化学的な磨き工程によって、平面性、平行性、及び荒さを調整することによりなされる。

30

【0005】

種々の平面特性の偏りは、冷間分割法においても起こり得る。これらの偏りは、インゴットから取り除けるのと同様に、冷間分割法に続く平面化及び磨き工程によってウェハから取り除ける。

40

【0006】

伝統的なウェハ処理方法と比較して冷間分割法における全体的な材料効率をさらに増加させる、平面分割手段は、ウェハに関する平面化スライス工程においてあまり準備されない。この全体的な材料効率は、半導体インゴットの初期厚さ(例えば25000 μm のインゴット又はプール)に対する、使用されたウェハの厚さ、すなわち最終寸法を持つ損傷のないウェハの数(例えば350 μm 厚の23個のウェハ=有効厚さ8050 μm)の比によって与えられる。平面レーザ改質される冷間分割法を使用する実例において、ウェハ歩留りは、伝統的なウェハ処理方法の40%に対して、84%に増加され得る。

【0007】

50

平面性は、次のレーザ操作の前に、残余の半導体インゴットにおいて修復されねばならない。何故ならば、そうしないと、偏りが残余の処理を介して拡大し、増加すらするかもしれないからである。この増加は、非常に高い光屈折率（例えば、Si（シリコン）では $n = 3.6$ 、SiC（シリコンカーバイド）では $n = 2.6$ ）を持つ材料内における異なる光学経路長のために生じる。よって、レーザヘッドから表面までの距離が変動すると、レーザビームもまた、異なる屈折率の異なる光学経路及び焦点までの異なる経路長を通過して、通過するであろう。表面までの距離の $1 \mu\text{m}$ の誤差は、材料内で n 倍の誤差を引き起こす。

【0008】

レーザ面の非常に高い平面性を達成するために、 μm 範囲の偏りはウェハの長さ全体にわたって許容されるが、自動焦点方式だけで限られた範囲に対してのみ達成され得る機械的ウェッジ補償を備える、そのような偏りを実現するのは困難である。

10

【0009】

例えば、距離において光照射すること（プロキシミティ・フォトリソグラフィ）で作動する自動マスク露光システムにおいて、 μm 範囲での機械的ウェッジ補償が技術化されている。しかし、標本は処理レンズに関して高度に動的な手法で動かされないの、ここでは、極めて平坦なマスク及び基板のみが静的に補償されるだけである。静的な応用だけが機械的ウェッジ補償を使用して補償され得、かつ、修正平面（2軸チルト動作）だけが補償され得る。

【0010】

20

従来の自動焦点方式は、処理するレンズから表面まで一定距離を維持する。このやり方で、表面のレーザマイクロ処理でのトラッキングを μm 範囲で維持することも可能である。表面処理において、レーザは、媒体（通常は空気）を介してのみ焦点箇所まで、普通に走行する。従来の自動焦点方式は、表面輪郭のトラッキングのみが可能であるという不利を持つ。さらに、該輪郭は、基板の屈折率の要因によって拡大され、最終的に、平面化が不可能である。

【0011】

さらに、機械的ウェッジ補償と従来の自動焦点に加えて、別の公知方法として、レーザ照射に先立つ多光子吸収及び平坦化を伴う三次元（3D）フォトリソグラフィがある。

【0012】

30

周辺の材料は改質されないままにして焦点箇所が処理するボリュームで操作されるので、多光子吸収を伴う3Dフォトリソグラフィ方法は、ボリュームでのレーザ改質と非常に似ている。これらの処理は、液体フォトレジストで働き、したがって、平坦でスムーズな（表面張力、水収支原理）表面をもたらす。ここでのレンズはレジスト（浸潤）内で直接的に操作され、したがって、異なる媒体でのいかなる拡散も受けない。この方法は、インターフェースのない/均質な媒体のみを持つシステムが利用可能であるから、有利ではない。

【0013】

さらに、殆ど任意の品質の平面性及び荒さを生成し得る平坦化及び磨き方法が存在する。しかし、設備の複雑さと、それに関連して、処理コストがひどく変動する。この方法は、より低い歩留り又は全体的な材料効率を達成するために、材料の追加の準備が要求され、結果的に処理コストの増加をもたらすので、不利である。さらに、配置誤差がとにかく依然として修正され得るので、自動焦点の観点での節約がない。

40

【発明の概要】**【0014】**

したがって、本発明の目的は、固体状物の内部において、6インチ以上の直径を持つ特別に大きな固体状物の場合であっても、非常に精密な改質を生成し得る方法及び装置を提供することにある。好ましくは、裂け目の拡大によって固体状物から剥離された固体状の構成要素及び/又は層が、固体状物の表面から或る距離の箇所での、再作業に関してより少ない努力を結果的にもたらす。

50

【 0 0 1 5 】

上述の目的は、請求項 1 に従う方法によって、本発明にしたがって、達成される。本発明に従う方法は、固体状物の中に改質を生成することに係わり、該固体状物の一部分特に該固体状物の一層を該固体状物から分離するための亀裂を誘導する亀裂誘導領域が、該改質（ 2 ）によって前記固体状物内に準備されるようにする方法である。本発明に従う方法は、レーザ処理システムに対して相対的に前記固体状物を動かす工程と、前記固体状物の中に少なくとも 1 つの改質を生成するために前記レーザ処理システムによって複数のレーザビームを相次いで発光する工程とからなり、ここで、前記レーザ処理システム（ 8 ）は、レーザビームの定義された焦点合わせのために及び／又はレーザエネルギーの適応化のために、少なくとも 1 つのパラメータの関数として、好ましくは複数のパラメータの関数として、特に 2 つのパラメータの関数として、連続的に調整される。

10

【 0 0 1 6 】

このアプローチは、材料内の焦点が該材料の表面を直接的にトラッキングするのではなく、該焦点の修正が行われるような方法を提供するので、有利である。もし焦点の偏りがリアルタイムに検出されるべきであるならば、修正ファクタを備えた単純な対策が実行され得る。この修正ファクタは、レーザ処理システムを調整するために使用されるパラメータに好ましく対応する。

【 0 0 1 7 】

材料内の焦点の位置は、また、屈折率及び処理の深さ（該材料に依存する結像誤差）の関数でもある。

20

【 0 0 1 8 】

本発明に従う方法は、また、好ましくは、リアルタイムシステムとしての焦点トラッキングのための新規な制御方法としても理解され得る。

【 0 0 1 9 】

前記レーザ処理システムの調整は、制御システムによって実行されるアルゴリズム、特に配置誤差による基板の傾き（機械ホルダーに関する傾き）及び／又は半導体インゴットにおける平面誤差を識別するためのアルゴリズム、によって好ましく行われる。

【 0 0 2 0 】

本発明の範囲内において、改質とは、固体状物の格子構造の変化であると理解される。特に、該格子構造の変化は多光子励起により行われる。

30

【 0 0 2 1 】

本発明の追加的な好ましい実施例は、従属請求項及び／又は本明細書の下記説明の主題である。

【 0 0 2 2 】

本発明の好ましい実施例によれば、第 1 のパラメータは、定義された改質を生成するためにレーザビームによって横切られるべき前記固体状物の領域における、該固体状物の材料の平均屈折率又は該固体状物の材料の屈折率であり、第 2 のパラメータは、定義された改質を生成するためにレーザビームによって横切られるべき前記固体状物の領域における、処理の深さである。この実施例は、処理深さ及び屈折率が、生成される焦点位置の精度に実質的に関与するパラメータであるので、有利である。

40

【 0 0 2 3 】

別の実施例によれば、追加の又は代替のパラメータは、前記固体状物の材料のドーピングの度合いであり、それは後方散乱光の分析（好ましくはラマン散乱）によって好ましく決定され、ここで、後方散乱光は、該後方散乱光をトリガするために規定される入射光とは異なる波長又は異なる波長領域を持ち、これにより、ラマン機器が装置の一構成成分となり、前記ドーピングの度合いが該ラマン機器によって決定され、これにより、1 又は複数のあるいは全てのパラメータが共有の検出ヘッドによって好ましく検出され、特に同時に検出される。ラマン分光法は、ガラス、サファイア及び酸化アルミニウムのセラミックスにおいても好ましく使用される。このラマン法は、材料の深さを一方向からのみ測定するが、高い放射線透過率は要求せず、レーザの複数パラメータに相関され得る電荷キャリ

50

ア密度ノドーピングをラマンスペクトルへの当てはめ(フィット)により出力する。

【0024】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記第1のパラメータは、屈折率判定手段特に分光反射手段によって決定され、及び/又は、前記第2のパラメータは、トポグラフィ判定手段特に共焦点クロマティック距離センサによって決定される。

【0025】

前記パラメータ特に前記第1のパラメータ及び前記第2のパラメータに関するデータが、本発明の好ましい実施例に従うデータメモリ装置内に供給され、かつ、少なくとも前記改質を生成する前に制御システムに送られ、ここで、該制御システムは、生成すべき改質の各位置の関数としてレーザ処理システムを調整する。特に半導体インゴットにおける屈折率の変動は、常に高度に解決されるものでなく、若しくはリアルタイム制御目的のために十分急速に検出可能ではない。そこで、従来知見による焦点ガイドが必要とされる。この従来知見は、処理及び/又は改質の生成の前に検出された及び/又は決定された及び/又は生成されたパラメータについてのデータによって表される。

10

【0026】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記レーザ処理システムを調整するための前記制御システムは、また、距離パラメータを与える距離データを処理し、ここで、該距離パラメータは各位置の距離を表し、前記改質の生成に間に合う前記レーザ処理システムに関する地点でレーザビームが前記固体状物内に各改質を生成するために、該位置でレーザビームが開始され、前記距離のデータはセンサ装置によって検出される。この実施例は、距離センサ及び調整可能な修正ファクタを備えた急速リアルタイム制御が該修正ファクタの場所に依存した制御によって補われ得るので、有利である。

20

【0027】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記レーザ処理システムはセンサ手段、特に屈折率判定手段及びトポグラフィ判定手段によって、前記改質の生成中の前記第1のパラメータ及び前記第2のパラメータの決定の関数として、調整される。

【0028】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記固体状物が受取装置上に配置され、該受取装置はX/Y方向に動かされるか若しくは回転軸の回りで回転され得る。該受取装置の回転速度は、該回転軸からレーザビームが前記固体状物内に入射する位置までの距離の関数として、好ましくは該位置からの距離の減少につれて増加するものとして、駆動装置によって変化され得る。あるいは、該受取装置が、1分あたり100回転以上で、好ましくは1分あたり1000回転以上で、特に好ましくは1分あたり1500回転以上で、前記回転軸の回りで回転し、そして、レーザビームが、改質生成のために、少なくとも0.5MHz、好ましくは少なくとも1MHz、特に好ましくは少なくとも5MHz又は10MHzの周波数で前記レーザ処理システムによって放射され得る。

30

【0029】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記レーザビームは、除去されるべき前記固体状物の一部分の表面領域にわたって該固体状物に入射し、ここで、該除去されるべき固体状物の一部分は、残余の固体状物よりも小さな平均的厚みを持つ。

40

【0030】

本発明の別の好ましい実施例によれば、追加の又は代替のパラメータが、特に前記固体状物の内部における、特に該固体状物の表面から或る距離における、所定の位置での又は所定の領域における前記固体状物のドーピングの度合いである。該ドーピングの度合いは、位置情報に好ましくリンクされ、これにより、治療マップが生成される、及び/又は、レーザパラメータ(特にレーザの焦点及び/又はレーザエネルギー及び/又はその他の機械パラメータ、特に位置の関数としての先行レート)を予め決定する空間的に解決された処理命令が提供される。

【0031】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記ドーピングの度合いが、非弾性散乱法(ラ

50

マン散乱法)による後方散乱光の分析によって決定され、ここで、前記後方散乱光は、後方散乱をトリガするために規定された入射光とは異なる波長又は異なる波長領域を持ち、前記後方散乱光は、前記所定の位置から又は前記所定の領域から後方散乱される。

【0032】

この実施例は、特にSiC(しかしその他の材料でも可)(例えば、異なるレーザエネルギーなど)についてのレーザ法において局部的に適応化される手法によって処理がガイドされるので、有利である。例えば、SiCの場合、ドーピングが特に重大であるということが本発明にしたがって認識されてきている。なぜならば、処理波長に対する材料の透過率を変えるから、及び、より高いレーザエネルギーが必要とされるからである。

【0033】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記ドーピングの度合いは、偏光解析(ellipsometric)測定(例えば、後方反射を持つミューラーマトリクス偏光解析)によって判定される。この偏光解析測定は、好ましくは、材料の光伝導性に基づく。

【0034】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記ドーピングの度合いは、純粋に光学的に校正される伝導性測定によって判定され、ここで、この校正はホール測定及び4点測定によって実行される。この手法は、また、材料内のドーピング/自由電荷キャリアの数を判定することが可能であり、それから、処理のために必要なレーザエネルギーを判定することを可能にする。

【0035】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記ドーピングの度合いが渦電流測定によって判定され、前記固体状物の材料における導電性の相違が好ましく判定され、評価される。

【0036】

渦電流測定において、及び/又は、渦電流センサ及び/又は渦電流測定技術を使用するとき、受信コイルが、導電性の局所的な相違を検出するために好ましく使用される。高周波数の1次交流電磁場が送信コイルで生成される。それから、渦電流(局所的に流れる電流)が導電体に生じ、反対方向を指向する2次交流電磁場を誘導する。これらの交流電磁場の重ね合わせが測定され、分離され、分析され得る。材料の固まりもあるが、大部分は薄い導電体層の様々な性能特徴(層の厚さ、層の抵抗、材料の均質性)が、この手法で測定され得る。伝達配列(送受信コイル間に検査物体を置く配列)において最適なアプローチが達成されるが、しかし、標本の一側面上に2つのコイルを配列することも、測定反映のため可能である。貫通と感度の異なる深さが、コイルの適応されたサイズと周波数の選択のお蔭で利用され得る。

【0037】

そこで、基本的に、ドーピングを原理的に測定し得るいくつかの測定方法がある。素早い、非接触的かつ非破壊的な方法がここでは重要である。

【0038】

さらに、本発明は、固体状物からから、少なくとも該固体状物の一部分特に該固体状物の一層を分離するための方法に関する。本発明に従う方法は、請求項1乃至8のいずれかの方法を少なくとも含む。本発明に従う方法は、さらに、改質の生成によって前記固体状物の一部分が分離されるように、前記固体状物の中に多くの改質を生成することを含む、若しくは、本発明に従う方法は、前記固体状物の上に受理層を生成又は配置することを含み、ここで、前記受理層は、ポリマー材料特にポリジメチルシロキサン(PDMS)又はエラストマー又はエポキシ樹脂若しくはそれらの化合物からなり、前記ポリマー材料は、前記固体状物内に亀裂進展ストレスを作り出すために、前記受理層の熱処理によってガラス転移を受け、該亀裂進展ストレスによって、前記亀裂誘導領域に沿って該固体状物内で亀裂が進展する。

【0039】

本発明の別の好ましい実施例によれば、該受理層は、重量に基づいて少なくとも殆ど及び好ましくは完全に、ポリマー材料からなり、該ポリマー材料のガラス転移は、 - 100

10

20

30

40

50

と 0 の間で、特に - 8 5 と - 1 0 の間又は - 8 0 と - 2 0 の間又は - 6 5 と - 4 0 の間又は - 6 0 と - 5 0 の間で、起こる。

【 0 0 4 0 】

該受理層は、高分子ハイブリッド (polymer-hybrid) 材料を好ましく含み、該高分子ハイブリッドは高分子マトリクスを好ましく形成し、該高分子マトリクスは、該高分子マトリクスが好ましくはポリジメチルシロキサンであり、かつ、該高分子ハイブリッド材料内の該高分子マトリクスの重量比が 8 0 % 乃至 9 9 % 特に好ましくは 9 0 % 乃至 9 9 % に達するように、フィラー (filler: 充填材) を含む。該受理層は、前もって製造されたフィルムとして好ましく供給され、特に接着又は粘着によって、固体状物に接続される。

【 0 0 4 1 】

そこで、本発明によれば、1つの固体状物の開始材料から少なくとも2つの固体状物片を生成する分離方法における使用のために高分子ハイブリッド材料が用いられる。本発明に従う高分子ハイブリッド材料は、高分子マトリクスとそこに埋め込まれた少なくとも1つの第1のフィラーとからなる。次の議論は1つのフィラーに関するが、複数のフィラーの可能性が同時に考慮されるべきである。例えば、該フィラーは、複数の異なる材料、例えば金属片と無機質繊維、の混合物からなっていてよい。

【 0 0 4 2 】

如何なるポリマー又は複数の異なるポリマーの混合であっても、前記固体状物の開始材料を分割するために必要なストレスがこれらのポリマーの助けにより生成され得る限り、前記高分子マトリクスとして使用され得る。例えば、高分子マトリクスは、ポリジオルガノシロキサン・マトリクス特に好ましくはポリジメチルシロキサン・マトリクスとしてのエラストマー・マトリクスとして、埋め込まれていてよい。そのような高分子マトリクスは、フィラーとの組み合わせからなるマトリクス材料として、特に容易に使用され得る。何故ならば、その特性が、その橋かけ結合の可変度合いに基づき、かつ、各フィラーに適合され得、かつ、分割されるべき前記固体状物の開始材料に適合され得る、フレキシブルなやり方で調整されるからである。一つの変形実施例によれば、該高分子マトリクスと該高分子ハイブリッド材料の重量比が 8 0 % 乃至 9 9 % 、好ましくは 9 0 % 乃至 9 9 % である。

【 0 0 4 3 】

前記第1のフィラーは、有機的又は無機的性質のものであってよく、例えば合金のような化学的な化合物又は混合物などの化学要素からなっていてよい。

【 0 0 4 4 】

前記第1のフィラーは、分割後の固体状物片から高分子ハイブリッド材料を分離するときに、反応物質、開始剤、触媒、又は促進剤としてふるまうように設計され、これにより、該第1のフィラーを含まないポリマー材料に比べて、分割後の固体状物片からの高分子ハイブリッド材料の分離を急速化する。

【 0 0 4 5 】

前記第1のフィラーの特定の化学的組成物及び実施例は、重量比と同様に、特に、分離すべき高分子マトリクスの材料の仕様、この目的のために使用される溶剤、及び、使用される前記反応物質、に依存する。加えて、前記固体状物の開始材料の材質及び分割されるべき前記固体状物の開始材料の寸法もまた、役目を果たす。

【 0 0 4 6 】

高分子マトリクスにおける前記第1のフィラーの量は、該フィラーの材質及びその動作メカニズムに大きく依存する。第1に、高分子マトリクスは、フィラーの存在にかかわらず、ストレスを生成するというその目的を公正に叶い得るものでなければならない。第2に、前記第1のフィラーの量は、ポリマーの除去に所望の影響を及ぼすのに十分な量でなければならない。この分野の熟練技術者は、濃度の関数として行われた単純な経験の範囲内で、前記第1のフィラーの重量の最適量を決定し得る。

【 0 0 4 7 】

機械的特性を改善するために、例えばポリマー内で無機的組織網の形式からなる焼成シ

10

20

30

40

50

リカのような、追加のフィラーが、該機械的特性の改善に寄与し得る。該組織網の形式におけるこれらの強い相互作用に加えて、弱い相互作用もまた、純粹に流体力学的補強を通して該改善に寄与し得る。例えば、該分離方法における改善された処理を可能にし、これにより改善された製造許容に貢献する可能性をもたらすように、粘着性を或るターゲットに増大することが言及され得る。加えて、この相互作用を通して、構造的再配向に関する内部の自由度の減少は、該補強の増大で、より困難にされる。

【0048】

これは、高分子ハイブリッド材料において使用されるポリマーのガラス転移温度の望まれる減少をもたらす、該分離方法において低温度の利点が得られる。本発明によれば、高分子ハイブリッド材料における前記第1のフィラーは、固体状物材料が少なくとも2つの固体状物片に分けられる分離方法において、該分離方法による分割によって得られた固体状物片からの高分子ハイブリッド材料の除去を加速するために使用される。

10

【0049】

前記第1のフィラーは、分離方法のときに固体状物の開始材料に加えらるる高分子ハイブリッド材料の外側境界面例えば下境界面から開始する該第1のフィラーの重量比が、該下境界面と平行に配置されている該高分子ハイブリッド材料の別の境界面の方向に向かって減少するようやり方で、高分子マトリクス内に分布されてよい。これは、該フィラーの重量比が、高分子ハイブリッド材料の他の領域よりも前記固体状物の開始材料及び/又は固体状物片に近づくほど、大きくなるということの意味する。このような第1のフィラーの分布は、該第1のフィラーが前記固体状物片に対する境界面に近いことでそこでの効果を露わにするので、分離後に高分子ハイブリッド材料を特に効率的に除去することを可能にする。同時に、高分子ハイブリッド材料の残りの領域は該第1のフィラーの少しの部分しか持たないか若しくは該第1のフィラーの部分を含んでいないので、該ポリマー(高分子)の機能は可能な限り少ししか影響されない。

20

【0050】

一実施例において、高分子ハイブリッド材料は層構造を持ち、前記固体状物の開始材料に面するただ1つの層だけが前記第1のフィラーを持ち、高分子ハイブリッド材料の残りの部分は前記第1のフィラーを持たない。

【0051】

加えて、高分子ハイブリッド材料の下境界面に直接的に隣接している該高分子ハイブリッド材料の下側領域は、前記第1のフィラーを持たないようにしてよい。これは、連続する複数領域において次のような結果をもたらす。前記固体状物の開始材料の隣に、まず該第1のフィラーを持たない領域があり、続いて、大量の該第1のフィラーを持つ領域があり、それから、第1のフィラーが少量しかないか若しくは全く無い領域となる。

30

【0052】

これらの領域及び次に述べる全ての領域は、層を成して埋め込まれていてよい。すなわち、該領域は、高分子ハイブリッド材料が適用される前記固体状物の開始材料の境界面に平行に延びていて、長手状かつ少なくとも該境界面の領域において横に広がっている。

【0053】

前記第1のフィラーを持たない下側領域は、特に、該第1のフィラーが前記固体状物の開始材料に対する高分子ハイブリッド材料の接着に関して良くない影響を及ぼす場合に、設けられるようにするとよい。この影響を防ぐために、第1のフィラーを持たない領域がまず配置され、次に大量の該第1のフィラーを持つ領域を設け、該第1のフィラーがその機能を果たし得るようにする。第1のフィラーを持たない下側層は、10 μm乃至500 μmの間の厚みを持ち、例えば100 μmの厚みを持つ。

40

【0054】

加えて、高分子ハイブリッド材料の上境界面に直接的に隣接している該高分子ハイブリッド材料の上側領域は、前記第1のフィラーを持たないようにしてよい。該上側領域は、周囲に関して、前記下側領域から及び前記固体状物の開始材料から反対側の高分子ハイブリッド材料を境界付ける境界面であることが理解される。該上側領域及び下側領域は互い

50

に平行となるように配置され得る。

【 0 0 5 5 】

そのような第 1 のフィラーを持たない上側領域は、特に、該第 1 のフィラーが周囲と前記高分子ハイブリッド材料との間の熱伝達に関して良くない影響を及ぼす場合に、例えば、該高分子ハイブリッド材料の冷却が遅らされるようなとき、設けられるようにしてよい。

【 0 0 5 6 】

第 1 のフィラーは、ガス状の生成物を放出する反応物質、好ましくは酸化剤、からなっていてよい。

【 0 0 5 7 】

そこで、前記高分子マトリクス及びあるかもしれない任意の犠牲層に対する反応物質及び溶剤のより急速なアクセスを可能にする空洞が、該高分子マトリクス内に生成され得るのであり、この空洞は反応物質及び溶けた成分のより急速な除去をもたらし得る。

10

【 0 0 5 8 】

高分子ハイブリッド材料の除去を更に手助けする追加の駆動力が、ガス状の反応物質生成物を生成することにより導入され得る。

【 0 0 5 9 】

前記追加の空洞の企て及びガス状の反応物質生成物の形成は、ポリマーの除去を加速し、それによって、当該分離方法の全体的な歩留りの増加に寄与する。前記第 1 のフィラーの量を変更することにより、前記固体状物片と高分子ハイブリッド材料の間及び / 又は前記犠牲となる層と高分子ハイブリッド材料の間の境界領域において、意図した手法で、該空洞の密度に影響を与え得る。

20

【 0 0 6 0 】

前記第 1 のフィラーは、金属、特にアルミニウム、鉄、亜鉛、及び / 又は銅を含んでいてよく、若しくは、金属、特に今述べた金属でなっていてよい。

【 0 0 6 1 】

「でなる」とは、今述べた金属の全てを含むことであり、フィラーの製造に際して有用であるかもしれない技術上誘導された不純物又は添加物、及び高分子マトリクス内に分布し又は結びついているそれら不純物又は添加物もまた存在し得る、という事実を含んでいる。

【 0 0 6 2 】

金属のフィラーは、ガス状の生成物を放出する塩酸、硝酸、クエン酸、蟻酸、又はスルファミン酸のような酸化剤で反応され得、それによって、前記高分子ハイブリッド材料から除去され得る。

30

【 0 0 6 3 】

例えば、アルミニウムは濃縮された塩酸で反応され、次式に従う溶媒和された金属イオンと水素を形成する： $6\text{HCl} + 2\text{Al} + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2[\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}] + 3\text{H}_2$ 。

【 0 0 6 4 】

同様に、濃縮された塩酸によるフィラーとしての亜鉛の反応は、5つの追加の空洞の形成に至る： $\text{Zn} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$ 。これらの実例において、高分子ハイブリッド材料の除去を更に手助けする追加の駆動力は、水素の生成によって導入される。さらに、前記第 1 のフィラーは、例えば、該第 1 のフィラーは高分子マトリクスのポリマーよりも高い熱伝導性を持つように、高分子ハイブリッド材料内での熱伝導性を改善し得る。これは、例えば、該第 1 のフィラーが金属を含む場合の例が、高分子ハイブリッド材料内での改善された熱伝導性の中にある、というケースであり得る。冷却によって固体状物の開始材料を分割するために作成されるストレスが、より効果的に、すなわち、改善された熱伝導性のお蔭で、より急速にかつ冷却剤の低消費で、生成され得る。これは、該分離方法の全体的な歩留りを増大し得る。

40

【 0 0 6 5 】

加えて、該第 2 のフィラーを含まない高分子ハイブリッド材料に比べて固体状物の開始材料に対する高分子ハイブリッド材料の接着性を増大するために、高分子ハイブリッド材

50

料内に第2のフィラーが設けられていてよい。接着性は、フィラーを含まないポリマー材料に比べて、好ましく増大される。

【0066】

例えば、該第2のフィラーは、プラズマによって活性化され得るフィラーであり得る。プラズマ活性化は、前記固体状物の開始材料の表面とのより強い相互作用をもたらすように生成され得る新たな表面形態をもたらす、その結果として、高分子ハイブリッド材料の接着性が改善される。

【0067】

プラズマ処理によって実現され得る表面形態の種類は、主に、プラズマ処理の処理管理に依存する。例えば、窒素、酸素、シラン、クロロシラン類のようなガスが、プラズマ処理の際に追加されてよく、それにより、例えば、前記固体状物の開始材料の表面により強く相互作用し得る極性基が、形成され得る。

【0068】

前記第2のフィラーは、該第2のフィラーの重量比が前記下境界面の方向に増加するように高分子マトリクス内に分布されてよい。例えば、高分子ハイブリッド材料は、下境界面に隣接する領域においてのみ該第2のフィラーを含んでいてよく、該領域は、また、上述した定義の意味での層として埋め込まれてよい。

【0069】

これは、前記高分子ハイブリッド材料と前記固体状物の開始材料との間の境界面に好ましく近い、該第2のフィラーの配置を可能にし、これにより、接着性が改善され、分割されるべき固体状物の開始材料内への力のより大きな伝達が可能となる。例えば、該第2のフィラーは、コアシェル (core-shell) ポリマー粒子を含み得る。

【0070】

好ましい粒子は、表面すなわち特に該コアシェル粒子のシェルが、例えば低温プラズマによって、より広範囲に活性化され得るという点で、そのポリマー組成が前記高分子ハイブリッド材料の前記高分子マトリクスのポリマー組成とは異なる。

【0071】

このいくつかの実例は、アクリレート (アクリル酸塩) ・シェルを持つポリシロキサン・コアからなるコアシェル粒子、又はエポキシ・シェルを持つナノスケール・シリケート (ケイ酸塩) ・コアからなるコアシェル粒子、又はエポキシ・シェルを持つゴム粒子コアからなるコアシェル粒子、又はエポキシ・シェルを持つニトリル・ゴム粒子コアからなるコアシェル粒子、を含む。第2のフィラーは、低温プラズマ例えば冷プラズマによって活性化されてよい。例えば、該プラズマは誘電体バリア放電 (DBE) によって発生され得る。これは、 10^{14} 乃至 10^{16} m^{-3} の範囲の電子密度を発生することを可能にする。DBE (プラズマ量) によって発生される “冷” 非平衡プラズマの平均温度は、雰囲気圧で約 $30 \pm 40 \text{ K}$ (ケルビン) に達する。DBEによって発生される非熱プラズマの平均温度は、雰囲気圧で約 70 に達する。

【0072】

DBE処理においては、例えば、数マイクロ秒乃至数10ナノ秒のパルス間隔と一桁乃至二桁のキロボルト領域の振幅を持つ単極又は双極パルスによって、表面に作用する。放電空間においては非金属電極が期待されるべきであり、よって、金属不純物又は電極を使用しないことが期待されねばならない。

【0073】

さらに、電荷担体を電極から出し入れする必要がないので、高効率であるという利点がある。

【0074】

誘電体の表面は、低温度で化学的に変質及び活性化され得る。該表面の変質は、例えばイオン衝撃による前記表面形態との相互作用及びその反応によって引き起こされ得る。

【0075】

加えて、窒素、酸素、水素、シラン類、又はクロロシラン類のような処理ガス (例えば

10

20

30

40

50

、SixHyEz、ここで、E = F, Cl, Br, I, O、Hundx = 0 乃至 10、z = 0 乃至 10、SiH₄、Si(EtO)₄ 又は Me₃SiOSiMe₃) が、例えば表面で或る化学基を生成するために、プラズマ処理の際に追加されてよい。第2のフィラーは、コロナ - 5 処理、火炎処理、フッ素付加、オゾン化若しくは紫外線処理、及び/又はエキシマ放射によって追加的に活性化されてよい。そのような活性化によって、例えば、極性基が第2のフィラーの表面で生成され、前記固体状物の開始材料の表面と相互作用し得、これにより、接着性が改善される。加えて、第1のフィラーを持つ高分子ハイブリッド材料又は第1及び第2のフィラーを持つ高分子ハイブリッド材料に比べて、前記高分子ハイブリッド材料は、また、第3のフィラーも具備してよい。この第3のフィラーは、高い熱伝達性及び/又は前記ポリマー又はポリマーマトリクスに比べて高い弾性係数を持つ。

10

【0076】

例えば、ポリマーの弾性係数は低温条件下で一桁台の低い値のギガパスカル範囲（例えば、約1乃至3 GPa）であるが、金属フィラーは、例えば、二桁乃至三桁台のギガパスカル範囲の弾性係数を持つ。したがって、高いフィラー含有量により、滲み出るフィラー組織網が可能であり、それは、前記固体状物の開始材料内への改善された「力の入力」を可能にする。

【0077】

滲み出は、各フィラーの充填容量度合い（例えば、アスペクト比で、0.1 vol%, 130 vol% 乃至 10 vol%,）によって、かなりの範囲に影響を受ける。力の始動での増加により、ポリマー構造の粘弾性層の増強が隠され得、複数の滲み出経路が効果的に出来得る。また、前記固体状物の開始材料の表面への前記フィラーの接触が改善され得るので、改善された熱伝送が可能にされ得る。

20

【0078】

また、高分子ハイブリッド材料の機械的安定性が、低温下で、より急速に実現される。したがって、高分子ハイブリッド材料の破壊時のストレス及び長さのような、対応する構造的な性能特性の標準的な偏りが、全体にわたって、より小さくされ、これにより、該分離方法の全体的歩留りが増加する。該性能特性（高分子ハイブリッド材料におけるストレスのピーク）及び固体状物における空間的に分解された変化がより小さくなり、該分離方法の全体的に高い歩留りをもたらし、より高品質な固体状物片が製造され得る。

【0079】

前記第3のフィラーは、高分子ハイブリッド材料内のより急速な熱伝達は勿論のこと、周辺環境と高分子ハイブリッド材料との間の改善された熱伝送を引き起し得、これにより、該高分子ハイブリッド材料はより急速に冷却され得、該分離方法は全体的により急速に且つより効果的に遂行され得る。

30

【0080】

前記弾性係数の増加により、より高いストレスが前記固体状物の開始材料の分割によって産み出され得、これにより、特に高いストレスが要求される固体状物の開始材料でさえもまた、分割され得る。

【0081】

さらに、前記第3のフィラーは、熱膨張係数に影響するようにも仕え得る。このゴールは、分割のために要求されるストレスを発生し得るために、高分子ハイブリッド材料の熱膨張係数と分割されるべき固体状物の開始材料の熱膨張係数との間の差の可能な最大値を実現することである。第3のフィラーは、高い熱膨張係数、すなわち、高分子マトリクスの熱膨張係数よりも高い熱膨張係数を好ましく持つ。例えば、第3のフィラーの熱膨張係数は、300 ppm/K よりも大きな値であり得る。

40

【0082】

第3のフィラーは、特に周辺環境との境界面においてより急速な熱伝送を可能にするために、該第3のフィラーの重量比が上境界面の方向に増加するように高分子マトリクス内に分布されてよい。

【0083】

50

第3のフィラーは、金属、特にアルミニウム、鉄、亜鉛、及びノ又は銅を含んでいてよく、若しくは、特に今述べた金属でなっていてよい。金属は、一般に、高い熱伝達性及び温度伝達性によって特徴づけられる。

【0084】

上述したフィラー（第1、第2、第3のフィラー）は、高分子マトリクス内において特定の形で存在してよく、その粒子のサイズが、該粒子の少なくとも1つの次元に関して、 μm 及び nm レンジの範囲内であり得る。球形に加えて、該粒子はその他の形状であってもよく、例えば棒状又はディスク状のような形状であってもよい。

【0085】

これらフィラーの粒子は、任意の粒子サイズ分布を持っていてもよく、例えば、単峰（モノモーダル）又は二峰（バイモーダル）分布、あるいは狭い分布、特に単分散分布、あるいは広い分布、などであり得る。これらフィラーは、化学的結合は勿論のこと、高分子マトリクスと物理的に結びついていてもよく、例えば、ポリマーの組織網の中に埋め込まれていてよい。加えて、上述した1以上のフィラーが、例えばカーボンファイバー、グラスファイバー、玄武岩繊維、又はアラミド繊維など、有機的又は無機的繊維を含んでいてよく、若しくは、上述した諸機能を満たすのであれば、これらの繊維でなっていてよい。オプションとして、上述した繊維を含む又は上述した繊維でなる別のフィラーが追加されてもよい。

10

【0086】

ファイバーは異方性の特性を通常持つ。高分子ハイブリッド材料内での前記フィラーの或る方向に指向された位置決めにより、固体状物の開始材料の分割のために必要なストレスに、意図した影響を及ぼすことができる。これは、該分離方法の全体的歩留りの増加に貢献し得る。強い異方性構造を持つ繊維材料の有機的又は無機的フィラーが使用される場合、それが高分子ハイブリッド材料内での機械的特性の改善を実現することを可能にするという事実によって、追加的な利点をもたらす。

20

【0087】

上述したフィラーもまた、コアシェル粒子を含む又はコアシェル粒子からなっていてよい。追加的に又は代替的に、コアシェル粒子を含む又はコアシェル粒子からなる別のフィラーが前記高分子ハイブリッド材料内に設けられていてもよい。

【0088】

コアシェルポリマー粒子の使用は、改善された活性化に加えて、エネルギー緩衝メカニズムの新しい設計を追加的でき、これは、それが該分離方法で使用されたときに、衝撃強度及び破壊強度の増加、特に高分子ハイブリッド材料の低温衝撃強度の増加をもたらす得るものであり、そして、該分離方法の高い全体的歩留りに貢献し得る。例えば、高分子ハイブリッド材料で作られたフィルムの機械的破壊の可能性が低下するので、該フィルムの再利用の可能性を改善し得る。

30

【0089】

一例として、該分離方法における前記フィルムの破壊は、コアシェルポリマー粒子により亀裂進展を抑制することにより阻止され得、それにより、リサイクルと再利用の道が開かれ得る。

40

【0090】

そこに含まれるエラストマー粒子は、プラスチック変形を受けて、空洞を形成し、追加のエネルギーが緩衝され得るようになる。追加のエネルギーの吸い上げはまた、全体の機械的特性を改善するマトリクスの剪断流によって補償され得る。コアシェル粒子は、通常は球形であり1材料からなるコアが第2の材料のシェルによって囲まれ得るということに特徴づけられる。このシェルは、該コアを完全に包むか、又は通し得るようにしてよい。これらの材料は、金属のような無機材料又はポリマーのような有機材料を含んでよい。たとえば、2つの異なる金属が互いに化合されていてよい。しかし、ポリマーで出来たコアを、金属又は第2のポリマーで出来たシェル内に包む可能性もあり得る。

【0091】

50

コアシェル粒子は、第1及び第2の材料の特性を結合することを可能にする。たとえば、金属のシェルは上記のように反応し得るが、廉価なポリマーコアについて、フィラー粒子のサイズ及び密度が決定され得る。しばしば単分散化されている粒子サイズ分布の故に、コアシェル粒子の特性はまた、正確な手法で予測され調整され得る。

【0092】

加えて、1以上のフィラー（第1、第2、第3のフィラー）はカーボンを含むかカーボンからなり、該カーボンは、インダストリアル・ブラック（カーボンブラック）、グラファイト、刻まれたカーボンファイバー、好ましくは単層カーボンナノチューブ（SWCNT）は勿論のこと多層カーボンナノチューブ（MWCNT）のようなカーボンナノチューブ（CNT）の形態からなるカーボンナノチューブなど、の形をとる。カーボンナノチューブは、異なる数の円筒で構成される円筒形のグラファイト層群からなる。

10

【0093】

これらのチューブが1個の円筒のみで構成されるならば、単層カーボンナノチューブ（SWCNT）と呼ばれる。2個以上の円筒があるならば、2層カーボンナノチューブ（DWNT）又は多層カーボンナノチューブ（MWCNT）となる。これらは、1つが他の内部に入るように、好ましくは同心的に包まれてよい。

【0094】

種々の実施例の変形によれば、前記第3のフィラーは、多層カーボンナノチューブ（MWCNT）でなるか又はこれを含んでいるとよく、何故ならば、多層カーボンナノチューブは、特に高い熱伝導性（ $> 3000 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ ）を持ち、同時に、5乃至60 Gpaの範囲の非常に高い亀裂抵抗を持つからである。高い機械的安定性は、フィラーの高い亀裂値、極端な弾性及び非常に良好な耐久性において顕在化される。

20

【0095】

この基礎は、3つの近隣のピシナル・カーボンに対する結合として、非局在化されたp軌道に接続された、強力なsp²-混成軌道化されたC-C結合である。ここでは、90度までの曲げが可能である。

【0096】

単層カーボンナノチューブ（SWCNT）では、高いエネルギー値すら、実現され得る（弾性係数：410 Gpa乃至4150 Gpa、対して、グラファイト：1000 Gpa、SWCNT：熱伝達性約 $6000 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ ）。しかし、ここで再び、その性能/コスト比は、多層カーボンナノチューブ（MWCNT）に比べて劣っている。MWCNTにおける円筒の直径は、典型的には、長さ500 nm乃至1000 μmにおいて、1 nm乃至100 nmの範囲、好ましくは、5 nm乃至50 nmの範囲である。

30

【0097】

種々の実施例の変形によれば、第3のフィラーは多層カーボンナノチューブ（MWCNT）を含んでいてよく、一方、熱伝導性の改善（例えば、 $200 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ まで）実現され得るので、同時に、第2の及び/又は第1のフィラーはカーボンブラックでなるか又はカーボンブラックを含んでいてよい。例えば0.4 Gpaより小さい値を持つ大変低い引っ張り強度として、カーボンブラックを使用するので、2以上のフィラーの組み合わせが可能であり、かつ、全体的な歩留りの改善と該分離方法の全体コストの改善に導くことができる。

40

【0098】

カーボンブラック粒子の平均直径は、5 nm乃至500 nmの範囲であり、好ましくは20 nm乃至200 nmの範囲であり、特に好ましくは40 nm乃至100 nmの範囲である。

【0099】

加えて、前記フィラーはシリカ例えば焼成シリカを含むか又はそれであってよい。追加的に又は代替的に、高分子ハイブリッド材料内にシリカを含むか又はそれであるように、別のフィラーが提供されてよい。

【0100】

50

焼成シリカは三次元の組織網を形成し、機械的安定性の改善に貢献する。そこで、そのようなフィラーは、高分子ハイブリッド材料の機械的特性の意図された調整を提供し得る。それらに考えられる機能が一致するのであれば、1以上の上述したフィラー（第1、第2、第3のフィラー）は同じ材料で出来ていてよい。例えば、第1及び第3のフィラーの両方がアルミニウムを含むか又はそれであってよい。上述したように、アルミニウムは、発生された空洞のために及び固体状物片からの高分子ハイブリッド材料の取り外しを加速化するために使用され、かつ、熱伝達性を増大するために使用され得る。そのような実施例は、望みのすべての機能のために1又は2つのフィラーだけを追加すれば十分なので、製造工程を単純化する。

【0101】

前記第1及び第2のフィラーは、及びオプションとしていずれかの第3のフィラーも、異なる材料からなっていてよい。よって、所望の機能に対する個々の及びより良いフィラーの適用が可能にされ得る。

【0102】

本発明に従うフィルムは、上述したような高分子ハイブリッド材料を含む。該フィルムは、例えば、0.5乃至5mmの厚さを持つ。

【0103】

本発明に従う高分子ハイブリッド材料又は本発明に従うフィルムは、対応する合成構造になるように、少なくともこの表面に適用される。適用された高分子ハイブリッド材料又は適用されたフィルムは、以下、受理層として言及されるものである。そのような受理層の厚さは、0.5mm乃至5mmの間であってよく、例えば、特に1mm乃至3mmの間である。該高分子ハイブリッド材料又はフィルムは、また、複数の露出表面、特に互いに平行に配置された2つの表面に適用されてよい。

【0104】

熱処理は、該受理層を周辺温度未満の温度に、好ましくは10 未満、特に好ましくは0 未満、さらに好ましくは-10 未満又は-40 未満の温度に、冷却することを好ましく行う。

【0105】

受理層の冷却は、最も好ましくは、受理層の少なくとも一部分がガラス転移を受けるように、行われる。この冷却は、-100 未満に冷却することであってよく、例えば、液体窒素を使用して実現され得る。この実施例は、該受理層が温度変化の関数として収縮し及び/又はガラス転移を受け、そして、その結果としての力が固体状物の開始材料に伝達されるので、有利であり、それにより、機械的ストレスが該固体状物内に産み出され得、亀裂及び/又は亀裂進展の切っ掛けをもたらし、ここで、該亀裂は、まず、固体状物層が剥離されるまで、展開の第1平面に沿って進展する。

【0106】

別の工程において、高分子ハイブリッド材料又はフィルムは、例えば、化学反応、物理的分離操作及び/又は機械的磨滅により、固体状物片から取り除かれる。

【0107】

高分子ハイブリッド材料を固体状物片から取り外す操作は、普通の周辺温度で、例えば20 乃至30 の範囲で、好ましくは30 乃至95 、例えば50 乃至90 、の高温範囲で行われることができ、あるいは、例えば1 乃至19 の低温範囲ですら行われ得る。

【0108】

温度領域を上昇することは、例えば高分子ハイブリッド材料と固体状物との間で犠牲となる層を使用する場合において、反応速度の増加に基づく化学的分離反応を短くすることを可能にし得る。犠牲となる層を使用する場合において、有利には2乃至6の範囲内のpHで、分離は水溶液内で行われ得る。種々の実施例の変形によれば、分離処理は、無極性溶媒の溶液を用いる処理の形で行われてよく、例えば、1 乃至50 の範囲の普通の周辺温度が好ましく、また、20 乃至40 の範囲が特に好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 9 】

ここで、1つの特別な利点は、フィルム上での温度効果無しでの分離である。有利な脂肪族及び芳香族の炭化水素類がここで使用されることができ、例えば、トルエン、n - ペンタン、n - ヘキサンであり、しかしまた、カーボントetraクロライドのようなハロゲン化した溶媒も使用し得る。非常に強くまた逆になり得る高分子ハイブリッド材料の膨張が溶媒処理の結果として起こるかもしれないので、分離されるべき高分子ハイブリッド材料の中に及び固体状物片の中に、追加的な力が導入されてよく、これにより、分離が全体的に簡単化される。

【 0 1 1 0 】

追加の実施例の変形によれば、上述した犠牲となる層の分離メカニズムと適切な単極性溶媒による処理との組み合わせが、フィルム上での如何なる温度効果無しと同様に、可能である。

10

【 0 1 1 1 】

加えて、本発明は、固体状物の中に改質を生成する装置、そこにおいて、該固体状物の一部分特に該固体状物の一層を該固体状物から分離するための亀裂を誘導する亀裂誘導領域が、該改質によって前記固体状物内に準備されるようにする装置に関する。本発明によると、該装置は、少なくとも1つの固体状物を受理し、動かす受理装置と、複数のレーザービームを相次いで発光するレーザー処理システムであって、該レーザービームを焦点合わせして前記固体状物の中の焦点位置に改質を生成するものと、少なくとも1つの第1のパラメータについての及び第2のパラメータについてのデータを処理し、前記レーザー処理システムの焦点合わせ及び/又はレーザーエネルギーを、特に各改質毎に、該データの関数として連続的に調整する制御システムとを少なくとも含む。

20

【 0 1 1 2 】

距離センサとレンズ調節器からなる従来の自動焦点装置に比べて、本発明に従う装置は、ユーザ入力、センサ信号及び/又は外部データソースの関数として修正を行う制御ユニットを好ましく持つ。

【 0 1 1 3 】

1つの問題が機械調整にある。修正されたリアルタイム制御が不可能であるならば、レーザーヘッド及び/又はレーザー処理システムが、該システムを、好ましくは位置決めユニット及び/又は受理装置に同期させるであろう。好ましく実行される又は実際に行われる特徴に由来する複数パラメータに関する修正ファクタ及び/又はデータのマップが、ワークピースに好ましく登録され、及び/又は、固体状物が機械に登録され、そして、位置の関数として出力される。調整操作及び/又は手動操作及び/又は焦点合わせ動作の動的性格の故に、機械のソフトウェアに基づく制御は、アクセス回数の故に、もはや適切ではない。そこで、適切なルックアップテーブル及び/又は素早いアクセスのためのパラメータを表すデータを、特に処理開始前に、ロードするコントローラ特に制御システムを使用することが好ましい。

30

【 0 1 1 4 】

したがって、本発明に従う装置は、ボリウムにおいて多光子吸収を持つ固体状物の最初の平面微小加工を可能にする。平面微小加工は、 μm の精密度でかつ傾きのリスクなしに位置決めできない大径の基板及び/又は固体状物の加工ができるようにする。この加工は、固体状物の部分を分離すること及び/又はウェハ切りすることに関連するのみならず、特にレーザーでアシストされたウェハ薄切りに関連している。薄い半導体ウェハ又は固体状物の部分が効率的に製造されるべきならば、薄いウェハは非常にマイナーな平坦化確保のみで可能であるから、平面レーザー分離が不可欠である。

40

【 0 1 1 5 】

本発明の好ましい実施例によれば、第1のパラメータは、定義された改質を生成するためにレーザービームによって横切られるべき前記固体状物の領域における、前記固体状物の材料の平均屈折率又は該固体状物の材料の屈折率であり、第2のパラメータは、定義された改質を生成するためにレーザービームによって横切られるべき前記固体状物の領域にお

50

る処理の深さである。この実施例は、処理の深さと屈折率がパラメータであり、それによって形成される焦点位置の精度に実質的な効果をもたらすので、有利である。

【0116】

本発明の別の好ましい実施例によれば、チルトパラメータを決定するために距離センサ手段が設けられ、該チルトパラメータは前記レーザ処理システムに対する前記固体状物の傾きを表し、前記距離センサ装置は距離データを出力し、該距離データは前記レーザ処理システムを調整するために前記制御システムによって処理される。

【0117】

本発明の別の好ましい実施例によれば、前記受理装置を動かすために駆動装置が設けられ、前記制御システムは、前記受理装置の移動速度を、処理されたパラメータの関数として調整する。

10

【0118】

「bow」（ボウ）、「warp」（ワープ）、「TTV」、「TIR」という用語の定義は、SEMI標準に従うこの技術分野の熟練者に馴染みの定義に従って本発明の範囲内で使用され、例えば、http://www.wafertech.co.uk/_downloads/Wafer-Flatness.pdfにおいて見出すことができる。

【0119】

「本質的に」又は「実質的に」という用語の使用は、本発明においてこの用語が使用される場合に、この用語を使用せずになされる決定からの1%乃至30%の範囲の違い、特に1%乃至20%、特に1%乃至10%、特に1%乃至5%、特に1%乃至2%の範囲の違い、を好ましく定義する。以下で説明する図面の個別の表現又は全ての表現は、設計図面として、すなわち、好ましくは結果として図面に現れる寸法、比率、機能的関係、及び/又は配列が、本発明に従う装置及び/又は本発明に従う生産物におけるそれらに本質的に正確に又は好ましく対応している図面として、好ましくみなされるべきである。

20

【0120】

本発明の別の好ましい実施例によれば、改質は、少なくとも1の列又は1つの行において次々に生成され、1列又は1行で生成される該改質は或る距離X及び高さHで好ましく作成され、これにより、2つの連続する改質間で進展する亀裂が、特に結晶格子の方向に進展する亀裂が、2つの改質を互いに接続するであろう。ここで、該亀裂進展の方向は、取り外す平面に関して或る角度Wで指向される。この角度Wは、好ましくは2度と6度の間であり、特に4度である。該亀裂は、第1の改質の中心の下方の該第1の改質の領域から、第2の改質の中心の上方の該第2の改質の領域に向かって、好ましく進展する。ここで、本質的な関係は、改質のサイズが該改質の距離と角度Wの関数として変更され得る又は変更されるべきである、ということである。

30

【0121】

本発明の別の好ましい実施例によれば、第1工程において、複数の改質が、1列に、そして好ましくは互いに同じ距離で、生成される。さらに、該第1工程において生成される改質の列が複数列生成されると考えられる。この第1の複数列は、亀裂進展の方向に平行に、そして、直線状に又は円弧状に、特に同じ平面において、特に好ましく生成される。これら第1の複数列の生成後、好ましくは未臨界の亀裂をトリガする及び/又は分割するために、2つの列が好ましく生成される。これら第2の複数列は、また、1直線に好ましく形成される。第2の複数列は、前記第1の複数列に対して特に好ましく傾いており、特に直交的に指向される。第2の複数列は、前記第1の複数列と同じ平面内に好ましく延びるか、又は、該第1の複数列が延びている平面に平行な面内に特に好ましく延びる。それから、第3の複数列が、未臨界の亀裂を接続するために、好ましく生成される。

40

【0122】

そうすることで、本発明の好ましい実施例に従う制御システムは、或る計算手順に従って計算を行うことにより、レーザ処理システムのための位置依存制御命令が距離センサ及び追加の有り得るセンサ手段の既存の位置依存測定データから計算されるように、レーザ処理システムを調整するための追加のセンサ手段のパラメータと同様に、距離データを処

50

理し得る。この計算手順は、位置依存測定データが利用可能でない箇所におけるレーザ処理システムの位置依存制御のために、位置依存測定データを補間する。こうして、例えば、追加のセンサ手段の距離データとセンサデータが、短時間で、かつ、粗いグリッドで、少数の点でのみ、測定され得、ワークピース上の残りの点は補間される。理想的なゴールは、その後のレーザ処理を行うために、もっとも少数の有り得る測定点によって該ワークピースが特徴付けられることである。こうして、レーザ処理中にレーザ処理システムの制御システムにおいて補間が行われてよく、若しくは何らかの場所解決を使用する場所依存処理命令が別のデータ処理システム上で作成され、それから前記制御システムに転送されてよい。本発明のこの実施例は、ワークピース上で処理されるべき各場所毎の、処理されるべき測定データを検出する必要がなく、その代わりに、レーザ処理システムのための高密度の処理命令が、短時間で検出され得るほんの僅かな測定データから生成され得るので、特に有利である。これは、全体的なワークピースに対する処理速度を増加し、測定時間の短縮を可能にする。

10

【0123】

さらに、2016年12月7日に出願されたドイツ特許出願DE10 2016 123 679.9の主題が、該出願の明細書及び図面を引用することによって、本出願の主題中に完全に組み込まれる。

【0124】

本発明のさらなる利点、ゴール、特性は、本発明に従う装置を一例として説明する添付図面に従う以下の説明書に基づき、説明される。本発明に従う装置の各構成要素及び図面中の該要素の機能に関して少なくとも本質的に対応している各方法要素は、同じ参照番号で特徴付けられ得るが、それらの構成要素及び/又はコンポーネントは、必ずしも、全ての図面において参照番号でラベルされている若しくは説明されているわけではない。以下、添付図面に基づき、一実施例として、本発明を詳細に説明する。

20

【図面の簡単な説明】

【0125】

【図1】本発明に従うレーザ処理システムの一例を示す図。

【図2】図2 aは本発明に従う装置の一例を示し、図2 bは機能性流体を使用して固体状物上に配置されたポリマー層の処理を示す図。

【図3】図3 aは或る固体状物の表面輪郭及び該表面輪郭の屈折率を示す図、図3 bはいくつかの表面輪郭を示す図。

30

【図4】図4 aはレーザヘッドのいくつかの制御位置の変化を示す図、図4 bは異なる改質分布の輪郭を表す2つのカーブを示す図。

【図5】図5 aは、例えば本発明にしたがって好ましく使用されるような、特に、例えば本発明にしたがう装置の好ましい構成部分であるような、ラマン(Raman)機器の概略図、図5 bはSiCの格子振動の様々な振動状態を例示する図。

【図6】図6 a及び図6 bは或る固体状物におけるドーピング濃度を説明する図。

【図7】図7 aは本発明にしたがうフィードフォワード処理を示す図、図7 bは本発明にしたがうフィードバック処理を示す図。

【発明を実施するための形態】

40

【0126】

図1は、固体状物1内に改質2を生成するための本発明に従う方法及び本発明に係る装置30において好ましい、本発明に従うレーザ処理システム8を示す。

【0127】

レーザ処理システム8は、少なくとも1つのレーザビーム源32を持ち、特に好ましくは焦点マーキングを備える。レーザビーム源32は、特に、焦点マーキングと同軸の光源であってよい。レーザビーム源32から発生された光10のビームは、レーザビーム源32から、固体状物1内の焦点のサイズと位置を調整するための焦点装置44(すなわち、調整装置44)への所定の経路上に、好ましく向けられる。ここで、調整装置44は、好ましくは、特にZ方向又はレーザビームの方向に焦点合わせ(フォーカシング)するため

50

の、精密な焦点装置であってよい。好ましくは、調整装置 44 はピエゾ式の精密焦点合わせ装置として設計されてよい。調整装置 44 を通るレーザビーム 10 は、好ましくは、長い作動距離を持つ顕微鏡 46 を通過する。該レーザビームは、好ましくは、改質 2 が予め定義された場所に生成されるように、長い作動距離を持つ顕微鏡 46 と調整装置 44 によって特に好ましく調整され及び/又は変調されるようになされている。例えば、予め定義された場所から、5 μm 未満、好ましくは 2 μm 未満、特に好ましくは 1 μm 未満だけずれた(若しくは離れた)位置に、改質 2 が生成されるようにすることが考慮され得る。調整装置 44 は制御システム 14 によって好ましく制御され、該制御システム 14 は、レーザ処理システム 8 及び固体状物材料の局所的な屈折率又は平均的屈折率及びレーザ処理システム 8 特に少なくとも調整装置 44 の調整のための各位置での固体状物 1 の処理の深さに関して、レーザ処理システム 8 に対する固体状物 1 の位置及び向き、若しくはレーザビームが導入されるべき現在の表面部分の距離、を好ましく計算し及び/又は決定し及び/又は使用する。該制御システム 14 は、通信可能に接続された対応するセンサシステム及び/又はセンサ手段を介してリアルタイムに必要なデータを検出及び/又は受信し得る。しかし、別の例として、改質 2 を生成するためにレーザビーム 10 が入射する固体状物 1 の表面の分析が、処理の開始に先立って、屈折率と処理深さパラメータの一方又は両方について実行及び/又は実施されるようにすることが考慮され得る。そして、これらのパラメータは、対応する場所に従属するデータの形式で、メモリ装置すなわちデータメモリ 12 に記憶若しくは入力され得る。データメモリ 12 は、様々な媒体であってよく、特に、メモリカード又はレーザ処理システム 8 の一部として恒久的に組み込まれたメモリであってもよい。

10

20

【0128】

しかし、代替例として、データメモリ 12 が、レーザ処理システム 8 の外部に設定され、該レーザ処理システム 8 と通信できるように少なくとも一時的に接続されるようにすることも考慮され得る。追加的に若しくは代替的に、複数の作業シーケンス又はこれら作業シーケンスの変更が、制御システム 14 のためにユーザによって予め選択され得る。さらに、また、データメモリ 12 が、制御システム 14 の 1 構成成分として組み込まれるようにすることも考慮され得る。追加的に若しくは代替的に、固体状物 1 上の所定の表面ポイントとレーザ処理システム 8 との間の距離に関して、距離データがセンサシステム 16 によって検出され得る。この距離データは、また、処理のために制御システム 14 に好ましく供給される。

30

【0129】

加えて、レーザ処理システム 8 が、カメラ 34 特に同軸焦点カメラ、を持つことが考慮され得る。該カメラ 34 は、レーザ処理システム 8 によって発光されるレーザビーム 10 のビーム経路の方向に好ましく配置される。また、例えば部分的に透明なミラーのような光学要素 36 をカメラ 34 の光学視野(フィールド)に配置することが考慮され得る。レーザビーム 10 は、光学要素 36 を通ってカメラ 34 の光学視野に好ましく供給される。

【0130】

加えて、追加の光学要素 38 及び/又は回折光学要素、特にビームスプリッタ 38 が設けられることが考慮され得る。レーザビーム 10 の一部がビームスプリッタ 38 によって主ビームから曲折及び/又は分離され得る。さらに、該分離及び/又は曲折されたレーザビーム 10 の一部は、球面収差補償手段 40 及び/又は光ビーム拡張器 42 によって変調され得る。

40

【0131】

さらに、参照番号 48 は、特に冷却流体を供給するために好ましく設けられた流体供給装置 48 を示す。固体状物 1 及び/又は顕微鏡の温度制御、特に冷却は、流体供給装置 48 によって好ましく引き起こされ得る。

【0132】

参照番号 50 は、屈折率判定手段を示し、透過及び反射面を好ましく分析し得るものである。屈折率は、改質を生成する前に、屈折率判定手段 50 を使用して好ましく判定し

50

得る。代替的に、屈折率が別の装置で判定され、かつ、判定されたデータがデータ転送によってレーザ処理システム 8 に供給されることが考慮され得る。

【 0 1 3 3 】

図 1 に描かれた矢印付き破線は、データ及び / 又は信号伝送を好ましく特徴付けている。

【 0 1 3 4 】

図 2 a は、装置の各コンポーネント（構成成分）、すなわち、装置 3 0 の、レーザ処理システム 8、受理装置 1 8、及び、駆動及び / 又は移動装置 2 2、の好ましい配列を概略的に図説する。この配列に従う固体状物 1 は、受理装置 1 8 とレーザ処理システム 8 との間に好ましく配置される。固体状物 1 は、受理装置 1 8 に好ましくは接着されるが、そこに押し付けられるように配置されてもよい。

10

【 0 1 3 5 】

図 2 b は、改質 2 の生成後及び / 又は亀裂誘導領域 4 の完全な生成後の配列を示す。この図によれば、受理層又はポリマー層 2 6 が固体状物 1 の表面 2 5 の上に配置及び / 又は形成され、該層 2 6 を通してレーザビーム 1 0 が固体状物 1 内に入射する。それに加えて、機能性流体の供給源が、機能性流体 5 6 を排出する装置 5 4 によって特徴付けられている。機能性流体 5 6 は、好ましくは液体窒素である。こうして、受理層 2 6 は、機能性流体 5 6 によって、2 0 より低い温度まで、特に、1 0 より低い温度まで、あるいは、0 より低い温度まで、若しくは、受理層 2 6 のポリマー材料のガラス転移温度より低い温度まで、冷却される。受理層 2 6 の冷却によって高い機械的ストレスが生成され、これにより、亀裂誘導領域 4 に沿って亀裂を進展せしめる。

20

【 0 1 3 6 】

図 3 a は、単なる一例として、固体状物 1 の表面輪郭と該固体状物の材料の屈折率との間の関係を示す。水平軸上に示した値は、 μm 単位の数値である。

【 0 1 3 7 】

図 3 b は、レーザ照射される材料の偏りの例（表面輪郭及び屈折率の横方向の変化）を、レーザ焦点位置とともに示す。（図中、no AF は、屈折率によって増加された自動焦点無しで、表面輪郭が逆比率で材料内に書き込まれる。これに対して、標準の自動焦点（AF）は表面輪郭が n 倍のゲインで転送されるようにこの逆比率を元に戻す。 nAF は、表面輪郭が 1 対 1 で材料に転送されるように、基板の屈折率及び / 又は固定ファクタとしての屈折率を考慮に入れる。 AAF は、基板の平均屈折率及び目標深さの情報と、所望の高度な自動焦点機能が材料内に正確に水平面を書込み得る。）

30

【 0 1 3 8 】

図 4 a は、単なる一例として、レーザの焦点の様々な制御位置を示す。水平軸上に示された値は、 μm 単位で示されている。したがって、波形は、種々のケースにおけるレーザヘッドの位置のための制御入力変数として決定され得る。

【 0 1 3 9 】

nAF （ n を配慮した自動焦点）は、表面の平均屈折率（ n ）を修正するための、該表面の自動焦点ガイド変数である。こうして、表面の偏りは、1 対 1 でボリューム（体積をもつ物）内に転送され得る。よって、理論上は、分離されるウェハは、如何なる厚みの変化（ TTV ）も持たないであろう。しかし、トポグラフィ（表面的特徴）及び乏しい平面性は、該ウェハと残余のインゴットの双方において維持される。

40

【 0 1 4 0 】

AAF （高度な自動焦点）は、表面の平均屈折率及び該表面の修正面の情報によって、該表面の自動焦点ガイド変数を修正することである。こうして、平坦なレーザ平面を用意することが可能であり、これは、高価でない磨き工程により、更なる分割（切り離し）のために非常に平坦である半導体結晶を準備する。しかし、切り離されたウェハは分割直後の一面で平坦であるが、かなりの厚みの偏りを持つ。

【 0 1 4 1 】

$AnAF$ （ n を配慮した高度な自動焦点）は、表面の局所的な屈折率及び該表面の修正面の情報によって、該表面の自動焦点ガイド変数を修正することである。こうして、高価

50

でない磨き工程により、更なる分割ために非常に平坦である半導体結晶を準備する、平坦なレーザ平面が、先行する情報を持つ外来の標本ですら可能である。

【0142】

こうして、本発明は、固体状物において改質を生成するための方法に関し、そこにおいて、固体状物の一部分、特に、該固体状物からの固体状の一層、の分離のための亀裂を導くための亀裂誘導領域が、該改質によって予め定義される。ここで、本発明に従う方法は、少なくとも次の工程からなる。

【0143】

レーザ処理システムに対して相対的に固体状物を動かす工程と、少なくとも1つの改質を生成するために、該レーザ処理システムによって複数のレーザビームを次々に生成する工程、ここで、該レーザ処理システムは、複数のパラメータ、特に2つのパラメータ、の関数として連続的に、該レーザビームの定義された焦点合わせ（フォーカシング）を行うために調整される。体積を持つ物（ボリューム）内の多光子材料を処理するための平面的なマイクロ焦点合わせは、本発明に従う方法によって好ましく可能化される。

10

【0144】

図5aはラマン機器58を示す。ここに示されたラマン機器58は、レーザ放射線を発するためのレーザ60を持つ。該レーザ放射線は、レンズを通して好ましく励起するために、少なくとも1つの光ファイバ61によって好ましく伝送され、そして、レンズ64によって、特に固体状物の中に焦点合わせされているレンズ64によって、好ましく焦点合わせされる。この放射は少なくとも部分的に散乱され、レーザによって発せられた該放射と同じ波長を持つ光成分がフィルタ装置及び/又は励起フィルタ62により好ましくフィルタ出力される。その他の放射成分は、分光写真機68に送られ、カメラシステム、特にCCD検出器70によって検出され、制御システム14, 72、特にコンピュータによって処理され分析される。

20

【0145】

こうして、結晶内の原子振動が、外部レーザによって好ましく励起され、又は追加のレーザによって特に好ましく励起される。結晶原子上での光散乱によって振動が発生され、観察可能な散乱光を引き起し、それは振動エネルギー量によって変えられる光子エネルギーを持つ。複数の励起可能な振動があるとき、また、複数のピークが散乱光のスペクトルにおいて現れる。それから、分光計（格子分光計）を使用して、結果であるラマン散乱スペクトルが非常に詳細に調査され得る（所謂「ラマン分光法」）。この方法において、結晶内の局所的な状態がラマン線形状における個々のラマン線上に置かれ、該ラマン線の形状を分析することによりドーピングの度合いを推定することが可能である。

30

【0146】

図5bは、SiC（シリコンカーバイド）において可能な格子振動がどのように現れるのかを示し、これらのモードが結晶対称性及び方向によって予め決定され、また、同時に励起されるかもしれない。ここで示された様子は、結晶軸Aに沿う一方向を持つ。ここで、原子振動は、或る複数方向にのみ可能であり、これらの方向は結晶の対称性によって予め決定される。

【0147】

図6aは、窒素でドーパされた4H-シリコンカーバイドの個体状物のラマン図の詳細例（ドーパされたSiCのラマンスペクトル例）を示す。LO(PC)モードの形状は、ドーパント（不純物）濃度を測定するためにここで使用され、フィットされる。底部パネルは、残余をフィットすること。

40

【0148】

図6bは、ラマンスペクトルのより小規模な詳細例を示す。

【0149】

ここに示すように、これは、形状の測定からラマン測定によりドーパント濃度を判定するための、続いてLO(PC)モードにフィットするための、直接的な手法をもたらす。

【0150】

50

概して、ゴールは、レーザの複数パラメータを調整することにより、材料内の亀裂の最適な（最小たり得る、最短たり得る）経路を調整することであり、それは、亀裂進展によって成功裏の分離を依然としてもたすが、それ以外には、材料のあらゆる損失（研磨動作における損失も含む）を最小化する又は減少するであろう。

【0151】

図7a及び図7bは、プール若しくはインゴットから1つのウェハを引き上げるための2つの可能性を示す。

【0152】

図7aはフィードフォワードループとして実施されるものであり、図7bはフィードバックループとして実施される。

【0153】

フィードフォワードにおいて、レーザ処理前の分布が特徴付けられ、その後、レーザ処理のために、特に改質の生成のために、マップ及び/又は処置命令及び/又はパラメータ調整を、特に位置の関数として、計算するために使用される。

【0154】

代替的に、図7bに示すように、フィードバックループが実装される。結果たるウェハが各分離工程の後に特徴付けられ、その後、次のためにテンプレートとして供給される。

【0155】

こうして、材料及びドーピング（不純物）に依存して、異なる処理がレーザ処理中に行われ得る。

【0156】

SiC材料では、複数のレーザパラメータの異なる調整がドーピング（不純物）の関数として異なる深さで行われ得る。これは、下記に示すような境界条件を持つ次のような関数をもたらし得る。

【0157】

深さ180 μm、パルス間隔3 ns、開口数0.4。

低ドーピング：7 μJ - 21 mOhmcm

高ドーピング：8 μJ - 16 mOhmcm

【0158】

深さ350 μm、パルス間隔3 ns、開口数0.4。

低ドーピング：9.5 μJ - 21 mOhmcm

高ドーピング：12 μJ - 16 mOhmcm

【0159】

180 μmの深さに対する式。

Eは、μJのエネルギー。

E0は、最低のドーピングにおけるオフセットエネルギー。

Kは、エネルギースケール係数。

Rは、ドーピングの測定度合い。

Bは、ドーピングの基本度合い（21 mOhmcm）。

$$E = E_0 + (B - R) * K$$

ここで、

$$K = 1/(21-16) \mu J / mOhmcm = 0.2 \mu J / mOhmcm$$

$$E_0 = 7 \mu J$$

$$B = 21 mOhmcm.$$

一例：19 mOhmcmのドーピングの測定度合いは、E = 7.4 μJ。

【0160】

350 μmの深さに対する式。

Eは、μJのエネルギー。

E0は、最低のドーピングにおけるオフセットエネルギー。

Kは、エネルギースケール係数。

10

20

30

40

50

R は、ドーピングの測定度合い。

B は、ドーピングの基本度合い (21 mOhmcm) 。

$$E = E_0 + (B - R) * K$$

ここで、

$$K = 2.5 / (21 - 16) \mu J / mOhmcm = 0.5 \mu J / mOhmcm$$

$$E_0 = 9.5 \mu J$$

$$B = 21 mOhmcm。$$

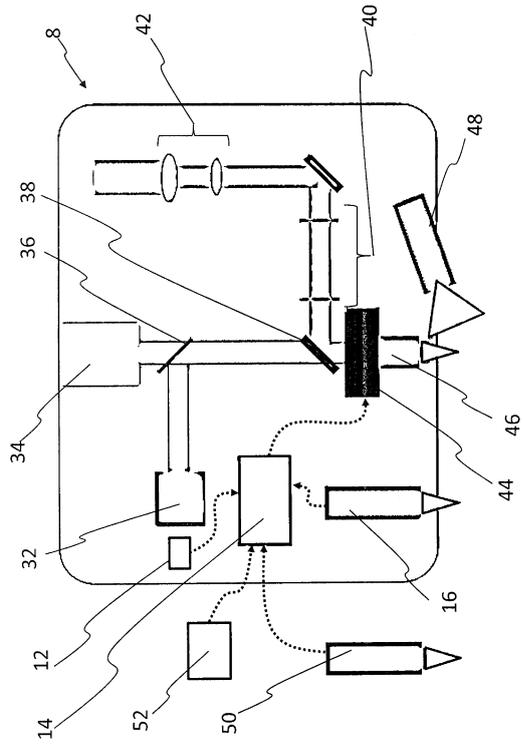
一例：19 mOhmcmのドーピングの測定度合いは、E = 10.5 μ J。

【符号の説明】

【 0 1 6 1 】

1	固体状物	
2	改質	
4	亀裂誘導領域	
6	固体状物の部分	
1 0	レーザービーム	
1 2	データメモリ装置	
1 4	制御システム	
1 6	センサ装置	
1 8	受理装置	
2 0	回転軸	20
2 2	駆動装置	
2 4	分離されるべき固体状物の部分の表面	
2 6	受理層	
3 0	装置	
3 2	レーザービーム源	
3 4	カメラ	
3 6	光学要素	
3 8	ビームスプリッタ	
4 0	球面収差補償手段	
4 2	光ビーム拡張器	30
4 4	調整装置	
4 6	長い作動距離を持つ顕微鏡	
4 8	流体供給源	
5 0	屈折率判定手段	
5 2	ユーザ	
5 4	機能性流体の供給源	
5 6	機能性流体	
5 8	ラマン機器	
6 0	レーザー	
6 2	励起フィルタ	40
6 4	レンズ	
6 8	分光写真機	
7 0	C C D 検出器	
7 2	分析及び / 又は処理システム又は制御システム 1 4	
7 4	検査	
7 6	レーザーパラメータ及び / 又は機械パラメータの調整及び空間的に明確な処理命令及び / 又は空間的に明確な処理マップの生成	
7 8	レーザー処理 (改質の生成)	
8 0	特に亀裂進展及び亀裂誘導による、分離工程	
8 2	表面処理	50

【図面】
【図 1】



【図 2】

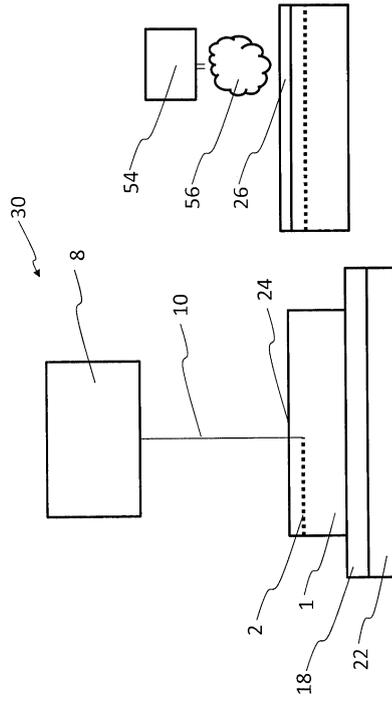


図2b

図2a

10

20

【図 3】

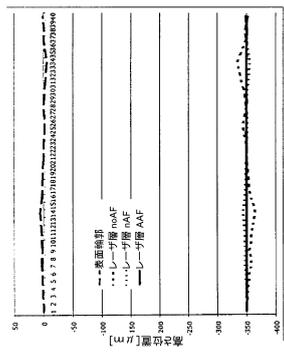


図3b

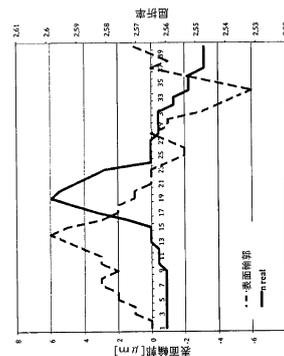


図3a

【図 4】

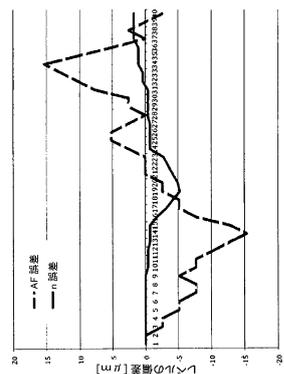


図4b

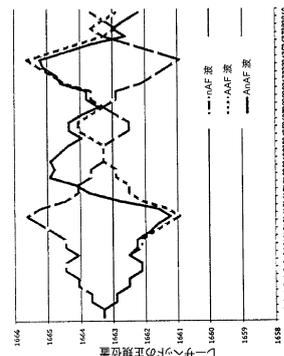


図4a

30

40

50

【図5】

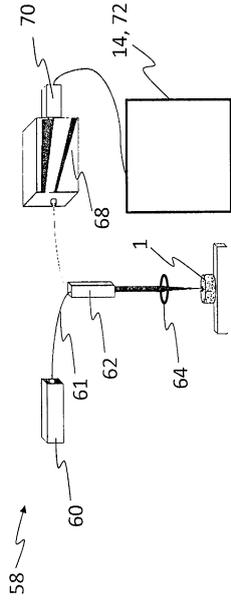


図5a

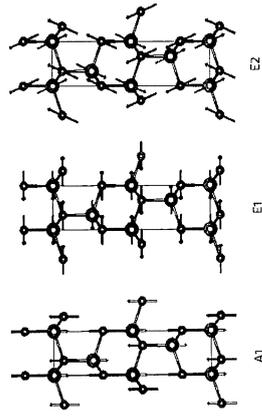


図5b

【図6】

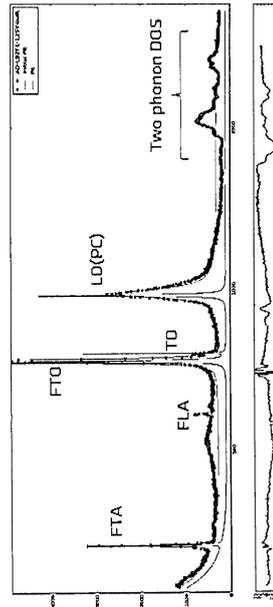


図6a

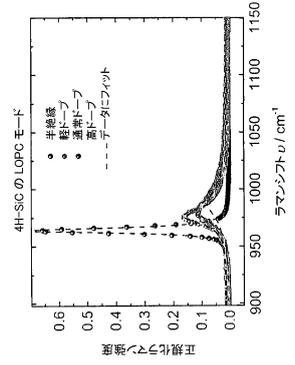


図6b

【図7】

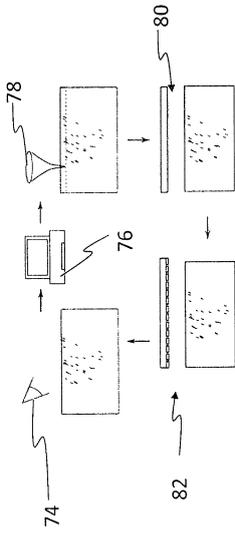


図7a

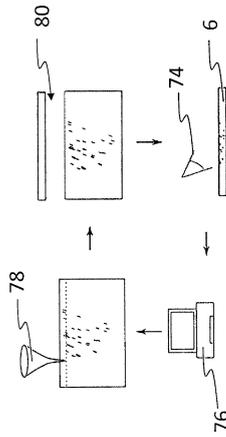


図7b

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 弁理士 前川 純一
 (74)代理人 100134315
 弁理士 永島 秀郎
 (74)代理人 100135633
 弁理士 二宮 浩康
 (74)代理人 100162880
 弁理士 上島 類
 (72)発明者 リースケ,ラルフ
 ドイツ ドレスデン 01099, ファブリス - ストラーセ 9
 (72)発明者 パイアー, クリティアン
 ドイツ フライベルク 09599, ジルベルホフストラーセ 12
 (72)発明者 ギュンター, クリストフ
 ドイツ ドレスデン 01309, ティットマンストラーセ 20ベー
 (72)発明者 リヒター, ヤン
 ドイツ ドレスデン 01277, ヴィンテルベルクストラーセ 6ベー
 (72)発明者 スヴォボダ, マルコ
 ドイツ ドレスデン 01097, エルナ - ベルガー - ストラーセ 19
 審査官 内田 正和
 (56)参考文献 特開2013-120918(JP,A)
 特開平05-040089(JP,A)
 特表2012-513312(JP,A)
 国際公開第2015/052216(WO,A1)
 特開2015-074004(JP,A)
 特開2009-140959(JP,A)
 特開2005-028423(JP,A)
 国際公開第2015/052220(WO,A1)
 特開2005-294325(JP,A)
 (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 H01L 21/304
 B23K 26/00
 B23K 26/53